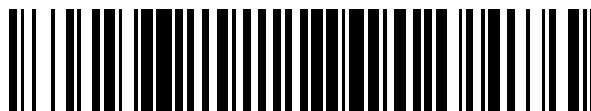


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 401 531**

51 Int. Cl.:

**H01C 7/12**

(2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.12.2008** **E 08865641 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.01.2013** **EP 2227633**

54 Título: **Pala de turbina eólica con receptores de rayos que comprende nanotubos de carbono**

30 Prioridad:

**20.12.2007 DK 200701840**

**20.12.2007 US 9053 P**

**21.12.2007 DK 200701860**

**21.12.2007 US 8701**

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

**22.04.2013**

73 Titular/es:

**VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)**

**HEDEAGER 44**

**8200 AARHUS, DK**

72 Inventor/es:

**JENSEN, MARTIN VILLY REINBACH SKOV y**

**ERICHSEN, HANS VAGN**

74 Agente/Representante:

**ARIAS SANZ, Juan**

ES 2 401 531 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

Pala de turbina eólica con receptores de rayos que comprende nanotubos de carbono

### Campo de la invención

La presente invención se refiere a una pala de rotor de turbina eólica que comprende un sistema de protección contra rayos. En particular, la invención se refiere a un sistema de protección contra rayos que comprende receptores de rayos para capturar los impactos de rayos. Los receptores están dispuestos en la pala de rotor. Además, la invención se refiere a un generador de turbina eólica con un sistema de protección contra rayos, a un receptor de rayos, y a un procedimiento de fabricación con una pala de rotor de turbina eólica con un sistema de protección contra rayos.

### Antecedentes de la invención

Los generadores de turbina eólica son construcciones prominentes altas situadas en campo abierto y por lo tanto, típicamente están expuestos al impacto de rayos. Para proteger los generadores de la turbina eólica de los impactos, normalmente las palas de rotor de turbina eólica están provistos de un sistema de protección contra rayos. En general, dichos sistemas son conocidos e incluyen receptores de rayos de un material eléctricamente conductor. A menudo, los receptores de rayos se montan en las palas de rotor, donde se colocan cerca de la punta u otra superficie exterior. El receptor de rayos puede capturar un impacto de un rayo y conducir la corriente a través de un conductor de bajada que se extiende en la dirección longitudinal de la pala y que está conectado a tierra por medio del buje de la turbina eólica.

Es un problema conocido que la carga implicada en un impacto es tan grande que el calor resultante puede provocar que el material de los receptores de rayos se evapore y se retire. Esto da lugar a un incremento en la inspección de los receptores de rayos y a un incremento en el mantenimiento con el fin de reparar o reemplazar los receptores gastados así como la posible reparación de los daños de las palas del rotor. Esto da lugar a un tiempo de inactividad no deseado de los generadores de la turbina eólica.

Los inventores de la presente invención han apreciado que sería beneficioso un sistema de protección contra rayos de una pala de rotor de turbina eólica, y en consecuencia han ideado la presente invención.

### Sumario de la invención

La presente invención busca proporcionar una pala de rotor de turbina eólica con respecto a la resistencia al desgaste por el impacto de los rayos de los receptores de rayos. Se puede ver como un objetivo de la presente invención proporcionar un generador de turbina eólica con un tiempo de inactividad bajo, o incluso sin tiempo de inactividad, debido al impacto de rayos. Preferentemente, la invención alivia, mitiga o elimina uno o más problemas de la técnica anterior. El documento DE 10 2005 045579 A1 divulga una pala de rotor de turbina eólica con un sistema de protección contra rayos que comprende receptores de rayos.

De acuerdo con el primer aspecto de la invención se proporciona una pala de rotor de turbina eólica que comprende un sistema de protección contra rayos, en la que el sistema de protección contra rayos comprende un receptor de rayos dispuesto en la pala de rotor, y en la que el receptor de rayos comprende nanotubos de carbono.

Los inventores de la presente invención se han dado cuenta de que junto con los impactos de los rayos, pueden ser importantes varios factores, un factor se refiere a proporcionar un material con un punto de evaporación suficientemente alto (energía latente de evaporación), punto de fusión (calor latente de fusión) y/o estabilidad química y térmica para mantener el calor que surge de la descarga del rayo, un segundo factor se refiere a proporcionar un material con una conductancia eléctrica alta para conducir eficazmente las corrientes desde el área del impacto a la mayor parte del receptor, y el tercer factor se refiere a un material con una conductancia térmica alta y/o capacidad térmica para extraer eficazmente el calor generado lejos del área del impacto, y/o que pueda mantener el calor generado del impacto. Es una ventaja de la presente invención que los receptores de rayos que comprenden nanotubos de carbono, soportan estos factores, puesto que los nanotubos de carbono poseen un punto de evaporación, estabilidad química y térmica, conductividad y propiedades térmicas que son superiores a la mayoría de los metales.

En el contexto de la presente invención, debe interpretarse que un receptor de rayos es una región dedicada o específica para capturar un impacto de un rayo y retirar las corrientes inducidas lejos del área de impacto. Esta región es una parte dedicada y/o separada de la pala de rotor típicamente fabricada por separado y destinada para montarse en la pala de rotor.

Se pueden proporcionar los nanotubos de carbono en la superficie exterior en forma de una capa de nanotubos de carbono y/o encapsularse en el receptor de rayos de modo que al menos una parte del receptor de rayos es de un material compuesto metálico de nanotubos de carbono. Los nanotubos de carbono proporcionados en la superficie o en la región de superficie pueden tener un efecto potenciador de campo mientras que la presencia de nanotubos de carbono en el material compuesto metálico puede mejorar adicionalmente las características del material con

respecto al incremento de la resistencia al desgaste a los impactos de rayos, tales como resistencia a la erosión, por ejemplo, resistencia a la erosión de arco, en comparación con los receptores de rayos de materiales compuestos metálicos sin nanotubos de carbono.

5 Los nanotubos de carbono pueden ser nanotubos de carbono de pared simple (SWNT), nanotubos de carbono de pared múltiple (MWNT) o una combinación de los dos.

Los nanotubos de carbono de pared simple son superiores a los nanotubos de carbono de pared múltiple con respecto a la conductividad eléctrica y térmica, sin embargo los MWNT pueden ser superiores a SWNT con respecto a la resistencia a influencias químicas del entorno circundante. Por lo tanto, puede ser una ventaja el uso de una combinación de SWNT y MWNT.

10 Los nanotubos de carbono pueden presentar conductividad semiconductor o conductividad metálica en ase a la estructura del nanotubo. A partir de consideraciones eléctricas solo, por lo tanto puede ser ventajoso el uso de nanotubos de carbono con conductividad metálica. Sin embargo, todos los tipos de nanotubos de carbono son superiores sobre la mayoría de los metales con respecto a la conductividad térmica así como a la estabilidad química y térmica. Por lo tanto, se pueden proporcionar receptores de rayos mejorados a partir del uso de nanotubos de carbono que presenten conductividad metálica o semiconductor, o una mezcla/combinación de las dos.

15 En realizaciones, el receptor de rayos puede comprender nanotubos de carbono como una capa de superficie soportada por el receptor de rayos, encapsulada en un material compuesto de matriz metálica, es decir, para formar un material compuesto de matriz metálica, o como una capa de superficie soportada por un material compuesto de matriz metálica de nanotubos de carbono. El material del receptor puede comprender una parte metálica, sin embargo también se pueden proporcionar componentes no metálicos adicionales. En realizaciones, el receptor de rayos comprende un material seleccionado del grupo de: Cu, Co, Cr, W, V, Ag, Ni, Au, Al, Pb, Mg, Sn, Zn, Ti, Mo, Zr, Mn, Fe, In, Ir, Nb, Ta, Re, Pd, Os, Rh, Ir, Pt, Ru, C, CuW, CuWAg, CuSn, CuNi, CuBe, CuZn, CuAg, CuCd, CuCr, CuZr, CuCrZr, CuTe, CuC, AgCdO, AgSnO<sub>2</sub>, AgSnO<sub>2</sub>In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, AgZnO, AgCdOSnO<sub>2</sub>, AgMgONiO, AgW, AgWC, AgWO<sub>2</sub>, AgWO<sub>3</sub>, AgMo, AgC, AgNi, AgPd, AgCuNi, ReW, compuestos de matriz metálica de Cu, Ag, W, Mo, Ni, Cr, 20 Ti, V, Zr, Mn, Ta, Fe o Nb con adiciones de óxidos, Inconel, Constantan, Monel, Invar, Hastelloy, Cu-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (por ejemplo, GlidCop), acero inoxidable, acero, o cualquier aleación o compuesto de los mismos.

25 El receptor de rayos puede estar provisto de una o más prominencias potenciadoras del campo eléctrico en la superficie exterior del receptor para mejorar adicionalmente los receptores de rayos, puesto que se puede incrementar la intensidad de campo eléctrico en la proximidad de una prominencia que se extiende hacia fuera desde la superficie exterior del receptor. Después del impacto de un rayo, los bordes de los receptores de rayos son propensos a perder más material que las partes centrales de los receptores de rayos. Cuando se retira el material en el borde del receptor, esto puede tener un efecto potenciador del campo eléctrico que incrementa además la probabilidad de impacto de un rayo en el área del borde. Sin embargo, es deseable apartar el área del impacto del borde debido al riesgo de dañar la propia pala de rotor del impacto, y de este modo incrementar además el requisito de mantenimiento. Por lo tanto, puede ser ventajoso proporcionar prominencias potenciadoras del campo en la 30 superficie exterior, para apartar el área del impacto lejos del área del borde. Como otra ventaja, incluso si se retira el material del impacto del rayo, el material se retira en una área que está distanciada del borde, y de este modo disminuye la probabilidad de que la propia pala de rotor se vea afectada por un impacto de un rayo.

35 Las reivindicaciones dependientes definen reivindicaciones ventajosas de geometrías potenciadoras del campo eléctrico específicas.

40 En realizaciones, se proporcionan los nanotubos de carbono en forma de una capa de superficie en una superficie exterior del receptor. Los nanotubos de carbono de una capa de superficie de este tipo pueden funcionar por sí mismos como prominencias potenciadoras del campo eléctrico. Para mejorar adicionalmente el efecto potenciador del campo, la capa de nanotubos de carbono puede estar modelada de acuerdo con una máscara de patrón. En realizaciones se puede proporcionar una capa de nanotubos de carbono modelada sobre una superficie exterior con una topografía de superficie que comprende prominencias potenciadoras del campo.

45 En realizaciones, los nanotubos de carbono pueden estar alineados de forma sustancialmente vertical a lo largo de direcciones que son normales al plano de superficie de la superficie exterior o pueden estar alineados de forma sustancialmente vertical a lo largo de una dirección normal de un plano de superficie de referencia. El plano de superficie de referencia puede ser, por ejemplo, un plano de superficie de la pala contiguo al receptor. Los nanotubos de carbono poseen propiedades térmicas y eléctricas superiores a lo largo del eje de tubo de los nanotubos. Por lo tanto, es ventajoso alinear los nanotubos de modo que el área de impacto de los impactos de rayos esté sustancialmente en los extremos de los tubos, y que los ejes de los tubos se extiendan a lo largo de una dirección que se extiende desde el área del impacto a la superficie exterior del receptor. Dicha alineación se puede 50 obtener usando sustancialmente nanotubos de carbono alineados de forma vertical.

En realizaciones, se proporcionan los nanotubos de carbono en la forma en que están encapsulados en el material a granel del receptor de rayos, de modo que al menos parte del receptor de rayos es de material compuesto metálico de nanotubos de carbono. Puede ser ventajoso que los nanotubos de carbono estén distribuidos de forma

- sustancialmente homogénea en el material de matriz metálica sobre al menos una parte sustancial de todo el grosor del material de matriz metálica, proporcionando de este modo un receptor de rayos al menos sustancialmente sin áreas débiles. Distribuyendo de forma homogénea los nanotubos de carbono en la matriz metálica se proporciona una material que se pueden trabajar con técnicas metalúrgicas estándar, tales como extrusión, forja, laminación, mecanizado, etc., a pesar de que se puedan requerir herramientas especiales adecuadas para materiales duros.
- 5 En una realización, los nanotubos de carbono están orientados de forma sustancialmente aleatoria en una material de matriz metálica. En un procedimiento de fabricación, puede ser más sencillo proporcionar los nanotubos de forma orientada sustancialmente aleatoria.
- 10 En una realización, al menos un montaje de los nanotubos de carbono está orientado a lo largo de la dirección que se extiende a lo largo del grosor del receptor. Los nanotubos de carbono poseen propiedades térmicas y eléctricas superiores a lo largo del eje de tubo de los nanotubos. Por lo tanto, puede ser ventajoso alinear los nanotubos de modo que el calor y la corriente se dirijan lejos del receptor y evitando de este modo la dispersión del calor y de la corriente en la mayor parte del receptor de rayos. La dirección de la orientación se puede controlar por la aplicación de un campo eléctrico o magnético junto con la fabricación del material compuesto metálico de nanotubos de carbono.
- 15 En una realización, los nanotubos de carbono están dispersados en una matriz metálica continua, proporcionando así un receptor de rayos con una resistencia incrementada. En una matriz metálica continua, hay una trayectoria metálica a través de la matriz a cualquier punto en el material. Además, en una matriz metálica continua, las impurezas y cavidades, tales como burbujas de aire, se evitan o al menos sólo están presentes en un grado muy bajo.
- 20 En una realización, al menos una porción de los nanotubos de carbono están en contacto físico entre sí, incrementando así la probabilidad de dirigir el calor y la corriente lejos del receptor en lugar de dispersar el calor y la corriente en la mayor parte del receptor de rayos.
- 25 En una realización, la fracción en volumen de los nanotubos de carbono está en el intervalo de un 5% a un 75%, tal como de un 10% a un 60%, tal como de un 15% a un 50%, tal como de un 20% a un 40%, tal como un 30%.
- Dichos factores como el grado de alineación de los nanotubos de carbono, o la ausencia de alineación (aleatoriedad) de los nanotubos de carbono, el grado de contacto físico entre los nanotubos de carbono, o la ausencia de contacto físico entre los nanotubos de carbono y la fracción en volumen específica de los nanotubos de carbono, se puede variar con el fin de adaptar las propiedades específicas del receptor de rayos.
- 30 De acuerdo con un segundo aspecto de la presente invención se proporciona un generador de turbina eólica que comprende una o mas palas de rotor, en el que la una o más palas de rotor comprenden un sistema de protección contra rayos, en el que el sistema de protección contra rayos comprende un receptor de rayos dispuesto en la pala de rotor, y en el que el receptor de rayos comprende nanotubos de carbono. De este modo se puede proporcionar un generador de turbina eólica con una mejora en la protección contra rayos.
- 35 De acuerdo con un tercer aspecto de la presente invención, se proporciona un receptor de rayos para una pala de rotor de turbina eólica, en el que el receptor de rayos comprende nanotubos de carbono.
- Los receptores de rayos de acuerdo con los aspectos segundo y tercero se pueden proporcionar de acuerdo con el receptor de rayos descrito junto con el primer aspecto de la invención.
- 40 De acuerdo con un cuarto aspecto de la invención, se proporciona un procedimiento de fabricación de una pala de rotor de turbina eólica con un sistema de protección contra rayos, comprendiendo el procedimiento:
- proporcionar una pala de rotor de turbina eólica que tiene una localización de receptor para recibir un receptor de rayos;
  - proporcionar el receptor de rayos de acuerdo con realizaciones del primer aspecto de las realizaciones del primer aspecto de la presente invención;
- 45 - montar el receptor en la localización del receptor sobre la pala de rotor;
- establecer un contacto eléctrico desde los receptores de rayos a un conductor de bajada.
- Los receptores de rayos se pueden fabricar antes de montar el receptor en una localización del receptor sobre la pala de rotor. De este modo se hace posible para un propietario de un generador de turbina eólica actualizar un sistema de protección contra rayos existente con un sistema de protección de acuerdo con la presente invención.
- 50 En realizaciones, los nanotubos de carbono se pueden hacer crecer sobre la superficie exterior de los receptores de rayos proporcionando islas o partículas de material catalítico, por ejemplo Ni o Mo u otras partículas catalíticas, a la superficie exterior y hacer crecer los nanotubos de carbono desde el material catalítico, por ejemplo, por el uso de dichas técnicas como depósito químico de vapor (CVD), CVD potenciado con plasma (PE-CVD), depósito físico de

vapor (PVD) y descarga de arco. El crecimiento catalítico de nanotubos de carbono sobre el plano de superficie de un sustrato es un procedimiento versátil y bien conocido de crecimiento de nanotubos de carbono.

Los nanotubos de carbono se pueden hacer crecer alineados de forma vertical a lo largo de una dirección de orientación. La dirección de la orientación se puede controlar por el uso de enmascaramiento o por aplicación de campos eléctricos o magnéticos junto con el crecimiento como se conoce en la técnica. Las técnicas para el crecimiento de nanotubos de carbono alineados de forma vertical con conocidas en la técnica.

En realizaciones, la capa de nanotubos de carbono se puede modelar. El modelado de la capa de nanotubos de carbono se puede lograr modelando el material catalizador. El modelado del material catalizador se puede obtener por técnicas de litografía, técnicas de dispersión de líquido, grabado, etc. Los procedimientos de modelado son conocidos en la técnica.

En realizaciones, el material compuesto metálico de nanotubos de carbono se fabrica por un procedimiento de fabricación en estado líquido, un procedimiento de fabricación en estado de vapor o un procedimiento metalúrgico en polvo.

Existen varios procedimientos de fabricación en estado líquido. Dichos procedimientos incluyen, pero no se limitan a, procedimientos de galvanoplastia o electroconformado en los que una solución que contiene iones metálicos se cargada con nanotubos de carbono se deposita conjuntamente formando un material compuesto, y procedimientos de colada con agitación en los que los nanotubos de carbono se remueven en el metal fundido, que se deja solidificar.

Un ejemplo de fabricación en estado de vapor incluye, pero no se limita a, procedimientos físicos de depósito de vapor, en los que los nanotubos de carbono se hacen pasar a través de una nube espesa de metal vaporizado, cubriéndolos.

En una fabricación metalúrgica en polvo, los componentes del material en forma de polvo se proporcionan en un molde en el que el polvo se expone a una presión alta y temperatura alta. Para proporcionar un material con una resistencia suficiente, puede ser necesario aplicar dichas temperaturas y presiones altas para que el material se reordene hasta un grado determinado.

En general, los aspectos individuales de la presente invención se pueden combinar cada uno con cualquiera de los otros aspectos. Estos y otros aspectos de la invención serán evidentes a partir de la siguiente descripción con referencia a las realizaciones descritas.

#### Breve descripción de las figuras

Las realizaciones de la invención se describirán, sólo a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos, en los que:

La FIG. 1 ilustra esquemáticamente un generador de turbina eólica con tres palas de rotor equipadas con receptores de rayos;

La FIG. 2 ilustra esquemáticamente en una vista de sección transversal varias realizaciones de receptores en los que la superficie exterior está provista de una o más prominencias potenciadoras del campo;

La FIG. 3 ilustra esquemáticamente en una vista superior, una realización de las prominencias potenciadoras del campo;

La FIG. 4 ilustra esquemáticamente un receptor de rayos provisto en una superficie exterior con una capa de nanotubos de carbono;

La FIG. 5 ilustra esquemáticamente un receptor de rayos provisto en un material compuesto metálico de nanotubos de carbono;

La FIG. 6 ilustra esquemáticamente el sistema combinado de las FIG. 4 y 5;

Las FIG. 7A y 7B ilustran esquemáticamente en una vista de sección transversal, una prominencia potenciadora del campo provista de una capa de nanotubos de carbono;

Las FIG. 8A y 8B ilustran esquemáticamente en una vista de sección transversal, receptores de rayos en los que la capa de nanotubos de carbono está modelada de acuerdo con una máscara de patrón; y

La FIG. 9 ilustra un diagrama de flujo de una realización de un procedimiento de fabricación de una pala de rotor de turbina eólica con un sistema de protección contra rayos.

## Descripción de las realizaciones

La FIG. 1 ilustra esquemáticamente un generador de turbina eólica (WTG) 1 con tres palas de rotor 2 equipadas con receptores de rayos 3. Además, el WTG 1 comprende una torre 4 y una góndola 5. Los receptores de rayos 3 están conectados eléctricamente a un conductor de bajada (no mostrado). Los receptores de rayos 3 están montados en la superficie de la pala 2 para capturar el rayo en estas posiciones específicas. En el WTG 1 mostrado, cinco receptores están montados sobre cada pala de rotor, sin embargo debe entenderse que el alcance de la presente invención no está limitado a un número específico de receptores o a una localización o disposición específica de los receptores. Los receptores de rayos pueden estar montados en ambos lados de las palas del rotor. Se debe entender que la invención no está limitada al tipo de WTG o de palas de rotor ilustrados. El WTG se muestra simplemente con fines ilustrativos.

La FIG. 2 ilustra esquemáticamente en una vista de sección transversal, varias realizaciones de receptores 20 dispuestos en una pala de rotor 21, donde la superficie exterior de los receptores está provista de una o más prominencias potenciadoras del campo. El alcance de la invención no está limitado a las realizaciones mostradas en la figura, cualquier tipo de prominencias potenciadoras del campo dentro del alcance de la invención es posible. Además, las ilustraciones esquemáticas no son representaciones precisas en el sentido de dibujos técnicos o de ingeniería. Las ilustraciones se proporcionan simplemente para ilustrar varias características de las realizaciones de la presente invención. Las realizaciones ilustradas proporcionan ejemplos de prominencias potenciadoras del campo.

En la realización como se muestra en la FIG. 2A, se ilustra una prominencia potenciadora de campo con forma de punta situada centralmente, la prominencia con forma de punta en general apunta hacia fuera de la superficie exterior y se extiende en toda la superficie exterior.

En la realización como se muestra en la FIG. 2B, se ilustra una prominencia potenciadora de campo con forma de punta situada centralmente, la prominencia con forma de punta en general apunta hacia fuera de la superficie exterior y se extiende en una parte central de la superficie exterior.

En las FIG. 2A y 2B se ilustra la superficie elevada 22 de la prominencia como una superficie recta o plana. Otras realizaciones incluyen, pero no se limitan a, superficies elevadas cóncavas o convexas.

En la realización como se muestra en la FIG. 2C, se ilustra una prominencia potenciadora de campo con forma de arco situada centralmente, la prominencia con forma de arco en general sobresale hacia fuera de la superficie exterior y se extiende en toda la superficie exterior.

En la realización como se muestra en la FIG. 2D, se ilustra una prominencia potenciadora de campo con forma de arco situada centralmente, la prominencia con forma de arco en general sobresale hacia fuera de la superficie exterior y esta prominencia se extiende en una parte central de la superficie exterior.

En las FIG. 2C y 2D, se ilustra la curvatura de la superficie exterior de las prominencias potenciadoras del campo como bastante bajas. Otras realizaciones incluyen, pero no se limitan a, prominencias potenciadoras del campo con forma hemisférica.

En la realización como se muestra en la FIG. 2E, se ilustran tres prominencias potenciadoras del campo con forma de cilindro distribuidas. La sección transversal se puede obtener, por ejemplo, a lo largo de una sección indicada por el número de referencia 35 en la FIG. 3.

En las FIG. 2E la superficie elevada 23 también puede estar provista de un ángulo para proporcionar una prominencia que tenga una forma cónica truncada. Además, la superficie elevada, en especial en la realización de cono truncado, puede ser de forma elevada cóncava o convexa.

En las realizaciones como se muestran en las FIG. 2F y 2G, las una o más prominencias potenciadoras del campo constituyen una superficie exterior generalmente con forma de onda. La forma de onda puede ser, por ejemplo, circularmente simétrica alrededor de un punto central, es decir, las prominencias potenciadoras del campo pueden estar formadas por una cresta central y dos crestas concéntricas.

En la FIG. 2F, la prominencia con forma de onda central comprende una amplitud mayor que la prominencia con forma de onda situada lejos del centro. En la FIG. 2G, todas las prominencias con forma de onda comprenden la misma amplitud.

En las FIG. 2A a 2G se ilustran diferentes números de prominencias, sin embargo, se ha de entender que se puede proporcionar cualquier número de prominencias en cualquiera de las realizaciones ilustradas.

En realizaciones, el tamaño del receptor de rayos puede estar en un intervalo de centímetros (cm), tal como poseer un diámetro u otra anchura relevante en el intervalo de 0,5 a 5 cm, tal como 1,5 cm.

En realizaciones, la altura de las prominencias potenciadoras del campo puede estar en el intervalo entre de algunos milímetros (mm) a unos pocos centímetros, tal como un entre de 1 mm a 10 mm, o mayor.

La FIG. 3 ilustra esquemáticamente en una vista superior, una realización de las prominencias potenciadoras del campo. En la realización ilustrada, el receptor 20 posee una sección transversal redonda, sin embargo, la forma del receptor puede ser de cualquier forma adecuada. La superficie exterior 32 está provista de cinco prominencias potenciadoras del campo 33, cada una de sección transversal circular y con el centro marcado 34. En la realización

5 ilustrada, se proporciona una única prominencia situada centralmente rodeada por cuatro prominencias adicionales. Sin embargo, se ha de entender que, en general, la superficie exterior puede estar provista de o sin una prominencia situada centralmente, así como con cualquier número de prominencias individuales. Las prominencias pueden ser de cualquier forma dentro del alcance de la invención.

10 Las FIG. 4 y 5 ilustran esquemáticamente, en sección transversal, elementos de un sistema de protección contra rayos de acuerdo con realizaciones de la presente invención.

La FIG. 4 ilustra esquemáticamente un receptor de rayos 20 dispuesto en la pala de rotor 21, donde el receptor de rayos está en una superficie exterior provista de una capa 40 de nanotubos de carbono. La inserción 41 ilustra esquemáticamente un alargamiento de la capa 40, donde el alargamiento ilustra esquemáticamente nanotubos de carbono individuales 42 que sobresalen de la superficie exterior 32 del receptor de rayos.

15 El receptor se ilustra esquemáticamente conectado a un pararrayos 43 para alejar cualquier corriente inducida de un impacto de un rayo. El receptor de rayos puede estar conectad a un pararrayos de cualquier forma adecuada. Además, el receptor de rayos puede estar fijado en la pala de rotor por cualquier medio adecuado. En una realización, el receptor de rayos está asegurado en una unidad de soporte 44.

20 La FIG. 5 ilustra esquemáticamente un receptor de rayos 20 dispuesto en la pala de rotor 21, donde el material del receptor de rayos es de un material compuesto metálico de nanotubos de carbono, como se indica esquemáticamente por la pluralidad de nanotubos de carbono 50. En general, sin embargo, sólo una parte del receptor de rayos puede ser de un material compuesto metálico de nanotubos de carbono. Por ejemplo, una parte superior puede ser de un material compuesto metálico de nanotubos de carbono, mientras que la parte inferior puede ser de un material receptor de luz estándar, tal como un metal o aleación metálica. En general, la parte que

25 comprende material compuesto metálico de nanotubos de carbono puede ser la parte orientada al exterior de la pala de rotor de turbina eólica.

Los nanotubos de carbono pueden estar distribuidos de forma sustancialmente homogénea en el receptor, y los nanotubos de carbono pueden estar orientados de forma sustancialmente aleatoria en todo el grosor 51 del receptor. En la realización ilustrada, al menos una parte de los nanotubos de carbono están en contacto físico entre sí 52.

30 El alcance de la invención no está limitado a la realización mostrada en la FIG. 5. Típicamente, se prefieren nanotubos de carbono distribuidos de forma homogénea sobre nanotubos de carbono distribuidos de forma no homogénea. Típicamente, la homogeneidad es a través de todo el tamaño del receptor, por tanto a una escala de tamaño pequeño, pequeño en comparación con el tamaño del receptor, la distribución de los nanotubos de carbono puede ser de algún mono no homogénea. En general, no es necesario que los nanotubos de carbono estén

35 orientados de forma aleatoria y no es necesario que estén en contacto físico ente sí. Sin embargo, orientar los nanotubos, por ejemplo, a lo largo de la dirección a lo largo del grosor 51 del receptor, puede mejorar las propiedades materiales del receptor aún más.

Como realización alternativa a la realización de la FIG. 5, el material del receptor de rayos puede ser de un material metálico provisto de láminas de grafeno incrustadas en él. Se pueden proporcionar las láminas de grafeno para

40 extender sobre todo o sólo parte del receptor de rayos. En general, la lámina de grafeno puede estar orientada a lo largo de una dirección a lo largo del grosor 51 del receptor. Las láminas de grafeno pueden tener propiedades similares a los nanotubos de carbono distribuidos.

La FIG. 6 ilustra esquemáticamente el sistema combinado de las FIG. 4 y 5 donde el receptor de rayos 20 está en una superficie exterior provista de una capa 40 de nanotubos de carbono combinada con la del material del receptor

45 de rayos que es de un material compuesto metálico de nanotubos de carbono.

Las FIG. 7A y 7B ilustran esquemáticamente, en una vista de sección transversal, la prominencia potenciadora del campo de la FIG. 2B, sin embargo provisto de una capa de nanotubos de carbono 70, 71.

Tanto en la FIG. 7A como en la FIG. 7B, los nanotubos de carbono están alineados de forma sustancialmente vertical. Sin embargo, en la FIG. 7A, los nanotubos de carbono están alineados de forma sustancialmente vertical a lo largo de direcciones que son normales al plano de superficie de la superficie exterior. Esto es, los nanotubos de carbono están alineados de forma vertical a lo largo de direcciones perpendiculares al sustrato local, como indican

50 72 y 73. En los lugares señalados hacia fuera 74, los nanotubos de carbono se pueden acomodar fácilmente a la geometría local variable del sustrato, sin embargo, en los lugares señalados hacia dentro 75, los nanotubos de carbono se pueden doblar o acomodarse por otros medios a la geometría local variable del sustrato.

55 En la FIG. 7B, los nanotubos de carbono están alineados de forma sustancialmente vertical a lo largo de una dirección normal de un plano de superficie de referencia. Por ejemplo, los nanotubos de carbono pueden estar alineados de forma vertical a lo largo de una dirección 76 perpendicular al plano de superficie de la pala en la

proximidad del receptor.

Las FIG. 8A y 8B ilustran esquemáticamente en una vista de sección transversal, receptores de rayos en los que la capa de nanotubos de carbono está modelada de acuerdo con una máscara de patrón. El modelado se puede proporcionar modelando el material catalítico a partir del que crecen los nanotubos. En la FIG. 8A, se ha enmascarado la capa de modo que los nanotubos de carbono sólo se proporcionan en el área del centro 80. En la FIG. 8B, se ha enmascarado la capa de modo que los nanotubos de carbono cubren toda la superficie exterior, sin embargo, en el borde o reborde 81, la densidad de los nanotubos de carbono es menor que la densidad en el centro 82. En ambas realizaciones, el enmascarado de los nanotubos de carbono tiene un efecto potenciador del campo, lo que atrae el impacto del rayo hacia la región del centro del receptor de rayos. Se ha de entender que son posibles varios patrones de enmascaramiento, y que la invención no está limitada a los de las FIGS. 8A y 8B.

Los nanotubos de carbono pueden estar provistos de una gran variedad de longitudes. En diferentes realizaciones, los nanotubos de carbono pueden ser de diferentes longitudes, así como la capa de nanotubos de carbono y /o el material compuesto metálico de nanotubos de carbono puede estar provisto de nanotubos de carbono que presentan una distribución de la longitud.

La FIG. 9 ilustra un diagrama de flujo de una realización de un procedimiento de fabricación de una pala de rotor de turbina eólica con un sistema de protección contra rayos. El procedimiento comprende la etapa de proporcionar una pala de rotor de turbina eólica que tiene una localización de receptor para recibir un receptor de rayos. Se pueden proporcionar localizaciones de receptor junto con la fabricación de la pala de rotor; o se pueden proporcionar en un procedimiento de fabricación posterior.

Los receptores de rayos se pueden proporcionar en un procedimiento de fabricación separado. En una realización del procedimiento de fabricación de los receptores de rayos, en primer lugar, los receptores se proporcionan, por ejemplo, en un procedimiento de moldeo, colada o metalúrgico en polvo. En realizaciones, el procedimiento puede comprender procesar las etapas para garantizar que al menos parte del receptor de rayos de un material compuesto metálico de nanotubos de carbono y/o en realizaciones, el procedimiento puede comprender etapas de procesamiento que proporcionan una capa de nanotubos de carbono sobre una superficie exterior del receptor. Los receptores se montan en la localización del receptor sobre la pala de rotor y el contacto eléctrico desde los receptores de rayos al pararrayos eléctrico se establece.

Aunque la presente invención se ha descrito junto con las realizaciones especificadas, no se debe interpretar como que está limitada de algún modo a los ejemplos presentados. El alcance de la presente invención se expone por el conjunto de reivindicaciones adjuntas. En el contexto de las reivindicaciones, los términos "comprendiendo" o "comprende" no excluyen otros posible elementos o etapas. Además, la mención de referencias tales como "un" o "uno" etc. no se debe interpretar como excluyente de una pluralidad. Además, las características individuales mencionadas en las diferentes reivindicaciones, posiblemente se pueden combinar de forma ventajosa, y la mención de estas características en diferentes reivindicaciones no excluye que una combinación de características no sea posible ni ventajosa.



# REIVINDICACIONES

1. Una pala de rotor de turbina eólica que comprende un sistema de protección contra rayos, en la que el sistema de protección contra rayos comprende un receptor de rayos dispuesto en la pala de rotor, caracterizado por que el receptor de rayos comprende nanotubos de carbono.
- 5 2. La pala de rotor de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 1, en la que se proporcionan los nanotubos de carbono en una superficie exterior en forma de una capa de nanotubos de carbono y/o en la forma donde al menos parte del receptor de rayos es de un material compuesto metálico de nanotubos de carbono.
3. La pala de rotor de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que los nanotubos de carbono son nanotubos de carbono de pared simple, nanotubos de carbono de pared múltiple o una combinación de los dos.
- 10 4. La pala de rotor de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la superficie exterior del receptor está provista de una o más prominencias potenciadoras del campo eléctrico.
5. La pala de rotor de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 4, en la que la una o más prominencias potenciadoras del campo comprenden una o más prominencias apuntadas que, en general, apuntan hacia fuera de la superficie exterior.
- 15 6. La pala de rotor de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 4, en la que la una o más prominencias potenciadoras del campo comprenden prominencias con forma de arco.
7. La pala de rotor de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 4, en la que la una o más prominencias potenciadoras del campo constituyen una superficie exterior generalmente con forma de onda.
- 20 8. La pala de rotor de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 4, en la que la una o más prominencias potenciadoras del campo comprenden prominencias con forma de cilindro.
9. La pala de rotor de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 2-8, en la que la capa de nanotubos de carbono comprende nanotubos de carbono que están alineados de forma sustancialmente vertical a lo largo de direcciones que son normales al plano de superficie de la superficie exterior.
- 25 10. La pala de rotor de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que al menos un conjunto de los nanotubos de carbono está orientado a lo largo de una dirección que se extiende a lo largo de un grosor del receptor.
11. La pala de rotor de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que los nanotubos de carbono están dispersados en una matriz metálica continua.
- 30 12. Un generador de turbina eólica que comprende una o más palas de rotor, siendo cada pala de rotor una pala de rotor de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores.
13. Un procedimiento de fabricación de una pala de rotor de turbina eólica con un sistema de protección contra rayos de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, comprendiendo el procedimiento:
  - proporcionar una pala de rotor de turbina eólica que tiene una localización de receptor para recibir un receptor de rayos;
  - 35 - proporcionar el receptor de rayos
  - montar el receptor en la localización del receptor sobre la pala de rotor;
  - establecer un contacto eléctrico desde los receptores de rayos a un conductor de bajada.
- 40 14. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 13, en el que los nanotubos de carbono se hacen crecer sobre la superficie exterior de los receptores proporcionando islas o partículas de un material catalítico a la superficie exterior y haciendo crecer los nanotubos de carbono a partir del material catalítico.

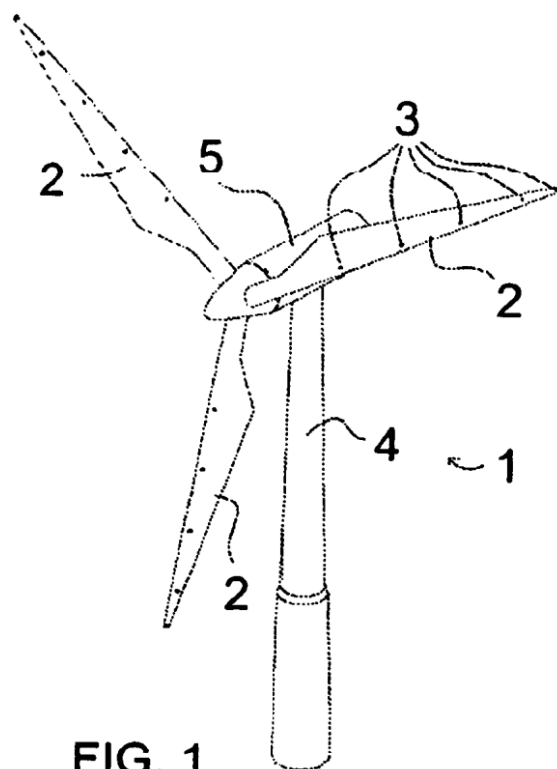


FIG. 1

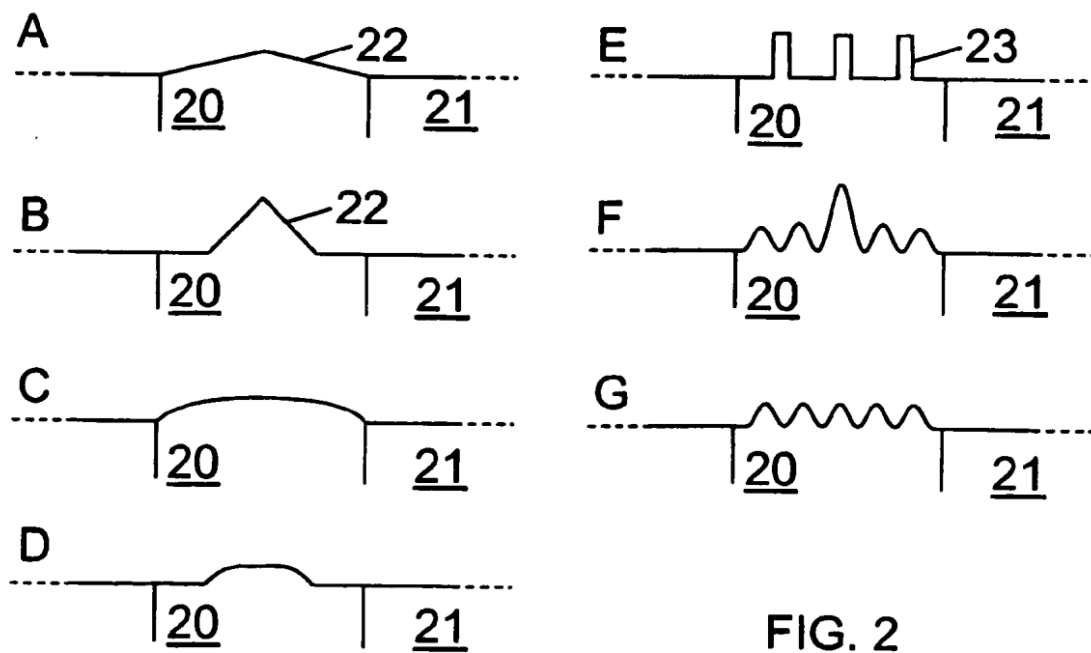


FIG. 2

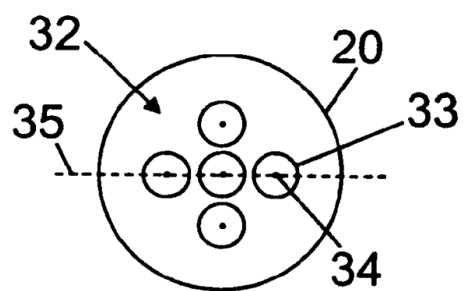


FIG. 3

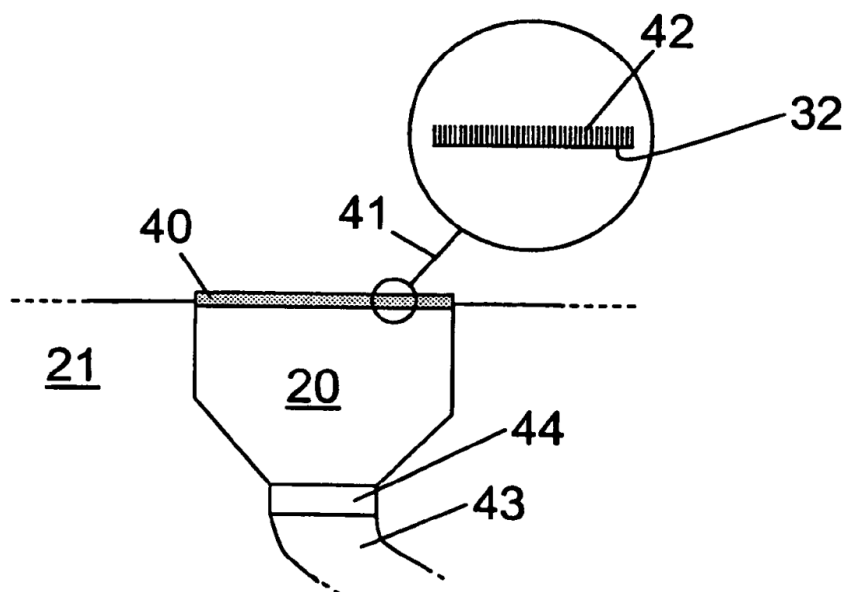


FIG. 4

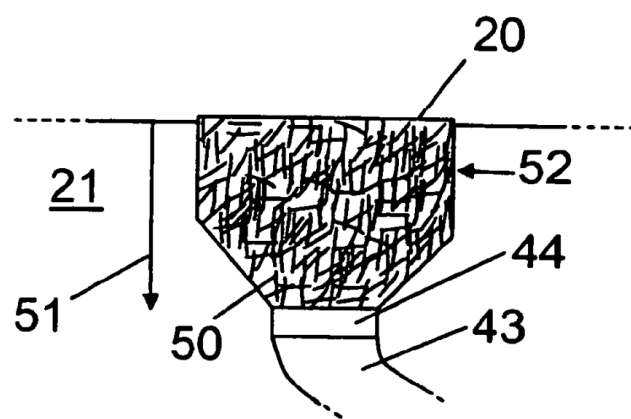


FIG. 5

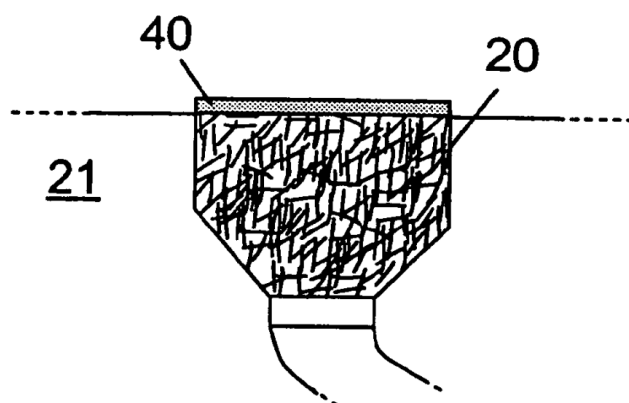


FIG. 6

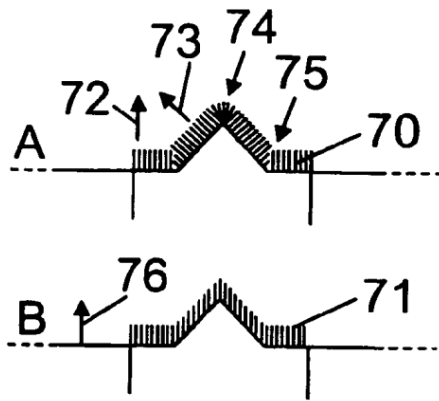


FIG. 7

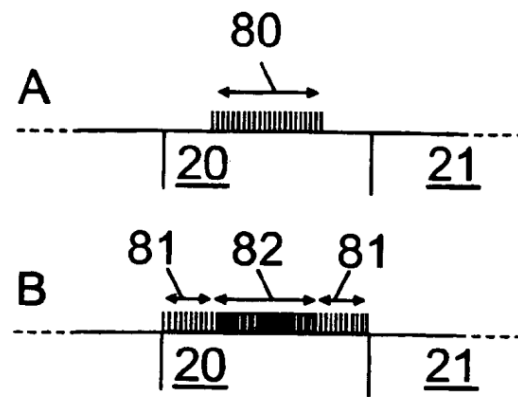


FIG. 8

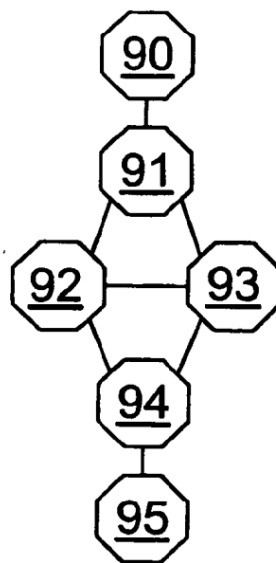


FIG. 9