(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 2 873 090 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention de la délivrance du brevet:
**07.09.2016 Bulletin 2016/36**

(21) Numéro de dépôt: **13736553.2**

(22) Date de dépôt: **10.07.2013**

(51) Int Cl.:
***H01J 61/32*** *(2006.01)* ***H01J 61/54*** *(2006.01)*
***H01J 61/78*** *(2006.01)*

(86) Numéro de dépôt international:
**PCT/EP2013/064583**

(87) Numéro de publication internationale:
**WO 2014/009414 (16.01.2014 Gazette 2014/03)**

# (54) LAMPE A DECHARGE LUMINESCENTE

GASENTLADUNGSLAMPE

GLOW-DISCHARGE LAMP

(84) Etats contractants désignés:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(30) Priorité: **11.07.2012 FR 1256672**

(43) Date de publication de la demande:
**20.05.2015 Bulletin 2015/21**

(73) Titulaires:
- **Université Grenoble Alpes**
  **38400 Saint-Martin-d'Hères (FR)**
- **Pelletier, Jacques**
  **38400 Saint-Martin-d'Hères (FR)**

(72) Inventeurs:
- **LACOSTE, Ana**
  **F-38950 Saint Martin Le Vinoux (FR)**
- **PELLETIER, Jacques**
  **F-38400 Saint Martin d'Hères (FR)**

(74) Mandataire: **Regimbeau**
**139, rue Vendôme**
**69477 Lyon Cedex 06 (FR)**

(56) Documents cités:
**EP-A2- 0 593 312**
**CN-A- 101 834 111**
**CN-Y- 2 800 483**
**GB-A- 2 180 094**
**GB-A- 2 271 117**
**JP-A- 2003 086 388**

- **L. SEIDELMANN ET AL.: "New discharge tube with virtual cathode", ACTA PHYSICA SLOVACA, vol. 53, no. 5, 1 janvier 2003 (2003-01-01), pages 407-411, XP055055994, ISSN: 0323-0465**
- **WALTER KAISER ET AL: "Impact of Current Crest Factor at High and Low Frequency Operation on Fluorescent Lamp Electrodes", THE 2006 IEEE INDUSTRY APPLICATIONS CONFERENCE FORTY-FIRST IAS ANNUAL MEETING, CONFERENCE RECORD OF, IEEE, PISCATAWAY, NJ, US, 1 octobre 2006 (2006-10-01), pages 236-241, XP031026040, ISBN: 978-1-4244-0364-6**

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

EP 2 873 090 B1

Printed by Jouve, 75001 PARIS (FR)

## Description

### DOMAINE DE L'INVENTION

**[0001]** La présente invention concerne une lampe à décharge luminescente et un procédé d'éclairage pouvant être mis en oeuvre dans une telle lampe.

### ARRIERE PLAN DE L'INVENTION

**[0002]** Dans le cadre des économies d'énergie pour la lutte contre le réchauffement climatique, différents types de lampes dites à basse consommation ont été développées afin de remplacer les lampes à incandescence dont plus de 90 % de l'énergie consommée n'est pas convertie en lumière.

**[0003]** Parmi les nouveaux types de lampes à basse consommation présentes sur le marché, il faut citer principalement les lampes à décharge luminescente, dont les deux principaux modes de réalisation sont appelés communément tubes "néon" et ampoules fluo-compactes.

**[0004]** De manière générale, les lampes fluorescentes à électrodes sont basées sur l'émission de rayons ultraviolets (UV) générés dans un tube linéaire (tube néon) ou replié sur lui-même (ampoule fluo-compacte) par une décharge périodique basse fréquence (par exemple 50 ou 60 Hz), les UV étant transformés en lumière visible par des luminophores couvrant l'intérieur du tube.

**[0005]** Les mélanges de gaz généralement utilisés sont des mélanges de gaz rares (argon principalement) ensemencés de mercure, élément actif dont les principales raies d'émission UV se situent à 254 nm (raie la plus importante), 297 nm, 313 nm et 365 nm (UVA) (liste non exhaustive), longueurs d'onde où les rendements de fluorescence, c'est-à-dire de conversion des photons UV en lumière visible sur les luminophores qui tapissent l'intérieur des lampes, sont les plus élevés.

**[0006]** Les lampes à décharge luminescente comportent deux électrodes (anode et cathode) situées à l'extrémité d'un tube scellé rempli d'un mélange de gaz (gaz rares et mercure) sous pression réduite, de l'ordre du mbar ou du torr (1 torr = 133 pascal).

**[0007]** Le plasma est obtenu en appliquant une tension entre les deux électrodes.

**[0008]** La figure 1 illustre la répartition du champ électrique E le long d'une décharge luminescente à courant continu, l'axe des abscisses s'étendant de la cathode (z = 0) vers l'anode (z = L, longueur du tube).

**[0009]** Dans une telle décharge, la zone de production de plasma la plus efficace du point de vue énergétique est constituée par la région R2 dite colonne positive le long de laquelle le champ électrique axial s'ajuste de manière à ce que la puissance moyenne cédée par le champ électrique aux électrons e pour le maintien du plasma permette de compenser exactement les pertes radiales du plasma sur les parois le long de la colonne positive, et ce, de manière à maintenir la décharge allumée.

**[0010]** Dans la région de la cathode (appelée région cathodique R1), il apparaît en revanche une très forte chute de tension (plus de deux ou trois centaines de volts) qui permet d'accélérer les ions i de la décharge vers la cathode, créant ainsi des électrons secondaires $e_2$ qui, à leur tour, sont injectés dans le gaz à forte énergie, permettant ainsi l'ionisation du mélange de gaz.

**[0011]** Une région R3 dite de lueur négative, où le champ électrique est pratiquement nul et qui constitue un espace de diffusion pour le plasma et de glissement pour les électrons secondaires non encore thermalisés, est située entre la région cathodique R1 et la colonne positive R2.

**[0012]** Enfin, la région R4 située au voisinage de l'anode, où les électrons en lisière de la colonne positive R2 sont accélérés vers l'anode, est dite gaine anodique.

**[0013]** Dans le cas d'une tension alternative à 50 ou 60 Hz, les électrodes sont inversées à chaque alternance.

**[0014]** Si l'on considère une décharge luminescente, la région cathodique, où l'électrode est polarisée très négativement par rapport à l'anode, correspond à une région où se produit une grande déperdition d'énergie, non utilisable pour un éclairage efficace.

**[0015]** En effet, dans cette région, les ions positifs sont accélérés avec une énergie de plusieurs centaines d'électron-volts (eV) sur la cathode, permettant ainsi l'émission d'électrons secondaires, accélérés en sens inverse, qui permettent l'allumage et l'entretien de la décharge luminescente et de sa colonne positive.

**[0016]** La conséquence est que la différence de tension entre anode et cathode se retrouve en grande partie dans la région de la cathode (chute cathodique).

**[0017]** En d'autres termes, si la région cathodique permet l'allumage puis l'entretien d'une décharge luminescente, elle constitue une région de forte déperdition d'énergie dissipée dans le bombardement ionique de la cathode.

**[0018]** En dehors de cet inconvénient majeur en termes de rendement énergétique, les lampes à décharge luminescente (néons ou ampoules fluo-compactes) présentent plusieurs inconvénients, parmi lesquels un allumage capricieux (surtout à basse température) des lampes actuelles à base de mélanges de gaz rares ; la difficulté, voire l'impossibilité,

d'allumer des décharges contenant des gaz plasmagènes autres que les mélanges de gaz rares ; la dégradation des électrodes liée à leur bombardement ionique (chute cathodique) ; une durée de vie réduite, en particulier lors d'extinctions et d'allumages fréquemment répétés ; l'impossibilité de contrôler l'éclairage par un variateur ; la présence de mercure dans le mélange de gaz, qui pose un problème de toxicité et de recyclage.

**[0019]** Un but de l'invention est de proposer une lampe à décharge luminescente permettant d'éviter la déperdition d'énergie liée au bombardement intense de la cathode (ou plus généralement des électrodes dans le cas de l'application d'une tension périodique).

**[0020]** L'amélioration du rendement des lampes à décharge luminescente constitue en effet l'un des défis majeurs à relever afin de réduire de façon significative la consommation électrique mondiale destinée à l'éclairage, et qui correspond à l'heure actuelle à 16 % de la production d'électricité.

**[0021]** Un autre but de l'invention est de procurer une lampe à décharge luminescente qui permette de remédier dans la mesure du possible aux autres inconvénients et défauts mentionnés ci-dessus.

## BREVE DESCRIPTION DE L'INVENTION

**[0022]** Conformément à l'invention, il est proposé une lampe à décharge luminescente comprenant :

- une enveloppe allongée, transparente à un rayonnement d'éclairement et contenant un gaz plasmagène,
- un dispositif d'application d'un champ électrique propre au maintien d'un plasma dans la région de l'enveloppe dite colonne positive, c'est-à-dire la région dans laquelle le champ électrique axial est constant, comprenant deux électrodes constituant une anode et une cathode situées dans l'enveloppe, à chaque extrémité de ladite enveloppe,
- une source de plasma cathodique micro-onde ou radiofréquence agencée dans l'enveloppe par rapport à l'électrode constituant la cathode de sorte à générer une décharge haute fréquence (c'est-à-dire, selon la nature de la source, micro-onde ou radiofréquence) localisée à la surface de ladite électrode pour générer ledit plasma.

**[0023]** C'est à partir de ce plasma cathodique, généré à la surface de la cathode, que les électrons sont injectés dans la colonne positive.

**[0024]** Cette source de plasma cathodique permet de générer du plasma sans avoir besoin de recourir à une chute cathodique élevée pour produire des électrons secondaires.

**[0025]** Selon une forme d'exécution, la lampe peut être alimentée par une tension périodique à 50 ou 60 Hz, de sorte que chaque électrode constitue alternativement la cathode et l'anode selon la polarité de la tension appliquée ; la lampe peut alors comprendre deux sources de plasma alternées situées dans l'enveloppe par rapport à chacune des deux électrodes de sorte à générer une décharge haute fréquence (radiofréquence ou micro-onde selon la nature de la source) localisée à la surface de chacune desdites électrodes.

**[0026]** Selon certains modes de réalisation, dans lesquels la pression dans l'enveloppe ne dépasse pas quelques torrs (c'est-à-dire inférieure à 10 torrs) et, de préférence, est inférieure ou égale à 1 torr (1 torr = 133 Pa) :

- chaque source de plasma cathodique est une source radiofréquence inductive et la lampe comprend en outre un dispositif d'application d'un champ magnétique axial statique au niveau de ladite source de plasma ;
- chaque source de plasma cathodique est une source micro-onde et la lampe comprend en outre un dispositif d'application d'un champ magnétique statique dont l'intensité est égale à l'intensité de résonance cyclotronique électronique (c'est-à-dire l'intensité pour laquelle la fréquence du champ électrique micro-onde est égale à la fréquence de giration des électrons dans le champ magnétique) au niveau de ladite source de plasma ;
- la lampe comprend en outre un dispositif d'application d'un champ magnétique axial statique d'intensité décroissante de la cathode vers la colonne positive, ledit dispositif d'application du champ magnétique axial pouvant comprendre, par exemple, un solénoïde enroulé autour de la source de plasma cathodique ou des aimants permanents délivrant un champ magnétique axial (au moins sur l'axe du tube) ;
- la lampe comprend en outre un dispositif d'application d'un champ magnétique axial statique le long de la colonne positive, ledit dispositif d'application du champ magnétique axial statique pouvant être un solénoïde enroulé autour de l'enveloppe.

**[0027]** Selon une forme d'exécution, l'enveloppe se présente sous la forme d'un tube droit.

**[0028]** De manière alternative, l'enveloppe se présente sous la forme d'un tube enroulé selon une spirale ou toute autre forme géométrique comme par exemple un cercle ou un ovale.

**[0029]** Un autre objet de l'invention concerne un procédé d'éclairage par une lampe à décharge luminescente, ladite lampe comprenant une enveloppe allongée, transparente à un rayonnement d'éclairement et contenant un gaz plasmagène, et deux électrodes constituant une anode et une cathode situées dans l'enveloppe, à chaque extrémité de l'enveloppe, ledit procédé étant caractérisé en ce qu'il comprend :

- la génération d'un plasma cathodique micro-onde ou radiofréquence au moyen d'une décharge haute fréquence (micro-onde ou radiofréquence) localisée à la surface de l'électrode constituant la cathode, ladite décharge étant générée par une source de plasma cathodique micro-onde ou radiofréquence agencée dans l'enveloppe,
- l'application, entre l'anode et la cathode, d'une tension adaptée pour appliquer un champ électrique axial de maintien du plasma dans la région de l'enveloppe dite colonne positive.

**[0030]** La tension appliquée entre les électrodes est avantageusement une tension continue ou une tension alternative à 50 Hz ou 60 Hz.

**[0031]** Selon un mode de réalisation, la tension appliquée est une tension alternative à 50 ou 60 Hz ; on peut alors générer le plasma cathodique alternativement dans la région de l'une et de l'autre électrode, à savoir l'électrode constituant la cathode selon la polarité de la tension appliquée.

**[0032]** Par ailleurs, on peut appliquer en outre au niveau de la cathode, à la surface de laquelle le plasma cathodique est généré, un champ magnétique axial statique dont l'intensité décroît de la cathode vers la colonne positive.

**[0033]** D'autre part, on peut également appliquer le long de la colonne positive un champ magnétique axial statique.

**[0034]** Selon un mode de réalisation, le plasma est un plasma radiofréquence, c'est-à-dire généré à une fréquence comprise entre 1 MHz et 100 MHz.

**[0035]** On peut alors appliquer un champ magnétique axial statique au niveau de la cathode, à la surface de laquelle le plasma cathodique est généré, de sorte à obtenir un couplage selon un mode hélicoïdal.

**[0036]** Selon un autre mode de réalisation, le plasma est un plasma micro-onde, c'est-à-dire généré à une fréquence comprise entre 100 MHz et 5,8 GHz.

**[0037]** On peut alors appliquer en outre un champ magnétique statique dont l'intensité est égale à l'intensité de résonance cyclotronique électronique au niveau de la cathode, à la surface de laquelle le plasma est généré, de sorte à obtenir un couplage à la résonance cyclotronique électronique.

**[0038]** De manière avantageuse, la pression dans l'enveloppe ne dépasse pas quelques torrs (c'est-à-dire inférieure à 10 torrs) et, de préférence, est inférieure ou égale à 1 torr (133 Pa).

## BREVE DESCRIPTION DES DESSINS

**[0039]** D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront de la description détaillée qui va suivre, en référence aux dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 est un schéma de la répartition du champ électrique dans une lampe de type tube néon à décharge luminescente conventionnelle à courant continu,
- les figures 2A et 2B illustrent deux formes d'exécution de l'enveloppe, faisant respectivement partie d'un tube néon et d'une ampoule fluocompacte,
- la figure 3 est un schéma de la répartition du champ électrique dans une lampe de type tube néon à décharge luminescente selon l'invention,
- la figure 4 est un schéma de principe d'une lampe à décharge luminescente selon un premier mode de réalisation de l'invention, dans lequel le plasma cathodique est excité en radiofréquence,
- la figure 5 est un schéma de principe d'une lampe à décharge luminescente selon un deuxième mode de réalisation de l'invention, dans lequel le plasma cathodique est excité par micro-ondes,
- la figure 6 illustre de manière schématique un mode de réalisation dans lequel on applique, dans la région où le plasma cathodique radiofréquence est généré, un champ magnétique axial statique destiné à procurer un mode de couplage hélicoïdal,
- la figure 7 illustre de manière schématique un applicateur plasma cathodique micro-onde permettant en outre d'appliquer un champ magnétique statique procurant un mode de couplage à la résonance cyclotronique électronique,
- la figure 8 illustre de manière schématique un mode de réalisation dans lequel on applique, dans la région où le plasma cathodique est généré, un gradient de champ magnétique statique décroissant de la cathode vers la colonne positive,
- la figure 9 illustre de manière schématique un mode de réalisation dans lequel un solénoïde conducteur est enroulé tout le long de la colonne positive pour y appliquer un champ magnétique axial statique.

## DESCRIPTION DETAILLEE DE MODES DE REALISATION DE L'INVENTION

**[0040]** D'une manière générale, la lampe comprend une enveloppe allongée contenant un gaz plasmagène.

**[0041]** L'enveloppe est transparente au rayonnement d'éclairement, qui peut être un rayonnement ultraviolet ou visible.

**[0042]** Le cas échéant, la paroi intérieure de l'enveloppe peut être au moins en partie recouverte de luminophores

aptes à convertir le rayonnement ultraviolet procuré par la décharge luminescente en rayonnement visible.

**[0043]** L'homme du métier est à même de sélectionner le matériau de l'enveloppe et, le cas échéant, les luminophores, appropriés pour permettre la transmission vers l'extérieur de l'enveloppe du rayonnement d'éclairement que la lampe doit fournir.

**[0044]** Par « allongée » on entend le fait que l'enveloppe présente une dimension plus grande dans une direction, dite direction axiale, que dans les deux directions orthogonales, qui définissent une direction radiale.

**[0045]** Deux électrodes sont disposées dans l'enveloppe, à chaque extrémité de ladite enveloppe, lesdites extrémités étant opposées l'une par rapport à l'autre selon la direction axiale.

**[0046]** Lesdites électrodes sont reliées à une source de tension U continue ou alternative à 50 ou 60 Hz.

**[0047]** L'enveloppe peut présenter une section sensiblement constante selon la direction axiale.

**[0048]** Ainsi, ladite enveloppe peut présenter la forme générale d'un tube.

**[0049]** L'enveloppe peut être linéaire, c'est-à-dire qu'elle est sensiblement rectiligne selon la direction axiale.

**[0050]** Tel est le cas des lampes qualifiées dans le langage courant de « tubes néon ».

**[0051]** Un exemple d'une telle enveloppe est illustré à la figure 2A.

**[0052]** De manière alternative, l'enveloppe peut former une spire (pour former une lampe circulaire ou ovale) ou un certain nombre de spires, comme dans le cas des ampoules dites « fluocompactes ».

**[0053]** Un exemple d'une telle ampoule est illustré à la figure 2B.

**[0054]** Naturellement, l'enveloppe pourra être agencée selon toute autre forme sans pour autant sortir du cadre de l'invention.

**[0055]** Dans le cas où l'enveloppe n'est pas linéaire, lorsque l'on parle de « direction axiale » on entend la direction de la courbe moyenne de l'enveloppe.

**[0056]** Le gaz plasmagène peut être tout gaz ou mélange de gaz utilisé pour l'éclairage.

**[0057]** Ainsi, de manière connue en elle-même, le gaz plasmagène peut être un mélange de gaz rares (argon principalement) ensemencés de mercure, élément actif dont les principales raies d'émission UV se situent à 254 nm (raie la plus importante), 297 nm, 313 nm et 365 nm (UVA) (liste non exhaustive).

**[0058]** Le choix du ou des gaz et des éventuels éléments actifs est effectué par l'homme du métier en fonction des longueurs d'onde où l'émission est la plus importante selon le rayonnement d'éclairement (UV ou visible) recherché.

**[0059]** Notamment, pour optimiser la transmission d'un rayonnement visible à partir de l'émission de photons UV, le choix des gaz et éléments actifs est effectué de sorte que les rendements de fluorescence, c'est-à-dire de conversion des photons UV en lumière visible sur les luminophores qui tapissent l'intérieur de l'enveloppe, sont les plus élevés.

**[0060]** Dans les lampes conventionnelles, on applique entre les deux électrodes une tension appropriée pour générer une décharge dans le gaz plasmagène et ainsi générer le plasma.

**[0061]** L'invention propose de remplacer la zone de chute cathodique présente dans les lampes conventionnelles par une source de plasma cathodique adaptée pour générer le plasma de manière localisée au niveau de la surface de la cathode et d'appliquer entre les deux électrodes une tension appropriée pour appliquer un champ électrique axial suffisant pour entretenir le plasma ainsi généré dans la colonne positive.

**[0062]** La source de plasma cathodique est, tout comme les électrodes, agencée dans l'enveloppe.

**[0063]** La source de plasma cathodique peut être une source de type micro-onde ou de type radiofréquence (RF) inductif.

**[0064]** Dans le cas d'une lampe alimentée par une tension périodique (50 ou 60 Hz par exemple), chaque électrode constitue alternativement la cathode ou l'anode selon la polarité de la tension appliquée.

**[0065]** Dans ce cas, l'invention propose, dans un mode de réalisation préférentiel de l'invention, d'employer deux sources de plasma cathodique placées au niveau de chacune des deux électrodes de sorte à générer alternativement une décharge haute fréquence à la surface de l'électrode qui constitue la cathode.

**[0066]** Néanmoins, en fonction d'un compromis coût/efficacité à respecter, il est possible de ne placer une source de plasma qu'au niveau d'une seule électrode.

**[0067]** L'invention permet de diminuer la puissance nécessaire à la décharge et au maintien de celle-ci par rapport aux décharges luminescentes connues.

**[0068]** En effet, la source de plasma cathodique peut être une source de faible puissance, à savoir de l'ordre du watt, c'est-à-dire d'une fraction de watt à quelques watts (en fonction de la section de la lampe, par exemple pour 1 $cm^2$).

**[0069]** Par ailleurs, en utilisant une source de plasma cathodique au niveau de la cathode, on évite le bombardement de la cathode et la déperdition énergétique associée.

**[0070]** Ainsi, on peut estimer que l'invention procure un gain d'un facteur de l'ordre de 2 à 4 sur la puissance nécessaire au maintien de la décharge par rapport aux décharges luminescentes actuelles.

**[0071]** A titre de comparaison avec la figure 1, la figure 3 illustre la répartition du champ électrique E le long d'une décharge luminescente à courant continu obtenue en utilisant une source de plasma cathodique telle que décrite ci-dessus.

**[0072]** L'axe des abscisses s'étend de la cathode (z = 0) vers l'anode (z = L, longueur du tube) ; l'axe des ordonnées

est à la même échelle que celui de la figure 1.

**[0073]** Dans cette configuration selon l'invention, la chute cathodique R1 et la lueur négative R3 observées sur la figure 1 sont remplacées par une source de plasma cathodique R1 présentant une chute cathodique fortement réduite par rapport à la chute cathodique R1 de la figure 1 puisque ce sont les électrons du plasma cathodique qui sont injectés dans la colonne positive (la génération du plasma dans la colonne positive ne nécessite donc plus d'électrons secondaires produits à partir de la chute cathodique).

**[0074]** Dans ce cas, d'une part, le champ électrique au sein du plasma cathodique est très faible, et, d'autre part, le champ électrique dans la chute cathodique du plasma cathodique R1 est diminué d'un facteur important (supérieur à un facteur 2 à 4) par rapport au champ électrique rencontré, dans cette même région, dans le cas illustré à la figure 1.

**[0075]** Par ailleurs, la région de lueur négative (R3 sur la figure 1) n'apparaît plus, la colonne positive R2 s'étendant jusqu'à la source de plasma cathodique R1 (en effet, sur la figure 3, on n'observe pas de discontinuité apparente entre la source de plasma cathodique et la colonne positive comme c'est le cas en présence d'une lueur négative).

**[0076]** La gaine anodique R4 est quant à elle inchangée.

**[0077]** L'invention permet en premier lieu de réduire considérablement les pertes en énergie dues au bombardement ionique des cathodes dans les décharges luminescentes actuelles.

**[0078]** En outre, l'invention permet de remédier à la plupart des inconvénients des décharges luminescentes actuelles.

**[0079]** En effet, l'invention procure une durée de vie très grande des lampes à décharge luminescente, la pulvérisation des électrodes par bombardement ionique étant évitée.

**[0080]** Par ailleurs, les lampes selon l'invention peuvent fonctionner dans des conditions opératoires étendues, en termes de fréquence de l'onde électromagnétique, de puissance, de pression et de nature du gaz, en lien avec celles de la source de plasma cathodique.

**[0081]** Il devient alors possible d'utiliser un gaz plasmagène dépourvu de mercure, ce qui élimine sa nocivité et facilite le recyclage de la lampe.

**[0082]** L'invention permet également un fonctionnement de la lampe dans des conditions extrêmes.

**[0083]** D'autre part, grâce à la vaste gamme de modes de couplage possibles et la possibilité de modulation par impulsions, la source de plasma cathodique est apte à s'allumer immédiatement. Elle permet donc un allumage immédiat de la décharge luminescente.

**[0084]** Par ailleurs, l'utilisation d'un variateur de puissance est possible avec une lampe selon l'invention.

**[0085]** Enfin, certaines sources de plasma micro-onde permettent de limiter le rayonnement, l'absorption des micro-ondes ayant lieu à la sortie immédiate de l'applicateur et l'allumage étant immédiat. Sinon, il est impératif d'utiliser un blindage électromagnétique.

**[0086]** La figure 4 illustre un mode de réalisation de l'invention dans lequel la décharge luminescente est initiée à partir d'un plasma de type RF inductif produit par une source 3 à la surface de l'une des électrodes jouant le rôle de cathode (dans l'exemple illustré, il s'agit de l'électrode E1).

**[0087]** Par ailleurs, la décharge luminescente est entretenue par l'application d'une tension U entre les électrodes E1 et E2.

**[0088]** Comme indiqué plus haut, la tension appliquée peut être continue ou périodique (par exemple à 50 ou 60 Hz).

**[0089]** Typiquement, les plasmas RF dits "inductifs" sont générés à des fréquences pouvant couvrir le domaine de l'ordre du MHz à la centaine de MHz, et en particulier aux fréquences ISM (industriel, scientifique, médical) comme 13,56 MHz, 27,12 MHz ou 40,68 MHz et avec des géométries d'antenne très variées, bien connues dans l'état de l'art des plasmas inductifs.

**[0090]** La figure 5 illustre un autre mode de réalisation de l'invention, dans lequel la décharge luminescente est initiée à partir d'un plasma micro-onde produit par une source 3 à la surface de l'une des électrodes jouant le rôle de cathode (dans l'exemple illustré, il s'agit de l'électrode E1).

**[0091]** Ladite source 3 peut être une cavité contenant une antenne, ou encore une structure coaxiale formée d'une âme conductrice centrale et d'un conducteur externe délimitant un volume de propagation des micro-ondes.

**[0092]** Par ailleurs, la décharge luminescente est entretenue par l'application d'une tension U entre les électrodes E1 et E2.

**[0093]** Comme indiqué plus haut, la tension appliquée peut être continue ou périodique (par exemple à 50 ou 60 Hz).

**[0094]** Les plasmas dits "micro-onde" peuvent être générés à des fréquences pouvant aller de la centaine de MHz à quelques GHz, et en particulier aux fréquences ISM de 433 MHz, 2,45 GHz, voire 5,80 GHz.

**[0095]** Dans l'exemple illustré à la figure 5, où le plasma est généré dans une cavité $\lambda/4$ de type Evenson [1], la miniaturisation de la source impose d'opérer à des fréquences élevées (2,45 ou 5,80 GHz).

**[0096]** Par contre, aux fréquences micro-onde plus basses, il est possible d'opérer avec des sources de type applicateur coaxial (voir par exemple références [2]-[3]) où la puissance micro-onde est absorbée en sortie immédiate de l'applicateur, ou encore avec des sources de plasma à onde de surface.

**[0097]** Un certain nombre de perfectionnements selon l'invention peuvent être apportés par l'utilisation de champs magnétiques, soit au niveau de la ou des sources de plasma, soit au niveau de la colonne positive.

**[0098]** Ces perfectionnements impliquent d'opérer à des pressions qui ne dépassent pas quelques torrs (c'est-à-dire inférieures à 10 torrs), et, de préférence, inférieures au torr (1 torr = 133 pascal), domaine de pression où la fréquence v de collision électronique dans le plasma devient inférieure à la fréquence cyclotronique $\omega_{ce}$ des électrons dans le champ magnétique ($v < \omega_{ce}$).

**[0099]** En effet, dans le cas contraire, l'effet du champ magnétique serait très amorti par les collisions.

Source RF en mode de couplage hélicoïdal

**[0100]** Ce mode de réalisation concerne les sources de plasma de type RF inductif qui peuvent opérer selon différents modes de couplage appelés respectivement :

- le mode E ou mode électrostatique à basse densité ;
- le mode H ou mode inductif à haute densité, et
- le mode W ou mode hélicoïdal en présence d'un champ magnétique axial appliqué à la décharge.

**[0101]** Le nom de ce mode de couplage hélicoïdal dérive du mode de propagation supposé de l'onde en présence de champ magnétique [4].

**[0102]** Ce mode hélicoïdal permet d'atteindre des densités plus élevées à puissance RF donnée en raison, d'une part, du confinement dû au champ magnétique, et, d'autre part, du mode de couplage très efficace de la puissance RF au plasma.

**[0103]** Selon ce mode de réalisation, illustré à la figure 6, on applique un champ magnétique axial statique B à la surface de la source 3 de plasma de type RF inductif de manière à obtenir un couplage selon le mode W.

**[0104]** L'intensité d'un tel champ magnétique est de l'ordre d'une centaine de gauss.

**[0105]** Ce champ magnétique peut être obtenu, de manière connue en elle-même, à partir d'aimants permanents, et/ou à partir de bobines magnétiques ou solénoïdes.

**[0106]** Dans l'exemple illustré à la figure 6, le champ magnétique est procuré par un aimant permanent 4 à aimantation axiale placé au voisinage de la cathode.

**[0107]** Source micro-onde en mode de couplage RCE (résonance cyclotronique électronique)

**[0108]** Ce mode de réalisation concerne les sources de plasma de type micro-onde qui, en présence d'un champ magnétique statique, peuvent opérer selon un mode de couplage résonnant appelé résonance cyclotronique électronique (RCE).

**[0109]** La résonance cyclotronique électronique est obtenue lorsque la fréquence $f_0 = \omega_0 / 2\pi$ du champ électrique micro-onde appliqué est égale à la fréquence $f_{ce} = \omega_{ce} / 2\pi$ de giration des électrons dans le champ magnétique, soit $\omega_0 = \omega_{ce}$.

**[0110]** Pour une fréquence micro-onde donnée, l'intensité du champ magnétique $B_0$ nécessaire au couplage RCE est donc :

$$B_0 = f_0 \, 2 \, \pi \, m_e / e \qquad (1)$$

où $m_e$ est la masse de l'électron et -e sa charge.

**[0111]** Selon ce mode de réalisation, on applique un champ magnétique statique d'intensité égale à la valeur de résonance $B_0$ au niveau de la source de plasma de façon à obtenir le mode de couplage RCE.

**[0112]** Pour une excitation du plasma à la RCE par des micro-ondes à 2,45 GHz, l'intensité du champ magnétique est $B_0 = 0{,}0875$ tesla.

**[0113]** Cette intensité du champ magnétique statique peut être obtenue à partir de bobines magnétiques ou solénoïdes et/ou à partir d'aimants permanents.

**[0114]** Notamment, les aimants permanents conventionnels en samarium-cobalt ou en ferrite de baryum et de strontium permettent de procurer l'intensité de champ magnétique requise pour un couplage RCE.

**[0115]** Dans le cas de micro-ondes à plus basse fréquence, l'intensité du champ magnétique de résonance requis est plus faible. Ainsi, $B_0 = 0{,}0155$ tesla à 433 MHz.

**[0116]** De préférence, le champ magnétique appliqué est axial.

**[0117]** Selon un mode de réalisation particulier illustré à la figure 7, la source de plasma est un applicateur micro-onde coaxial comprenant une âme centrale 30 et un conducteur externe 31 séparés par un volume 32 de propagation des micro-ondes, qui comprend en outre :

- un aimant permanent cylindrique 33, agencé à l'extrémité de l'âme centrale 30 et dont la direction d'aimantation est parallèle à l'axe de l'applicateur ; ledit aimant 33 présente de préférence un rayon sensiblement identique à celui de l'âme centrale (concrètement, ledit aimant peut présenter un rayon légèrement inférieur à celui de l'âme

centrale et être logé dans un logement cylindrique prévu à l'extrémité de l'âme centrale) ;

- un aimant annulaire 34, agencé à l'extrémité du conducteur externe 31 de l'ensemble coaxial et dont la direction d'aimantation est parallèle à l'axe de l'applicateur et de même sens que celle de l'aimant cylindrique.

**[0118]** L'ensemble des aimants agencés à l'extrémité de l'applicateur présente le même sens d'aimantation.

**[0119]** De préférence, ledit aimant annulaire 34 présente un rayon intérieur égal à celui du conducteur externe 31, qui correspond au rayon extérieur du volume annulaire 32 de propagation des micro-ondes, noté R (concrètement, ledit aimant 34 peut présenter un rayon intérieur légèrement supérieur à celui du conducteur externe et un rayon extérieur légèrement inférieur à celui du conducteur externe et être logé dans un logement annulaire prévu à l'extrémité du conducteur externe).

**[0120]** Les aimants 33, 34 peuvent être rendus solidaires de l'ensemble coaxial par tout moyen approprié.

**[0121]** L'aimantation de l'aimant cylindrique 33 et de l'aimant annulaire 34 est choisie de sorte à former un champ magnétique propre à procurer, dans une zone distante du plan de sortie de l'applicateur, un couplage de résonance cyclotronique électronique avec le champ électrique micro-onde généré par l'applicateur.

**[0122]** Ceci suppose que l'aimantation desdits aimants 33, 34 soit suffisante pour générer, à distance du plan de sortie de l'applicateur, un champ magnétique présentant l'intensité $B_0$ permettant la résonance cyclotronique électronique en fonction de la fréquence micro-onde prévue, selon la formule (1) ci-dessus.

**[0123]** D'autre part, l'aimant cylindrique 33 et l'aimant annulaire 34 permettent de générer des lignes de champ magnétique qui traversent la zone de couplage de résonance cyclotronique électronique selon une direction sensiblement parallèle à l'axe de l'applicateur.

**[0124]** Cet effet peut être obtenu par un choix judicieux du rayon extérieur et de l'aimantation de l'aimant annulaire 34.

**[0125]** En effet, plus l'aimant annulaire 34 présente un rayon extérieur important, plus les lignes d'iso-intensité du champ magnétique généré à distance de l'applicateur restent parallèles au plan de sortie de l'applicateur sur un rayon important.

**[0126]** La zone de résonance cyclotronique électronique étant délimitée, dans la direction radiale, par la zone dans laquelle le champ électrique micro-onde est le plus fort, l'utilisation d'un aimant annulaire dont le rayon extérieur est bien supérieur au rayon de cette zone permet l'obtention d'une zone de RCE sensiblement parallèle au plan de sortie de l'applicateur.

**[0127]** On considère que cette zone de champ électrique fort s'étend sur un rayon de l'ordre du double du rayon R de l'applicateur.

**[0128]** Par conséquent, si l'aimant annulaire présente un rayon extérieur supérieur au rayon de la zone de champ électrique fort, la zone de RCE est sensiblement parallèle au plan de sortie de l'applicateur sur toute son étendue de rayon 2R.

**[0129]** D'autre part, du fait de la présence de l'aimant annulaire ayant un rayon extérieur supérieur à 2R, les lignes de champ qui partent du pôle situé au niveau du plan de sortie de l'applicateur pour rejoindre le pôle opposé, restent sensiblement parallèles à l'axe de l'applicateur pendant leur traversée de la zone de RCE de rayon 2R, y compris à la périphérie de cette zone.

**[0130]** En d'autres termes, l'aimant annulaire a pour effet de « redresser » les lignes de champ à la périphérie de la zone de RCE.

**[0131]** Application d'un gradient de champ magnétique statique de l'électrode vers la colonne positive

**[0132]** Selon un mode de réalisation, illustré à la figure 8, on applique un champ magnétique axial statique dans la région R1 de la ou les sources de plasma selon une amplitude qui, dans la zone source, décroît de façon continue depuis la cathode vers la colonne positive.

**[0133]** Un tel champ magnétique statique peut être généré, par exemple, par un solénoïde 5 dont les spires sont distantes d'un pas croissant de la cathode vers la colonne positive.

**[0134]** Le courant circulant dans ledit solénoïde peut être, par exemple, fourni par le courant d'alimentation des transistors de la ou des sources de plasma. Il s'agit donc d'un courant continu.

**[0135]** Grâce à ce gradient décroissant de champ magnétique, les électrons accélérés dans la source de plasma convertissent dans le gradient de champ magnétique la vitesse de rotation acquise au niveau de la source en vitesse de translation en direction de la colonne positive en raison de la conservation du moment magnétique de l'électron le long de sa trajectoire (premier invariant adiabatique).

**[0136]** Par charge d'espace électrique, les ions sont entraînés par les électrons de telle sorte que le plasma produit dans la ou les sources de plasma au niveau de la cathode est "injecté" vers la colonne positive.

**[0137]** Ce mode de réalisation s'applique à la fois aux sources de plasma micro-onde et RF.

**[0138]** Le solénoïde 5 étant avantageusement placé à l'extérieur du plasma et entourant la source 3 de plasma cathodique, il remplit également la fonction de blindage électromagnétique vis-à-vis des ondes micro-onde ou RF.

**[0139]** Dans l'exemple illustré ici, on a placé une source 3 de plasma RF dans la région de chaque électrode et un solénoïde 5 autour de chacune de ces sources mais il va de soi que ce mode de réalisation peut être mis en oeuvre

avec une unique source de plasma cathodique et un unique solénoïde entourant celle-ci.

**[0140]** Application d'un champ magnétique axial statique le long de la colonne positive

**[0141]** Selon un mode de réalisation, un champ magnétique axial statique est appliqué le long de la colonne positive de manière à diminuer les pertes radiales le long de la colonne positive, et donc à améliorer l'efficacité énergétique globale de la décharge luminescente.

**[0142]** Comme illustré à la figure 9, ce champ magnétique statique peut être obtenu par un courant continu circulant dans un enroulement conducteur de type solénoïde 6 entourant la décharge luminescente sur toute sa longueur.

**[0143]** Dans l'exemple illustré ici, le solénoïde 6 est enroulé à l'extérieur du tube 1, à l'intérieur d'un tube 7 transparent au rayonnement émis qui contient le tube 1.

**[0144]** Néanmoins, si le solénoïde 6 est isolé électriquement, il peut être placé à l'intérieur du tube 1, au voisinage de sa paroi interne.

**[0145]** L'espace entre chaque tour de l'enroulement doit être bien entendu suffisant pour permettre le passage de la lumière vers l'extérieur.

**[0146]** Le courant continu circulant dans l'enroulement peut par exemple être fourni par le courant d'alimentation des transistors des sources de plasma aux extrémités de la décharge luminescente.

**[0147]** Outre l'effet de confinement, l'enroulement conducteur peut aussi, en outre, si nécessaire, assurer un blindage aux ondes électromagnétiques émises par certaines sources de plasma.

**[0148]** Ce mode de réalisation s'applique à la fois aux sources de plasma micro-onde et RF.

**[0149]** Dans l'exemple illustré ici, on a placé une source 3 de plasma RF dans la région d'une seule électrode (E1) mais il va de soi que ce mode de réalisation peut être mis en oeuvre avec deux sources de plasma cathodique.

**[0150]** Par ailleurs, les différents modes de réalisation décrits ci-dessus peuvent éventuellement être combinés.

**[0151]** Notamment, il est possible de combiner les modes de réalisation illustrés aux figures 8 et 9 en disposant le long de la décharge luminescente un solénoïde dont le pas des spires est croissant de la cathode vers la colonne positive, et constant le long de la colonne positive.

**[0152]** Grâce à un tel solénoïde, on génère donc à la fois un gradient de champ magnétique dans la région cathodique et un champ magnétique d'intensité constante dans la colonne positive.

REFERENCES

**[0153]**

[1] F. C. Fehsenfeld, K. M. Evenson, H. P. Broida, Microwave Discharge Cavities Operating at 2450 MHz, Rev. Sci. Instr. 36, 294-298 (1965)

[2] T. Lagarde, A. Lacoste, J. Pelletier, Y. Arnal, Dispositif de production d'une nappe de plasma, FR 2 840 451

[3] L. Latrasse, A. Lacoste, J. Sirou, J. Pelletier, High density distributed microwave plasma sources in a matrix configuration : concept, design and performance, Plasma Sources Sci. Technol. 16, 7-12 (2007)

[4] Francis F. Chen, Plasma ionization by helicon waves, Plasma Physics and Controlled Fusion, 33, 339-364 (1991)

## Revendications

**1.** Lampe à décharge luminescente, comprenant :

- une enveloppe (1) allongée, transparente à un rayonnement d'éclairement et contenant un gaz plasmagène (2),
- un dispositif d'application d'un champ électrique propre au maintien d'un plasma dans la région (R2) de l'enveloppe dite colonne positive, comprenant deux électrodes (E1, E2) constituant une anode et une cathode situées dans l'enveloppe, à chaque extrémité de ladite enveloppe (1),
- une source (3) de plasma cathodique micro-onde ou radiofréquence agencée dans l'enveloppe par rapport à l'électrode constituant la cathode de sorte à générer une décharge haute fréquence localisée à la surface de ladite électrode pour générer ledit plasma.

**2.** Lampe selon la revendication 1, **caractérisée en ce qu'**elle peut être alimentée par une tension périodique à 50 Hz ou 60 Hz et **en ce qu'**elle comprend deux sources de plasma cathodique situées dans l'enveloppe par rapport à chacune des deux électrodes (E1, E2) de sorte à générer une décharge radiofréquence ou micro-onde localisée à la surface de chacune desdites électrodes.

**3.** Lampe selon l'une des revendications 1 ou 2, **caractérisée en ce que** chaque source (3) de plasma cathodique est une source radiofréquence inductive.

4. Lampe selon l'une des revendications 1 ou 2, **caractérisée en ce que** chaque source (3) de plasma cathodique est une source micro-onde.

5. Lampe selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisée en ce que** la pression dans l'enveloppe (1) est inférieure à 10 torr (1330 Pa), de préférence inférieure ou égale à 1 torr (133 Pa).

6. Lampe selon la revendication 5, **caractérisée en ce que** chaque source (3) de plasma cathodique est une source radiofréquence inductive et **en ce que** la lampe comprend en outre un dispositif d'application d'un champ magnétique axial statique au niveau de ladite source de plasma.

7. Lampe selon la revendication 5, **caractérisée en ce que** chaque source (3) de plasma cathodique est une source micro-onde et **en ce que** la lampe comprend en outre un dispositif (4) d'application d'un champ magnétique statique dont l'intensité est égale à l'intensité ($B_0$) de résonance cyclotronique électronique au niveau de ladite source (3) de plasma.

8. Lampe selon l'une des revendications 6 ou 7, **caractérisée en ce qu'**elle comprend en outre un dispositif d'application, au niveau de la cathode, d'un champ magnétique axial statique d'intensité décroissante de la cathode vers la colonne positive (R2).

9. Lampe selon l'une des revendications 6 ou 7, **caractérisée en ce qu'**elle comprend en outre un dispositif d'application d'un champ magnétique axial statique le long de la colonne positive (R2).

10. Procédé d'éclairage par une lampe à décharge luminescente, ladite lampe comprenant une enveloppe (1) allongée, transparente à un rayonnement d'éclairement et contenant un gaz plasmagène (2), et deux électrodes (E1, E2) constituant une anode et une cathode situées dans l'enveloppe, à chaque extrémité de ladite enveloppe (1), ledit procédé étant **caractérisé en ce qu'**il comprend :

    - la génération d'un plasma cathodique micro-onde ou radiofréquence au moyen d'une décharge haute fréquence localisée à la surface de l'électrode constituant la cathode, ladite décharge étant générée par une source (3) de plasma cathodique micro-onde ou radiofréquence agencée dans l'enveloppe (1),
    - l'application, entre l'anode et la cathode, d'une tension adaptée pour appliquer un champ électrique axial de maintien du plasma dans la région (R2) de l'enveloppe (1) dite colonne positive.

11. Procédé selon la revendication 10, **caractérisé en ce que** la tension appliquée est une tension alternative à 50 ou 60 Hz et **en ce que** l'on génère le plasma cathodique alternativement à la surface de l'une et de l'autre électrode, à savoir l'électrode constituant la cathode selon la polarité de la tension appliquée.

12. Procédé selon l'une des revendications 10 ou 11, **caractérisé en ce que** l'on applique en outre au niveau de la cathode à la surface de laquelle le plasma cathodique est généré un champ magnétique axial statique dont l'intensité décroît de la cathode vers la colonne positive.

13. Procédé selon l'une des revendications 10 à 12, **caractérisé en ce que** l'on applique en outre le long de la colonne positive (R2) un champ magnétique axial statique.

14. Procédé selon l'une des revendications 10 à 13, **caractérisé en ce que** le plasma cathodique est généré à une fréquence comprise entre 1 MHz et 100 MHz.

15. Procédé selon la revendication 14, **caractérisé en ce que** l'on applique en outre un champ magnétique axial statique au niveau de la cathode à la surface de laquelle le plasma cathodique est généré, de sorte à obtenir un couplage selon un mode hélicoïdal.

16. Procédé selon l'une des revendications 10 à 13, **caractérisé en ce que** le plasma cathodique est généré à une fréquence comprise entre 100 MHz et 5,8 GHz.

17. Procédé selon la revendication 16, **caractérisé en ce que** l'on applique en outre un champ magnétique statique dont l'intensité est égale à l'intensité ($B_0$) de résonance cyclotronique électronique au niveau de la cathode à la surface de laquelle le plasma cathodique est généré, de sorte à obtenir un couplage de résonance cyclotronique électronique.

## Patentansprüche

1. Gasentladungslampe, umfassend:

   - eine längliche, für eine Beleuchtungsstrahlung transparente Hülle (1), die ein plasmabildendes Gas (2) enthält,
   - eine Anwendungsvorrichtung eines elektrischen Felds, das imstande ist, ein Plasma in der als positive Säule bezeichneten Region (R2) der Hülle zu halten, die zwei Elektroden (E1, E2) umfasst, die eine Anode und eine Kathode bilden, die sich in der Hülle an jedem Ende der Hülle (1) befinden,
   - eine kathodische Mikrowellen- oder Funkfrequenzplasmaquelle (3), die in der Hülle in Bezug zu der Elektrode, die die Kathode bildet, derart ausgebildet ist, dass eine auf der Oberfläche der Elektrode lokalisierte Hochfrequenzentladung erzeugt wird, um das Plasma zu erzeugen.

2. Lampe nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie mit einer periodischen Spannung von 50 Hz oder 60 Hz versorgbar ist und dass sie zwei kathodische Plasmaquellen umfasst, die sich in der Hülle in Bezug zu jeder der zwei Elektroden (E1, E2) derart befinden, dass eine auf der Oberfläche jeder der Elektroden lokalisierte Funkfrequenz- oder Mikrowellenentladung erzeugt wird.

3. Lampe nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** jede kathodische Plasmaquelle (3) eine induktive Funkfrequenzquelle ist.

4. Lampe nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** jede kathodische Plasmaquelle (3) eine Mikrowellenquelle ist.

5. Lampe nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Druck in der Hülle (1) niedriger als 10 Torr (1330 Pa), vorzugsweise niedriger oder gleich 1 Torr (133 Pa), ist.

6. Lampe nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** jede kathodische Plasmaquelle (3) eine induktive Funkfrequenzquelle ist und dass die Lampe ferner eine Anwendungsvorrichtung eines statischen axialen Magnetfelds im Bereich der Plasmaquelle umfasst.

7. Lampe nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** jede kathodische Plasmaquelle (3) eine Mikrowellenquelle ist und dass die Lampe ferner eine Anwendungsvorrichtung (4) eines statischen Magnetfelds umfasst, dessen Intensität der elektronischen zyklotronischen Resonanzintensität ($B_0$) im Bereich der Plasmaquelle (3) entspricht.

8. Lampe nach einem der Ansprüche 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie ferner im Bereich der Kathode eine Anwendungsvorrichtung eines statischen axialen Magnetfelds mit abnehmender Intensität der Kathode in Richtung der positiven Säule (R2) umfasst.

9. Lampe nach einem der Ansprüche 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie ferner eine Anwendungsvorrichtung eines statischen axialen Magnetfelds entlang der positiven Säule (R2) umfasst.

10. Beleuchtungsverfahren durch eine Gasentladungslampe, wobei die Lampe eine längliche, für eine Beleuchtungsstrahlung transparente Hülle (1), die ein plasmabildendes Gas (2) enthält, und zwei Elektroden (E1, E2), die eine Anode und eine Kathode bilden, die sich in der Hülle an jedem Ende der Hülle (1) befinden, umfasst, wobei das Verfahren **dadurch gekennzeichnet ist, dass** es umfasst:

    - das Erzeugen eines kathodischen Mikrowellen- oder Funkfrequenzplasmas einer auf der Oberfläche der Elektrode, welche die Kathode bildet, lokalisierten Hochfrequenzentladung, wobei die Entladung von einer in der Hülle (1) ausgebildeten kathodischen Mikrowellen- oder Funkfrequenzplasmaquelle (3) erzeugt wird,
    - das Anwenden zwischen der Anode und der Kathode einer Spannung, die ausgebildet ist, um ein axiales elektrisches Haltefeld des Plasmas in der als positive Säule bezeichneten Region (R2) der Hülle (1) anzuwenden.

11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die angewendete Spannung eine Wechselspannung mit 50 oder 60 Hz ist und dass das kathodische Plasma alternativ auf der Oberfläche der einen und der anderen Elektrode, nämlich der Elektrode, die gemäß der Polarität der angewendeten Spannung die Kathode bildet, erzeugt wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** ferner im Bereich der Kathode,

auf deren Oberfläche das kathodische Plasma erzeugt wird, ein statisches axiales Magnetfeld erzeugt wird, dessen Intensität von der Kathode in Richtung der positiven Säule abnimmt.

**13.** Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** ferner entlang der positiven Säule (R2) ein statisches axiales Magnetfeld angewendet wird.

**14.** Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** das kathodische Plasma in einer Frequenz zwischen 1 MHz und 100 MHz inkl. erzeugt wird.

**15.** Verfahren nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** ferner ein statisches axiales Magnetfeld im Bereich der Kathode, auf deren Oberfläche das kathodische Plasma erzeugt wird, angewendet wird, um eine Kopplung gemäß einem spiraligen Modus zu erhalten.

**16.** Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** das kathodische Plasma in einer Frequenz zwischen 100 MHz und 5,8 GHz inklusive erzeugt wird.

**17.** Verfahren nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** ferner ein statisches Magnetfeld angewendet wird, dessen Intensität der elektronischen zyklotronischen Resonanzintensität ($B_0$) im Bereich der Kathode, auf deren Oberfläche das kathodische Plasma erzeugt wird, entspricht, um eine elektronische zyklotronische Resonanzkopplung zu erhalten.

## Claims

**1.** A glow discharge lamp, including:

- an elongated envelope (1), transparent to lighting radiation and containing a plasma gas (2),
- a device for applying an electric field suitable for maintaining a plasma in the region (R2) of the envelope called the positive column, including two electrodes (E1, E2) constituting an anode and a cathode situated in the envelope, at each end of said envelope (1),
- a microwave or radio-frequency cathode plasma source (3) positioned in the envelope relative to the electrode constituting the cathode so as to generate a localized high-frequency discharge on the surface of said electrode to generate said plasma.

**2.** The lamp according to Claim 1, **characterized in that** it can be supplied with a periodic voltage at 50 Hz or 60 Hz and **in that** it includes two cathode plasma sources situated in the envelope relative to each of the two electrodes (E1, E2) so as to generate a localized radio-frequency or microwave plasma at the surface of each of said electrodes.

**3.** The lamp according to one of Claims 1 or 2, **characterized in that** each cathode plasma source (3) is an inductive radio-frequency source.

**4.** The lamp according to one of Claims 1 or 2, **characterized in that** each cathode plasma source (3) is a microwave source.

**5.** The lamp according to one of Claims 1 to 4, **characterized in that** the pressure inside the envelope (1) is less than 10 torr (1330 Pa), preferably less than or equal to 1 torr (133 Pa).

**6.** The lamp according to Claim 5, **characterized in that** each cathode plasma source (3) is an inductive radio-frequency source and **in that** the lamp further includes a device for applying a static axial magnetic field at said plasma source.

**7.** The lamp according to Claim 5, **characterized in that** each cathode plasma source (3) is a microwave source and **in that** the lamp further includes a device (4) for applying a static magnetic field with intensity equal to the electron cyclotron resonance intensity ($B_0$) at said plasma source (3).

**8.** The lamp according to one of Claims 6 or 7, **characterized in that** it further includes a device for applying, at the cathode, a static axial magnetic field with its intensity decreasing from the cathode toward the positive column (R2).

**9.** The lamp according to one of Claims 6 or 7, **characterized in that** it further includes a device for applying a static

axial magnetic field along the positive column (R2).

**10.** A lighting method using a glow discharge lamp, said lamp including an elongated envelope (1) transparent to lighting radiation and containing a plasma gas (2), and two electrodes (E1, E2) constituting an anode and a cathode, situated inside the envelope, at each end of said envelope (1), said method being **characterized in that** it includes:

- generation of a microwave or radio-frequency cathode plasma by means of a localized high-frequency discharge at the surface of the electrode constituting the cathode, said discharge being generated by a microwave or radio-frequency cathode plasma source (3) positioned in the envelope (1),
- application, between the anode and the cathode, of a voltage suited for applying an axial electric field for maintaining the plasma in the region (R2) of the envelope (1) called the positive column.

**11.** The method according to Claim 10, **characterized in that** the voltage applied is an AC voltage at 50 or 60 Hz and **in that** the cathode plasma is generated alternately at the surface of one and the other electrode, to wit the electrode constituting the cathode depending on the polarity of the voltage applied.

**12.** The method according to one of Claims 10 or 11, **characterized in that** a static axial magnetic field, with its intensity decreasing from the cathode toward the positive column, is further applied at the cathode at the surface whereof the cathode plasma is generated.

**13.** The method according to one of Claims 10 to 12, **characterized in that** a static axial magnetic field is further applied along the positive column (R2).

**14.** The method according to one of Claims 10 to 13, **characterized in that** the cathode plasma is generated at a frequency comprised between 1 MHz and 100 MHz.

**15.** The method according to Claim 14, **characterized in that** a static axial magnetic field is further applied at the cathode, at the surface whereof the cathode plasma is generated, so as to obtain coupling in a helical mode.

**16.** The method according to one of Claims 10 to 13, **characterized in that** the cathode plasma is generated at a frequency comprised between 100 MHz and 5.8 GHz.

**17.** The method according to Claim 16, **characterized in that** a static magnetic field with an intensity equal to the electron cyclotron resonance intensity ($B_0$) is further applied at the cathode at the surface whereof the cathode plasma is generated, so as to obtain electron cyclotron resonance coupling.

FIG. 1

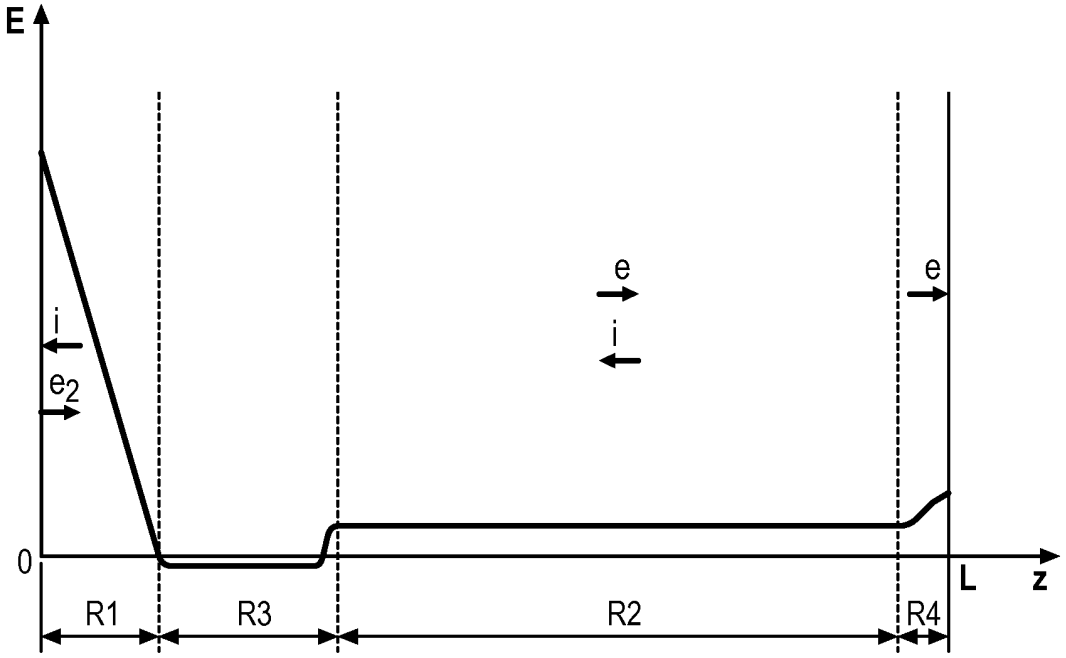



FIG. 2A

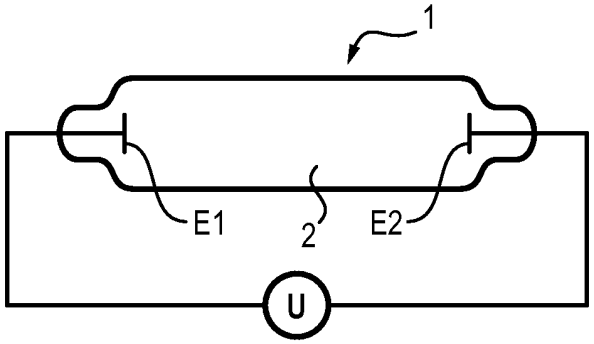



FIG. 2B

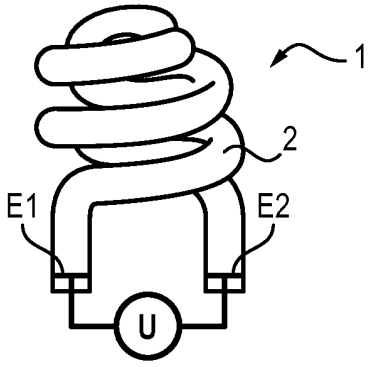


FIG. 3

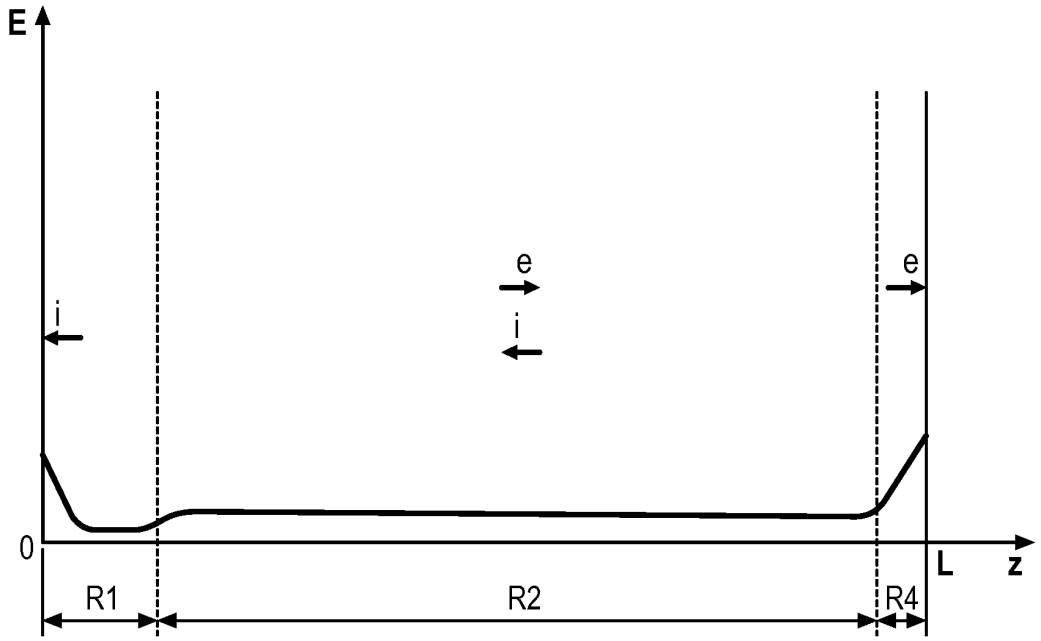



FIG. 4

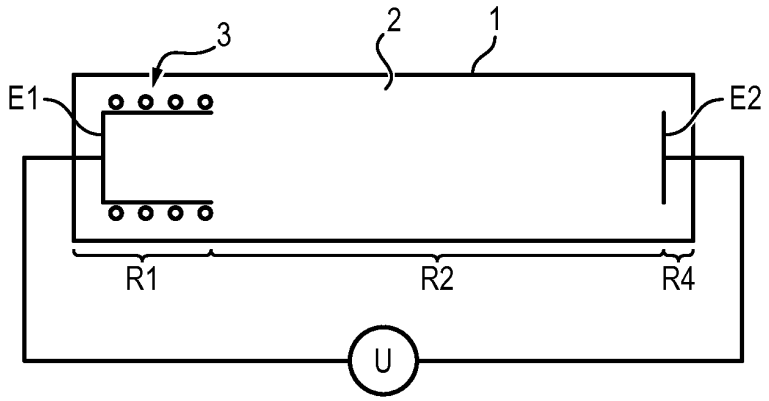



FIG. 5

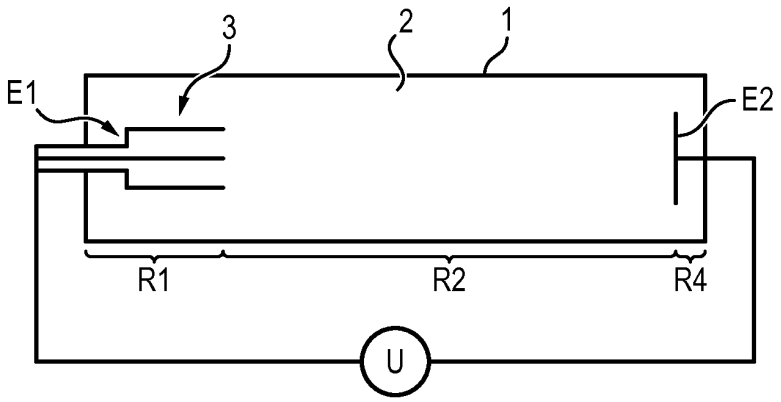


FIG. 6

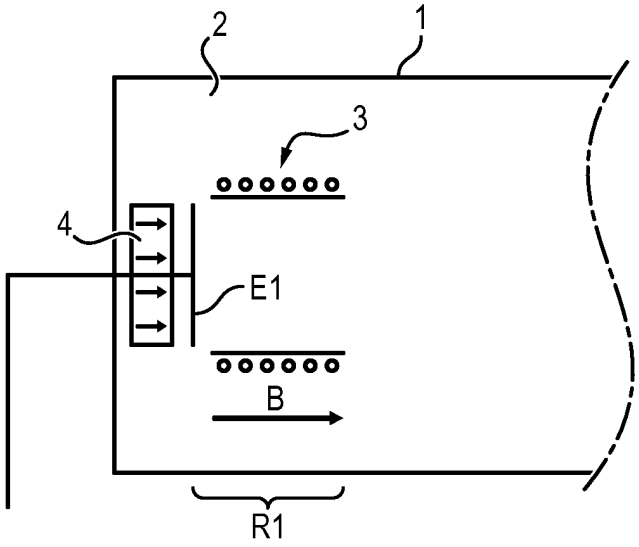



FIG. 7

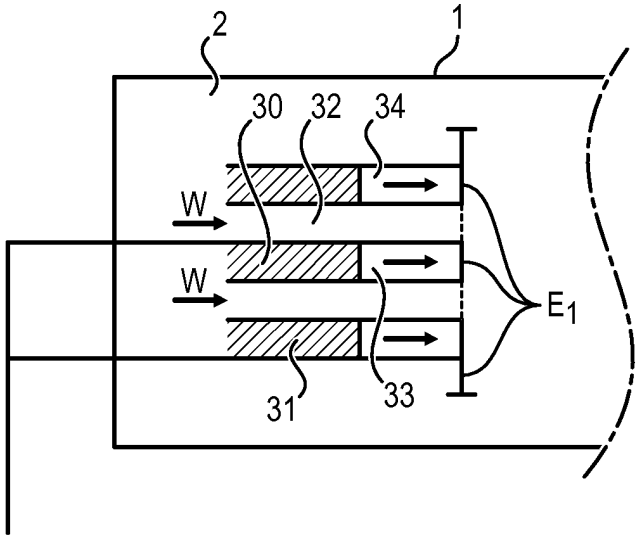



FIG. 8

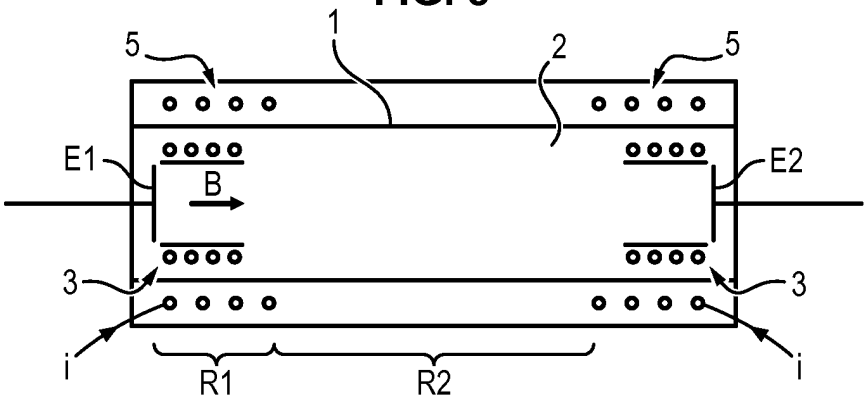
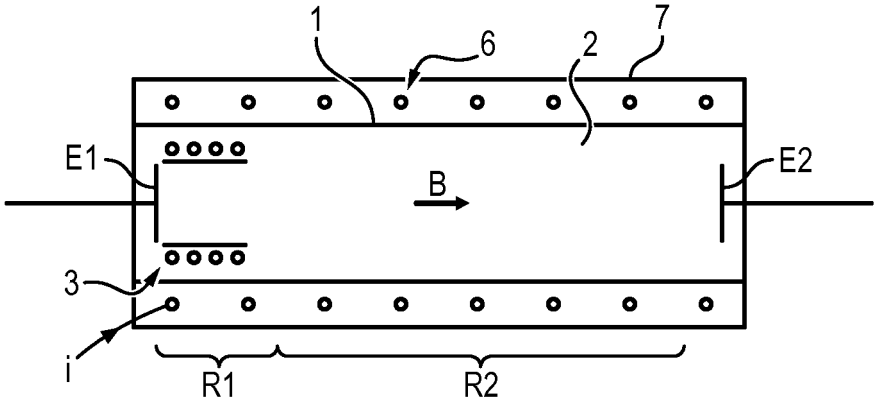


FIG. 9



## RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

*Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.*

### Documents brevets cités dans la description


- FR 2840451 **[0153]**


### Littérature non-brevet citée dans la description


- **F. C. FEHSENFELD ; K. M. EVENSON ; H. P. BROIDA.** Microwave Discharge Cavities Operating at 2450 MHz. *Rev. Sci. Instr.,* 1965, vol. 36, 294-298 **[0153]**
- **T. LAGARDE ; A. LACOSTE ; J. PELLETIER ; Y. ARNAL.** *Dispositif de production d'une nappe de plasma* **[0153]**
- **L. LATRASSE ; A. LACOSTE ; J. SIROU ; J. PELLETIER.** High density distributed microwave plasma sources in a matrix configuration : concept, design and performance. *Plasma Sources Sci. Technol.,* 2007, vol. 16, 7-12 **[0153]**
- **FRANCIS F.** *Chen, Plasma ionization by helicon waves, Plasma Physics and Controlled Fusion,* 1991, vol. 33, 339-364 **[0153]**