

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 377 217**

51 Int. Cl.:  
**H01J 63/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **05795116 .2**  
96 Fecha de presentación: **30.08.2005**  
97 Número de publicación de la solicitud: **1794856**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **13.06.2007**

54 Título: **Lámparas de descarga en corona**

30 Prioridad:  
**30.08.2004 US 605991 P**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**23.03.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**23.03.2012**

73 Titular/es:  
**RUTGERS, THE STATE UNIVERSITY  
OLD QUEENS, SOMERSET STREET  
NEW BRUNSWICK, NEW JERSEY 08903, US**

72 Inventor/es:  
**SALVERMOSER, Manfred y  
MURNICK, Daniel, E.**

74 Agente/Representante:  
**Ponti Sales, Adelaida**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

ES 2 377 217 T3

**DESCRIPCIÓN**

Lámparas de descarga en corona

**Referencia cruzada con solicitudes relacionadas**

5 La presente solicitud reivindica el beneficio de la fecha de presentación de la solicitud provisional de patente US N° 60/605,991, presentada el 30 de agosto de 2004.

**Campo técnico**

La presente invención se refiere a dispositivos de descarga en corona, tales como lámparas de descarga en corona.

**Antecedentes de la invención**

10 Un excímero es una molécula de corta duración que típicamente consiste en dos átomos en un estado de excitación o de alta energía. Un excímero puede incluir átomos que normalmente no se unirán entre sí en el estado no excitado o de tierra. Tal como se establece en la patente US N° 6.400.089, ("la patente '089") los excímeros pueden ser generados de manera eficiente mediante la aplicación de un campo eléctrico a un gas capaz de formar excímeros, tal como, por ejemplo, gases nobles y proporcionando electrones libres en el gas. Por ejemplo, el campo puede proporcionarse entre un primer electrodo y un electrodo contrario inmerso en el gas. El campo eléctrico está configurado para acelerar los electrones a por lo menos la energía requerida para formar excímeros, pero está configurado de manera que en al menos una región del campo, la fuerza del campo esté por debajo de la requerida para ionizar sustancialmente el gas. Por lo tanto, no se forma un arco entre el primer electrodo y el electrodo contrario. Esta descarga que no forma arcos se refiere como una descarga en corona.

20 Esta disposición puede usarse en la creación de excímeros para cualquier propósito. Una aplicación particularmente útil es la formación de excímeros que emiten radiación electromagnética, tal como luz al decaer los excímeros. Por ejemplo, ciertos gases nobles que contienen excímeros emiten luz ultravioleta al decaer. Si la pared de la cámara es transparente o translúcida a la luz generada por el decaimiento de los excímeros, la luz puede pasar fuera de la cámara. Ciertos dispositivos de acuerdo con la patente '089 pueden proporcionar luz ultravioleta intensa.

A pesar del avance en la técnica representada por la patente '089, sería deseable una mejora adicional.

25 Un documento titulado "Efficient, stable, corona discharge 172 nm xenon excimer light source" de Salvermoser et al. publicado en el Journal of Applied Physics, volumen 94, número 6, 15 de septiembre de 2003 en las páginas 3722 a 3731 describe un sistema de dos regiones eléctricamente acopladas en un gas raro a alta presión, a saber, una región de producción de electrones de descarga, y una región de producción de excímeros de deriva de electrones, que puede hacer para producir excímeros VUV radiantes con pérdidas de ionización mínimas. La primera descarga en corona espacialmente limitada produce electrones, que sirven como un cátodo de plasma localizado. Los electrones luego entran en una región de deriva con un campo eléctrico de fuerza suficiente para ganar suficiente energía cinética por longitud promedio de colisión, para excitar pero no para ionizar átomos. El único mecanismo de pérdida de energía de electrones, que no sea la excitación, es la transferencia de momento de impulso de minutos a átomos de gases raros a través de colisiones elásticas.

35 El documento US 6.400.089 describe un procedimiento de generación de luz que comprende aplicar un campo eléctrico a un gas formador de excímeros, tal como una mezcla de gases que contienen gases nobles e hidrógeno o halógeno, y proporcionar electrones libres en el gas. El campo eléctrico está configurado para acelerar los electrones a por lo menos la energía requerida para formar excímeros, pero en al menos una región del campo eléctrico, no ionizando el campo sustancialmente el gas, de modo que el campo no induce la formación de arcos a través del gas.

**Descripción de la invención**

Un aspecto de la presente invención proporciona un procedimiento tal como se establece en la reivindicación 1.

Un aspecto adicional de la presente invención proporciona un aparato tal como se establece en la reivindicación 24.

45 Los aspectos anteriores de la invención incorporan la realización de que se pueden lograr aumentos significativos en la eficiencia de conversión de potencia para la formación de excímeros y, en consecuencia, aumentos en la eficiencia de conversión de potencia aplicada a la luz mediante la aplicación de un potencial eléctrico pulsado entre el primer electrodo y el electrodo contrario. Preferiblemente, el potencial pulsado tiene un ciclo de trabajo de tal manera que el potencial está en alrededor del 75 por ciento o menos del tiempo total, más deseablemente aproximadamente un 50 por ciento o menos del tiempo total, y más deseablemente alrededor del 25% o menos del tiempo total.

50 En general, reducciones adicionales en el ciclo de trabajo tienden a aumentar la eficiencia y, en igualdad de condiciones, la formación de excímeros y la salida de luz por unidad de tiempo durante los tiempos de pulsación. Aunque la presente invención no está limitada por ninguna teoría de operación, se cree que este fenómeno se

relaciona con diferencias en la temperatura del primer electrodo. Se cree que el primer electrodo permanece más frío con excitación pulsada que con excitación continua.

5 En los sistemas que utilizan gases nobles (He, Ne, Ar, Kr, y Xe) para formar excímeros de los gases nobles (por ejemplo, Xe<sub>2</sub><sup>\*</sup>) ciertas impurezas reducen dramáticamente la eficiencia global de la formación de excímeros. En particular, estas impurezas incluyen especies que formarán iones electronegativos en las condiciones que prevalecen en el sistema. El vapor de agua (H<sub>2</sub>O) es una de esas especies. Otras especies que forman iones negativos en estas condiciones en una extensión sustancial incluyen especies que contienen halógenos, otras especies que contienen oxígeno tales como CO<sub>2</sub> y especies que contienen halógeno. Así, un aspecto adicional de la invención proporciona procedimientos para la formación de excímeros en un gas, más preferiblemente un gas que incluye uno o más gases nobles.

Estos y otros aspectos, características y ventajas de la presente invención será más fácilmente evidentes a partir de la descripción detallada que se indica a continuación, tomada en conjunción con los dibujos adjuntos.

### Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es un diagrama de bloques del aparato de acuerdo con una realización de la invención.

15 La figura 2 es una vista en sección tomada a lo largo de la línea 2-2 en la figura 1.

La figura 3 es una vista idealizada que representa una porción del aparato mostrado en las figuras 1 y 2 a una escala ampliada.

La figura 4 es una vista esquemática en sección que representa un aparato de acuerdo con una realización adicional de la invención.

20 La figura 5 es una vista en sección tomada a lo largo de la línea 5-5 en la figura 1.

### Descripción detallada

25 Ciertas características de la unidad representada en las figuras 1 y 2 también se muestran en la figura 5 de un artículo de los presentes inventores, titulado "Efficient, stable, corona discharge 172 nm xenon excimer light source", Journal of Applied Physics, Volumen 94, Número 6, páginas 3721-3731 (en adelante "J. Appl. 2003"). La descripción completa de dicho artículo se incorpora aquí por referencia.

30 Un aparato de acuerdo con una realización de la presente invención incluye una cámara 10 que tiene algunas de las paredes formadas a partir de un material transparente a la luz ultravioleta en una longitud de onda de 172 nm, más preferiblemente sílice fusionada. Un primer electrodo 14 está dispuesto dentro de la cámara. El primer electrodo incluye una pluralidad de agujas 16 que tienen puntas 18 dispuestas sustancialmente en un plano. Las agujas deseablemente se forman a partir de un material metálico, tal como tungsteno, y tienen puntas afiladas. El primer electrodo también incluye una placa metálica, tal como una placa de cobre 20 conectada a una de las agujas 16 que se extiende alrededor de las otras agujas, pero sin tocar las otras agujas. La placa 20 puede estar situada alrededor de 1 mm por detrás del plano de las puntas 18. Cada aguja 16 opcionalmente puede estar asociada con una resistencia de lastre individual 22. Cada aguja puede estar conectada a través de su resistencia de lastre asociada 22 a un bus común 24. Cada resistencia de lastre puede tener una resistencia del orden de 1 kilo-ohmio. Tal como se explica más adelante, las resistencias de lastre son opcionales; las agujas 16 pueden estar conectadas directamente al bus 24.

40 Un electrodo contrario 26 en forma de una pantalla o placa metálica también se coloca dentro de la cámara 10. La distancia entre el plano de las puntas 18 de las agujas y el electrodo contrario puede ser, por ejemplo, de alrededor de 0,7-1 cm.

45 El interior de la cámara 10 se llena con un gas formador de excímeros 30. El gas 30 deseablemente es un gas de alta pureza, tal como se detalla más adelante. En la realización particular ilustrada, el gas 30 es Xe de gran pureza. El gas deseablemente está a una presión de aproximadamente 0,5 atmósferas o por encima, más preferiblemente alrededor de 1 atmósfera o por encima. Una pequeña cantidad de un desecante o captador 32 se proporciona dentro de la cámara 10. El desecante o captador sirve para reaccionar con impurezas tales como vapor de agua, oxígeno, dióxido de carbono y otras especies capaces de formar iones negativos en las condiciones que prevalecen dentro de la cámara durante la operación. Materiales adecuados para uso como un captador incluyen aquellos comúnmente utilizados como captadores en tubos de vacío, tal como por ejemplo, moleculares, zeolitas o de bario altamente purificado, circonio, o titanio.

50 Una fuente de alimentación pulsante 34 está conectada al bus común 24 del primer electrodo y al electrodo contrario 26. La fuente de alimentación 34 tiene una conexión a tierra 36 conectada al electrodo contrario 26, y tiene una conexión de salida de alta tensión 38 conectada al bus común 24 del primer electrodo. La fuente de alimentación 34 se muestra simbólicamente como la incorporación de un transformador 40 que tiene un lado primario conectado a un circuito primario de baja tensión 42 a través de un elemento de conmutación 46, y que tiene un lado de alta tensión o

salida conectado a una conexión de salida 38 a través de una resistencia de detección de corriente de bajo valor 39. Aunque el elemento de conmutación 46 está representado como un simple interruptor, típicamente incorpora elementos de conmutación de estado sólido tales como transistores, y se controla mediante un circuito de temporización 47, de manera que el interruptor periódicamente se cierra y se abre. Cuando el interruptor está cerrado, un campo magnético se crea en el transformador. Cuando el interruptor se abre, el campo magnético de repente se colapsa, induciendo un alto voltaje en la conexión de salida 38, y así en las agujas 16 del primer electrodo. Un circuito de control 49 detecta el voltaje a través de una resistencia de detección 39 y, por lo tanto, detecta la corriente que pasa a través de la conexión de salida 38 y a través del primero electrodo 14. El circuito de control está dispuesto para inhibir la operación del circuito de temporización y, por lo tanto, impide la aplicación de otros pulsos de alta tensión en la conexión de salida 38 durante un corto período de tiempo, tal como 0,1-1,0 segundos si la corriente excede un umbral preseleccionado durante un pulso. Se debe apreciar que la representación de la fuente de alimentación 34 es meramente esquemática, y que la fuente de alimentación 34 puede incluir otros elementos que se encuentran comúnmente en fuentes de alimentación de conmutación de potencia de alta tensión convencionales. La fuente de alimentación está dispuesta de manera que la tensión que aparece en la conexión de salida 38 es negativa respecto a tierra.

La fuente de alimentación y otros elementos del circuito que conectan el suministro de energía a los electrodos deseablemente están contruidos y dispuestos de modo que cada pulso o intervalo "activo" de la tensión negativa aplicada al primer electrodo 14 tiene una duración de alrededor de 100 microsegundos o menos, y de modo que el tiempo de subida de la tensión en el inicio de cada pulso es de aproximadamente 10 microsegundos o menos, tal como se detalla más adelante. Tal como se usa aquí, el término "tiempo de subida" se refiere al tiempo en que la tensión negativa se eleva desde aproximadamente un 10% de su magnitud máxima a aproximadamente un 90% de su máxima magnitud. El voltaje negativo en el primer electrodo tiene típicamente un ciclo de trabajo de aproximadamente un 75% o menos, y más típicamente alrededor de un 50% o menos. Menores ciclos de trabajo, deseablemente alrededor del 25% o menos o del 5% a aproximadamente el 15%, tal como aproximadamente del 10%, se pueden utilizar. Tal como se usa aquí, el término "ciclo de trabajo" se refiere al porcentaje del tiempo total transcurrido en que la tensión está activa.

Aunque el primer electrodo está a un potencial negativo respecto al electrodo contrario, la alta tensión negativa aplicada a la puntas 18 de las 16 agujas crea un campo eléctrico de alta intensidad alrededor de las puntas y entre las puntas y el electrodo contrario. Una punta está representada en la figura 3 de forma idealizada. La intensidad de campo es la más alto inmediatamente adyacente a la punta. En la proximidad inmediata de la punta, la intensidad de campo disminuye con el cuadrado de la distancia  $r$  desde la punta. Dentro de una región interior generalmente esférica 60 del campo, desde la punta hasta una radio interno dado, la intensidad de campo es suficiente para causar una ionización apreciable del gas, que produce electrones libres. Dentro de esta región, los electrones libres pueden ser acelerados a una energía media cerca o superior a la energía de ionización  $\epsilon^{\text{ion}}$  del gas. Dentro de esta región, el gas está a una temperatura alta y la formación de excimeros es mínima. Dicho de otra manera, una descarga en corona localizada se produce dentro de la región interior. Bajo la influencia del campo eléctrico, los electrones libres se mueven hacia el electrodo contrario y pasan hacia fuera de la región interior a una región exterior 62, que se extiende desde la región interior al electrodo contrario 26.

En la región exterior 62, el campo es sustancialmente menor que en la región interior, y es casi uniforme. En esta región exterior 62, los electrones libres son acelerados a una energía media muy por debajo de la energía de ionización  $\epsilon^{\text{ion}}$  del gas, de modo que una preponderancia sustancial de los electrones tienen energías por debajo de la energía de ionización del gas. Sin embargo, una proporción significativa de los electrones tienen energías por encima de la energía de excitación de los electrones  $\epsilon^*$  de los átomos de gas. En esta región, una proporción sustancial de los átomos de gas son promovidos a estados electrónicamente excitados mediante la energía transferida desde los electrones libres. Estos átomos excitados forman excimeros. Así, la formación sustancial de excimeros se produce en esta región.

La formación de excimeros aumenta con la intensidad de campo en la región externa 62, y por lo tanto, aumenta con el voltaje aplicado. Esto puede entenderse cualitativamente como sigue: A medida que la tensión aplicada y la intensidad de campo aumenta en la región exterior, disminuye la distancia a través de la que un electrón debe acelerar dentro del campo para llegar a  $\epsilon^*$ . Al pasar desde la región interior al electrodo contrario, un electrón particular se acelerará a  $\epsilon^*$  o por encima, a continuación, excitará un átomo de gas y luego se acelerará de nuevo a  $\epsilon^*$  y excitará otro átomo. Estas etapas se repiten hasta que el electrón alcanza el electrodo contrario 26. El número de átomos de gas excitados formados por electrón está inversamente relacionado con la distancia de aceleración requerida para alcanzar  $\epsilon^*$ . Así, para un sistema dado, el número de excimeros formados por electrón aumenta con la intensidad de campo y, por lo tanto, con el potencial aplicado.

El límite superior en la intensidad de campo y el potencial aplicado es impuesto por la necesidad de evitar o limitar la formación de arcos. Los electrones en la región exterior del campo tienen un rango de energías. Incluso allí donde la energía media de los electrones está por debajo de la energía  $\epsilon^{\text{ion}}$  requerida para ionizar un átomo de gas, algunos de los electrones tienen una energía que se acerca a  $\epsilon^{\text{ion}}$ . Cuando el número de electrones que tienen una energía igual o superior a  $\epsilon^{\text{ion}}$  excede un valor umbral, se produce la formación de arcos. Para cualquier sistema dado, se pueden determinar experimentalmente el potencial aplicado y la intensidad de campo que causan la formación significativa de arcos, y el potencial aplicado durante cada pulso se puede establecer justo debajo de este límite. El

voltaje aplicado durante cada pulso se puede seleccionar mediante la configuración de la fuente de alimentación 34. Para facilitar el ajuste de la tensión, el transformador 40 puede ser un transformador variable.

Además, la relación entre la distribución aplicada de energía potencial y de electrones puede calcularse tal como se describe también en el artículo antes mencionado J. Appl. Phys. 2003. Una medida del campo se denomina aquí como campo reducido. El campo reducido es igual a la intensidad de campo E (en kV/cm) dividida por la presión del gas (en bar). Para Xe, la operación en un campo reducido de alrededor de 1 kv/(cm bar) a alrededor de 3 kv/(cm bar), y preferiblemente alrededor de 3 kv/(cm bar), durante los tiempos de activación del potencial pulsado generalmente proporciona una buena eficiencia sin arco. Para Xe,  $\epsilon^{\text{ion}}$  es de aproximadamente 12,1 eV, mientras que  $\epsilon^*$  es aproximadamente de 8,32 eV.

El uso de un potencial pulsado con una duración de pulso relativamente corta o tiempo de activación, tal como 100  $\mu\text{S}$  o menos, proporciona beneficios significativos. Para un sistema dado, el potencial que puede ser aplicado durante los tiempos de activación de este potencial pulsado sin la formación de arcos es significativamente mayor que el potencial continuo que puede ser aplicado sin formación de arcos. Por lo tanto, el sistema que usa un potencial pulsado puede operar a un potencial más alto, y por lo tanto, una mayor eficiencia, que un sistema comparable utilizando un potencial constante. También, cuando el primer electrodo incluye agujas u otras estructuras que definen una pluralidad de puntos (tal como en la figura 1), aplicando el potencial en pulsos cortos con un tiempo de subida rápido, se tiende a impedir la concentración de la corriente en una sola aguja. Aquí de nuevo, la presente invención no está limitada por ninguna teoría de operación. Sin embargo, se cree que este efecto es el resultado del tiempo de deriva finito de los electrones y/o iones en el gas. Independientemente de las razones para este efecto, proporciona beneficios significativos. En un electrodo de múltiples agujas, las resistencias de lastre sirven para evitar la formación de arcos en una sola aguja. Sin embargo, con excitación pulsada tal como se describe en este documento, que tiene cortos tiempos de subida, las resistencias de lastre se pueden omitir o pueden tener una resistencia relativamente baja, aumentando así la eficiencia global del sistema.

Duraciones de pulsos aún más cortas, con tiempos de subida más rápidos, tienden a maximizar los beneficios mencionados anteriormente. Por ejemplo, la longitud del pulso puede ser de aproximadamente 50  $\mu\text{S}$  o menos, o alrededor de 25  $\mu\text{S}$  o menos, o aproximadamente 10  $\mu\text{S}$ , tal como aproximadamente 10  $\mu\text{S}$  hasta aproximadamente 15  $\mu\text{S}$ . La longitud del pulso, tal como se refiere en la presente memoria, es la longitud total del pulso, incluyendo el tiempo de subida en el inicio del pulso y el tiempo de caída al final del pulso. El tiempo de subida al inicio de cada pulso deseablemente es de aproximadamente el 10% de la longitud del pulso o menos. Por ejemplo, para una longitud de pulso de 10  $\mu\text{S}$  o menos, el tiempo de subida deseablemente es de aproximadamente 1  $\mu\text{S}$  o menos.

La corriente a través de los electrodos, y por lo tanto a través de la resistencia de detección 39, típicamente está en el rango de unos 100 miliamperios o menos durante cada pulso, y cero durante los intervalos entre pulsos. La corriente promedio durante el periodo de funcionamiento, incluyendo tanto los pulsos como el tiempo "activo" y los intervalos entre los pulsos o el tiempo "inactivo" se refieren aquí como "corriente de tiempo promedio", y está más típicamente en el rango de 1mA a varios mA. En el caso de que se produzca la formación de arcos durante un pulso particular, la corriente a través de los electrodos aumenta muchas veces el nivel observado durante un pulso normal, tal como, por ejemplo, varios cientos de mA. El circuito de control 49 responde a este aumento comandando el circuito de temporización para dejar el elemento de conmutación 46 abierto para un intervalo corto, deseablemente igual a unos pocos ciclos normales. Durante este tiempo, las especies ionizadas formadas en el arco se disipan y enfrían los electrodos. El funcionamiento normal se puede reanudar. El circuito de control, por lo tanto, permite la operación en voltajes de pulsación muy cerca del umbral en el que se produce la formación de arcos, y contribuye a la eficiencia del sistema. En otras variantes, el circuito de control está dispuesto para controlar la tensión aplicada durante cada pulso, tal como mediante el aumento de la tensión cuando no se forman arcos y disminuyéndola cuando se forman arcos, de modo que el sistema se asentará en un voltaje de pulsación justo por debajo del umbral en el que se produce la formación de arcos.

Para sistemas típicos, la fuente potencial debería ser capaz de aplicar el potencial pulsado de modo que durante cada pulso, el primer electrodo es aproximadamente 1 kV a aproximadamente 20 kV de tensión negativa respecto al electrodo contrario. La tensión óptima variará con factores tales como la presión del gas, la pureza del gas y la distancia entre el primer electrodo y el electrodo contrario. Esta distancia está típicamente en el intervalo de aproximadamente 10 mm a unos pocos centímetros. Más típicamente, la presión del gas está en el intervalo de aproximadamente 0,2 bar a alrededor de 10 bares. El producto de los tiempos de presión de gas y la distancia entre los electrodos típicamente es del orden de 0,1 bar\*cm a 20 bar\*cm.

Los aparatos de acuerdo con una realización adicional de la invención, representada en las figuras 4 y 5, incluyen una cámara 110 que tiene una pared tubular 101 formada a partir de un material tal como sílice fundida transparente a la luz ultravioleta que será emitida durante la operación y las tapas de extremo 102 y 104. El aparato incluye además un primer electrodo 114 en forma de un alambre metálico alargado de pequeño diámetro y un electrodo tubular contrario 126 en forma de una pantalla metálica coaxial con el primer electrodo de alambre y, por lo tanto, dispuesta a una distancia uniforme del primer electrodo de alambre. El primer electrodo o alambre 114 puede estar físicamente apoyado por las tapas de los extremos 102 y 104, pero está aislado eléctricamente de las tapas de los extremos. El electrodo contrario 126 puede estar conectado al potencial de tierra a través de una o ambas de las tapas de los extremos. Un circuito de aplicación de potencial que incluye una fuente de alimentación conmutada 134

está conectado eléctricamente entre el primer electrodo 114 y el electrodo contrario. El circuito de aplicación de potencial está dispuesto para aplicar un potencial negativo conmutado o de pulsos al primer electrodo 114 sustancialmente de la misma manera como se describió anteriormente. En esta realización, el gas formador de excímeros 130 se suministra de forma continua a partir de una fuente 108, de forma que pase a través de la cámara 110 y salga a través de un puerto 109. Alternativamente, la cámara se puede sellar con el gas formador de excímeros permanentemente confinado dentro de la cámara. Un captador (no mostrado) se podrá proporcionar en la cámara o en la fuente de gas, o ambas. Durante el funcionamiento normal, la disipación de potencia dentro de la cámara es moderada, y la disipación de calor, por lo tanto, a través de las paredes de la cámara al aire ambiente normal mantiene la cámara a una temperatura razonable, típicamente menos de 50°C. Sin embargo, medios de refrigeración adicionales (no mostrados) se pueden proporcionar, los cuales pueden incluir conductos de refrigerante en las paredes de la cámara, en las tapas o en los electrodos.

En funcionamiento, cuando el potencial negativo se aplica al primer electrodo de alambre 114, tiende a producir un conjunto de discretas zonas de luz de emisión a lo largo de la longitud del alambre. Aunque la presente invención no está limitada por ninguna teoría de operación, se cree que estas zonas de emisión se forman en lugares donde los factores tales como irregularidades menores en la superficie del alambre producen concentraciones locales en el campo eléctrico en la proximidad del alambre. Cuando el voltaje aplicado aumenta, el número de zonas de emisiones también aumenta. Cada zona de emisiones incluye regiones de campo similares a las descritas anteriormente con referencia a la figura 3. Así, cada zona de emisiones incluye una región interior 160 en la que una proporción sustancial de los electrones tienen energías por encima de la requerida para la ionización y una región exterior 162 en la que todos o casi todos los electrones tienen energías por debajo de la requerida para la ionización, pero muchos electrones tienen una energía por encima de la requerida para la formación de excímeros. En esta realización, el campo es sustancialmente radial y las regiones 160 y 162 son generalmente cilíndricas.

En un ejemplo, la realización tubular que se muestra en las figuras 4 y 5 incluye una cámara tubular de unos 4 cm de diámetro exterior. En la condición representada en las figuras 4 y 5, una tensión de varios kV como, por ejemplo, aproximadamente 2,3 kV a aproximadamente 6 kV se aplica en forma pulsada y produce un promedio de tiempo de corriente de alrededor de 1 miliamperios a unos pocos miliamperios. La cámara puede contener cualquiera de los gases descritos en este documento, tal como, por ejemplo, Xe a una presión de aproximadamente 1 bar.

Tal como se describió anteriormente, la fuente de potencial pulsado está dispuesta para aplicar los pulsos de modo que el potencial se eleve rápidamente al inicio de cada pulso. En esta realización, el tiempo de subida rápido tiende a minimizar la concentración de la corriente en uno o más puntos a lo largo de la longitud del alambre.

El potencial aplicado entre el primer electrodo y el electrodo contrario puede incluir un componente además de la excitación pulsada descrita anteriormente. Por ejemplo, un componente de CC podrá mantener el primer electrodo en una tensión negativa respecto al electrodo contrario durante intervalos entre pulsos. En una disposición de este tipo, el primer electrodo se mantiene en un potencial negativo (por ejemplo, -1 kV) respecto al electrodo contrario durante intervalos entre pulsos, y en un mayor potencial negativo (-3 kV por ejemplo) durante pulsos. En otras disposiciones, el componente adicional puede incluir un componente de CC de polaridad inversa o un componente de CA lentamente variable.

Las características descritas anteriormente pueden ser aplicadas utilizando cualquier gas capaz de formar excímeros. Deseablemente, el gas incluye un primer componente de gas seleccionado del grupo que consiste en He, Ne, Ar, Kr, y Xe y mezclas de los mismos. El gas puede consistir esencialmente en este primer componente de gas. Por ejemplo, el gas puede ser sustancialmente Xe puro, para formar excímeros  $Xe_2^*$ . El decaimiento de estos excímeros produce radiación ultravioleta en una longitud de onda de 172 nm. En otras realizaciones, el gas incluye un segundo componente de gas que tiene una composición diferente de la composición de dicho primer componente de gas. El segundo componente de gas puede ser un componente que formará una especie excitada cuando contacte con el excímero formado a partir del primer componente de gas. Por ejemplo, el segundo componente de gas se puede seleccionar del grupo que consiste en nitrógeno e hidrógeno. En un sistema, el gas consiste esencialmente en Ne como primer componente del gas y  $H_2$  como segundo componente del gas. Esta mezcla puede ser excitada para formar excímeros de  $Ne_2^*$  y emite radiación ultravioleta en alrededor de 121 nm mediante un mecanismo aún más descrito en la patente US 6.282.222, cuya descripción se incorpora aquí por referencia. Aunque ni la patente '222 ni la presente invención están limitadas por ninguna teoría de operación, se cree que este mecanismo implica la transferencia de energía desde los excímeros de  $Ne_2^*$  al hidrógeno, y la emisión a partir del hidrógeno monoatómico excitado resultante. En otro ejemplo, el gas consiste esencialmente en Ar y  $N_2$ . El Ar preferiblemente constituye alrededor del 95-99 por ciento en moles de gas, tal como, por ejemplo, aproximadamente 1 bar Ar y unos 20 milibares  $N_2$ . Tras la excitación tal como se describió anteriormente, el sistema produce la radiación ultravioleta en alrededor de 337 nm, junto con otras longitudes de onda. Aunque la presente invención no está limitada por ninguna teoría de la operación, se cree que esto ocurre debido a la formación de excímeros de  $Ar_2^*$  y la transferencia de energía procedente de estos excímeros a  $N_2$  excitando así las moléculas de  $N_2$ , seguido por el decaimiento del  $N_2$  excitado.

Cuando el gas incluye uno o más gases nobles (He, Ne, Ar, Kr, y Xe) para formar excímeros de gases nobles (por ejemplo,  $Xe_2^*$ ) determinadas impurezas reducen dramáticamente la eficiencia global de la formación de excímeros. En particular, estas impurezas incluyen especies que forman iones electronegativos en las condiciones que

prevalecen en el sistema. Típicamente, estas condiciones incluyen el impacto de electrones que tengan energías en el orden de aproximadamente 2 a aproximadamente 8 voltios de electrón. Las energías de los electrones que impactan pueden ser calculadas a partir de factores tales como el potencial aplicado y el camino libre promedio que a su vez se puede calcular a partir de la presión del gas. Tal como se describe en mayor detalle en el artículo Appl J.. Phys. de 2003, el vapor de agua ( $H_2O$ ) es una de esas especies. Otras especies que forman iones negativos en estas condiciones en una medida sustancial incluyen especies que contienen halógenos,  $O_2$  y el oxígeno otro tipo que contenga especies tales como  $CO_2$  y especies que contienen halógenos. Más preferiblemente, cuando se desea la producción de excimeros de gases nobles (tal como en una fuente de luz ultravioleta empleando emisiones de excimeros de gases nobles) la mezcla de gas contiene aproximadamente 10 ppm o menos de todas estas impurezas tomadas en conjunto, y en particular contiene aproximadamente 10 ppm o menos de vapor de agua. Menores contenidos de impurezas son aún más deseables.

Tal como se ha mencionado anteriormente, procedimientos y aparatos formadores de excimeros de acuerdo con la presente invención pueden ser utilizados para producir luz; la luz es emitida al decaer el excímero, más típicamente en la región ultravioleta del espectro. Cuando la cámara tiene una o más paredes que transmiten la luz en la longitud de onda de emisión, la luz se puede utilizar fuera de la cámara. Alternativamente, los materiales que son tratados por la luz pueden colocarse dentro de la cámara que contiene el gas formador de excimeros y los electrodos. En una variante adicional, el electrodo contrario puede servir como reflector, y puede ser configurado para dirigir o enfocar la luz emitida. La luz se puede aplicar directamente para promover una reacción química. La luz de 172 nm emitida por los excimeros de  $Xe^*_2$  interactúa eficazmente con el oxígeno para dividir el  $O_2$  en  $O$  monoatómico, que recombina con otras moléculas de  $O_2$  para formar ozono ( $O_3$ ). Pueden producirse altas concentraciones de ozono, del orden del 5% en aire ambiente. También la luz ultravioleta se puede utilizar directamente para fines tales como el desarrollo de fotoresistencia en aplicaciones de semiconductores y otras. En otras aplicaciones, la luz ultravioleta puede ser convertida en luz ultravioleta visible o de mayor longitud de onda mediante fósforos adecuados dispuestos dentro o fuera de la cámara que contiene gas, de modo que el dispositivo actúa como una lámpara para la producción de luz ultravioleta visible o de longitud de onda más larga. En aún otras aplicaciones, la radiación tal como luz ultravioleta emitida por los excimeros en decaimiento se puede aplicar para promover otras reacciones químicas.

El potencial pulsado produce luz con intensidad de pulsación. Típicamente, la intensidad de la luz decae rápidamente a cero entre los pulsos. Para muchas aplicaciones, tales como la formación de ozono y el desarrollo de fotoresistencia, el tiempo promedio de la intensidad de la luz es el parámetro importante. La alta eficiencia en la formación de excimeros proporciona una alta intensidad promedio de luz. En otras aplicaciones, los tiempos de encendido y apagado del potencial aplicado, y así los tiempos de encendido y apagado de la emisión de luz, pueden seleccionarse para promover un resultado particular. Por ejemplo, ciertas reacciones químicas tienen constantes particulares de tiempo. Cuando la radiación emitida por los excimeros se aplica para promover tales reacciones, el tiempo entre pulsos de potencial aplicado, y por lo tanto el tiempo entre pulsos de radiación, puede ser seleccionado para que coincida con estas constantes de tiempo. En una variante adicional, la radiación pulsante se puede utilizar para proporcionar un efecto estroboscópico. Por ejemplo, cuando las piezas de trabajo a tratar por la luz se desplazan más allá del sistema en rápida sucesión, los pulsos pueden ser cronometrados de manera que cada pulso de radiación se produce cuando una nueva pieza de trabajo se coloca para la exposición.

Las configuraciones particulares de los electrodos y las cámaras descritas anteriormente son meramente de ejemplo. Otras configuraciones, incluyendo las que se muestran en la patente '089, se pueden utilizar. Por ejemplo, el primer electrodo puede incluir características tales como una o más cuchillas que tienen bordes afilados; alambres múltiples o agujas múltiples. También, en las realizaciones descritas anteriormente, los electrones libres se introducen en el gas formador de excimeros mediante ionización localizada cerca de los primeros electrodos. Sin embargo, se pueden emplear otras fuentes de electrones libres, tales como una pistola de electrones. En una realización que utiliza una pistola de electrones, el campo dentro del gas formador de excimeros puede ser un campo uniforme de una magnitud tal que los electrones, una vez inyectados y acelerados por el campo, tendrán una distribución de energía tal que un número sustancial de los electrones tienen energía por encima de la energía necesaria para excitar los átomos y, por lo tanto, forman excimeros, pero la mayoría de los electrones, y deseablemente todos o casi todos los electrones, tienen una energía por debajo de la energía de ionización del gas. Dicho de otra manera, el campo deberá estar por debajo de la magnitud que produce la formación de arcos.

Estas y otras variaciones y combinaciones de las características descritas anteriormente pueden ser utilizadas sin apartarse de la invención, tal como se define mediante las reivindicaciones, y la descripción anterior de las realizaciones preferidas debe ser tomada a modo de ilustración, más que a modo de limitación de la invención tal como se define mediante las reivindicaciones.

## REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para formar excímeros en un gas que comprende la imposición de un campo eléctrico dentro de un gas mediante la aplicación de un potencial eléctrico pulsado que incluye pulsos de 10 a 100 microsegundos de duración entre un primer electrodo (14; 114) dentro del gas y un electrodo contrario (26; 126) alejado del primer electrodo, de modo que los electrones libres pasan hacia dicho electrodo contrario, estando dicho campo eléctrico configurado de modo que durante los pulsos de dicho potencial eléctrico pulsado (i) dentro de una región de dicho campo, dichos electrones libres tienen una distribución de energía de electrones tal que al menos algunos electrones libres tienen energías iguales o mayores que la energía de excitación requerida para formar el excímero; y (ii) dentro de una región de dicho campo, dichos electrones libres tienen una distribución de energía de electrón tal que una mayoría de los electrones libres tienen energías menores que la energía de ionización del gas, de manera que dichos electrones libres excitan el gas y forman excímeros sin causar la formación de arcos.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que esencialmente todos los pulsos de dicho potencial eléctrico pulsado son de polaridad tal que dicho primer electrodo es negativo respecto a dicho electrodo contrario durante dicho pulsos.
3. Procedimiento según la reivindicación 2, en el que dicho potencial pulsado es el único potencial aplicado entre dicho primer electrodo (14; 114) y dicho electrodo contrario (26; 126).
4. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que al menos algunos de dichos pulsos tienen tiempos de subida de unos 10 microsegundos o menos.
5. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que esencialmente todos dichos pulsos tienen tiempos de subida de alrededor de 10 microsegundos o menos.
6. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que dicho potencial pulsado tiene un ciclo de trabajo de aproximadamente un 75% o menos.
7. Procedimiento según la reivindicación 6, en el que dicho ciclo de trabajo es de aproximadamente un 50% o menos.
8. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho primer electrodo (114) incluye un alambre alargado y al menos parte de dicho electrodo contrario (126) es una superficie equidistante de dicho alambre alargado.
9. Procedimiento según la reivindicación 8, en el que dicho alambre alargado es sustancialmente recto y define un eje recto de elongación, y en el que dicha al menos parte de dicho electrodo contrario (126) es en forma de al menos una porción de una superficie de revolución alrededor de dicho eje de elongación.
10. Procedimiento según la reivindicación 1, que también comprende la etapa de utilización de la radiación electromagnética generada por el decaimiento de dicho excímeros.
11. Procedimiento según la reivindicación 10, en el que dicha radiación electromagnética incluye luz ultravioleta.
12. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que dicho gas incluye un primer componente de gas seleccionado del grupo que consiste en He, Ne, Ar, Kr, y Xe y sus mezclas.
13. Procedimiento según la reivindicación 12, en el que dicho gas consiste esencialmente en dicho primer componente de gas.
14. Procedimiento según la reivindicación 12, en el que dicho gas incluye un segundo componente de gas que tiene una composición diferente a la composición de dicho primer componente de gas.
15. Procedimiento según la reivindicación 14, en el que dicho segundo componente de gas es seleccionado del grupo que consiste en nitrógeno e hidrógeno.
16. Procedimiento según la reivindicación 15, en el que dicho gas consiste esencialmente en Ne y H<sub>2</sub>.
17. Procedimiento según la reivindicación 16, en el que dicho gas consiste esencialmente en Ar y N<sub>2</sub>.
18. Procedimiento según la reivindicación 1 o la reivindicación 12 o la reivindicación 13, en el que dicho gas contiene menos de aproximadamente 10 ppm de impurezas capaces de formar iones cargados negativamente bajo las condiciones que prevalecen en dichas regiones.
19. Procedimiento según la reivindicación 1 o la reivindicación 12 o la reivindicación 13, en el que dicho gas contiene menos de aproximadamente 10 ppm de vapor de agua.
20. Procedimiento según la reivindicación 18, que también comprende la etapa de contener dicho gas en el interior de una cámara sellada.

21. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que los excímeros emiten luz ultravioleta, comprendiendo también la etapa de utilizar un fósforo para convertir la luz ultravioleta emitida por el excímero en luz visible o en luz ultravioleta de longitud de onda más larga.
- 5 22. Procedimiento según la reivindicación 21, en el que el fósforo está adaptado para convertir la luz ultravioleta emitida por el excímero en luz ultravioleta de longitud de onda más larga.
23. Procedimiento según la reivindicación 21 ó 22, que comprende además la etapa de contener el gas formador de excímeros dentro de una cámara, estando dispuesto el fósforo dentro de la cámara.
24. Aparato para formar excímeros en un gas, que comprende:
- (a) una cámara (10; 110) para contener un gas formador de excímeros;
- 10 (b) un primer electrodo (14; 114) dispuesto dentro de dicha cámara;
- (c) un electrodo contrario (26; 126) dentro de dicha cámara separado de dicho primer electrodo; y
- (d) un circuito de aplicación de potencial (34; 134) conectado a dicho primer electrodo (14; 114) y a dicho electrodo contrario (26; 126), estando adaptado dicho circuito para aplicar un potencial pulsado entre dichos electrodos de modo que durante dicho pulsos, el potencial impone un campo eléctrico dentro de dicho gas para proporcionar y acelerar los electrones libres, estando configurado dicho campo eléctrico de modo que durante dicho pulsos (i) dentro de una región de dicho campo, dichos electrones libres tienen una distribución de energía de electrón tal que por lo menos algunos electrones libres tienen energías iguales o mayores que la energía de excitación requerida para formar el excímero; y (ii) dentro de una región de dicho campo, dichos electrones libres tienen una distribución de energía de electrón tal que una mayoría de los electrones libres tienen energías menores que la energía de ionización del gas para habilitar dichos electrones libres para excitar el gas y formar excímeros sin causar la formación de arcos, estando adaptado dicho circuito de aplicación de potencial para aplicar dichos pulsos para que por lo menos algunos de dichos pulsos sean de 10 a 100 microsegundos de duración.
- 15 25. Aparato según la reivindicación 24, en el que dicho circuito de aplicación de potencial (34; 134) está adaptado para aplicar dichos pulsos de manera que por lo menos algunos de dichos pulsos tengan tiempos de subida de alrededor de 10 microsegundos o menos.
- 20 26. Aparato según la reivindicación 24, en el que dicho circuito de aplicación de potencial (34; 134) está adaptado para aplicar dichos pulsos de modo que esencialmente todos dichos pulsos tienen tiempos de subida de alrededor de 10 microsegundos o menos.
- 30 27. Aparato según la reivindicación 24, en el que dicho circuito de aplicación de potencial (34; 134) está adaptado para aplicar dichos pulsos de manera que dicho potencial pulsado tiene un ciclo de trabajo de aproximadamente un 75% o menos.
28. Aparato según la reivindicación 27, en el que dicho circuito de aplicación de potencial (34; 134) está adaptado para aplicar dichos pulsos de manera que dicho ciclo de trabajo es de aproximadamente un 50% o menos.
- 35 29. Aparato según la reivindicación 24, en el que dicho primer electrodo (114) incluye un alambre alargado y al menos parte de dicho electrodo contrario (126) es una superficie equidistante de dicho alambre alargado.
30. Aparato según la reivindicación 29, en el que dicho alambre alargado es sustancialmente recto y define un eje recto de elongación, y en el que dicha al menos parte de dicho electrodo contrario (126) es en forma de al menos una porción de una superficie de revolución alrededor de dicho eje de elongación.
- 40 31. Aparato según cualquiera de las reivindicaciones 24 a 30, en el que dicho primer electrodo (14) incluye una estructura de electrodo que define una pluralidad de regiones puntiagudas (16).
32. Aparato según la reivindicación 31, que también comprende medios para la utilización de la radiación electromagnética generada por el decaimiento de dichos excímeros.
33. Aparato según la reivindicación 32, en el que dicha radiación electromagnética incluye luz ultravioleta.
- 45 34. Aparato según la reivindicación 23, en el que dicho gas incluye un primer componente de gas seleccionado del grupo que consiste en He, Ne, Ar, Kr, y Xe y sus mezclas.
35. Aparato según la reivindicación 34, en el que dicho gas consiste esencialmente en dicho primer componente de gas.
36. Aparato según la reivindicación 24, en el que dicho gas incluye un segundo componente de gas que tiene una composición diferente a la composición de dicho primer componente de gas.
- 50 37. Aparato según la reivindicación 36, en el que dicho segundo componente de gas se selecciona del grupo que

consiste en nitrógeno e hidrógeno.

38. Aparato según la reivindicación 36, en el que dicho gas consiste esencialmente en Ne y H<sub>2</sub>.

5 39. Aparato según la reivindicación 24, en el que dicho gas contiene menos de aproximadamente 10 ppm de impurezas capaces de formar iones cargados negativamente bajo las condiciones que prevalecen en dichas regiones.

40. Aparato según la reivindicación 24, en el que dicha cámara (10; 110) tiene una pared transparente a la radiación electromagnética emitida por el decaimiento de dichos excímeros.

10 41. Aparato según la reivindicación 24, en el que dicho circuito de aplicación de potencial (34; 134) incluye un circuito de control (49) dispuesto para detectar la formación de arcos y para modificar el funcionamiento del circuito de aplicación de potencial en respuesta a la formación de arcos.

42. Aparato según la reivindicación 41, en el que dicho circuito de control (49) está dispuesto para interrumpir momentáneamente el funcionamiento del circuito de aplicación de potencial (34; 134) en respuesta a la formación de arcos.

15 43. Aparato según la reivindicación 24, que también comprende un fósforo, estando adaptado el fósforo para convertir la luz ultravioleta emitida por el excímero en luz visible o en luz ultravioleta con longitud de onda más larga.

44. Aparato según la reivindicación 43, en el que el fósforo está adaptado para convertir la luz ultravioleta emitida por el excímero en luz ultravioleta de longitud de onda más larga.

45. Aparato según la reivindicación 43 ó 44, en el que el fósforo está dispuesto dentro de la cámara.



FIG. 3



