

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 767 503**

51 Int. Cl.:

G01R 15/24 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.03.2015 PCT/EP2015/055792**

87 Fecha y número de publicación internacional: **22.09.2016 WO16146193**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.03.2015 E 15741745 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.10.2019 EP 3271734**

54 Título: **Conjunto de compartimento estanco al gas y sensor de voltaje óptico**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
17.06.2020

73 Titular/es:
**ABB SCHWEIZ AG (100.0%)
Brown Boveri Strasse 6
5400 Baden, CH**

72 Inventor/es:
**MARCHESE, SERGIO, VINCENZO;
GU, XUN;
BÜYÜKKAVIR, BURAK;
BOHNERT, KLAUS y
ERFORD, TOBIAS**

74 Agente/Representante:
ELZABURU, S.L.P

ES 2 767 503 T3

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).

DESCRIPCIÓN

Conjunto de compartimento estanco al gas y sensor de voltaje óptico

Campo técnico

- 5 La invención reside en el campo de la detección de voltaje óptico y se refiere específicamente a un conjunto que comprende un sensor de voltaje óptico y un compartimento estanco al gas y a una aparatamenta aislada con gas que comprende dicho conjunto de acuerdo con las reivindicaciones independientes.

Antecedentes de la invención

En la técnica anterior, existen diversas realizaciones de sensores ópticos de voltaje integrados en aparatamentas aisladas con gas:

- 10 El documento US 6.016.053 [1] desvela un transformador de voltaje formado por un sensor de voltaje óptico incorporado en la aparatamenta aislada con gas, en el que el sensor de voltaje comprende un cristal de Pockels, tal como un cristal BGO, con dos superficies paralelas, que son perpendiculares a las líneas de campo eléctrico y están revestidas con una capa eléctricamente conductora transparente. El cristal está rígidamente fijado dentro de un tubo aislante y con bridas en ambos extremos que forman un extremo de baja voltaje y de alta voltaje del transformador. El transformador de voltaje está rígidamente fijado por un brazo portador dentro de la aparatamenta en el extremo de bajo voltaje; en el extremo de alto voltaje, el transformador de voltaje está soportado en un revestimiento de protección por anillos de espuma de caucho elástico y un anillo de cojinete, así como un resorte de contacto. El transformador de voltaje comprende además un filtro de gas/molecular para eliminar los productos de descomposición reactiva del gas de aislamiento y la humedad del compartimento de gas.

- 20 El documento DE 196 04 908 A1 [2] desvela un dispositivo de medición de voltaje incorporado en la aparatamenta aislada con gas. El dispositivo comprende un cristal de cuarzo en forma de cilindro entre alto voltaje y potencial de tierra. Se envuelve una fibra óptica sobre la superficie del cilindro. La deformación piezoeléctrica periódica del cristal como resultado de la aplicación de un voltaje de corriente alterna (CA) produce un desplazamiento de fase óptico diferencial de ondas de luz que se propagan en la fibra que sirve como medida para el voltaje. El cristal de cuarzo está equipado con accesorios metálicos en ambos extremos. Los accesorios están en contacto eléctrico con electrodos de dirección de campo por medio de resortes de contacto. El material de amortiguación de vibraciones entre los accesorios y los electrodos protege el cristal contra vibraciones mecánicas y golpes. Una tubería aislante entre los electrodos de alto voltaje y de tierra encierra el cristal. El volumen hueco dentro de la tubería está en intercambio de gases con el volumen de gas de la aparatamenta a través de un cartucho. El cartucho contiene un material absorbente que evita que los productos de descomposición reactiva del gas de aislamiento producido por el arco eléctrico lleguen al cristal.

- 35 El documento WO 2009/080109 A1 [3] desvela un sensor de voltaje óptico incorporado en la aparatamenta aislada con gas. Una varilla o fibra electro-óptica reside dentro de un orificio de un aislante de partición que se extiende radialmente desde la barra colectora en alto voltaje hasta el recinto metálico en el potencial de tierra. El orificio está lleno de aceite o resina. La fibra o varilla electro-óptica se puede insertar, además, en un capilar lleno de aceite.

Los documentos US 5.136.236 [4] y EP 1 710 589 (A1) [5] describen otras realizaciones de sensores ópticos de voltaje incorporados en aparatamentas aisladas con gas, en las que la medición de voltaje se reduce a una medición del campo eléctrico local.

- 40 K. Kurosawa *et al.*, "Development of an optical instrument transformer for DC voltage measurement," IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 8, pp. 1721-1726, 1993 [6] y F. Cecelja, *et al.*, "Validation of electro-optic sensors for measurement of DC fields in the presence of space charge," Measurement, vol. 40, pp. 450-458, 2007 [7] desvelan sensores de voltaje óptico para voltaje de corriente continua (CC). Ambas realizaciones emplean un cristal electro-óptico que exhibe birrefringencia lineal en presencia de campos eléctricos transversales a la dirección de propagación de la luz.

- 45 El documento US 5.715.058 [8] enumera diferentes clases de cristal electro-óptico y orientaciones de cristal junto con los materiales correspondientes que permiten la integración de la línea del campo eléctrico sin exhibir birrefringencia en el campo eléctrico cero. Además, se desvela una configuración de sensor con el cristal electro-óptico unido entre dos placas de vidrio que actúan como elementos de sujeción y como sustratos para los electrodos de capa formados por una película conductora de electricidad transparente o reflectante.

- 50 En el contexto de los sensores de voltaje óptico para voltajes de corriente alterna (CA), se han considerado la dirección de campo y el blindaje de campos dispersos no deseados:

El documento WO 00/34793 [9] y Chavez *et al.*, IEEE Transactions on Power Delivery 17, 362 (2002) [10], desvelan sensores de voltaje óptico que comprenden uno o más sensores de campo eléctrico local distribuidos a lo largo de una trayectoria desde tierra a alto voltaje dentro de un tubo o sección aislante; la insensibilidad a los campos de dispersión eléctrica se logra mediante una permitividad y geometría especificadas de la sección aislante.

- 55

El documento WO 2011/154408 A1 [11] desvela un sensor óptico de alto voltaje para uso en exteriores que comprende un cristal electro-óptico o piezoelectrónico en forma de cilindro en el orificio longitudinal de un poste aislante de epoxi. El poste aislante contiene dos juegos de láminas de electrodo incrustadas en una disposición concéntrica y escalonada para lograr una distribución ventajosa del campo eléctrico. El volumen hueco restante del orificio se llena con material de relleno. En una realización preferida, un cristal electro-óptico está equipado con electrodos conductores de electricidad para controlar la distribución de campo cerca de los extremos del cristal. Los electrodos están unidos al cristal del sensor de manera flexible, es decir, mediante juntas tóricas de caucho o silicona. Alternativamente, los electrodos de contacto pueden estar fabricados con caucho o elastómeros conductores de electricidad. Los electrodos están en contacto eléctrico con los potenciales de tierra y alto voltaje mediante cables eléctricos. Además, las facetas de cristal pueden estar revestidas con películas conductoras ópticamente transparentes que nuevamente son contactadas eléctricamente por cables. Este diseño es desventajoso para la medición de voltajes de CC ya que pueden acumularse cargas de espacio en el material aislante con un mayor riesgo de ruptura dieléctrica.

Los esquemas para la interrogación del desplazamiento de fase electro-óptico inducido por el efecto electro-óptico o el efecto Pockels en un cristal electro-óptico son, por ej., desvelados en los documentos [1], [2], [11] y WO 2008/077255 A1 [12]. Estas realizaciones comprenden esquemas de interrogación con el cristal electro-óptico integrado en la trayectoria óptica del sistema de interrogación en transmisión o en reflexión, así como esquemas polarimétricos, en los que el desplazamiento de fase se convierte en un cambio de potencias de luz por medio de elementos ópticos pasivos tal como retardadores y polarizadores, y esquemas interferométricos, en los que el desplazamiento de fase es modulado por un modulador óptico. Realizaciones adicionales de sensores de voltaje óptico:

El documento EP 1 462 810 A1 [13] desvela un sensor de voltaje óptico, en el que el elemento sensor se forma como una pila de capas alternas de vidrio de cuarzo y cristales electro-ópticos. Los electrodos de contacto están unidos a ambos extremos de esta pila para que el voltaje a medir caiga sobre toda la pila.

El documento EP 0 907 084 B1 [14] desvela un sensor de voltaje óptico que consiste en una serie de elementos sensores de cuarzo piezoelectrónicos en forma de cilindro con una fibra óptica unida, separados por tubos metálicos, y dispuestos en un aislador de alto voltaje de núcleo hueco. Los extremos de cada elemento de cuarzo están equipados con un electrodo interno de expansión térmica adecuado unido al cristal por un pegamento conductor de la electricidad, un electrodo externo de dirección de campo, y una placa metálica intermedia. El elemento sensor con los electrodos unidos está conectado de manera flexible a los tubos metálicos vecinos mediante elementos de resorte. Todo el conjunto está incrustado en espuma de poliuretano.

Los diseños de la técnica anterior para la integración de sensores de voltaje en aparatos aislados con gas, por ej., [1], [2] y [3], tienen en común que el elemento sensor de voltaje reside en un aislador en forma de tubo que es desventajoso para la detección de voltaje de corriente continua (CC), ya que pueden acumularse cargas espaciales en dicho aislador y, por lo tanto, puede afectarse la resistencia dieléctrica de la disposición. Otras realizaciones de la técnica anterior [4], [5] se basan únicamente en la medición del campo magnético local y, por lo tanto, son propensas a las influencias de los campos dispersos, por ej., derivados de las cargas espaciales, por lo que son, en particular, desventajosas para la medición de voltajes de CC. Los sensores de voltaje de la técnica anterior especialmente diseñados para la medición de voltajes de CC [6], [7] muestran, debido a una geometría de cristal con el voltaje aplicado transversal a la trayectoria óptica, una sensibilidad a los efectos de la carga espacial dentro del cristal, lo que también es desventajoso para la medición de voltaje de CC, ya que resulta en desviaciones de señal con el tiempo.

Otros sensores de voltaje óptico relevantes se desvelan en los documentos US 5 247 244 A y JP 3 099669 B2.

Breve resumen de la invención

Es un objetivo de la invención proporcionar un conjunto que comprende un compartimento estanco al gas y un sensor de voltaje óptico, en el que el sensor de voltaje óptico comprende un módulo que puede montarse en el compartimento estanco al gas. El conjunto es especialmente adecuado para mediciones de voltajes de corriente continua (CC), porque el sensor de voltaje óptico con el módulo montado en el compartimento estanco al gas exhibe un rendimiento ventajoso, entre otras cosas debido a una distribución optimizada del campo eléctrico en el compartimento estanco al gas, debido a la minimización de la acumulación de cargas espaciales, debido a la insensibilidad a las cargas espaciales residuales dependientes del tiempo, y, además, debido a una fijación elástica de elementos dentro del módulo.

La invención consiste en un conjunto que comprende un sensor de voltaje óptico y un compartimento estanco al gas, de acuerdo con la reivindicación 1.

En particular, el módulo no comprende un tubo aislante o un aislante con un orificio, el tubo o aislante rodea el cristal electro-óptico al menos parcialmente a lo largo de su longitud o en toda su longitud. Además, en realizaciones preferidas, el compartimento estanco al gas no comprende un tubo aislante o un aislante con un orificio, que une los potenciales de los dos electrodos (7,8) y rodea el cristal electro-óptico (9) en toda su longitud, cuando el módulo se monta en el compartimento estanco al gas (1a) y se aplica una diferencia de potencial a los electrodos (7, 8). El diseño desvelado obstaculiza la acumulación de cargas espaciales en elementos del módulo cercanos al cristal electro-óptico.

5 En una realización preferida, el compartimento estanco al gas comprende un primer electrodo externo, conformado para ajustarse al primer electrodo del módulo, y un segundo electrodo externo, conformado para ajustarse al segundo electrodo del módulo, en particular en el que al menos un electrodo del módulo se puede conectar al electrodo exterior correspondiente mediante un dispositivo de fijación reversible mecánico. Preferentemente, el primer electrodo externo está conectado eléctricamente a un conductor guiado dentro del compartimento estanco al gas a través de una pared aislante y el segundo electrodo externo está conectado eléctricamente con paredes conductoras eléctricas del compartimento estanco al gas.

10 Se prefiere además que cualquier elemento, elemento aislante o pared del compartimento estanco al gas que une el potencial de los electrodos esté a una distancia, en particular una distancia lateral, del cristal electro-óptico que exceda la longitud del cristal electro-óptico, cuando el módulo se monta en el compartimento de gas y se aplica una diferencia de potencial a los electrodos.

Además, se prefiere que el módulo tenga un eje longitudinal y que una extensión lateral de cada electrodo del módulo exceda la extensión de la faceta correspondiente al menos en un factor de dos.

En realizaciones, al menos partes del compartimento estanco al gas están expuestas en su exterior al aire ambiente.

15 En otra realización, la luz de la sonda se propaga a lo largo de una trayectoria de luz al menos una vez a través del cristal electro-óptico de una faceta a la otra faceta, y se selecciona la clase de cristal del cristal electro-óptico y su orientación del cristal con respecto a la trayectoria de la luz de modo que un desplazamiento de fase electro-óptico es proporcional a una línea integral del campo eléctrico a lo largo de la trayectoria de la luz a través del cristal electro-óptico. Se prefiere esta realización ya que garantiza que los cambios en la distribución del campo eléctrico debido a las cargas espaciales y las corrientes inducidas por el campo dentro del cristal no afectan la medición.

20 En realizaciones preferidas adicionales, al menos un elemento base está unido a al menos una de las facetas. Preferentemente, en la presente memoria al menos uno de los al menos un elemento base es transparente. Se prefiere que el al menos uno de los al menos un elemento base sea de un material de coeficiente elasto-óptico más bajo que el cristal electro-óptico y se prefiere que sea de vidrio BK7, vidrio de pedernal o sílice fundida. Se prefiere además que el al menos un elemento base tenga una mayor tenacidad a la fractura que el cristal electro-óptico y/o tenga un coeficiente de expansión térmica dentro de un intervalo porcentual de [50%, 200%] o [20%, 500%] del coeficiente de expansión térmica del cristal electro-óptico. En otra realización preferida, al menos una disposición óptica está unida al al menos un elemento base, la disposición óptica comprende al menos un elemento óptico seleccionado del grupo que consiste en: un rotador de Faraday, una lente colimadora, una lente de índice graduada, un retardador de fase, un espejo, un retroreflector, un divisor de haces, un polarizador, un divisor de haces polarizantes, una fibra óptica o sus combinaciones. Se prefiere además que al menos uno del al menos un elemento base tenga superficies que están parcial o completamente revestidas con capas conductoras que están en contacto eléctrico con la faceta correspondiente. Además, se prefieren realizaciones con una fijación elástica entre el al menos un elemento base y el electrodo que está conectado eléctricamente con la faceta correspondiente, en las que la fijación elástica comprende al menos un elemento seleccionado del grupo que consiste en: junta tórica, junta tórica conductora, adhesivo elástico, adhesivo elástico conductor, adhesivo de silicona, resorte mecánico y sus combinaciones. Preferentemente, un área de contacto entre el cristal electro-óptico y el al menos un elemento base es más pequeña que el área de la faceta correspondiente del cristal electro-óptico. Se prefiere que se forme una trayectoria eléctricamente conductora entre al menos uno de los electrodos y la primera o segunda faceta correspondiente a través de un cable conductor, adhesivo conductor o una junta tórica conductora que conecta el al menos un electrodo con un elemento base que está en contacto eléctrico con la faceta correspondiente, en la que el cable conductor, el adhesivo conductor o la junta tórica conductora residen en el lado evitado en el campo del electrodo, cuando el módulo está montado dentro del compartimento estanco al gas y se aplica una diferencia de potencial a los electrodos.

45 En una realización preferida adicional, el conjunto es para medir un elemento del grupo que consiste en: un voltaje de corriente continua (CC), un voltaje alto de corriente continua (CC), un voltaje de corriente alterna (CA), un voltaje alto de corriente alterna (CA), voltajes superiores a 50 kV, o sus combinaciones.

En otra realización preferida, el conjunto forma parte de una aparamenta aislada con gas, o se puede conectar a una aparamenta aislada con gas, en particular el conjunto tiene medios para unión a una aparamenta aislada con gas.

50 En realizaciones preferidas adicionales, el compartimento estanco al gas se llena con gas, un gas de aislamiento, un medio de aislamiento dieléctrico, SF₆, N₂, CO₂, o una mezcla de gases. Especialmente, las partes de superficie o tales partes de superficie del cristal electro-óptico que están expuestas a una caída de potencial, cuando el módulo está montado en el compartimento estanco al gas y se aplica una diferencia de potencial a los electrodos, están en contacto directo con el medio o gas dentro del compartimento estanco al gas. Además, se prefiere que la superficie del cristal electro-óptico esté parcial o completamente revestida con una capa pasivante del cristal electro-óptico.

55 En otra realización preferida, el compartimento estanco al gas se evacua.

Los segundos y terceros aspectos de la invención consisten en una aparamenta aislada con gas y una aparamenta aislada con corriente continua que comprenden el conjunto desvelado.

Breve descripción de las figuras

La Figura 1a muestra un conjunto de acuerdo con una realización preferida del primer aspecto de la invención.

La Figura 1b muestra un módulo del conjunto de la Figura 1a.

La Figura 2 muestra una ampliación de la Figura 1a.

5 La Figura 3 muestra otra ampliación de la Figura 1a.

Descripción detallada de la invención

La Figura 1a muestra una realización preferida de la invención desvelada con un módulo 1c del sensor de voltaje óptico montado en el compartimento estanco al gas 1a en una vista en sección transversal. El compartimento estanco al gas 1a está formado por paredes metálicas 1b, una brida anular metálica 5, y una brida superior redonda 6 que se encuentra en el potencial de tierra, así como una pared aislante 3 con una alimentación de un conductor sin salida 2 que conduce el voltaje a medir en el compartimento. Las juntas tóricas de caucho elástico entre las secciones de pared individuales aseguran un sellado estanco al gas del compartimento. Una cubierta de blindaje, que comprende un retén en forma de tulipán 4 y que está conectada al conductor sin salida, representa un electrodo externo de alto voltaje, en el cual se inserta el electrodo de alto voltaje 7 del módulo 1c. El electrodo de tierra 8 del módulo 1c es retenido y contactado eléctricamente por la brida anular 5. Una o más fibras ópticas 50 son guiadas dentro del compartimento estanco al gas 1a al extremo de potencial de tierra del módulo 1c a través de una fibra de alimentación estanca al gas 52 en la brida superior redonda 6.

El cristal electro-óptico 9, preferentemente formado como un cilindro y preferentemente de base redonda, está unido a través de un elemento base transparente 11 en el extremo de alto voltaje y otro elemento base transparente 12 en el otro extremo a los electrodos correspondientes 7 y 8. Los elementos base están preferentemente pegados al cristal, en particular mediante un adhesivo óptico. En el extremo de alto voltaje, el elemento base transparente 11 se termina en su cara opuesta al cristal electro-óptico mediante un reflector 13. Los elementos base transparentes 11, 12 se pueden fabricar, por ej., de vidrio BK7, sílice fundida o vidrio de pedernal. Los electrodos 7, 8 del módulo 1c están fabricados de un material eléctricamente conductor, tal como, por ej., metal o caucho eléctricamente conductor.

La Figura 1b muestra el módulo 1c separado del compartimento estanco al gas 1a. Los dos electrodos 7, 8 están conectados mecánicamente solo por el cristal electro-óptico 9 y, en consecuencia, el cristal electro-óptico 9 es el único elemento del módulo 1c que conecta mecánicamente los dos electrodos 7, 8 y une o une dieléctricamente cualesquier potenciales eléctricos aplicables entre los dos electrodos 7, 8. El módulo 1c tiene un eje longitudinal, y la extensión lateral de cada electrodo 7, 8 del módulo 1c excede la extensión de la faceta correspondiente 9a, 9b, por ej., al menos en un factor de dos, de modo que el módulo 1c sea de un tamaño viable para el montaje.

La Figura 2 muestra una ampliación de la Figura 1a en el extremo de alto voltaje del módulo del cabezal del sensor. La Figura 3 muestra una ampliación en el extremo del potencial de tierra. El cristal electro-óptico 9 tiene una primera faceta 9a, que está conectada eléctricamente al electrodo de alto voltaje 7, y una segunda faceta 9b, que está conectada eléctricamente al electrodo en el potencial de tierra 8. Las facetas 9a, 9b están preferentemente revestidas por una capa conductora transparente 10, por ej., de óxido de cinc dopado con aluminio, para establecer un potencial definido en las facetas del cristal 9a, 9b.

Las áreas de contacto de los elementos base 11, 12 con las facetas correspondientes 9a, 9b del cristal electro-óptico 9 son más pequeñas que las facetas correspondientes 9a, 9b. En la presente memoria, el área de las facetas 9a, 9b que sobrepasa el área de contacto con los elementos base puede servir para proporcionar una conexión eléctrica entre los electrodos 7, 8 y las facetas 9a, 9b, respectivamente. En realizaciones, el volumen encerrado por el área de sobrepaso, los elementos base 11, 12, y los electrodos 7, 8 pueden alojar medios para la fijación entre los elementos base 11, 12 y los electrodos 7, 8. En ambos extremos, los elementos base 11, 12 se fijan preferentemente a través de una junta tórica 31 y un adhesivo elástico 32 a los electrodos 7, 8. Los lados de los elementos base transparentes 11, 12, no pasados por la luz de la sonda, están revestidos por una capa conductora 41a que está en contacto eléctrico con las capas conductoras 10 en las facetas de cristal 9a, 9b, por ej., extendiendo la capa conductora 41a sobre el área de las facetas 9a, 9b que sobrepasa el área de contacto con los elementos base 11, 12. En ambos extremos, un cable conductor 42 conecta eléctricamente el electrodo 7, 8 a su faceta de cristal correspondiente 9a, 9b a través del revestimiento conductor en su elemento base correspondiente 11, 12. Cuando se aplica una diferencia de potencial a los electrodos, los cables conductores 42 residen en ambos extremos en los lados evitados en el campo de los electrodos 7, 8. Como alternativa, o además, la conexión eléctrica entre al menos uno de los electrodos 7, 8 y el elemento base correspondiente también se puede establecer usando un adhesivo elástico eléctricamente conductor 32 y/o una junta tórica elástica eléctricamente conductora 31. La capa adicional de conductividad eléctrica 41a en los elementos base 11, 12 permite el contacto eléctrico de las facetas 9a, 9b del cristal electro-óptico 9 sin distorsionar el campo residual en las proximidades de las facetas 9a, 9b, y proporciona un área de contacto amplia para la conexión eléctrica confiable del cable 42, junta tórica 31 y/o adhesivo 32. Además, dado que el diseño con las áreas de contacto entre los elementos base 11, 12 y las facetas 9a, 9b es más pequeño que las facetas 9a, 9b del cristal electro-óptico se permite evitar la aplicación de revestimiento transparente conductor de la electricidad en una o más caras de los elementos base y se permite un área ampliada para el contacto eléctrico de las caras del cristal electro-óptico 9. En

Realizaciones adicionales, el cable conductor 42 también se puede conectar directamente a al menos una de las facetas. En realizaciones, las áreas eléctricamente conductoras de los elementos base y/o las facetas son contactadas eléctricamente por más de un cable conductor para aumentar la confiabilidad del contacto eléctrico.

5 Los elementos base 11, 12 permiten la fijación mecánica del cristal electro-óptico 9 sin ejercer una fuerza mecánica excesiva sobre el cristal electro-óptico 9 que podría introducir una birrefringencia inducida por el estrés a través del acoplamiento elasto-óptico. Esto es particularmente importante para la medición de voltaje de CC, dado que los cambios de fase ópticos de variación lenta, por ej., los cambios de fase ópticos inducidos por la temperatura causados por la birrefringencia inducida por el estrés no pueden distinguirse de los cambios de fase electro-ópticos de CC inducidos por el campo eléctrico. Además, los medios para la fijación elástica 31, 32 imparten solo un pequeño voltaje sobre el cristal electro-óptico 9, en particular en caso de expansión térmica del compartimento estanco al gas 1a o de partes del compartimento a lo largo de la dirección longitudinal del módulo 1c.

15 Las caras, en particular las caras longitudinales o laterales, del cristal electro-óptico 9, que están expuestas a una caída de voltaje cuando se aplica un voltaje al módulo montado 1c, están ventajosamente revestidas parcial o completamente con una capa 41b de conductividad eléctrica moderada. Preferentemente, dichas caras longitudinales están en contacto eléctrico con las capas conductoras de la electricidad 10 en las facetas 9a, 9b del cristal electro-óptico, en particular de modo que se forma una trayectoria moderadamente conductora entre las dos facetas 9a, 9b. La conductividad eléctrica de la capa 41b se selecciona de modo que sea más alta que la conductividad del cristal electro-óptico 9 y más baja que la conductividad eléctrica de la capa eléctricamente conductora 10 en las facetas 9a, 9b del cristal electro-óptico 9. En particular, bajo condiciones de voltaje de CC, la conductividad eléctrica moderada es lo suficientemente grande como para poder descargar el cristal electro-óptico 9 o evitar la acumulación de cargas espaciales en el cristal electro-óptico 9, y es lo suficientemente pequeña como para no derivar en una fuga de corriente que da como resultado un calentamiento térmico significativo del cristal electro-óptico 9 en particular de modo tal que la temperatura del cristal no exceda la temperatura del gas circundante en más que, por ejemplo, 1 ° C cuando se aplica un voltaje, en particular un voltaje nominal o un sobrevoltaje clasificado como máximo del sensor de voltaje óptico. Como resultado, esta capa 41b contribuye a una distribución estable del campo eléctrico sin debilitar la resistencia dieléctrica del compartimento estanco al gas 1a.

30 Una disposición de elementos ópticos está unida a los elementos base 11, 12 (en su mayoría no mostrados en las Figuras 1-3). Las disposiciones de los elementos ópticos unidas a cada elemento base 11, 12 se seleccionan de acuerdo con el esquema de interrogación óptica usado para recuperar el desplazamiento de fase electro-óptico en el cristal electro-óptico 9. Los diferentes esquemas de interrogación son, por ej., enumerados en las Referencias. [1], [2], [12] y [11]. La disposición de los elementos ópticos puede comprender rotadores de Faraday, lentes colimadoras, lentes de índice graduadas, retardadores de fase, espejos, retroreflectores, divisores de haces, polarizadores, divisores de haces polarizantes o fibras ópticas. Una fibra óptica está típicamente amarrada al elemento base 11 o 12 a través de una férula de fibra 51.

35 El módulo 1c está conectado por una fibra óptica 50 adicional, preferentemente dispuesta en un cable de fibra óptica, que está guiado hacia el exterior del compartimento estanco al gas 1a, y está conectado con otras partes del sensor de voltaje óptico, por ej., una caja opto-electrónica, que comprende, por ej., una fuente de luz (con acoplamiento de fibra), uno o más detectores de luz (con acoplamiento de fibra), elementos electrónicos para controlar la fuente de luz y para amplificar y digitalizar la corriente o voltaje del detector, una unidad de procesamiento de señal para calcular la señal de voltaje de las señales del detector y para comunicación, así como otros elementos ópticos dependiendo del esquema de interrogación óptica del desplazamiento de fase electro-óptico. Esta unidad opto-electrónica puede montarse directamente en el exterior del compartimento de gas 1a o puede residir en una ubicación remota. Las fibras usadas pueden ser fibras ópticas multimodo o monomodo o fibras monomodo que mantienen la polarización. En la realización mostrada en la Figura 1, una fibra óptica 50 está conectada al extremo del potencial de tierra del módulo 1c. En realizaciones adicionales, las fibras ópticas también pueden estar conectadas al extremo de alto voltaje del módulo 1c o a ambos extremos. Como alternativa, los fotodetectores y/o la fuente de luz están dispuestos dentro del compartimento estanco al gas 1a, por ej., como partes del módulo 1c. En este caso, las conexiones eléctricas se guían hacia el exterior del compartimento estanco al gas 1a y se conectan a la caja opto-electrónica.

50 El sensor de voltaje óptico opera según el principio del efecto Pockels o el efecto electro-óptico: el campo eléctrico aplicado induce un cambio correspondiente en la birrefringencia del cristal electro-óptico 9 que se detecta como un desplazamiento de fase diferencial entre dos ondas de luz con polarizaciones ortogonales que se propagan a través del cristal, preferentemente a lo largo de las líneas de campo. La clase de cristal del cristal electro-óptico y su orientación del cristal con respecto a la trayectoria de la luz se seleccionan de modo que el desplazamiento de fase electro-óptico sea proporcional a una línea integral del campo eléctrico a lo largo de la trayectoria de la luz a través del cristal electro-óptico 9. Con el voltaje aplicado V cayendo completamente entre las facetas 9a, 9b, el desplazamiento de fase electro-óptico $\Delta\phi$ se convierte en

$$\Delta\phi = \frac{2\pi n^3 r}{\lambda} \int \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = \frac{2\pi n^3 r}{\lambda} V,$$

en la que λ es la longitud de onda de la luz de la sonda o su promedio de longitud de onda y n es el índice de refracción relevante del cristal electro-óptico 9 y r es el coeficiente electro-óptico relevante (en otras palabras: n^3r debe calcularse para la clase de cristal dado y la orientación del cristal con respecto a la dirección de la luz y la dirección del campo eléctrico y es típicamente una combinación de elementos de tensor electro-ópticos e índices de refracción del cristal).

Una opción correspondiente adecuada de ejemplo es un cristal BGO (germanato de bismuto, $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$) con su dirección [001] paralela a la trayectoria de la luz. Otras opciones posibles se enumeran en la Referencia [8]. En realizaciones preferidas, el eje longitudinal del cristal electro-óptico 9, normal a las facetas 9a, 9b, es paralelo a la trayectoria de la luz de la sonda. Como resultado de la integración de la línea, el sensor mide correctamente un voltaje de CC aplicado, incluso en presencia de corrientes inducidas y la acumulación de cargas espaciales en el cristal 9. En otras geometrías o clases de cristal, particularmente si el campo se aplica de forma transversal hacia la trayectoria óptica, tales cargas espaciales resultan en una deriva e inestabilidad de señal.

En realizaciones preferidas adicionales, el compartimento estanco al gas 1a se llena con gas, un gas o fluido de aislamiento, un medio de aislamiento dieléctrico, SF_6 , N_2 , CO_2 o una mezcla de gases. Especialmente, las partes superficiales del cristal electro-óptico 9 que están expuestas a una caída de potencial, por ej., las caras laterales de un cristal en forma de cilindro 9 están en contacto directo con el gas en el compartimento estanco al gas 1a o con todo el volumen de gas del compartimento estanco al gas 1a, cuando el módulo 1c está montado en el compartimento estanco al gas 1a y se aplica una diferencia de potencial a los electrodos 7, 8. En la presente memoria, en particular, el contacto directo permite explícitamente revestimientos 41b, 41c aplicados a las superficies del cristal electro-óptico; sin embargo, no hay un subcompartimento que rodee o contenga el cristal electro-óptico 9. Dicho subcompartimento se usa en la técnica anterior y se forma como un tubo aislante o como un aislante que tiene un orificio y rodea el cristal, en particular sobre su longitud completa; el tubo está equipado típicamente con un cartucho de filtro para evitar el intercambio directo de gas entre un compartimento exterior de gas y el subcompartimento. En el caso de un voltaje de CC aplicado, dicho subcompartimento es propenso a la acumulación de cargas espaciales y a las mejoras del campo eléctrico que lo acompañan con riesgo de ruptura dieléctrica.

El cristal electro-óptico 9 está revestido preferentemente por una capa pasivante 41c. La capa o revestimiento pasivante 41c protege el cristal 9 contra el deterioro, por ej., a partir de reacciones químicas con componentes dentro del compartimento estanco al gas 1a que se pueden crear a partir de la descomposición del gas aislante o del medio de aislamiento dieléctrico mediante un arco eléctrico dentro del compartimento y/o por difusión en el compartimento 1a. Por ejemplo, puede formarse ácido fluorhídrico a partir del agua difundida en el compartimento 1a y a partir de productos de descomposición de SF_6 . Tal revestimiento 41c puede, por ej., estar formado por una capa de fluoruro de polivinilideno (PVDF) que es conocida por su resistencia química. En realizaciones adicionales, el compartimento estanco al gas 1a contiene, además, o como alternativa, material para absorber humedad y/o productos de descomposición del gas aislante.

Como alternativa, el compartimento estanco al gas 1a se evacua.

El módulo 1c está diseñado para que pueda montarse o sea montable en el compartimento estanco al gas 1a. En otras palabras, el compartimento estanco al gas 1a tiene medios para el montaje. El montaje o la capacidad para montar el módulo en el compartimento estanco al gas incluye explícitamente realizaciones en las que partes del módulo, en particular sus electrodos, forman paredes del compartimento estanco al gas. Además, una característica de la invención es que el compartimento estanco al gas 1a es estanco al gas después del montaje del módulo 1c. Preferentemente, los dos electrodos 7, 8 del módulo 1c se mantienen y están conectados eléctricamente a los electrodos externos correspondientes 4, 5 que forman parte del compartimento estanco al gas 1a y están conformados para adaptarse a los electrodos correspondientes 7, 8 del módulo 1c. En realizaciones preferidas, el módulo 1c es un módulo conectable a conectar en el compartimento estanco al gas 1a. El mecanismo de conexión puede comprender un dispositivo de sujeción reversible mecánico para fijar al menos uno de los electrodos 7, 8 al electrodo exterior correspondiente 4, 5. El dispositivo de sujeción reversible mecánico puede, por ej., comprender tornillos, un mecanismo de ajuste a presión, una tuerca de acoplamiento, un electrodo roscado externamente y un electrodo externo roscado internamente, una junta de bayoneta o un resorte de retención.

Se prefiere además que, cuando el módulo 1c esté montado en el compartimento de gas 1a y se aplique una diferencia de potencial a los electrodos 7, 8, cualquier elemento del compartimento estanco al gas 1a que una el potencial de los electrodos 7, 8, tal como las paredes aislantes 3, esté a una distancia del cristal electro-óptico 9 que exceda la longitud del cristal electro-óptico 9, de manera tal que el espacio de carga, por ejemplo, de acumulación en las paredes aislantes 3 tenga solo un pequeño impacto en la distribución del campo dentro del compartimento 1a y a lo largo del cristal 9 y no afecte la resistencia dieléctrica del compartimento 1a. En particular, la forma del electrodo externo de alto voltaje 4 en alto voltaje y su distancia a las partes del compartimento en el potencial de tierra se seleccionan de manera tal que la intensidad del campo permanezca por debajo de los límites críticos para la ruptura dieléctrica y la descarga parcial y el sensor pueda pasar las pruebas de alto voltaje de acuerdo con los estándares de la industria. Esto incluye que las paredes internas del compartimento estanco al gas 1a, el módulo 1c y todos los objetos adicionales, especialmente los objetos metálicos, dentro del compartimento tienen preferentemente esquinas y bordes lisos y redondeados adecuados para minimizar la intensidad máxima de los campos eléctricos y reducir el riesgo de descarga parcial.

En realizaciones, una distancia, en particular una distancia lateral, entre el cristal electro-óptico 9 y los elementos aislantes o paredes del compartimento estanco al gas 1a, en particular un tubo aislante, que une los potenciales de los dos electrodos 7, 8, cuando el módulo está montado en el compartimento de gas y se aplica una diferencia de potencial a los electrodos, excede una extensión lateral del electrodo externo de alto voltaje 4.

- 5 Diversas características de la invención desvelada son particularmente adecuadas para la medición de voltajes de corriente continua (CC). Sin embargo, la invención también se puede usar para mediciones de tensiones de corriente alterna (CA) o de tensiones combinadas de CA y CC, por ej., un voltaje de CA con compensación de CC. La invención desvelada es especialmente adecuada para la medición de voltajes superiores a 50 kV.

- 10 En otra realización de la invención desvelada, al menos uno de los elementos base 11, 12 puede ser alternativamente de un material no transparente, por ej., una placa metálica con una abertura para la disposición de elementos ópticos unidos a la placa base. En realizaciones, en el caso de una configuración de sensor reflectante, un reflector 13 puede ser incorporado por una capa reflectante entre el elemento base 11 y la faceta de cristal 9a y puede seleccionarse un elemento base no transparente 11. Si la capa reflectante es conductora, también puede reemplazar la capa transparente y conductora 10. Además, los elementos base 11, 12 pueden consistir en varios elementos subbase del mismo material o de diferente material, unidos a la faceta de cristal correspondiente y/o unidos el uno al otro. Las placas base o placas subbase de un material eléctricamente conductor tal como metal no requieren que la capa eléctricamente conductora 41a usada para el revestimiento de las placas base 11, 12 esté fabricada con un material que no sea eléctricamente conductor.

- 20 El astillado del cristal electro-óptico 9 y sus componentes puede provocar cambios no deseados en la distribución del campo eléctrico. Por lo tanto, como característica general, preferentemente, se seleccionan materiales de alta tenacidad a la fractura. Dado que el cristal electro-óptico 9 se selecciona principalmente de acuerdo con sus propiedades electro-ópticas, este requisito es particularmente importante para los componentes adicionales. Especialmente, se prefieren los elementos base 11, 12 con una tenacidad a la fractura superior a la del cristal electro-óptico 9. Esta condición es, por ej., satisfecha por el vidrio BK7 en el caso de un cristal electro-óptico de BGO.

- 25 Como una característica general adicional de la invención, los elementos base 11, 12 se seleccionan preferentemente de modo que sean de un material de expansión térmica similar al cristal electro-óptico 9. Dado que los coeficientes de expansión térmica entre diferentes materiales pueden diferir en varios órdenes de magnitud, los intervalos preferidos para los coeficientes de expansión térmica del elemento base 11 y/o 12 se especifican como [50%, 200%] o [20%, 500%] del coeficiente de expansión térmica del cristal electro-óptico 9. El coeficiente de expansión térmica, por ejemplo, del vidrio BK7 se encuentra dentro de ambos intervalos en el caso de un cristal electro-óptico 9 fabricado con BGO.

- 35 En el caso de elementos base transparentes 11, 12, estos elementos base se preparan, como una característica general adicional de la invención, de modo que tengan una birrefringencia lineal insignificante por las razones expuestas más arriba. La birrefringencia resultante del procedimiento de fabricación de los elementos base 11, 12 puede eliminarse mediante recocido térmico. Además, las partes pueden seleccionarse de modo que sean de material de bajo coeficiente elasto-óptico. La tensión mecánica inducida en los elementos base 11, 12 por ej., por cualquier medio de fijación resulta, a través de acoplamiento elasto-óptico, en una birrefringencia de los elementos base 11, 12, que puede distorsionar la medición de voltaje, en particular del voltaje de CC. Para este fin, el material de los elementos base transparentes 11, 12 se selecciona en una realización preferida de modo que su coeficiente elasto-óptico sea menor que el coeficiente elasto-óptico del cristal electro-óptico 9. En el caso de un cristal electro-óptico 9 de BGO, esta condición es, por ejemplo, satisfecha por elementos base transparentes 11, 12 fabricados con vidrio de pedernal que muestra un acoplamiento elasto-óptico extremadamente bajo.

- 45 La capa transparente de alta conductividad eléctrica 10 en las facetas del cristal electro-óptico 9 puede, dependiendo de la longitud de onda de la luz de la sonda o la interrogación, por ej., consistir en una película de óxido de cinc dopado con aluminio, óxido de indio dopado con estaño, óxido de cadmio dopado con indio, óxido de cinc dopado con indio, óxido de cinc dopado con galio o películas metálicas ultrafinas. Si el sensor de voltaje óptico se opera en reflexión, el revestimiento 10 de la faceta 9a en el extremo reflectante puede ser una película reflectante conductora, en particular una película metálica. En realizaciones preferidas, la geometría (dimensiones y formas) del conjunto 1a, 1c se puede optimizar, en particular mediante análisis por ordenador de elementos finitos de la distribución del campo eléctrico, de modo que la intensidad del campo se mantenga por debajo de los valores críticos para la ruptura dieléctrica y descarga parcial.

- 55 En el caso de los voltajes de CA, la distribución del campo está determinada por las formas de los electrodos, así como por la forma y la permitividad de los materiales dieléctricos expuestos al campo, mientras que en el caso de los voltajes de CC, la conductividad de los componentes dieléctricos en el conjunto 1a, 1c también puede afectar fuertemente la distribución del campo. La conductividad de los materiales dieléctricos es típicamente muy baja, pero varía significativamente, y puede mostrar una dependencia significativa a la temperatura que debe considerarse en el diseño del compartimento estanco al gas 1a para lograr una buena distribución del campo eléctrico y un bajo riesgo de ruptura dieléctrica y descarga parcial en todo el intervalo de temperatura operativa, por ej., de -40 ° C a 85 ° C.

La invención desvelada no está restringida a un esquema de interrogación óptica dado del desplazamiento de fase electro-óptico inducido por el voltaje aplicado a los electrodos 7, 8, sino que puede adaptarse a diversos esquemas de interrogación diferentes. En la presente memoria se desvela una configuración de sensor reflectante. Sin embargo, la invención no se limita a configuraciones reflectantes y también se puede adaptar a esquemas de transmisión en los que la luz de la sonda pasa el cristal electro-óptico solo una vez. En este caso, las fibras ópticas están amarradas preferentemente a ambos elementos base 11, 12.

En realizaciones preferidas adicionales, el compartimento estanco al gas 1a también es estanco bajo presiones de hasta 2000 Kpa (20 bares).

Se comprende que las capas 10, 41b, 41c revestidas con el cristal electro-óptico 9 son parte del cristal electro-óptico 9, debido a que su dimensión muy delgada y su fabricación como un revestimiento en el cristal no permiten su uso o integración en el módulo 1c sin el cristal electro-óptico 9. En particular, no se consideran elementos que unen o unen dieléctricamente los potenciales de los dos electrodos 7, 8 o elementos que conectan mecánicamente ambos electrodos 7, 8.

El módulo 1c es mecánicamente robusto, lo que significa en particular que es lo suficientemente robusto como para ser autoportante y, por lo tanto, estable bajo su propio peso, en particular con solo fijaciones en los extremos.

Se comprende que un revestimiento transparente muestra una transmisión de luz mayor que 50% en un intervalo de longitud de onda operativa del sensor. Se comprende que un revestimiento reflectante muestra una reflectividad mayor que 50% en dicho intervalo de longitud de onda. Un intervalo de longitud de onda operativa es un intervalo que contiene al menos una longitud de onda emitida por la fuente de luz usada para la cual todos los componentes ópticos en la trayectoria óptica funcionan de acuerdo con su principio operativo diseñado.

El conjunto del compartimento estanco al gas 1a junto con el módulo 1c puede formar parte de una aparamenta aislada con gas, o puede conectarse a una aparamenta aislada con gas, en otras palabras, el conjunto 1a, 1c tiene medios para unirse a un aparamenta aislada con gas. El gas en el compartimento estanco al gas 1a se separa preferentemente del gas en compartimentos adicionales de la aparamenta aislada con gas de modo que los productos de descomposición de gas generados, en particular mediante la operación de conmutación, en tales compartimentos no penetren en el compartimento estanco al gas 1a. Este diseño simplifica el reemplazo del compartimento estanco al gas 1a en la celda aislada con gas. En realizaciones preferidas, las paredes de otros compartimentos de la aparamenta aislada con gas pueden compartir paredes con el compartimento estanco al gas 1a, en particular de modo que el compartimento estanco al gas 1a solo sea estanco al gas después de unirse a la aparamenta aislada con gas o después de conectarse a la celda aislada con gas y después de montar el módulo 1c. Dicha aparamenta aislada con gas puede ser especialmente una aparamenta celda aislada con gas de CC. En realizaciones preferidas, al menos partes del compartimento estanco al gas 1a están expuestas en su exterior al aire ambiente.

Para los fines de la presente divulgación, un gas o fluido lleno en el compartimento estanco al gas 1a puede ser cualquier medio de aislamiento dieléctrico, puede ser gaseoso y/o líquido, y en particular puede ser un gas de aislamiento dieléctrico o gas de inactivación por arco. Dicho medio de aislamiento dieléctrico puede abarcar, por ejemplo, medios que comprenden un compuesto de organofluoruro, seleccionándose dicho compuesto de organofluoruro del grupo que consiste en: un fluoroéter, un oxirano, una fluoroamina, una fluorocetona, una fluoroolefina, un fluoronitrilo y sus mezclas y/o productos de descomposición. En la presente memoria, los términos "fluoroéter", "oxirano", "fluoroamina", "fluorocetona", "fluoroolefina" y "fluoronitrilo" se refieren a compuestos al menos parcialmente fluorados. En particular, el término "fluoroéter" abarca tanto fluoropoliéteres (por ej., Galden) como fluoromonooéteres, así como también hidrofurooéteres y perfluoroéteres, el término "oxirano" abarca tanto hidrofurooxiranos como perfluorooxiranos, el término "fluoroamina" abarca tanto hidrofuroaminas como perfluoroaminas, y el término "perfluoroaminas" y "perfluoroaminas" y "perfluoroamina" fluorocetona abarca tanto hidrofurocetonas como perfluorcetonas, el término "fluoroolefina" abarca tanto hidrofuroolefinas como perfluoroolefinas, y el término "fluoronitrilo" abarca tanto hidrofuronitrilos como perfluoronitrilos. De este modo, se puede preferir que el fluoroéter, el oxirano, la fluoroamina, la fluorocetona y el fluoronitrilo estén completamente fluorados, es decir, perfluorados.

En realizaciones, el medio de aislamiento dieléctrico o más específicamente el compuesto organofluorado comprendido en el medio o gas de aislamiento dieléctrico se selecciona del grupo que consiste en: fluoroéteres, en particular uno o varios hidrofuroomonooéteres; fluorocetonas, en particular una o varias perfluorcetonas; fluoroolefinas, en particular una o varias hidrofuroolefinas; fluoronitrilos, en particular uno o varios perfluoronitrilos; y sus mezclas.

En particular, el término "fluorocetona" como se usa en el contexto de la presente invención se interpreta de manera amplia y abarca tanto las fluoromonocetonas como las fluorodicetonas o, en general, las fluoropolicetonas. Explícitamente, más de un grupo carbonilo flanqueado por átomos de carbono puede estar presente en la molécula. El término también abarca tanto compuestos saturados como compuestos insaturados, incluidos enlaces dobles y/o triples entre átomos de carbono. La cadena de alquilo al menos parcialmente fluorada de las fluorocetonas puede ser lineal o ramificada y opcionalmente puede formar un anillo.

En realizaciones, el medio de aislamiento dieléctrico comprende al menos un compuesto que es una fluorocetona, que opcionalmente puede comprender también heteroátomos incorporados en la cadena principal de carbono de las moléculas, tal como al menos uno de: un átomo de nitrógeno, un átomo de oxígeno y un átomo de azufre, reemplazando un número correspondiente de átomos de carbono. Más preferentemente, la fluoromonocetona, en particular la perfluorocetona, puede tener de 3 a 15 o de 4 a 12 átomos de carbono y particularmente de 5 a 9 átomos de carbono. Lo más preferentemente, puede comprender exactamente 5 átomos de carbono y/o exactamente 6 átomos de carbono y/o exactamente 7 átomos de carbono y/o exactamente 8 átomos de carbono.

En realizaciones, el medio de aislamiento dieléctrico comprende al menos un compuesto que es un hidrofluoroéter seleccionado del grupo que consiste en: hidrofluoro monoéter que contiene al menos tres átomos de carbono; hidrofluoro monoéter que contiene exactamente tres o exactamente cuatro átomos de carbono; hidrofluoro monoéter que tiene una relación del número de átomos de flúor al número total de átomos de flúor e hidrógeno de al menos 5:8; hidrofluoro monoéter que tiene una relación de número de átomos de flúor a número de átomos de carbono que oscila de 1,5:1 a 2:1; pentafluoro-etil-metil éter; 2,2,2-trifluoroetil-trifluorometiléter; y sus mezclas.

En realizaciones, el medio de aislamiento dieléctrico comprende al menos un compuesto que es una fluoroolefina seleccionada del grupo que consiste en: hidrofluoroolefinas (HFO) que comprenden al menos tres átomos de carbono, hidrofluoroolefinas (HFO) que comprenden exactamente tres átomos de carbono, 1,1,1,2-tetrafluoropropeno (HFO-1234yf; también denominado 2,3,3,3-tetrafluoro-1-propeno), 1,2,3,3-tetrafluoro-2-propeno (HFO-1234yc), 1,1,3,3-tetrafluoro-2-propeno (HFO-1234zc), 1,1,1,3-tetrafluoro-2-propeno (HFO-1234ze), 1,1,2,3-tetrafluoro-2-propeno (HFO-1234ye), 1,1,1,2,3-pentafluoropropeno (HFO-1225ye), 1,1,2,3,3-pentafluoropropeno (HFO-1225yc), 1,1,1,3,3-pentafluoropropeno (HFO-1225zc), (Z)1,1,1,3-tetrafluoropropeno (HFO-1234zeZ; también denominado cis-1,3,3,3-tetrafluoro-1-propeno), (Z)1,1,2,3-tetrafluoro-2-propeno (HFO-1234yeZ), (E)1,1,1,3-tetrafluoropropeno (HFO-1234zeE; también denominado trans-1,3,3,3-tetrafluoro-1-propeno), (E)1,1,2,3-tetrafluoro-2-propeno (HFO-1234yeE), (Z)1,1,1,2,3-pentafluoropropeno (HFO-1225yeZ; también denominado cis-1,2,3,3,3-pentafluoroprop-1-eno), (E)1,1,1,2,3-pentafluoropropeno (HFO-1225yeE; también denominado trans-1,2,3,3,3 pentafluoroprop-1-eno), y sus mezclas.

En realizaciones, el compuesto de organofluorina también puede ser un fluoronitrilo, en particular un perfluoronitrilo. En particular, el compuesto de organofluorina puede ser un fluoronitrilo, específicamente un perfluoronitrilo, que contiene dos átomos de carbono y/o tres átomos de carbono y/o cuatro átomos de carbono. Más en particular, el fluoronitrilo puede ser un perfluoroalquilnitrilo, específicamente perfluoroacetónitrilo, perfluoropropionitrilo (C_2F_5CN) y/o perfluorobutironitrilo (C_3F_7CN). Más en particular, el fluoronitrilo puede ser perfluoroisobutironitrilo (de acuerdo con la fórmula $(CF_3)_2CFCN$) y/o perfluoro-2-metoxipropanonitrilo (de acuerdo con la fórmula $CF_3CF(OCF_3)CN$). De estos, el perfluoroisobutironitrilo es particularmente preferido debido a su baja toxicidad.

El medio de aislamiento dieléctrico puede comprender además un gas de fondo o portador diferente del compuesto de organofluoruro (en particular diferente del fluoroéter, el oxirano, la fluoroamina, la fluorocetona, la fluoroolefina y el fluoronitrilo) y puede seleccionarse en realizaciones del grupo que consiste en: aire, N_2 , O_2 , CO_2 , un gas noble, H_2 ; NO_2 , NO , N_2O fluorocarbonos y en particular perfluorocarbonos, tal como CF_4 ; CF_3I , SF_6 ; y sus mezclas.

Un aspecto adicional de la invención desvelada consiste en un procedimiento para ensamblar el conjunto desvelado 1a, 1c. Este procedimiento comprende, entre otros, las etapas de añadir capas conductoras de la electricidad 10 a las facetas o caras finales 9a, 9b del cristal electro-óptico 9 y capas de conductividad eléctrica moderada 41b a las caras laterales del cristal electro-óptico 9. Después, una capa pasivante 41c se puede aplicar al cristal 9, en particular a lo largo de las caras laterales. En etapas posteriores, se unen disposiciones ópticas a los elementos base 11, 12, que después se adhieren al cristal electro-óptico 9. En una etapa posterior adicional, el módulo 1c se monta en el compartimento estanco al gas 1a. Después, el compartimento estanco al gas 1a se llena con gas o se evacua.

Referencias

[1] Documento US 6.016.053.

[2] Documento DE 196 04 908 A1.

[3] Documento WO 2009/080109 A1.

[4] Documento US 5.136.236.

[5] Documento EP 1 710 589 (A1).

[6] K. Kurosawa *et al.*, "Development of an optical instrument transformer for DC voltage measurement," IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 8, pp. 1721-1726, 1993.

[7] F. Cecelja *et al.*, "Validation of electro-optic sensors for measurement of DC fields in the presence of space charge," Measurement, vol. 40, pp. 450-458, 2007.

[8] Documento US 5.715.058.

[9] Documento WO 00/34793.

[10] Chavez *et al.*, IEEE Transactions on Power Delivery 17, 362 (2002).

[11] Documento WO 2011/154408 A1.

[12] Documento WO 2008/077255 A1

5 [13] Documento EP 1 462 810 A1

[14] Documento EP 0 907 084 B1.

Símbolos de referencia

1a: compartimento estanco al gas

1b: pared metálica del compartimento de gas en el potencial de tierra

10 1c: módulo, módulo conectable

2: conductor sin salida

3: pared aislante del compartimento de gas

4: electrodo externo en potencial de alto voltaje, revestimiento de protección

5: electrodo externo en potencial de tierra, brida anular metálica

15 6: brida superior metálica

7: electrodo en potencial de alto voltaje

8: electrodo en potencial de tierra

9: cristal electro-óptico

9a: faceta en potencial de alto voltaje, cara del extremo

20 9b: faceta en potencial de bajo voltaje, cara del extremo

10: película, capa de alta conductividad eléctrica, película transparente, capa de alta conductividad eléctrica

11: elemento base en potencial de alto voltaje

12: elemento base en potencial de bajo voltaje

13: reflector

25 20: gas de aislamiento

31: junta tórica

32: adhesivo elástico

41a: capa de alta conductividad eléctrica

41b: capa de conductividad eléctrica moderada

30 41c: capa pasivante

42: cable conductor

50: fibra óptica

51: férula y/o colimador

52: fibra de alimentación

35

REIVINDICACIONES

1. Un conjunto, que comprende un sensor de voltaje óptico y un compartimento estanco al gas (1a), comprendiendo el sensor de voltaje óptico un módulo (1c),
- 5 • con el módulo (1c) que comprende primeros y segundos electrodos (7, 8), para aplicar una diferencia de potencial que define el voltaje a medir, y un cristal electro-óptico (9) que tiene una primera faceta (9a) conectada eléctricamente al primer electrodo (7) y una segunda faceta (9b) conectada eléctricamente al segundo electrodo (8),
- con el compartimento estanco al gas (1a) y el módulo (1c) diseñados para que el módulo (1c) pueda montarse en el compartimento estanco al gas (1a),
- 10 en el que el cristal electro-óptico (9) es el único elemento del módulo (1c) que conecta mecánicamente los dos electrodos (7, 8) y une los potenciales de los dos electrodos (7, 8), con la primera y segunda faceta (9a, 9b) del cristal electro-óptico (9) que está revestido, parcial o completamente, con capas conductoras de la electricidad (10) que son transparentes en ambas facetas (9a, 9b), o son transparentes en una faceta (9a) y reflectantes en la otra faceta (9b),
- 15 caracterizado por partes de la superficie del cristal electro-óptico (9), que están expuestas a una caída de potencial, revestidas parcial o completamente con una capa (41b) que tiene una conductividad eléctrica moderada, que es mayor que la conductividad del cristal electro-óptico (9) y es menor que la conductividad de las capas conductoras de la electricidad (10) en las primeras y segundas facetas (9a, 9b).
2. El conjunto de la reivindicación 1, en el que el módulo (1c) no comprende un tubo aislante o un aislante con un orificio, que rodea el cristal electro-óptico (9), en particular en el que el compartimento estanco al gas (1a) no comprende un tubo aislante o un aislante con un orificio, que une los potenciales de los dos electrodos (7, 8) y rodea el cristal electro-óptico (9) en toda su longitud, cuando el módulo (1c) está montado en el compartimento estanco al gas (1a) y se aplica una diferencia de potencial a los electrodos (7, 8).
- 20 3. El conjunto de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el compartimento estanco al gas (1a) comprende un primer electrodo externo (4), conformado para ajustarse al primer electrodo (7) del módulo (1c), y un segundo electrodo externo (5), conformado para ajustarse al segundo electrodo (8) del módulo (1c), en particular en el que al menos un electrodo (7, 8) del módulo (1c) se puede conectar al electrodo exterior correspondiente (4, 5) mediante un dispositivo de sujeción reversible mecánico.
- 25 4. El conjunto de la reivindicación 3, en el que el primer electrodo externo (4) está conectado eléctricamente a un conductor (2) guiado al compartimento estanco al gas (1a) a través de una pared aislante (3), y/o en el que el segundo electrodo externo (5) está conectado eléctricamente con paredes conductoras (1b, 5) del compartimento estanco al gas (1a).
- 30 5. El conjunto de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que cualquier elemento del compartimento estanco al gas (1a) que une el potencial de los electrodos (7, 8) está a una distancia del cristal electro-óptico (9) que excede la longitud del cristal electro-óptico (9), cuando el módulo (1c) está montado en el compartimento estanco al gas (1a) y se aplica una diferencia de potencial a los electrodos (7, 8).
- 35 6. El conjunto de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el módulo (1c) tiene un eje longitudinal, y una extensión lateral de cada electrodo (7, 8) del módulo (1c) excede la extensión de la faceta correspondiente (9a, 9b) al menos por un factor de dos.
7. El conjunto de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que al menos partes del compartimento estanco al gas (1a) están expuestas en su exterior al aire ambiente.
- 40 8. El conjunto de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la luz de la sonda se propaga a lo largo de una trayectoria de luz al menos una vez a través del cristal electro-óptico (9) desde una faceta (9a; 9b) a la otra faceta (9b; 9a), y la clase de cristal del cristal electro-óptico y su orientación de cristal con respecto a la trayectoria de la luz se seleccionan de modo que un desplazamiento de fase electro-óptico sea proporcional a una línea integral del campo eléctrico a lo largo de la trayectoria de la luz a través del cristal electro-óptico (9).
- 45 9. El conjunto de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, con al menos un elemento base (11, 12) unido a al menos una de las facetas (9a, 9b).
10. El conjunto de la reivindicación 9, con al menos uno del al menos un elemento base (11, 12) que es transparente, en particular con el al menos uno del al menos un elemento base (11, 12) de un material de menor coeficiente elasto-óptico que el cristal electro-óptico (9).
- 50 11. El conjunto de la reivindicación 10, con el al menos uno del al menos un elemento base (11, 12) siendo de vidrio BK7, vidrio de pedernal o sílice fundida.
12. El conjunto de una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, en el que el al menos un elemento base (11, 12) tiene una tenacidad a la fractura más alta que el cristal electro-óptico (9) y/o tiene un coeficiente de expansión térmica dentro

de un intervalo porcentual de [50%, 200%] o [20%, 500%] del coeficiente de expansión térmica del cristal electro-
óptico (9).

- 5 13. El conjunto de una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 12, con al menos una disposición óptica unida al al menos un elemento base (11, 12), comprendiendo la disposición óptica al menos un elemento óptico seleccionado del grupo que consiste en: un rotador de Faraday, una lente colimadora, una lente de índice graduada, un retardador de fase, un espejo, un retrorreflector, un divisor de haces, un polarizador, un divisor de haces polarizantes, una fibra óptica o sus combinaciones.
- 10 14. El conjunto de las reivindicaciones 10 a 13, en el que al menos uno del menos un elemento base (11, 12) tiene superficies que están parcial o completamente revestidas con capas conductoras (41a) que están en contacto eléctrico con la faceta correspondiente (9a, 9b).
- 15 15. El conjunto de las reivindicaciones 9 a 14, con una fijación elástica (31, 32) entre el al menos un elemento base (11, 12) y el electrodo (7, 8) que está conectado eléctricamente con la faceta correspondiente (9a, 9b) , con la fijación elástica que comprende al menos un elemento seleccionado del grupo que consiste en: junta tórica (31), junta tórica conductora, adhesivo elástico (32), adhesivo elástico conductor, adhesivo de silicona, resorte mecánico y sus combinaciones.
16. El conjunto de cualquiera de las reivindicaciones 9 a 15, en el que un área de contacto entre el cristal electro-
óptico (9) y el al menos un elemento base (11, 12) es más pequeña que el área de la faceta correspondiente (9a, 9b) del cristal electro-óptico (9).
- 20 17. El conjunto de una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 16, en el que se forma una trayectoria eléctricamente conductora entre al menos uno de los electrodos (7, 8) y la primera o segunda faceta correspondiente (9a, 9b) a través de un cable conductor (42), adhesivo conductor o una junta tórica conductora que conecta el al menos un electrodo (7, 8) con un elemento base (11, 12) que está en contacto eléctrico con la faceta correspondiente (9a, 9b), en el que el cable conductor (42), el adhesivo conductor o la junta tórica conductora residen en el lado evitado en el campo del electrodo (7, 8), cuando el módulo (1c) está montado dentro del compartimento estanco al gas (1a) y se aplica una diferencia de potencial a los electrodos (7, 8).
- 25 18. El conjunto de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, para medir un elemento del grupo que consiste en: un voltaje de corriente continua (CC), un voltaje alto de corriente continua (CC), un voltaje de corriente alterna (CA), un voltaje alto de corriente alterna (CA), voltajes mayores de 50 kV, o una combinación de los mismos; y/o el conjunto forma parte de una aparamenta aislada con gas o que se puede conectar a una aparamenta aislada con gas.
- 30 19. El conjunto de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el compartimento estanco al gas (1a) lleno de gas (20), un gas aislante, un medio de aislamiento dieléctrico, SF₆, N₂, CO₂, o una mezcla de gases, y las partes de la superficie del cristal electro-óptico (9) que están expuestas a una caída de potencial cuando el módulo (1c) está montado en el compartimento estanco al gas (1a) y se aplica una diferencia de potencial a los electrodos (7, 8), están en contacto directo con el medio o el gas dentro del compartimento estanco al gas (1a).
- 35 20. El conjunto de la reivindicación 19, con la superficie del cristal electro-óptico (9) revestida parcial o completamente con una capa pasivante (41c).
21. El conjunto de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 18, en el que el compartimento estanco al gas (1a) se evacua.
- 40 22. Aparamenta aislada con gas que comprende el conjunto de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en particular siendo una aparamenta aislada con gas de corriente continua.

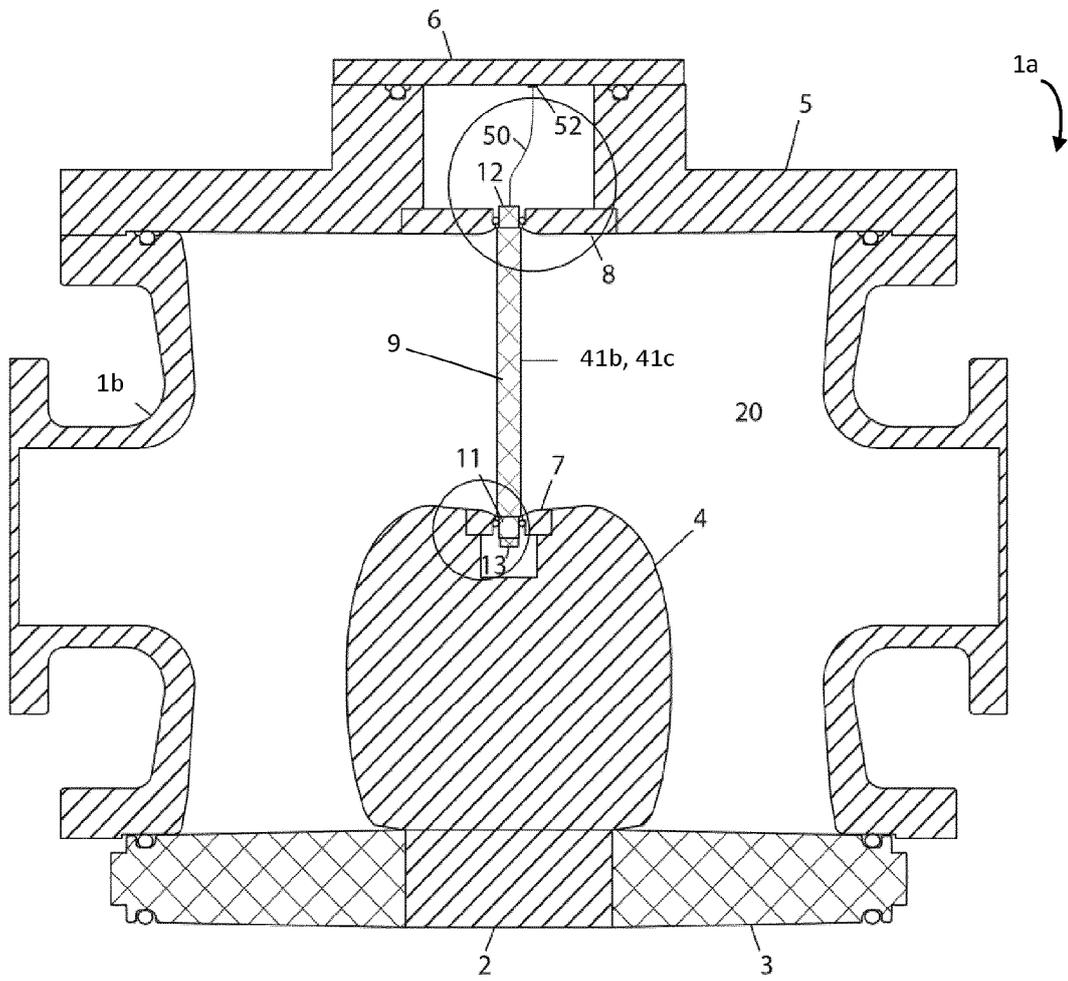


Fig. 1a

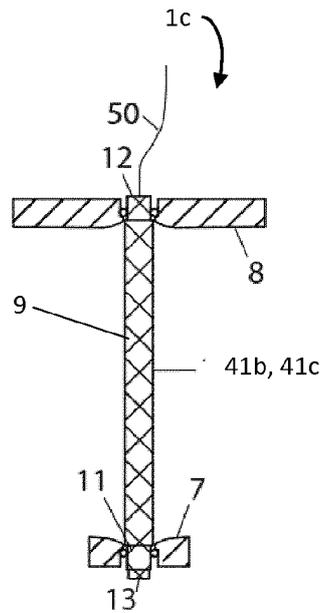


Fig. 1b

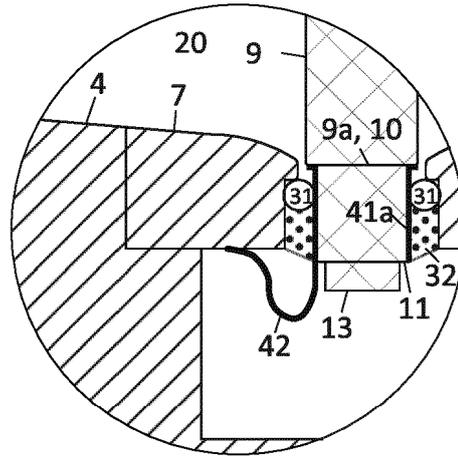


Fig. 2

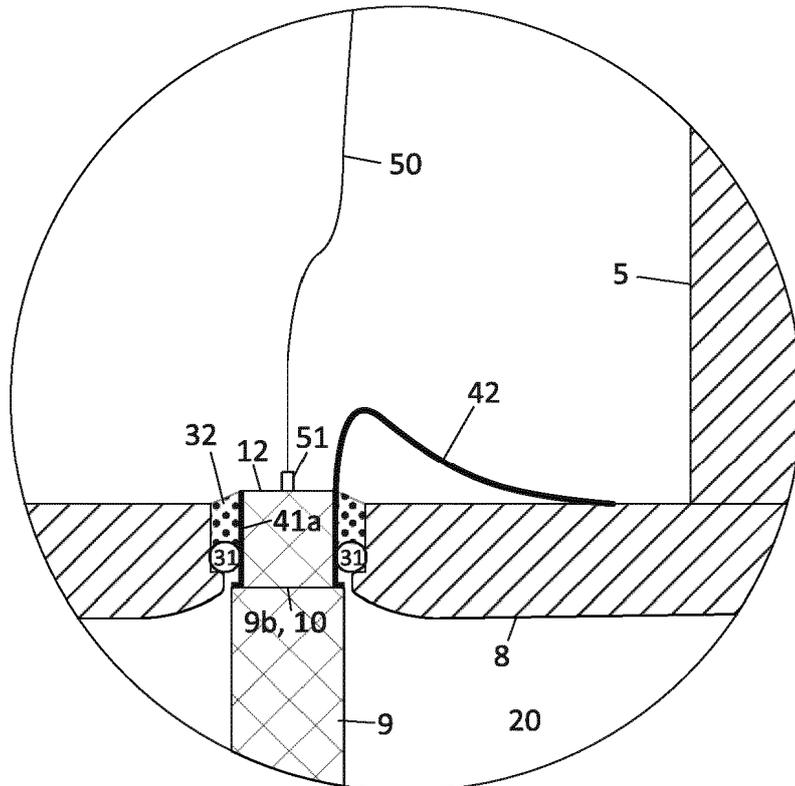


Fig. 3