

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 903 770 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
24.03.1999 Patentblatt 1999/12

(51) Int. Cl.⁶: H01J 61/12, H01J 61/82

(21) Anmeldenummer: 98111187.5

(22) Anmeldetag: 18.06.1998

(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: 21.07.1997 DE 19731168

(71) Anmelder:
Patent-Treuhand-Gesellschaft
für elektrische Glühlampen mbH
81543 München (DE)

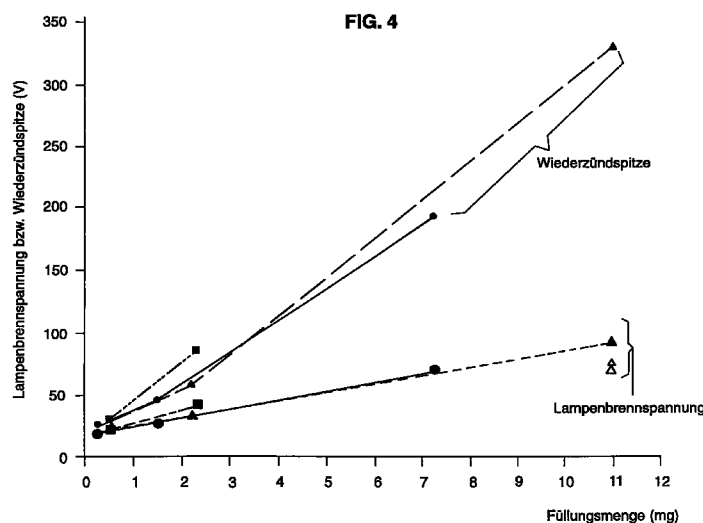
(72) Erfinder:
• Stockwald, Klaus, Dr.
81543 München (DE)
• Lang, Dieter
83052 Bruckmühl (DE)
• Fromm, Dietrich, Dr.
83627 Warngau (DE)

(54) Beleuchtungssystem

(57) Beleuchtungssystem, umfassend eine quecksilberfreie Metallhalogenidlampe mit einer Lichtausbeute von mindestens 75 lm/W und einem Farbwiedergabeindex von mindestens 75 und ein elektronisches Vorschaltgerät, wobei das elektronische Vorschaltgerät der Lampe eine Rechteck-Stromversorgung einprägt und die Leistung konstant hält. Die Füllung umfaßt folgende Komponenten:

- ein Puffergas, das auch als Startgas zur Zündung der Lampe wirkt,

- einen Spannungsgradientenbildner, bestehend aus mindestens einem Metallhalogenid, das leicht verdampft, und das hauptsächlich (zu mehr als 50%) dafür verantwortlich ist, einen Spannungsgradienten zu erzeugen, der in etwa dem von Quecksilber entspricht,
- ein Lichterzeuger, bestehend aus einem Metall und/oder Metallhalogeniden.



EP 0 903 770 A2

Beschreibung

Technisches Gebiet

5 [0001] Die Erfindung geht aus von einem Beleuchtungssystem gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1, bestehend aus Lampe und Vorschaltgerät. Als Lampen werden dabei insbesondere Metallhalogenidlampen mit keramischem Entladungsgefäß eingesetzt.

Stand der Technik

10

[0002] Bisher wurde meist Quecksilber (Hg) als Puffergas zur Bereitstellung bestimmter Eigenschaften in Metallhalogenidlampen verwendet:

15

1. Durch den großen elastischen Stoßquerschnitt für Elektronen dient Quecksilber zur Einstellung der Brennspannung bzw. des Spannungsgradienten (= Brennspannung/Elektrodenabstand) des Plasmabogens.

2. Die relativ geringe Wärmeleitfähigkeit und relativ hohe Viskosität von Quecksilberdampf verbessert die Ausbildung isothermer Wandtemperaturen des Entladungsgefäßes.

20

3. Durch den hohen Dampfdruck von Quecksilber ergibt sich eine gute Dosierbarkeit und Einstellbarkeit der elektrischen und thermischen Eigenschaften von Hochdrucklampen.

25

4. Der inerte metallische Charakter von Quecksilber erleichtert eine reversible Rückbildung des Hg und anderer reaktiver gasförmiger Stoffe (Halogenide) bei Abkühlung der Lampe (Metall im Überschuß in flüssiger Form, Bildung von Hg-Halogeniden).

[0003] Beim heutigen Stand der Technik wird beispielsweise in Metallhalogenidlampen mit keramischem Entladungsgefäß zur Brennspannungseinstellung abhängig vom Elektrodenabstand und der verwendeten Metallhalogenid-Füllung typischerweise 25 - 200 $\mu\text{mol}/\text{cm}^3$ (5 - 40 mg/cm^3) Hg eingefüllt.

30

[0004] Quecksilber wird jedoch verstärkt als umweltschädliche und giftige Substanz angesehen, die in modernen Massenprodukten aufgrund der Umweltgefährdung bei Anwendung, Produktion und Entsorgung möglichst vermieden werden soll. Daher werden verstärkt Anstrengungen unternommen, um quecksilberfreie Hochdruck-Entladungslampen zu entwickeln.

35

[0005] Aus der DE-PS 40 35 561 ist bereits eine Metallhalogenidlampe mit keramischem Entladungsgefäß bekannt, deren quecksilberfreie Füllung Edelgas (Xenon) und ein Halogenid des Lithiums (oder auch des Na, Tl, In) zur Erzeugung einer Bogenentladung enthält. Ferner enthält die Füllung eine Substanz, die einen Halogenid-Komplex bildet, beispielsweise ein Halogenid des Aluminium oder Zinn, das mit den Halogeniden des Natrium oder Lithium Komplexe bildet.

40

[0006] Aus der DE-PS 27 07 204 ist eine quecksilberfreie Füllung mit Edelgasen und Metallhalogeniden bekannt, die Thallium, ein oder zwei Seltenerdmetalle (Dy, Ho) und/oder ein Alkalimetall (Na, Cs) sowie evtl. Indium enthält.

[0007] In diesen Schriften ist weder eine Farbwiedergabe noch eine Lichtausbeute angegeben. Eigene Messungen haben ergeben, daß obige Füllungen unter den angegebenen Betriebsbedingungen höchstens eine Farbwiedergabe von $R_a = 60$ und eine Lichtausbeute von 60 lm/W erreichen.

45

[0008] Aus der EP-PS 627 759 ist eine Metallhalogenidlampe hoher Lichtausbeute bekannt, die Quecksilber als Puffergas verwendet. Ein Ausführungsbeispiel zeigt auch eine quecksilberfreie Füllung für Tageslichtanwendung mit einer Farbtemperatur von 5350 K unter Verwendung von HfBr_4 als Metallhalogenid sowie einer Zugabe von elementarem Zinn. Dabei übernimmt das Xenon (Kaltfülldruck 1 bar) die Rolle des Puffergases. Diese Lampen weisen jedoch enorme Wiederezündspitzen von etwa 600 V auf und sind daher nur mit aufwendiger Schaltungstechnik zu betreiben.

50

[0009] Andererseits werden Hg-arme oder annähernd quecksilberfreie Füllungen vorwiegend für elektrodenlose Metallhalogenid-Hochdrucklampen eingesetzt, da die Einkopplung der elektrischen Energie über elektromagnetische Wellen mit zunehmender Hg-Dichte abnimmt und in äußeren Plasmaschichten abgeschirmt wird. Auch in diesen Fällen von Metallhalogenidlampen werden vorwiegend Xenon (Xe) oder andere Edelgase als Puffergase genutzt oder Hg in sehr kleinen Mengen ($< 1 \text{ mg}/\text{cm}^3$, "im wesentlichen quecksilberfrei") eingefüllt. Diese Technik ist jedoch sehr aufwendig und für Lampen kleiner Leistung (unter 250 W) ungeeignet, da die Lichtausbeute dann drastisch abnimmt.

55

Darstellung der Erfindung

[0010] Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Beleuchtungssystem gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs

1 bereitzustellen, dessen quecksilberfreie Füllung Eigenschaften erzielt, die denen von quecksilberhaltigen Metallhalogenidlampen gleichwertig sind. Als wesentliche Eigenschaften wird dabei die gleichzeitige Erzielung eines Farbwiedergabeindex von mindestens $R_a = 75$ und einer Lichtausbeute von mindestens 75 lm/W angesehen.

[0011] Diese Aufgabe wird durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 1 gelöst. Besonders vorteilhafte Ausgestaltungen finden sich in den abhängigen Ansprüchen.

[0012] Die zugrunde liegende Aufgabe erfordert einen Ersatzstoff oder ein Gemisch von Ersatzstoffen für Hg in Hochdrucklampen bei gleichzeitig weitgehender Erhaltung der lichttechnischen und elektrischen Eigenschaften der typischen Metallhalogenid-Hochdrucklampe.

[0013] Wesentlich für die Erfindung ist auch, daß die bewährte elektrodenbehaftete Technik beibehalten wird, damit auch kleine Leistungen realisiert werden können.

[0014] Das Entladungsgefäß kann dabei, wie an sich bekannt, aus Quarzglas bestehen. Besonders bevorzugt ist aber ein Entladungsgefäß aus keramischem, transparentem oder transluzentem Material, das thermisch höher belastbar ist. Dieses Material kann aus monokristallinem Metalloxid (z.B. Saphir), polykristallin gesintertem Metalloxid (z.B.: PCA: Polykristallin, dicht gesintertem Aluminiumoxid, Yttrium-Aluminium-Garnet oder Yttriumoxid) oder aus polykristallinem nichtoxidativem Material (z.B. AlN) bestehen.

[0015] In der Literatur wird als Ersatz für Hg als Puffergas hauptsächlich Xe als schwerstes der stabilen Edelgase verwendet. Es kann bei Verwendung von Entladungsgefäßen aus Quarzglas durch Ausfrieren eingefüllt werden, so daß die Lampenfüllung das Puffergas im Überdruck enthält. Beim Einsatz von Keramikkörpern als Entladungsgefäß kann dieses Füllverfahren wegen des entstehenden hohen Temperaturgefälles entlang des Entladungsgefäßes zu Sprüngen führen und ist deswegen nur mit hohem Aufwand und Risiko anwendbar.

[0016] Ohnehin liefert Xenon als Puffergas nur einen geringen Beitrag (10 bis 20%) zum Spannungsgradienten in der Lampe.

[0017] In einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung handelt es sich um eine quecksilberfreie elektrodenbehaftete Metallhalogenid-Lampe mit keramischem Entladungsgefäß in einem evakuierten Außenkolben aus Quarzglas oder Hartglas mit hoher Lichtausbeute (typ. > 80 lm/W), und hohem Farbwiedergabeindex (typ. $R_a > 80$).

[0018] Mit den erfindungsgemäß Füllsubstanzen läßt sich bevorzugt der Bereich warmweißer bis neutralweißer Farbtemperaturen (typ. 3000 - 4500 K) realisieren. Es ist u.U. aber auch möglich, tageslichtweiße Farbtemperaturen (um 5300 K) mit hohem R_a (ca. 90) zu erzielen.

[0019] Folgende Füllkomponenten mit speziellen Funktionen für den Lampenbetrieb werden erfindungsgemäß verwendet:

1. Als Startgas zur Zündung der Lampen und gleichzeitig als Puffergas wird Edelgas (Ne, Ar, Kr, Xe oder Gemische hieraus) verwendet. Der Mindestfülldruck (kalt) ist 1 mb. Der typische Druckbereich liegt bei einigen mbar bis 1 bar. Unter Zuhilfenahme spezieller Verschlusstechniken (Laserschweißen von Durchführungen aus Cermet) ist es im Falle der Verwendung eines keramischen Entladungsgefäßes sogar möglich, das Edelgas als Puffergas mit einem Kaltfülldruck von mehr als 1 bar einzusetzen.

2. Als Spannungsgradientenbildner wird mindestens ein Metallhalogenid mit hohem Elektronenstoßquerschnitt verwendet, das im Betrieb der Lampe (bei einer Wandtemperatur des Entladungsgefäßes von ca. 900 bis 1100 °C, wobei die Cold Spot Temperatur deutlich niedriger liegen kann) einen beträchtlichen Dampfdruck (bevorzugt mindestens 0.5 bar) erreicht. Denn der Spannungsgradient ist vornehmlich durch diese beiden Faktoren bedingt. Erfindungsgemäß sollen diese Metallhalogenide den Spannungsgradienten im Entladungsbogen hauptsächlich (mit einem Anteil von mindestens 50 %) bestimmen. Im wesentlichen ist dieses Metallhalogenid ein Ersatzstoff für Hg in der Hinsicht, daß es den Teilaspekt der Einstellung des Spannungsgradienten abdeckt.

3. Die Füllung enthält weiterhin mindestens einen Lichtbildner, der hauptsächlich zur Lichterzeugung beiträgt. Bevorzugt sind Metallhalogenide, zusätzlich können auch Metalle eingesetzt werden.

[0020] Unter Halogen ist hier und im folgenden immer Jod, Brom oder Chlor, aber nicht Fluor gemeint. Entsprechendes gilt für Halogenide.

[0021] Entsprechende Dampfdruckkurven finden sich beispielsweise im Tabellenwerk von Landolt-Börnstein „Gleichgewichte Dampf-Kondensat und osmotische Phänomene“, Springer-Verlag Heidelberg, 1960. In der Darstellung

$$P = 10^{(A/T+B)}$$

(mit P = Dampfdruck in atm, T = Temperatur in Kelvin) sind A und B Konstanten, wobei diese Konstanten nachfolgend für einige hier wichtige Metallhalogenide angegeben sind:

Tab. 1

Metallhalogenid	Konstante A	Konstante B
AlBr_3	-2666	5,038
AlJ_3	-3768	5,758
HfBr_4	-5257	8,816
InBr	-5017	5,301
InJ	-5384	5,387
MgJ_2	-11136	10,470
ZnJ_2	-5629	5,596

[0022] Dabei ist zu beachten, daß obige Beziehung vor allem in der Anlaufphase, bei relativ niedrigen Temperaturen, sowie im gesättigten Betrieb, bei dem ein Bodensatz verbleibt, eine entscheidende Rolle spielt. Ein Teil der Metallhalogenide, vor allem die Spannungsgradientenbildner, kann bevorzugt auch ungesättigt betrieben werden.

[0023] Vorteilhaft werden bei einigen Füllungszusammensetzungen erste Zusatzadditive, bevorzugt Metallhalogenide, zur Verbesserung der elektrischen Lampeneigenschaften und zur Beeinflussung des Bogentemperaturprofils verwendet. Dafür eignen sich insbesondere Metalle oder Metallverbindungen, deren Anregungs- bzw. Ionisierungsenergien im Bereich der o.e. Metallhalogenide liegen und bevorzugt darunter liegen.

[0024] Außerdem können weitere zweite Zusatzstoffe, bevorzugt elementare Metalle, der Füllung zugesetzt werden, die die Wiederzündspitzen herabsetzen, indem sie als Getter für freie elektronegative Gasanteile wirken. Ihre Halogenide weisen geringere Bildungsenthalpien auf als Metallverbindungen, die sich möglicherweise aus dem Material der Elektroden und dem der in der Lampe befindlichen Stromzuführungen (W, Mo) bilden können. Sie dienen im wesentlichen zur Verlängerung der Lebensdauer der Lampen und unterstützen einen effektiven, stabilen chemischen Kreisprozeß. Dabei handelt es sich meist um elementare Metalle, die im Überschuß zu den bereits eingefüllten Halogeniden dieser Metalle vorhanden sind, insbesondere Aluminium, Zinn und Magnesium. Gute Erfahrungen wurden auch mit elementarem Tantal erzielt. Die maximale Dosierung dieser Metalle ist jeweils 10 mg/cm^3 .

[0025] Grundsätzlich sind für die vorliegende Erfindung Entladungsgefäße aus Quarzglas verwendbar. Bevorzugt sind aber Lampen mit Keramikgefäß, die wesentlich höhere Wandtemperaturen gestatten. So läßt sich ein deutlich höherer Gesamtdruck und Partialdampfdruck sowie eine höhere Teilchendichte der zur Lichterzeugung genutzten Stoffe einstellen. Außerdem werden die Bedingungen für die Möglichkeit der Metallhalogenid-Komplexbildung und die Möglichkeit der Bildung von übersättigten Metaldämpfen zur Bildung von Metall-Atom-Clustern durch die Erhöhung der Wandtemperatur verbessert.

[0026] Im einzelnen werden folgende Füllungsbestandteile verwendet, wobei die Lampen vorwiegend, zumindest in bezug auf Teilkomponenten, ungesättigt betrieben werden:

1. Startgase: Ne, Ar, Kr, Xe und Gemische hieraus. Diese Gase können auch als Puffergas dienen. Typische Füllmengen sind 10-500 mbar (Kaltfülldruck), besonders bevorzugt ist ein Bereich von 50-300 mb.

2. Als Spannungsgradientenbildner eignen sich Halogenide (bevorzugt Bromide und/oder Jodide) der folgende Metalle: Al, Bi, Hf, In, Mg, Sc, Sb, Sn, Ti, Zn, Zr, Ga. Sie können einzeln oder als Mischung verwendet werden (vgl. Tabelle 2). Typische Füllmengen sind: $1-200 \text{ } \mu\text{mol/cm}^3$. In besonders bevorzugten Ausführungsformen liegt der Anteil dreiwertiger Metallhalogenide (z.B. Al-Halogenide) bei $5-50 \text{ } \mu\text{mol/cm}^3$, der von vierwertigen Metallhalogeniden (z.B. Hf-Halogenide) bei $2-20 \text{ } \mu\text{mol/cm}^3$, und der von ein- bis zweiwertigen Metallhalogeniden (beispielsweise In-Halogenide, bevorzugt ZnJ_2) bei $1-100 \text{ } \mu\text{mol/cm}^3$. Außerdem eignet sich auch elementares Zn als Spannungsgradientenbildner, vor allem als Zusatz zu einem weiteren Metallhalogenid. Damit läßt sich die Brennspannung sehr gut in etwa auf den Wert bei einer Hg-haltigen Füllung (ca. 75 bis 110 V/cm) einstellen.

3. Als Lichtbildner mit hauptsächlichem Beitrag zur Lichterzeugung und Einstellung der Farbtemperatur und Farbwiedergabe eignen sich die Halogenide (bevorzugt Bromide, Jodide) folgender Metalle: Na, Pr, Nd, Ce, La, Tm, Dy, Ho, Tl, Sc, Hf, Zr. Sie können einzeln oder als Mischung verwendet werden (vgl. Tabelle 3). Ihre Dosierung liegt typisch bei 1-30 mg/cm³. Dabei ist für keramische Entladungsgefäße mit hohem Totvolumen (Kapillarrohrtechnik mit Glaslot) eine deutlich höhere (etwa fünf- bis zehn-fach höhere) Dosierung (typisch 15 bis 30 mg/cm³) angezeigt als für keramische Entladungsgefäße in Sinterverschlußtechnik oder für Quarzglasgefäße (typisch 3 bis 10 mg/cm³). Ein spezielles Beispiel ist eine Sechs-Komponenten-Mischung TlJ/DyJ₃/TmJ₃/HoJ₃/CeJ₃/CsJ (5 mg) in einem Lampenvolumen von 0,3 cm³, so daß sich eine spezifische Menge von 17 mg/cm³ in Kapillartechnik ergibt.

4. Als erstes Zusatzadditiv mit starkem Einfluß auf das Temperaturprofil der Bogensäule eignen sich Metallhalogenide des Cäsium. Fehlt Natrium als Lichtbildner, kann auch Lithium (mit-)verwendet werden.

5. Für die elementaren Metallzusätze, die als zweite Zusatzstoffe dienen können, wird eine typische Dosierung von 0,5 bis 10 mg/cm³ verwendet. Insbesondere wird eine Zugabe von Al (ca. 1 mg/cm³) bzw. Sn (ca. 1 mg/cm³) bzw. In (ca. 3 mg/cm³) empfohlen.

[0027] Bevorzugt liegt das Verhältnis der Gesamt-Molmenge aller eingefüllten Metalle zur Gesamt-Molmenge aller eingefüllten Halogene zwischen 0.1 und 10.

[0028] Zur Unterdrückung der Elektrodenkorrosion durch die vermehrte Bildung von WOX₂ (X = Halogen) können auch zusätzlich Sauerstoffgetter (wie z.B.: SnP) eingesetzt werden.

[0029] Ein entscheidender Durchbruch in den Bemühungen, eine konkurrenzfähige quecksilberfreie Metallhalogenidlampe zu schaffen, wurde dadurch erzielt, daß die Betriebsweise für derartige Lampen sorgfältig analysiert und optimiert wurde. Dieser Aspekt wurde bisher bei der Entwicklung quecksilberfreier Metallhalogenid-Hochdrucklampen völlig vernachlässigt.

[0030] Bei den vorbekannten quecksilberhaltigen Metallhalogenidlampen tritt (auch bei 50 Hz-Betrieb) keine Wiederzünd-Spannungsspitze auf, da Quecksilber der hauptsächliche Spannungsgradientenbildner ist. Die Menge an freiem Halogen im Entladungsgefäß ist so gering, daß das Halogen praktisch keine freien Ladungsträger einfängt. Das Entladungsplasma zerfällt daher nicht schnell. Dagegen hat sich bei den Lampen mit erfindungsgemäßer Füllung herausgestellt, daß im konventionellen Sinusbetrieb bei 50 Hz hohe Wiederzünd-Spannungsspitzen auftreten können, die zum vorzeitigen Verlöschen der Entladung bei erfindungsgemäßer Lampe führen. Dies liegt daran, daß das Quecksilber durch eine Metallhalogenidkomponente ersetzt ist. Dann ist der Halogenanteil im Entladungsgefäß relativ hoch. Freie Ladungsträger werden von Halogenen sehr schnell eingefangen, so daß das Plasma sehr schnell zerfällt. Aus diesem Grund ist für den Betrieb der erfindungsgemäßen Lampen ein konventionelles Vorschaltgerät weniger gut geeignet.

[0031] Der Betrieb der Lampen an Wechselspannung erfolgt erfindungsgemäß so, daß die Rate der Änderung der Lampenspannung (absolut gesehen handelt es sich um einen Spannungsanstieg in negativer oder positiver Richtung) während des Polaritätswechsels so schnell erfolgt, daß Wiederzündspitzen im zeitlichen Verlauf der Lampenspannung stark reduziert werden. Dadurch wird ein Verlöschen der Lampe zuverlässig verhindert. Diese Wiederzündspitzen entstehen durch das Verlöschen des Entladungsbogens beim Polaritätswechsel und durch das Abkühlen der Elektroden.

[0032] Die Höhe der noch akzeptablen Wiederzündspitze richtet sich einerseits nach der Leerlaufspannung, also nach der Versorgungsspannung, die maximal erreichbar ist, und andererseits nach der Ansprech-Spannung eines im Spannungspfad befindlichen Zündgeräts, welches ab Überschreiten einer bestimmten Spannungshöhe (eben der Ansprech-Spannung) Zündpulse auf der Lampenspannung erzeugt. Eine fehlerhafte Betriebsweise mit zu hoher Wiederzündspitze führt zu einer Überlastung des Zündgeräts und verkürzt dessen Lebensdauer.

[0033] In den Flanken (also dem Bereich größter Spannungsänderung) sollte die Spannungsänderungsrate der Lampenspannung, die als der Absolutwert der Spannungsänderung geteilt durch die Zeitdauer der Spannungsänderung definiert ist (daher ist sie im folgenden oft vereinfacht als Spannungsanstiegsrate bezeichnet), mindestens bei 0,3 V/µs, besonders bevorzugt bei mindestens 1 V/µs liegen. Gute Ergebnisse werden mit etwa 3 V/µs erreicht.

[0034] Eine ausreichende Spannungsanstiegsrate läßt sich im Prinzip durch eine relativ hochfrequente sinusförmige Wechselspannung realisieren (mindestens 1 kHz, bevorzugt mehr als 250 kHz). Prinzipiell eignen sich auch andere ähnliche Spannungsformen (beispielsweise Sägezahnform) mit vergleichbarer Dauer der Halbperiode.

[0035] Grundsätzlich ist die Verwendung von konventionellen Zündgeräten möglich. Dabei liegt (unter Anwendung einer Sinus-Spannung) die Ansprech-Spannung bei 200 V_{eff} (= 282 V_{pk}), entsprechend etwa 85% der Leerlaufspannung (bzw. Versorgungsspannung). Im folgenden ist als Beispiel angenommen, daß letztere der üblichen Netzspannung von 230 V_{eff} entspricht. Analog kann selbstverständlich auch eine Mittelvolt-Netzspannung (ca. 110 V_{eff}) verwendet werden. Akzeptable Wiederzündspitzen der Lampenspannung (hier interessiert hauptsächlich die Peak-Spannung und weniger der Effektivwert der Spannung) müssen deutlich unter der Ansprechspannung liegen. Für die Wiederzündspitze ist daher ein Wert von etwa 75% der Leerlauf-Spannung akzeptabel. Bei 230 V_{eff} ergibt dies beispielsweise einen Wert von 173 V_{eff}, also eine Peak-Spannung von 244 V_{pk}.

[0036] Besonders bevorzugt ist der Betrieb an einem elektronischen Vorschaltgerät mit Rechteck-Stromeinprägung, da diese Pulsform von vornherein steile Flanken garantiert. Daher reicht im Prinzip bereits eine Frequenz von 50 Hz aus, um die Spannungsanstiegsrate beim Polaritätswechsel auf den oben aufgeführten Bereich über 0,3 V/ μ s einzustellen. Dies liegt an der Steilheit der Flanken des Rechtecks. Es ist aber auch ein Betrieb mit höherer Frequenz (beispielsweise 120 Hz oder mehr) möglich. Vorteilhaft ist eine Zeitdauer des Spannungsanstiegs von höchstens etwa 400 μ s, in einer besonders bevorzugten Ausführungsform beträgt sie weniger als 100 μ s. Sehr gut geeignet ist ein Wert von etwa 10 bis 50 μ s.

[0037] Ein geeignetes elektronisches Vorschaltgerät ist prinzipiell beispielsweise aus der US-PS 4 291 254 oder der DE-OS 44 00 093 vorbekannt, auf die beide ausdrücklich bezug genommen wird. Dort ist jedoch vor allem der Aspekt der durch die hohe Betriebsfrequenz erhöhten Lichtausbeute (bis 8%) berücksichtigt.

[0038] Ein besonderer Vorteil des Rechteckbetriebs ist, daß dadurch die Grundlage für einen stabilen Dauerbetrieb ohne akustische Resonanzen geschaffen wird. Im Prinzip ist auch eine hochfrequente sinusförmige Anregung möglich, wenn der Betrieb bei Frequenzen > 1 kHz mit sinusförmigen Spannungsflanken erfolgt, wobei deren Zeitskala typisch den steilen Flanken bei Rechteckbetrieb (Größenordnung 10 bis 100 μ s) entspricht. Besonders im Anlauf ist wegen der Gefahr akustischer Resonanzen eine hohe Frequenz (>250 kHz) vorteilhaft. Wichtig dabei ist, daß die Spannungsanstiegsrate (in V/ μ s) derart eingestellt wird, daß Wiederzündspitzen, die auf die Brennspannung der Lampe aufgeprägt sind, möglichst unterdrückt werden. Dann ist auch bei sinusförmiger Wechselspannung ein stabiler Betrieb möglich.

[0039] Ein weiterer vorteilhafter Aspekt des Rechteckstrombetriebs ist außerdem, daß die Leistung der Lampe im Betrieb auf wenige Prozent genau konstant gehalten werden kann (constant-wattage-Betrieb). Dabei sollte der Lampe während des Anlaufs in den ersten Minuten bereits mindestens 50% (bevorzugt mehr als 60%) der Nennleistung zugeführt werden. Vorteilhaft werden daher elektronische Vorschaltgeräte mit Rechteckbetrieb verwendet, mit denen sich ein "constant-wattage"-Betrieb realisieren läßt und das Auftreten von hohen Wiederzündspitzen zuverlässig vermieden wird. Prinzipiell ist eine Schaltung zum Betrieb einer Hochdruckentladungslampe mit konstanter Leistung beispielsweise aus der EP-A 680 245 bekannt.

[0040] Die besondere Problematik des Baus von quecksilberfreien Lampen soll durch folgende Betrachtung näher erläutert werden.

[0041] Frühere Versuche mit quecksilberfreien Entladungslampen basierten auf einer Xe-Entladung von einigen bar Druck mit einem Seltenerdhalogenid-Zusatz als Lichtbildner. Xenon ist hier der ausschließliche Spannungsgradientenbildner. Trotz des hohen Xenondrucks liegt die Brennspannung dieser Lampen aber nur bei etwa 35 V (das entspricht etwa 40 % des Wertes für Quecksilber von ca. 87 V). Die zum Verdampfen der Halogenide erforderliche Lampenleistung muß daher durch Einprägen eines entsprechend hohen Stromes sichergestellt werden. Dies wiederum erfordert sehr massive Elektroden, was die Zündung und die Bogenübernahme bei diesen Lampen erschwert.

[0042] Demgegenüber besteht der erfindungsgemäße Lösungsansatz jetzt darin, statt Xenon primär Jodide oder Bromide leicht verdampfbarer Metalle zu verwenden, um einen dem Hg vergleichbaren Spannungsgradienten zu erzeugen. Brom und Jod (atomar oder molekular) alleine oder in Kombination haben einen großen Wirkungsquerschnitt für Elektroneneinfang. Dadurch wird die Brennspannung einer Lampe hochgesetzt unter Bildung negativer Ionen bzw. Moleküle.

[0043] Das Konzept des Spannungsgradientenbildners kann dahingehend modifiziert werden, daß nicht die Metallhalogenide allein diese Funktion übernehmen, sondern ein gewisser Beitrag zum Spannungsgradienten (bis zu 40 %) durch einen entsprechend hohen Xenondruck (mehr als 500 mb Kaltfülldruck) beigesteuert wird. Dies erlaubt eine gute Abstimmung im Hinblick auf möglichst einfache Füllungssysteme, bei denen ein Teil der als Spannungsgradientenbildner verwendeten Metallhalogenide auch als Lichtbildner fungieren, beispielsweise Halogenide des Al, In, Mg und vor allem des Tl. Vorteilhaft an diesem Konzept ist, daß bei einem Anlauf mit hohem Anlaufstrom (typisch 2 A) die Elektroden vor zu starker Überhitzung geschützt werden, wenn Xenon als Zündgas und Gradientenbildner wirkt.

[0044] Die Verwendung eines niedrigen Spannungsgradienten von weniger als 45 V/cm sollte aus lampentechnologischen Gründen möglichst vermieden werden, weil der dabei erforderliche hohe Strom relativ dicke Elektroden erfordert, die dann wegen ihrer Nähe zur Brennerwand dort schädliche Effekte auslösen können. Hinzu kommt, daß bei sehr massiven Elektroden die Kaltstarteigenschaften schlechter werden mit der negativen Folge von mehr Zerstäubung von Elektrodenmaterial, was zur vorzeitigen Schwärzung der Wand des Entladungsgefäßes führt.

Figuren

[0045] Im folgenden soll die Erfindung anhand mehrerer Ausführungsbeispiele näher erläutert werden. Es zeigen:

- Figur 1 eine Metallhalogenidlampe mit keramischem Entladungsgefäß;
- Figur 2 ein Spektrum einer Metallhalogenidlampe;
- Figur 3 eine Metallhalogenidlampe mit einem Entladungsgefäß aus Quarzglas;
- Figur 4 ein Diagramm, das die Brennspannung und Wiederzünd-Spitzenspannung als Funktion der Füllmenge

zeigt;

- Figur 5 eine keramische Metallhalogenidlampe mit speziellem Haltegestell;
- Figur 6 einen Schnitt durch eine Lampe mit dreizähliger Symmetrie;
- Figur 7 eine Darstellung des Wiederzündverhaltens bei unterschiedlicher Flankensteilheit;
- 5 Figur 8 die Wiederzünd-Spitzenspannung für die verschiedenen Spannungsformen aus Figur 7;
- Figur 9 eine Übersicht über Lichtausbeuten, Farbwiedergabeindizes und Brennspannungen verschiedener Füllungen;
- Figur 10 das Maintenance-Verhalten zweier Füllungen.

10 Beschreibung der Zeichnungen

[0046] In Figur 1 ist schematisch eine Metallhalogenidlampe mit einer Leistung von 70 W dargestellt. Sie besteht aus einem eine Lampenachse definierenden zylindrischen Außenkolben 1 aus Quarzglas, der zweiseitig gequetscht (2) und gesockelt (3) ist. Das axial angeordnete Entladungsgefäß 4 aus Al_2O_3 -Keramik ist in der Mitte 5 ausgebaucht und besitzt zwei zylindrische Enden 6a und 6b. Es kann aber auch zylindrisch sein mit länglichen Kapillarrohren als Stopfen, wie beispielsweise aus EP-A 587 238 bekannt. Das Entladungsgefäß ist mittels zweier Stromzuführungen 7, die mit den Sockelteilen 3 über Folien 8 verbunden sind, im Außenkolben 1 gehalten. Die Stromzuführungen 7, von denen eine ein Molybdän-Band zur Kompensation der großen Ausdehnungsunterschiede ist, sind mit Durchführungen 9, 10 verschweißt, die jeweils in einem Endstopfen 11 am Ende des Entladungsgefäßes eingepaßt sind.

[0047] Die Durchführungen 9, 10 sind beispielsweise Molybdän-Stifte. Beide Durchführungen 9, 10 stehen am Stopfen 11 beidseitig über und halten entladungsseitig Elektroden 14, bestehend aus einem Elektrodenschaft 15 aus Wolfram und einer am entladungsseitigen Ende aufgeschobenen Wendel 16. Die Durchführung 9, 10 ist jeweils mit dem Elektrodenschaft 15 sowie mit der äußeren Stromzuführung 7 stumpf verschweißt.

[0048] Die Endstopfen 11 bestehen im wesentlichen aus einem an sich bekannten Cermet mit der keramischen Komponente Al_2O_3 und der metallischen Komponente Wolfram oder auch Molybdän.

[0049] Am zweiten Ende 6b ist außerdem im Stopfen 11 eine achsparallele Bohrung 12 vorgesehen, die zum Evakuieren und Füllen des Entladungsgefäßes in an sich bekannter Weise dient. Diese Bohrung 12 wird nach dem Füllen mittels eines Stiftes 13, im Fachjargon als Stopper bezeichnet, oder mittels Schmelzkeramik verschlossen.

[0050] Grundsätzlich kann aber auch jede andere bekannte Konstruktion für das keramische Entladungsgefäß und für die Technik des Verschließens gewählt werden, siehe beispielsweise den eingangs erwähnten Stand der Technik oder die Schriften EP-A 528 428 und EP-A 609 477.

[0051] Die Füllung des Entladungsgefäßes besteht aus einem inerten Zündgas/Puffergas, hier Argon mit 250 mbar Kaltfülldruck und aus diversen Zusätzen an Metallhalogeniden.

[0052] Im einzelnen handelt es sich dabei um bis zu drei Spannungsgradientenbildner, eine geeignet gewählte Mischung als Lichtbildner sowie evtl. weitere Additive. Insbesondere hat sich TIJ in einer Doppelfunktion als Spannungsgradientenbildner und Lichtbildner bewährt, in Kombination mit weiteren Spannungsgradientenbildnern.

[0053] Tabelle 2 zeigt einige Füllungen, wobei Spannungsgradientenbildner und Lichtbildner voneinander getrennt dargestellt sind. Dabei ergeben sich Lichtausbeuten zwischen 78 und 98 lm/W bei gleichzeitig guter Farbwiedergabe zwischen $R_a = 76$ und 89. Die Lichtfarbe liegt im warmweißen bis neutralweißen Bereich (3500 bis 4250 K). Der Spannungsgradient liegt meist in der Größenordnung von 60 bis 120 V/cm. Überraschenderweise führen aber auch relativ niedrige Spannungsgradienten zwischen 45 und 60 V/cm noch zu guten lichttechnischen Werten. Zum Vergleich: der Spannungsgradient liegt bei einer konventionellen Metallhalogenidlampe mit Quecksilber-Füllung etwa zwischen 75 und 110 V/cm.

TABELLE 2

Spannungs- gradienten- bildner (Sp.grb.)	Gesamtmenge an Sp.gr.bildner (in μmol)	davon Anteil des TIJ (in μmol)	Kürzel für Lichtbildner/ Zusatzadditiv	Lichtaus- beute (lm/W)	Farbwieder- gabeindex Ra	Spannungs- gradient (in V/cm)	Verhältnis (gesamt) Metall:Hal	Tn (in K)
InJ + TIJ	10,5	1,4	MHS 8-5	89	89	49,2	0,92	4100
MgJ ₂ + TIJ	12,2	3,2	MHS 8-5	98	87	47,8	0,57	4250
MgJ ₂ +TIJ+HfBr ₄	8,6	2,2	MHP 4	98	88	58,9	0,73	4280
ZnJ ₂ + TIJ	7,1	3,9	MHS 8-5	90	86	68,9	0,67	3850
AlJ ₃ + TIJ	7,1	0,9	MHS 8-5	80	86	87,4	0,37	3700
MgJ ₂ + TIJ	18,1	1,9	MHS 8-6	78	81	45,6	0,53	4250
AlJ ₃ + TIJ	4,3	0,6	MHS 8-1	81	77	58,9	0,46	3500
HfBr ₄ + TIJ	5,6	0,6	MHS 8-6	82	76	69,4	0,34	3650
InBr + TIJ	13,5	3,2	MHS 8-5	92	87	49,3	0,97	4020
InBr+TIJ+HfBr ₄	8,8	2,2	MHP 4	93	89	68,9	0,67	4120
AlBr ₃	4,5	0	MHS 8-41	90	84	95,0	0,34	4200
AlBr ₃ + TIJ	8,7	4,2	MHS 8-5	88	81	94,5	0,49	3750
AlBr ₃ + TIJ	10,7	3,2	MHS 8-5	83	80	120,0	0,42	3900
Hg + TIJ	15,2	3,2	MHS 8-5	106	86	106,7	3,91	4650
Hg + TIJ	13,8	1,9	MHS 8-6	101	78	75,6	4,84	3400

[0054] In den letzten beiden Zeilen von Tabelle 2 sind zum Vergleich auch zwei konventionelle Metallhalogenidlampen mit Quecksilber enthaltender Füllung angegeben.

[0055] Als Lichtbildner wird auf die in Tabelle 3 gezeigten Metallhalogenid-Mischungen zurückgegriffen, wobei auch

CsJ als Zusatzadditiv der ersten Art berücksichtigt ist. Besonders geeignet als Lichtbildner ist eine Drei-Komponenten-Mischung, bestehend aus Thallium als erster Komponente, Natrium und/oder Cer als zweiter Komponente und mindestens einem Seltenerdmetall als dritter Komponente.

[0056] In Fig. 2 ist das Spektrum einer Lampe mit einer Füllung gemäß Zeile 2 von Tabelle 2 gezeigt. Sie basiert auf MgJ_2 und TIJ als Spannungsgradientenbildner.

TABELLE 3

Kürzel für Lichtbildner/ Zusatzadditiv	Anteil des TIJ	reine Licht- bildner					Zusatz- additiv
(Summe = 100%)	TIJ (Mol-%)	NaJ (Mol-%)	TmJ ₃ (Mol-%)	DyJ ₃ (Mol-%)	HoJ ₃ (Mol-%)	CeJ ₃ (Mol-%)	CsJ (Mol-%)
MHS 8-1	9	77	7	7	0	0	0
MHS 8-5	29	0	15	15	15	15	11
MHS 8-6	9	67	7	7	0	0	10
MHS 8-41	0	0	23	23	26	28	0
MHP 4	8	62	10	10	10	0	0

[0057] Bei allen Füllungen wurde ein Lampenvolumen von $0,3 \text{ cm}^3$ verwendet. Der Elektrodenabstand ist 9 mm. Die spezifische Wandbelastung (definiert als elektrische Leistung/innere Oberfläche) variiert zwischen 15 und 50 W/cm^2 . Im Mittel beträgt sie 25 W/cm^2 . Die spezifische elektrische Leistungsdichte variiert zwischen 100 und 500 W/cm^3 . Im Mittel beträgt sie 235 W/cm^3 .

[0058] In Figur 9 wird eine Übersicht über eine Reihe von Füllungen, basierend auf verschiedenen Spannungsbildnern und Lichtbildnern, gegeben, wobei jeweils die Lichtausbeute (weiße Säule, in lm/W), der Farbwiedergabeindex Ra (graue Säule) und die Lampenbrennspannung (schwarze Säule, in V) angegeben sind. Der Ordinatenwert gilt für alle drei Größen. Dabei wurden jeweils die vier Lichtbildnersysteme MHS 8-6, MHP 4, MHS 8-5 und MHS 8-41 untersucht, deren Zusammensetzung in Tab. 2 angegeben ist. Bei HfBr_4 wurde auch metallisches Sn als Zusatz getestet. Es zeigt sich, daß die meisten Füllungen die gewünschten Eigenschaften erzielen.

[0059] Die Lampen wurden jeweils an einem elektronisches Vorschaltgerät mit Rechteckstromeinprägung in einem geregelten Leistungsbetrieb mit $I_{\text{eff}} < 1,8 \text{ A}$ betrieben.

[0060] Die Lebensdauer derartiger Lampen liegt in der Größenordnung von 3000 bis 6000 Stunden. Günstig für eine relativ lange Lebensdauer haben sich Füllungen mit Halogeniden des In oder Mg erwiesen. Ein besonders gutes Maintenance-Verhalten hinsichtlich des Lichtstroms zeigen Füllungen, die Halogenide des Hf oder Zr in kleinen Mengen als Zusatz zu einem hauptsächlich als Spannungsgradientenbildner eingesetzten Metallhalogenid verwenden. Nach 1500 Stunden Betriebsdauer liegt der Abfall der Lichtausbeute bei wenigen Prozent. Figur 10 zeigt zwei Beispiele. Die eine Füllung (Symbol \square) basiert auf InBr (1 mg), HfBr_4 (0,7 mg) und dem Lichtbildnersystem MHP 4 (8 mg) der Tab. 3. Die andere Füllung (Symbol \triangle) basiert auf MgJ_2 (1,5 mg), HfBr_4 (0,5 mg) und wieder dem Lichtbildnersystem MHP 4 (8 mg) der Tab. 3.

[0061] In einem weiteren Ausführungsbeispiel (Fig. 3) ist die Lampe eine Metallhalogenidlampe 18 mit 70 W Leistung, die einseitig gequetscht ist, wobei auch das Entladungsgefäß 19 ein einseitig gequetschter Quarzglaskolben ist. Nähere Einzelheiten hierzu findet man beispielsweise in US-PS 4 717 852. Ansonsten entsprechen gleiche Bezugsziffern analogen Bauteilen wie in Figur 1. Im Außenkolben 1 ist außerdem ein Getter 17 untergebracht.

[0062] Hierfür wurde eine neutralweiße Füllung eingesetzt auf der Basis von Spannungsgradientenbildnern, die leicht verdampfbare Halogenide bilden (AlJ_3 , SnJ_4 , HfJ_4) und die dem Spannungsgradienten von Hg nahekommen. Als Startgas wurde eine Xe-Füllung von 800 mbar verwendet.

[0063] Bei einem Prinzipversuch mit KVG-Betrieb waren sehr hohe Wiedertzündspitzen vorhanden, die auch den

Effektivwert der Brennspannung hochsetzen. Auch die Höhe der Wiederzündspitze (große Symbole) nimmt wie die Brennspannung (kleine Symbole) linear mit der Füllmenge der Halogenide zu (vgl. Figur 4).

[0064] Den stärksten Spannungsgradienten zeigt aufgrund seines hohen Dampfdrucks eine HfJ_4 -Füllung (symbolisiert als ■), während AlJ_3 (symbolisiert als ●) und SnJ_4 (symbolisiert als ▲) etwa gleiches Verhalten zeigen, auch bei unterschiedlicher Dosiermenge.

[0065] Daher sollte der Betrieb der erfindungsgemäßen Lampen bevorzugt mit einem Rechteck-EVG erfolgen, bei welchem die Flanken des Rechteckpulses so steil sind (Größenordnung ca. 10 bis 50 μsec), daß keine merklichen Wiederzündspitzen mehr auftreten. Dann erniedrigt sich beispielsweise bei SnJ_4 -Dosierung (11 mg) die Brennspannung von 92.8 V auf 78.0 V, also um 14.9 V (symbolisiert als großes Δ in Figur 4). Die zugehörige Wiederzündspitze, die bei KVG-Betrieb noch einen Wert von 329 V besaß, verschwindet nahezu völlig (symbolisiert als kleines Δ in Figur 4).

[0066] Da die Lampen nach der Übernahme des Entladungsbogens anfänglich nur eine Brennspannung von ca. 20 V haben (weil noch keine Halogenide verdampft sind), beträgt die Leistung am KVG nur etwa 25-30 W, da die Drossel den Strom auf etwas mehr als 1 A begrenzt. Mit dieser niedrigen Leistung bleibt die Lampe so kalt, daß die Halogenide nicht verdampfen können und die Lampe in der Anlaufphase hängenbleibt. Für die Messungen am KVG wurde daher der Lampenstrom mittels einer Regeldrossel im Anlauf auf knapp 2 A erhöht. Dies reicht zur Verdampfung der Halogenide aus, was dann ein Ansteigen der Brennspannung bewirkt, so daß der Strom wieder zurückgenommen werden kann.

[0067] Ein sehr gutes Anlaufverhalten wird mit einem elektronischen Vorschaltgerät (EVG) realisiert werden, das der Lampe eine ausreichend hohe Leistung einprägt ("constant-wattage-Betrieb"). Das EVG hat zusätzlich - wie oben erwähnt - den wichtigen Vorteil, daß es das Auftreten von Wiederzündspitzen vermeidet.

[0068] Es zeigte sich im Verlauf der Untersuchungen, daß mit HfJ_4 allein als Spannungsgradientenbildner dosierte Lampen besonders schwierig zu zünden und nur schwer stabil zu betreiben sind. Aus diesem Grund ist die Verwendung von AlJ_3 , AlCl_3 und/oder SnJ_4 als wesentlicher Gradientenbildner vorteilhafter.

[0069] In einem weiteren Ausführungsbeispiel wurde als Startgas Argon mit einem Kaltfülldruck von 150 mbar verwendet. Weiterhin wurden neben den Spannungsgradientenbildnern AlJ_3 bzw. SnJ_4 als Lichtbildner Zusätze von DyJ_3 bzw. TmJ_3 (jeweils 0,27 mg) und jeweils TlJ (0,1 mg) und NaJ (0,4 mg) verwendet, um die Emission im sichtbaren Spektralgebiet zu stärken. Das DyJ_3 wird als Zusatz zum AlJ_3 verwendet, um im Roten eine bessere Emission zu erreichen. Hingegen wird das TmJ_3 als Zusatz zum SnJ_4 verwendet, um die Emission im Blauen und Grünen anzuheben.

[0070] Es konnte trotz des Verzichts auf Xenon mit dem System $\text{AlJ}_3/\text{DyJ}_3/\text{NaJ}/\text{TlJ}$ eine Brennspannung von 64,1 V erreicht werden.

[0071] In einem weiteren Ausführungsbeispiel wurde eine ganz ähnliche Füllung für eine Metallhalogenidlampe mit keramischem Entladungsgefäß verwendet. Die Füllung besteht aus 5 mg AlJ_3 als Spannungsgradientenbildner und den Lichtbildnern DyJ_3 , TmJ_3 , TlJ , NaJ . Das keramische Entladungsgefäß hat ein Volumen von 0,3 cm^3 und einen Elektrodenabstand von 9 mm. Erreicht wurden 51,2 V Brennspannung mit einem sehr hohen Lichtstrom von 5 klm.

[0072] Die relativ kleine Brennspannung ist auf reichlich verdampft NaJ zurückzuführen, weil in dem kleinen Brennvolumen eine große Leistungsdichte von $70 \text{ W}/0,3 \text{ cm}^3 = 233 \text{ W}/\text{cm}^3$ vorhanden ist.

[0073] In Figur 5 ist ein weiteres Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Metallhalogenidlampe 20 mit einer Leistung von 70 W gezeigt. Figur 5a und 5b zeigen jeweils um 90° gedrehte Seitenansichten, Figur 5c eine Ansicht von oben. In Figur 5d ist ein Schnitt durch eine Lampe entsprechend Figur 5c gezeigt.

[0074] Im einzelnen handelt es sich um ein keramisches elliptisches Entladungsgefäß 21 mit langgezogenen Kapillarstopfen 22 an den Enden. Das Haltegestell 23 ist an den Folien 24a, 24b des einseitig gequetschten Außenkolbens 25 mit einem Keramiksockel vom Typ G12 befestigt. Die quetschungsnahe Durchführung 26 ist über eine kurze abgewinkelte Stromzuführung 27 mit der einen Folie 24a verbunden. Die quetschungsferne Durchführung 28 ist über ein Leitersystem mit zweizähliger Symmetrie und einer kurzen Stromzuführung 36 mit der anderen Folie 24b verbunden. Das Leitersystem besteht aus einem halbkreisförmigen Bogen 30, der in Höhe der quetschungsnahen Durchführung 26 in einer Ebene quer zur Lampenachse innen an der Wand des Außenkolbens geführt ist. An den beiden Enden des Bogens 30 erstrecken sich parallel zur Lampenachse zwei um 180° gegeneinander versetzte Stäbe 31 als Rückführungen zum quetschungsfernen Ende der Lampe. Sie sind über einen Verbindungsbogen 32, der in einer die Lampenachse einschließenden Ebene liegt und am quetschungsfernen abgerundeten Ende 29 des Außenkolbens anliegt, miteinander verbunden. Im Scheitel ist der Verbindungsbogen 32 mit der quetschungsfernen Durchführung 28 verschweißt. Diese ist mit ihrem Ende in einem Kanal 35 an der Spitze des abgerundeten Endes 29 verankert.

[0075] Mit einem derartigen Gestellaufbau mit zwei- oder auch mehrzähliger Symmetrie (Figur 5 und 6) lassen sich magnetische Einflüsse auf den Entladungsbogen, die durch die Rückführungen (31;38) verursacht werden, vermindern bzw. nahezu beseitigen. Denn die Auslenkung des Entladungsbogens ist bei quecksilberfreier Füllung besonders kritisch. Dies liegt daran, daß die Ersatzstoffe Metallhalogenide mit hohem Dampfdruck sind, so daß es bei vertikaler Brennlage aufgrund der magnetischen Wirkung im Falle einer einzigen, und dementsprechend asymmetrischen, Rückführung zu einer starken Auslenkung des Entladungsbogens kommen würde. Die Ursache ist das von der Rückführung (31;38) erzeugte Magnetfeld, das auf den im Entladungsbogen entgegengerichteten Strom abstoßend wirkt. Dies kann

zu starker thermischer Überlastung und inhomogener Temperaturverteilung an der Wand des Entladungsgefäßes führen und letztlich dessen Zerstörung bewirken. Es wurde eine Temperaturdifferenz von mehr als 300° gemessen.

[0076] Ein typischer Wert für den Strom I ist 1 bis 2 A. Die den Entladungsbogen auslenkende Kraft ist proportional I^2 sowie der effektiven Länge l der Rückführung, die der Länge des Bogens entspricht, und umgekehrt proportional dem Abstand r zwischen Rückführung und Entladungsbogen:

$$K \propto F(f) \times I^2 \times \frac{l}{r}. \quad (1)$$

[0077] Da der Elektrodenabstand l (9 mm) und der Abstand r (hier etwa 7 mm) immer etwa gleiche Größenordnung haben, ist die auslenkende Kraft vom Quotienten dieser beiden Größen nahezu unabhängig. Dagegen hängt die auslenkende Kraft K ganz empfindlich (quadratisch) vom Strom I ab. Außerdem kommen noch spezifische Eigenschaften der Füllung f hinzu, die in Gl. (1) als Funktion $F(f)$ zusammengefaßt sind. Hierzu gehört in erster Linie der Fülldruck, aber auch spezifische Besonderheiten einer Füllkomponente. Durch das u.U. mehrfach eingeschnürte („taillierte“) Temperaturprofil (quer zur Lampenachse gesehen) eines quecksilberfreien Entladungsbogens (besonders ausgeprägt bei AlJ_3 , $AlBr_3$, HfJ_4 und $HfBr_4$) ist dieser Bogen im Gegensatz zu einem Bogen bei quecksilberhaltiger Füllung magnetisch stark beeinflussbar. Dies gilt vor allem für kleinwattige Lampen mit sehr kompaktem Aufbau.

[0078] Bei Verwendung von zwei oder drei symmetrischen Rückführungen (s. Figur 5 und 6) wird zum einen die von der einzelnen Rückführung verursachte Kraft erheblich reduziert; dies liegt an der Aufteilung des Stroms auf mehrere Rückführungen. Hinzu kommt, daß die zwei bzw. bevorzugt drei Rückführungen zusammenwirken und insgesamt eine auf die Lampenachse hin zentrierende Kraft erzeugen. Der Entladungsbogen wird also in vertikaler Brennlage auf die Lampenachse stabilisiert.

[0079] Vorteilhaft sind die Rückführungen (31;38) mit Hülzen 39 aus geeigneten Materialien (Quarzstrumpf, Keramikrohr) in an sich bekannter Weise ummantelt um Photoeffekte durch UV-Strahlung zu vermeiden. Mehr als vier Rückführungen (vierzählige Symmetrie) führen allerdings zu einer merklichen Abschattung und sind daher, insbesondere auch aus Kostengründen, weniger geeignet.

[0080] Aus obigen Ausführungen ergibt sich, daß die stromführenden Rückführungen bis zu dem Punkt, an dem sie zusammentreffen, möglichst gleich lang sein sollten und gleichen Abstand vom Entladungsbogen haben sollten. Durch die annähernd gleichen Widerstände der Rückführungen wird dann eine gleichmäßige Aufteilung des Stroms und damit eine gleichmäßige magnetische Feldverteilung in Höhe des Entladungsbogens gewährleistet. Nur so kann eine hinreichende Kompensation der magnetischen Felder im Lampeninneren und eine zentrierende Wirkung bei vertikalem Betrieb erfolgen.

[0081] Bei horizontaler Brennlage ist es entsprechend den obigen Ausführungen vorteilhaft, nur eine einzige Rückführung zu verwenden. Da der Entladungsbogen bei horizontaler Brennlage einen Auftrieb erfährt, sollte die Rückführung oberhalb des Entladungsbogens angeordnet werden. Es ist aber auch möglich, mehrere Rückführungen zu verwenden, die jedoch nicht exakt symmetrisch zu sein brauchen, so daß die unsymmetrische Auftriebskraft berücksichtigt werden kann.

[0082] In Figur 6 ist ein entsprechender Schnitt durch eine Lampe mit dreizähliger Symmetrie gezeigt. Die drei Rückführungen 38 vermindern entsprechend Gl. (1) die magnetische Kraft auf ein Neuntel, verglichen mit der magnetischen Kraft einer einzigen Rückführung. Sie laufen am sockelfernen Ende des keramischen Entladungsgefäßes sternförmig zur metallischen Durchführung hin zusammen. Die Rückführungen 38 sind von keramischen Hülzen 39 zur Abschirmung von UV-Strahlung umgeben.

[0083] Die quecksilberfreie Füllung für die Lampe der Figur 5 und 6 besteht aus den Spannungsgradientenbildnern $InBr$ (2 mg) und TlJ und enthält als Lichtbildner die Füllung MHS 8-6 (5 mg), siehe Tab. 3. Zusätzlich ist 1 mg elementares Indium beigelegt. Es hat sich nämlich herausgestellt, daß der Zusatz an elementarem Metall die Wiederzündspannungsspitze weiter verringert. Der Elektrodenabstand ist 9 mm. Das Entladungsvolumen ist $0,3 \text{ cm}^3$. An diesem System wurde das Verhalten hinsichtlich der Wiederzündspannungsspitze detailliert untersucht.

[0084] In Figur 7 ist die Lampenspannung (in V) als Funktion der Zeit (in Millisekunden ms) angegeben. Dabei wurde der Lampe bei einer Frequenz von jeweils 120 Hz entweder eine sinusförmige Wechselspannung (Kurve A) oder eine rechteckförmige Wechselspannung (Kurven B bis E) aufgeprägt. Die Amplitude der Brennschwingung in der ersten Halbwelle ist etwa 65 V.

[0085] Es zeigt sich, daß die auf die Brennschwingung in der ersten Halbwelle von etwa -65 V als Basiswert zu beziehende Wiederzündspannung am Beginn der zweiten Halbwelle beim Sinusbetrieb (Kurve A) etwa +285 V erreicht. Die Zeitdauer für die gesamte Spannungsänderung von 350 V ist etwa 1400 μs , gemessen von dem Zeitpunkt, an dem die Lampenspannung von der als Basiswert dienenden Brennschwingung der letzten Halbperiode (-65 V) aus ansteigt. Die

andere Halbwelle verhält sich genau spiegelsymmetrisch dazu.

[0086] Bei Rechteckbetrieb (Kurven B bis E) ist zum einen die Wiederzündspitze wesentlich kleiner, zum anderen ist die Anstiegszeit deutlich kürzer. Wählt man eine Flankensteilheit entsprechend einer Zeitspanne der Spannungsänderung von etwa 800 μs , liegt die Wiederzündspitze bei etwa +183 V (Kurve B). Erhöht man die Flankensteilheit auf die halbe Zeitdauer (400 μs), sinkt die Wiederzündspitze auf +143 V (Kurve C). Eine weitere Verkürzung der Zeitdauer auf 220 μs führt zu einer Wiederzündspitze von +115 V (Kurve D). Bei extrem kurzer Anstiegszeit der Flanke (50 μs) erniedrigt sich die Wiederzündspitze auf nur noch +75 V (Kurve E) und liegt damit nur noch unwesentlich über dem Basiswert des nachfolgenden Rechteckpulses (mit einer Brennspannung im Leerlauf von +65 V). Diese Werte wurden elektronisch gemessen.

[0087] Die entsprechenden Spannungsänderungsraten sind aus Figur 8 berechenbar, wo die Wiederzünd-Spitzen-spannung (in V) als Funktion der Zeitdauer der Spannungsänderung (in μs) angegeben ist. Für die Berechnung der Spannungsänderungsrate ist zu beachten, daß jeweils zum angegebenen Meßwert der Spitzenspannung im Bereich der Wiederzündspitze noch der Basiswert der Brennspannung (mit x bezeichnet) aus der vorhergehenden Halbperiode (ca. -65 V) hinzugefügt werden muß. Während die Verhältnisse gemäß Kurve A einer Spannungsänderungsrate von 0,25 V/ μs entsprechen, ist dieser Wert beim Rechteckbetrieb deutlich höher. Er steigt von 0,31 V/ μs (Kurve B) auf 0,52 V/ μs (Kurve C), dann auf 0,82 V/ μs (Kurve D). Bei extrem hoher Flankensteilheit werden 2,8 V/ μs (Kurve E) erzielt.

Patentansprüche

1. Beleuchtungssystem, umfassend eine quecksilberfreie Metallhalogenidlampe mit einer Lichtausbeute von mindestens 75 lm/W und einem Farbwiedergabeindex von mindestens 75 und ein elektronisches Vorschaltgerät, das Wechselspannung vermittelt, wobei die Lampe ein Entladungsgefäß umfaßt, in das Elektroden vakuumdicht eingeführt sind, dadurch gekennzeichnet, daß das elektronische Vorschaltgerät der Lampe eine Änderung der Spannung während des Polaritätswechsels mit einer Spannungsänderungsrate von mindestens 0,3 V/ μs , bevorzugt mindestens 1 V/ μs , vermittelt, wobei die Füllung folgende Komponenten umfaßt:
 - ein Puffergas, das auch als Startgas zur Zündung der Lampe wirkt,
 - einen Spannungsgradientenbildner, bestehend zumindest aus einem Metallhalogenid, das leicht verdampft, und das hauptsächlich (zu mehr als 50%) dafür verantwortlich ist, einen Spannungsgradienten von mindestens 45 V/cm zu erzeugen, der bevorzugt in etwa dem von Quecksilber entspricht,
 - ein Lichterzeuger, bestehend zumindest aus einem Metallhalogenid und/oder einem Metall.
2. Beleuchtungssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Spannungsgradientenbildner ein Metalljodid und/oder Metallbromid ist, insbesondere mit einem Betriebsfülldruck von mindestens 0,5 bar.
3. Beleuchtungssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das elektronische Vorschaltgerät der Lampe eine Rechteck-Stromversorgung einprägt.
4. Beleuchtungssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das elektronische Vorschaltgerät die Leistung im Betrieb konstant hält.
5. Beleuchtungssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Zeitdauer der Spannungsänderung während eines Polaritätswechsels so kurz ist, daß die Wiederzündspitze stark unterdrückt wird, wobei insbesondere diese Zeitspanne kleiner 1000 μs , vorteilhaft kleiner 100 μs , ist.
6. Beleuchtungssystem nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Spannungsänderung in der Flanke eines Rechteckpulses realisiert wird.
7. Beleuchtungssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Startgas ein Edelgas oder eine Mischung von Edelgasen mit einem Kaltfülldruck von mindestens 1 mbar ist.
8. Beleuchtungssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Spannungsgradientenbildner mindestens ein Halogenid (außer Fluorid) folgender Metalle ist: Al, Bi, Hf, In, Mg, Sc, Sn, Ti, Zr, Zn, Sb, Ga.
9. Beleuchtungssystem nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Spannungsgradientenbildner in einer Menge von 1 bis 200 $\mu\text{mol}/\text{cm}^3$ im Entladungsgefäß vorliegt.

10. Beleuchtungssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Lichtbildner mindestens eines der folgenden Metalle oder eine Verbindung dieses Metalls, insbesondere ein Halogenid davon, ist: Na, Pr, Nd, Ce, La, Dy, Ho, Tl, Sc, Hf, Zr, Tm.
- 5 11. Beleuchtungssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Lichtbildner in einer Menge zwischen 1 und 30 mg/cm³ im Entladungsgefäß vorliegt.
12. Beleuchtungssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Füllung Zusatzadditive enthält zur Verbesserung der elektrischen Lampeneigenschaften und zur Beeinflussung des Temperaturprofils des Bogens, insbesondere Metallhalogenide mit niedriger Anregungs- bzw. Ionisierungsenergie.
- 10 13. Beleuchtungssystem nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Zusatzadditive Cäsium und evtl. Lithium (letzteres nur für den Fall, daß die Füllung kein Natrium aufweist) enthalten.
- 15 14. Beleuchtungssystem nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß der Anteil der Zusatzadditive in der Größenordnung von 5 bis 50 Mol-%, verglichen mit dem Anteil der Lichtbildner, liegt.
15. Beleuchtungssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Füllung elementare Metalle (im Überschuß) enthält, die die Wiederzündspitze verringern, insbesondere in einer Menge zwischen 1 und 10 mg/cm³.
- 20 16. Beleuchtungssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Füllung elementares Ta oder In enthält.
17. Beleuchtungssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Entladungsgefäß aus Keramik besteht.
- 25 18. Beleuchtungssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß elementares Zn als ein Spannungsgradientenbildner enthalten ist.
19. Beleuchtungssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Leistung der Lampe maximal 250 W beträgt.
- 30 20. Beleuchtungssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Entladungsgefäß von einem evakuierten Außenkolben umgeben ist.
- 35 21. Beleuchtungssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Farbtemperatur der Lampe zwischen 2800 und 4600 K beträgt.
22. Beleuchtungssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Farbtemperatur der Lampe etwa 5300 K beträgt.
- 40 23. Quecksilberfreie Metallhalogenidlampe mit einer Lichtausbeute von mindestens 75 lm/W und einem Farbwiedergabeindex von mindestens 75 zum Betrieb an einem eine Wechselspannung vermittelnden elektronischen Vorschaltgerät, das einen Polaritätswechsel mit einer Spannungsänderungsrate von mindestens 0,3 V/µs vermittelt, wobei die Lampe ein Entladungsgefäß umfaßt, in das Elektroden vakuumdicht eingeführt sind, dadurch gekennzeichnet, daß die Füllung folgende Komponenten umfaßt:
- 45
 - ein Puffergas, das auch als Startgas zur Zündung der Lampe wirkt,
 - ein Spannungsgradientenbildner, bestehend zumindest aus einem Metallhalogenid, das leicht verdampft, und das hauptsächlich (zu mehr als 50%) dafür verantwortlich ist, einen Spannungsgradienten zu erzeugen, der in etwa dem von Quecksilber entspricht,
 - 50• ein Lichterzeuger, bestehend zumindest aus einem Metallhalogenid und/oder einem Metall.
24. Metallhalogenidlampe nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß das Entladungsgefäß (21) in einem einseitig gequetschten Außenkolben (25) mittels eines Haltegestells (23) befestigt ist, wobei das Haltegestell eine rückführende Stromzuführung (31;38) mit mindestens zweizähliger Symmetrie besitzt.
- 55 25. Quecksilberfreie Metallhalogenidlampe, wobei die Lampe ein Entladungsgefäß (21) umfaßt, in das Elektroden

EP 0 903 770 A2

vakuumdicht eingeführt sind, wobei das Entladungsgefäß (21) in einem einseitig gequetschten Außenkolben (25) mittels eines Haltegestells (23) befestigt ist, dadurch gekennzeichnet, daß das Haltegestell (23) ein rückführendes Leitersystem aus mindestens drei Stromzuführungen (38) besitzt, die symmetrisch angeordnet sind.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

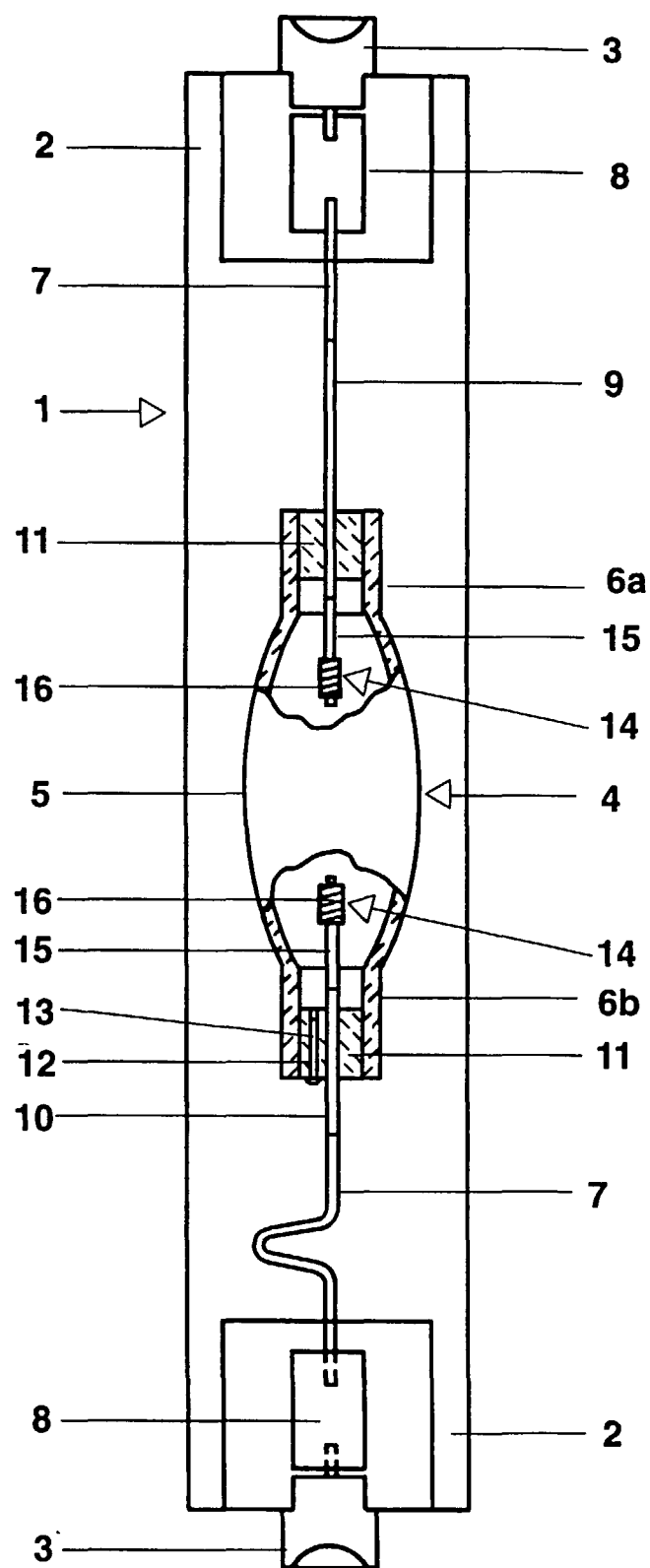


FIG. 1

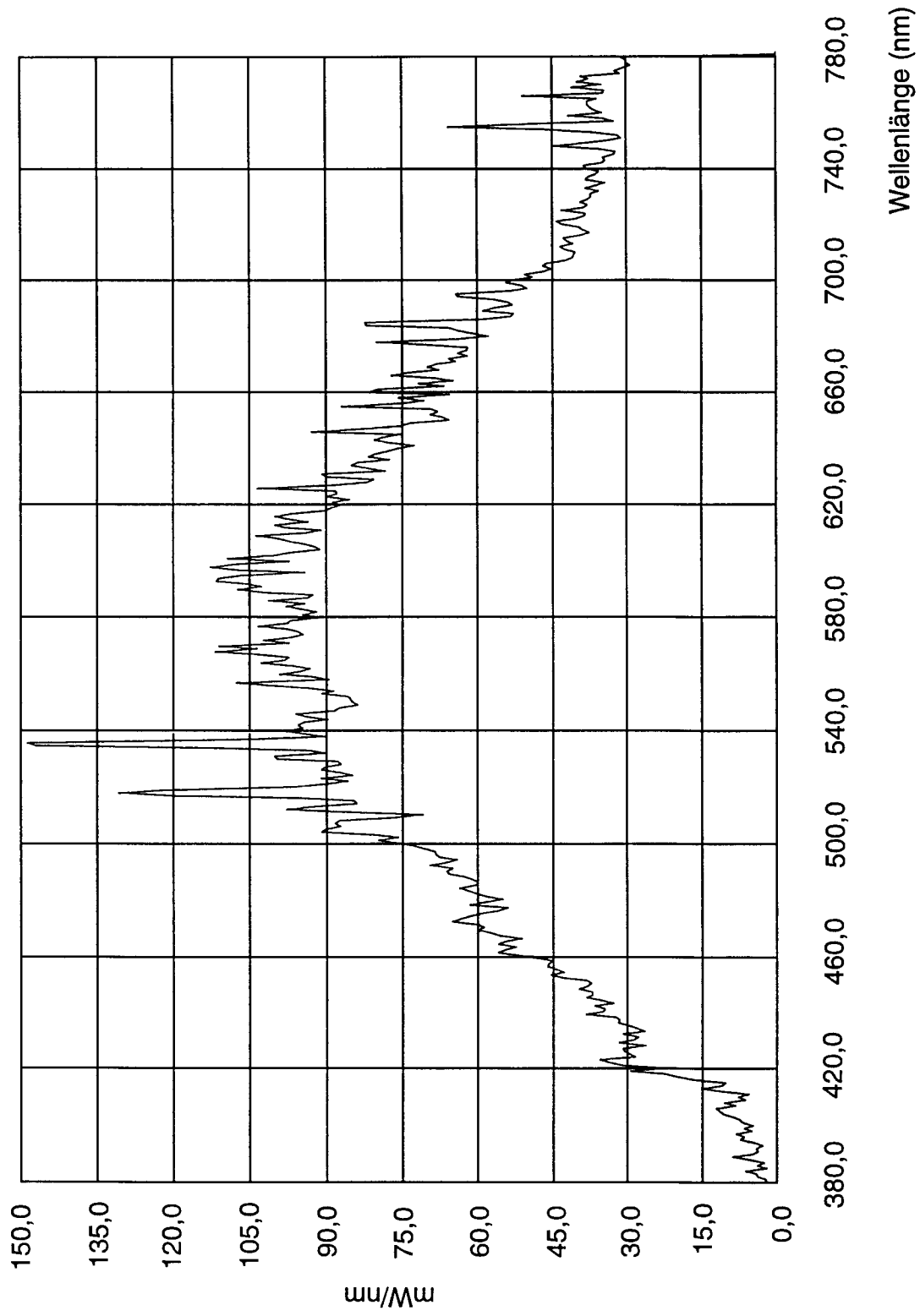


FIG. 2

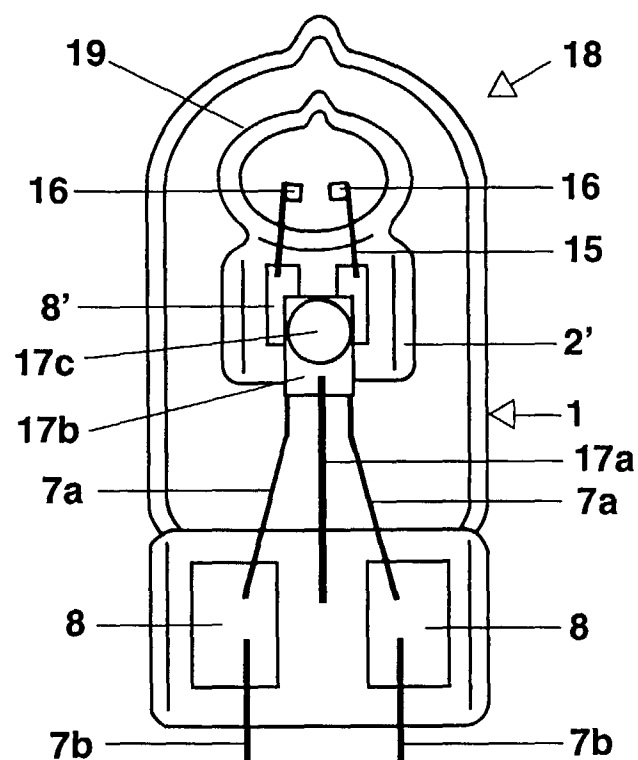
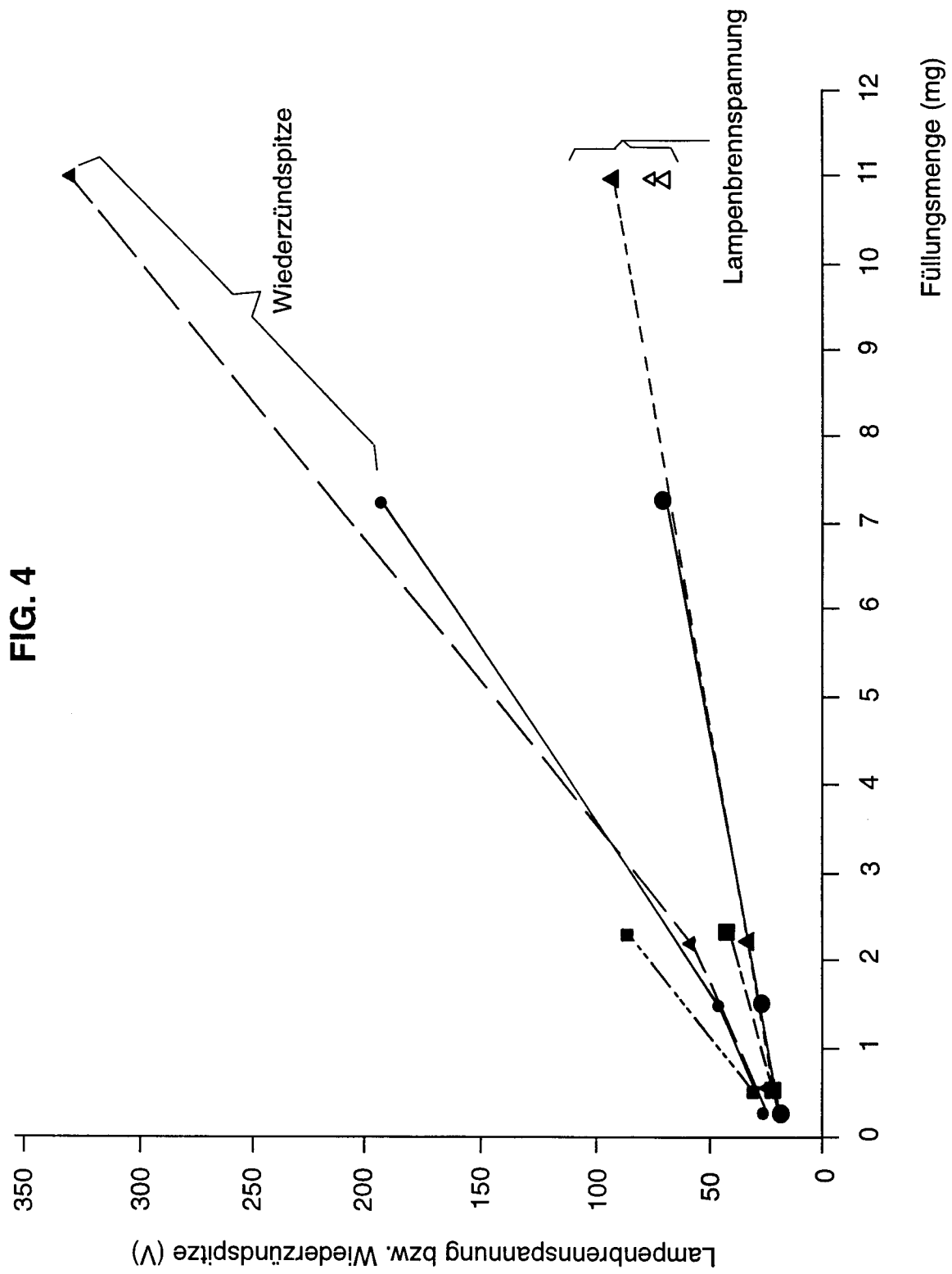


FIG. 3



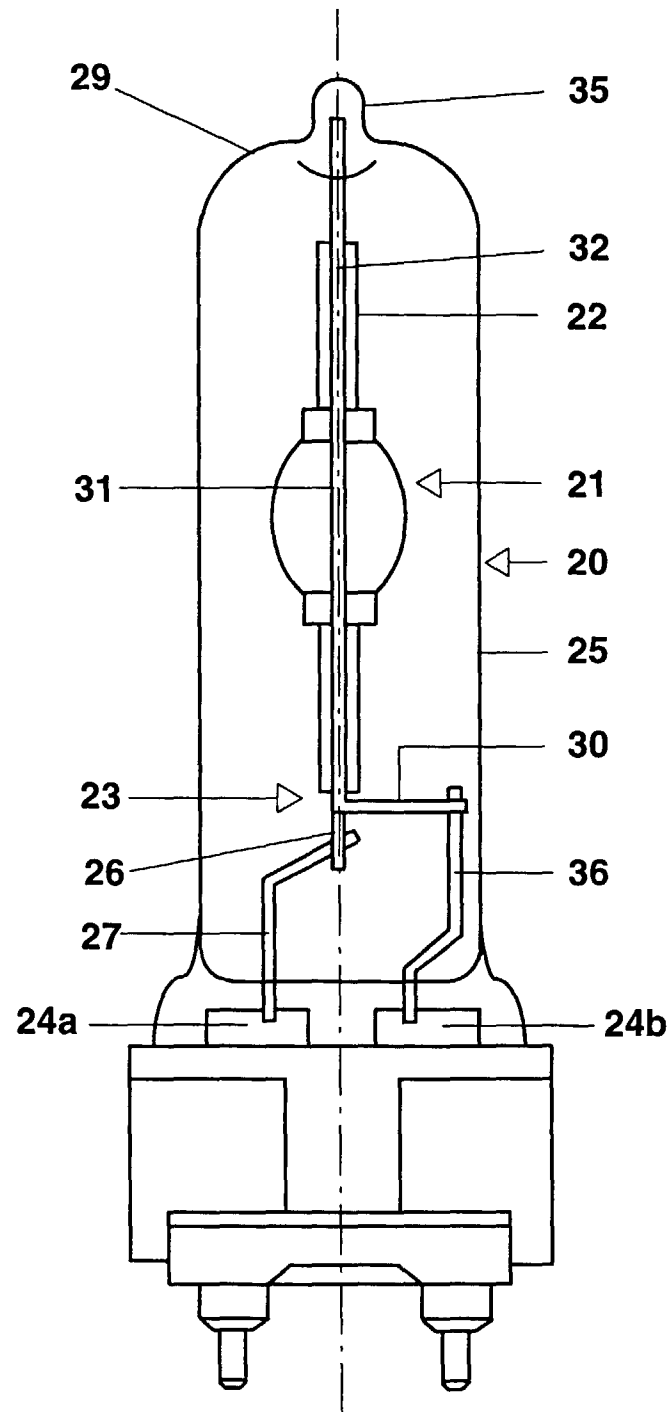


FIG. 5a

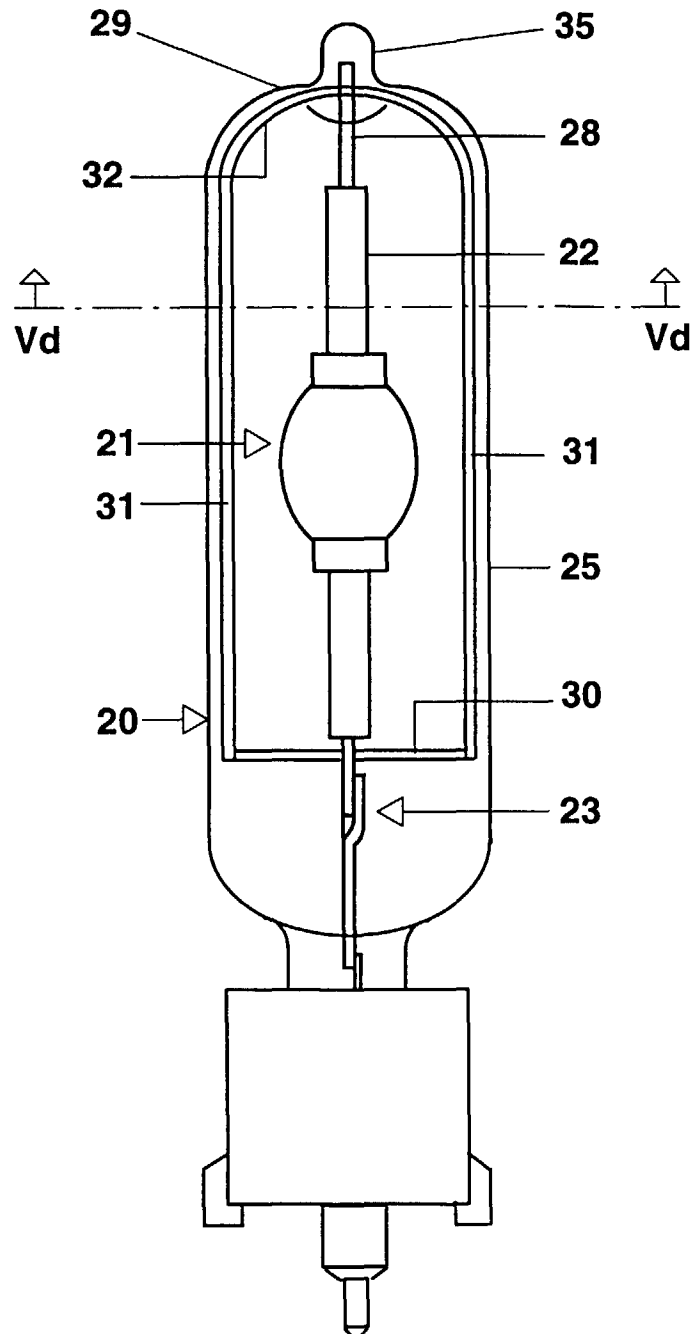


FIG. 5b

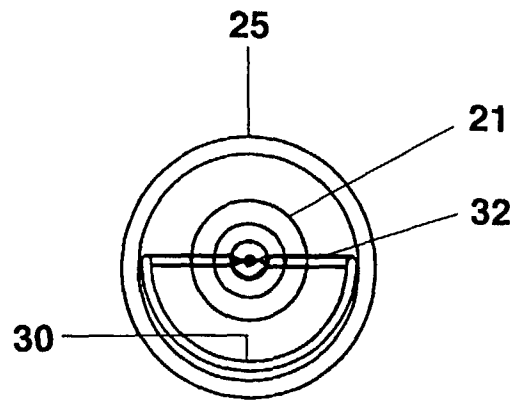


FIG. 5c

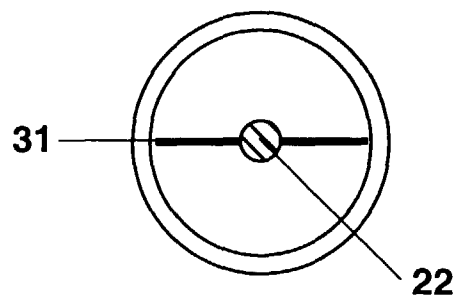


FIG. 5d

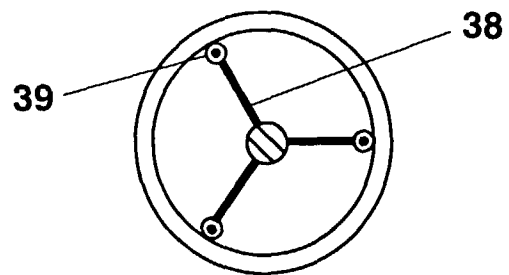


FIG. 6

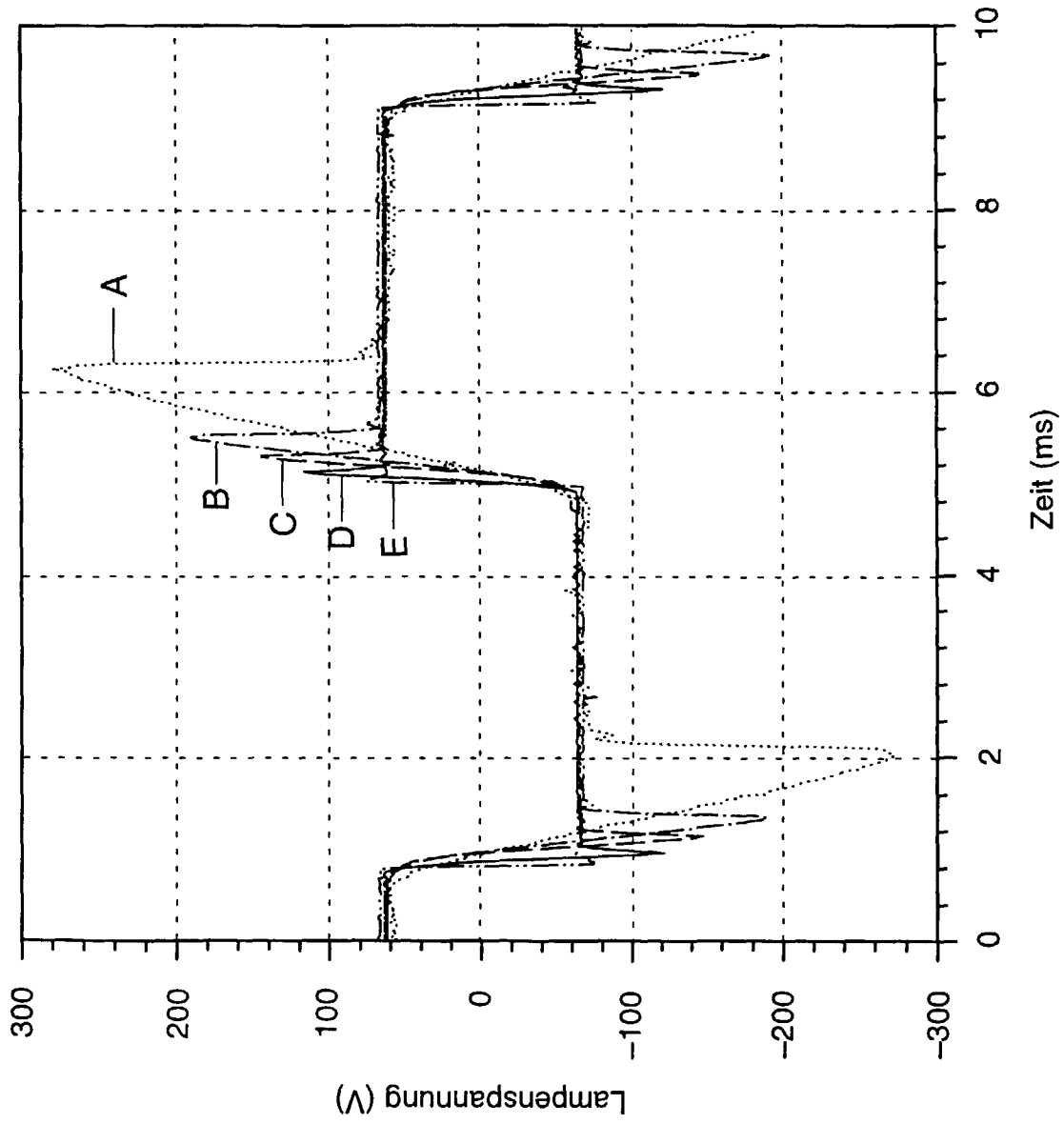


FIG. 7

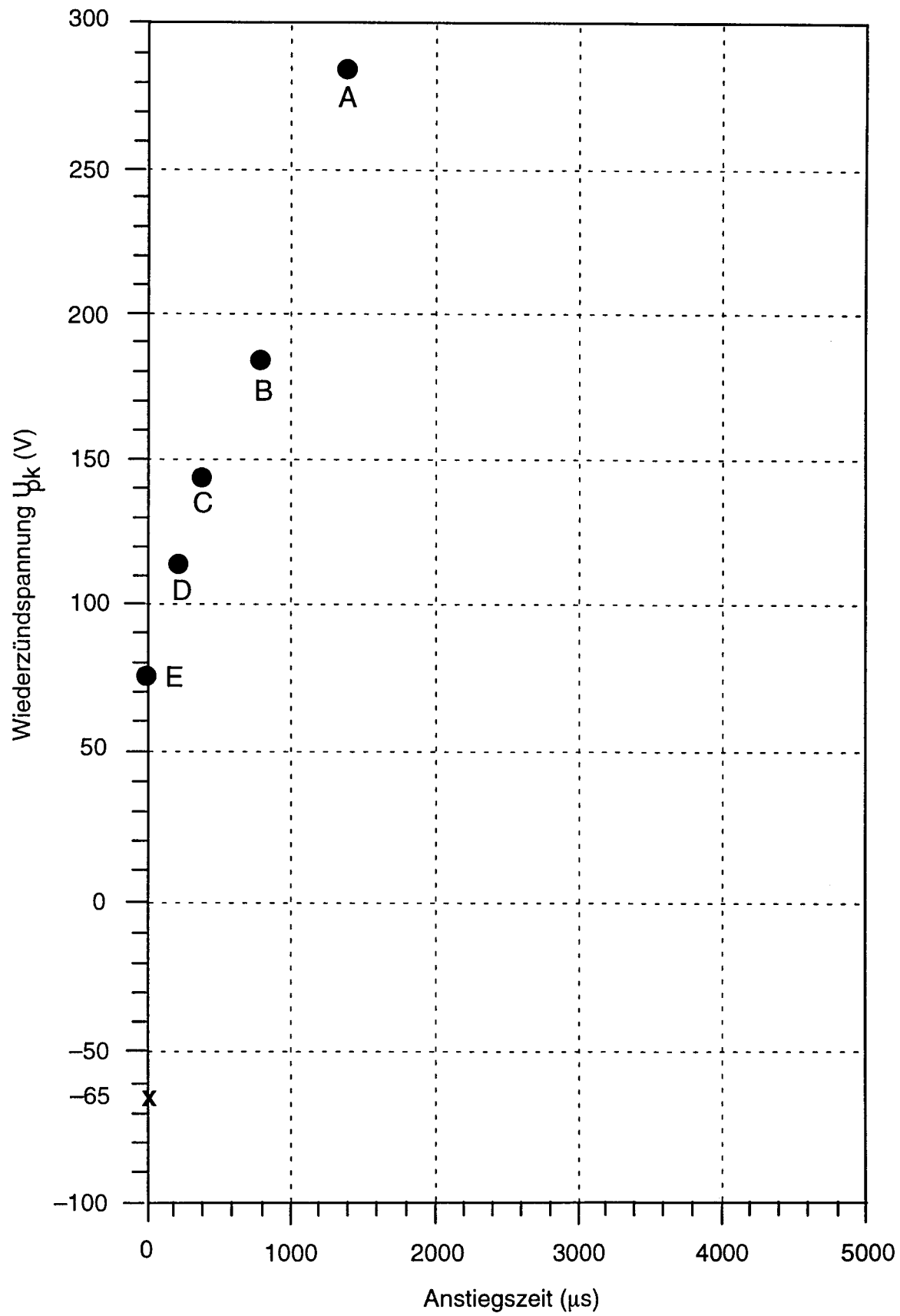


FIG. 8



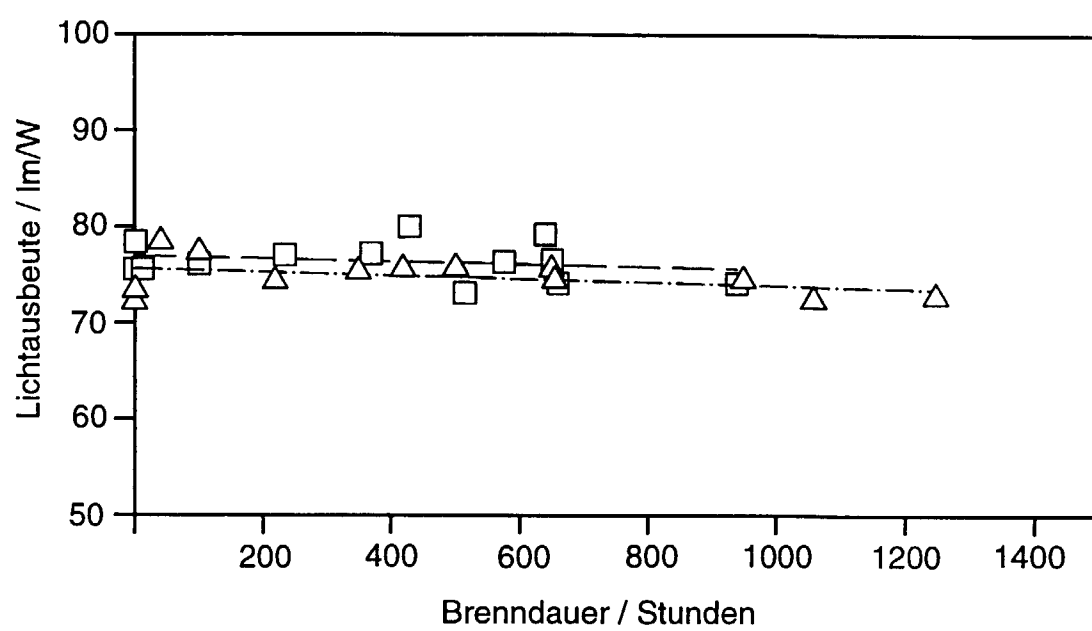


FIG. 10