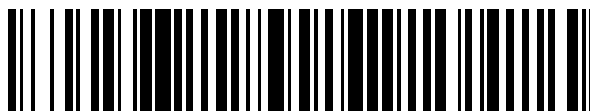


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 784 248**

51 Int. Cl.:

H01L 51/30 (2006.01)

C01B 32/168 (2007.01)

C01B 32/194 (2007.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **04.05.2015 PCT/FI2015/050298**

87 Fecha y número de publicación internacional: **12.11.2015 WO15170005**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.05.2015 E 15722559 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.01.2020 EP 3140870**

54 Título: **Un método para modelar una pieza de nanomaterial de carbono**

30 Prioridad:

05.05.2014 FI 20145408

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

23.09.2020

73 Titular/es:

**JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO (100.0%)
P.O. Box 35
40014 Jyväskylä, FI**

72 Inventor/es:

**PETTERSSON, MIKA;
JOHANSSON, ANDREAS;
AUMANEN, JUKKA;
MYLLYPERKIÖ, PASI y
KOIVISTOINEN, JUHA**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 784 248 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

Un método para modelar una pieza de nanomaterial de carbono

5 Campo de la Invención

La invención se refiere a un método para procesar nanomateriales de carbono.

Antecedentes de la Invención

10 Los nanomateriales de carbono y el grafeno, en particular, se consideran los materiales clave para la electrónica, fotónica y áreas tecnológicas relacionadas del futuro. El grafeno es un material bidimensional que consta de una red hexagonal de carbonos aromáticos. Es ultrafino, tiene un grosor mínimo de una sola capa atómica y tiene excelentes propiedades electrónicas, incluida la conductividad, lo que le convierte en un material potencial para ser utilizado en dispositivos electrónicos finos flexibles y transparentes.

15 El problema con el grafeno prístino es que no tiene hueco de banda y, por lo tanto, no es adecuado para la electrónica como tal. Lo que se necesita es un modelado de grafeno con funcionalidades que permitan abrir un hueco de banda y sintonizarlo, y otras propiedades eléctricas. En este sentido, se están desarrollando varias estrategias. Una posibilidad es cortar el grafeno en cintas estrechas que tengan un hueco de banda debido al confinamiento cuántico y los efectos de borde. Otra posibilidad es utilizar un crecimiento en plantilla de nanocintas de grafeno. Sin embargo, es muy difícil y costoso controlar las cintas de grafeno con el grado de precisión requerido.

20 La ablación con láser se ha utilizado para fabricar nanocintas estrechas y para modelar grafeno y para transferencia de patrones. En estos métodos, se utilizaron láseres pulsados para cortar el grafeno mediante ablación o quemado. Los procesos podrían controlarse localmente enfocando el rayo láser sobre un diámetro pequeño. Se podrían hacer patrones moviendo la muestra bajo iluminación láser. El factor común clave en estos métodos es que en todos ellos se usa láser para eliminar material de la lámina de grafeno. Por lo tanto, estos métodos no se pueden usar para controlar las propiedades eléctricas de las áreas modeladas.

25 En este campo, la publicación US2009/0311489 describe un método de modelado para una capa de nanotubos de carbono (CNT). El método se basa en enfocar un rayo láser sobre la capa y mover la muestra con respecto al rayo láser. El efecto del rayo láser es eliminar el material CNT por ablación o quemado, por lo que este método solo puede eliminar material, pero no cambiar sus propiedades eléctricas. Por lo tanto, no se puede obtener un nanomaterial de carbono con áreas de diferentes propiedades eléctricas.

30 Otra estrategia implica el modelado de óxido de grafeno (GO). GO es una forma de grafeno que contiene grupos químicos con oxígeno, típicamente grupos C=O, O-H y C-O-C. GO está hecho de grafito. GO es un aislante y debe reducirse a un GO reducido (RGO) para que sea conductor en cierta medida. Sin embargo, RGO no es el mismo material que el grafeno prístino y no tiene propiedades eléctricas tan buenas como el grafeno prístino. Por lo tanto, estos métodos son suficientes para obtener nanomateriales de carbono con una conductividad extremadamente buena y un hueco de banda bajo. Por lo tanto, RGO no tiene las excelentes propiedades eléctricas del grafeno prístino debido, por ejemplo, al proceso de oxidación-reducción del grafito. Aún más, si la oxidación o reducción se realiza utilizando química húmeda, puede contaminarse el grafito para GO, lo que empeora aún más las propiedades eléctricas de RGO.

35 Además, algunos de estos métodos requieren el uso de equipos con costes de inversión razonablemente altos. Aún más, la precisión espacial de algunos métodos no es satisfactoria para la electrónica futura que requiere un ancho de línea en la región de 500 nm y menos.

40 El método de oxidación local de nanomateriales de carbono se describe en el documento US 2014/094021 A1 y FETHULLAH GÜNES ET AL: "UV LIGHT-ASSITED OXIDATIVE sp 3 HYBRIDIZATION OF GRAPHENE", NANO, volumen 06, número 05, 2011, páginas 409-418.

Compendio de la Invención

45 Se ha descubierto que los nanomateriales de carbono se pueden modelar localmente mediante oxidación inducida por radiación electromagnética, tal como luz visible o radiación infrarroja. Sin embargo, el método es aplicable a diversos tipos de nanomateriales de carbono, en particular al material que comprende grafeno. El método comprende exponer nanomaterial de carbono a la luz en un ambiente que comprende oxígeno. Como resultado, por un lado, el material se oxida localmente de manera controlada. Por otro lado, la oxidación y, en particular, el grado de oxidación afecta a las propiedades locales (tales como una propiedad eléctrica, tal como la conductividad eléctrica y/o el hueco de banda) del nanomaterial. Dependiendo de los parámetros de proceso, se pueden oxidar diferentes áreas de diferentes maneras, lo que da como resultado un nanomaterial de carbono con al menos tres tipos de regiones: sin procesar y dos áreas que se han procesado de manera diferente. En las regiones correspondientes, el nanomaterial de carbono tiene diferentes propiedades.

50 El método de la invención es como se define en la reivindicación 1.

Según la invención, el nanomaterial de carbono comprende, preferiblemente consta de,

- una monocapa, por ejemplo, una monocapa plana o doblada, de grafeno, opcionalmente oxidada a lo sumo en parte, o
- un grafeno multicapa, por ejemplo, plano o doblado, que comprende varias monocapas de grafeno, en donde el número es como máximo 30, opcionalmente tratado químicamente en al menos una superficie.

El método es fácil de controlar. De este modo, tanto las regiones aislantes como las semiconductoras se pueden modelar en una pieza de nanomaterial de carbono conductor, dando como resultado una pieza procesada en nanomaterial que tiene áreas conductoras, semiconductoras y aislantes. Alternativamente, puede verse afectada alguna otra propiedad del material (distinta de la conductancia). La otra propiedad puede ser una propiedad eléctrica u otra propiedad, tal como la luminiscencia.

Descripción de los dibujos

- La figura 1a muestra la exposición local a la luz de una primera área de una pieza de nanomaterial de carbono,
- La figura 1b muestra la exposición local a la luz de una segunda área de una pieza de nanomaterial de carbono después de que la primera área haya sido expuesta y oxidada,
- La figura 2a muestra un ejemplo de una monocapa de grafeno vista desde arriba,
- La figura 2b muestra un ejemplo de grafeno multicapa en una vista en perspectiva despiezada,
- La figura 2c muestra ejemplos de nanotubos de carbono,
- La figura 2d muestra un ejemplo de una red de nanotubos de carbono,
- La figura 3a muestra una manera de exponer localmente a la luz una parte de una pieza de nanomaterial de carbono, y
- La figura 3b muestra una manera de exponer localmente a la luz una parte de una pieza de nanomaterial de carbono,
- La figura 4 muestra una pieza procesada de nanomaterial de carbono y diferentes áreas en ella, y
- La figura 5 muestra una pieza de nanomaterial de carbono, según se observa con microscopía de mezcla de cuatro ondas (FWM), antes (A) y después (B) de modelarla según el método presentado.

Descripción detallada

Es conocido que los nanomateriales de carbono conducen muy bien el calor y la electricidad debido a la movilidad excepcionalmente alta del portador. Por lo tanto, los nanomateriales de carbono a menudo son vistos como uno de los mejores candidatos para la electrónica futura. Para fabricar dispositivos funcionales a partir de nanomateriales de carbono, tales como el grafeno, las áreas con diferentes propiedades, tales como las propiedades eléctricas, mecánicas y/u ópticas, deben estar modeladas en el nanomaterial. En particular, para fabricar dispositivos electrónicos funcionales a partir de nanomateriales de carbono, como el grafeno, las áreas con diferentes propiedades eléctricas se deben modelar en el nanomaterial. Estas propiedades pueden ser, por ejemplo

- una propiedad eléctrica, tal como conductividad eléctrica o hueco de banda,
- una propiedad óptica, tal como luminiscencia, transmitancia o reflectividad, o
- una propiedad mecánica, tal como módulo elástico o fragilidad (medida a menudo en términos de esfuerzo de tensión en la rotura).

Se ha averiguado que algunas de estas propiedades se ven afectadas por el grado de oxidación del material de carbono. El término "oxidación" se refiere a la reacción, en la que al menos algunos de los átomos de carbono del material de carbono reaccionan con el oxígeno de tal manera que al menos algunos de los átomos de carbono oxidados aún permanecen ligados con los otros átomos de carbono de la pieza material de carbono. El grado de oxidación se refiere a la relación molar de los átomos de oxígeno con los átomos de carbono, que luego se denota por N_o/N_c . Sin embargo, durante la oxidación, al menos algunos átomos de carbono pueden eliminarse de la pieza de nanomaterial de carbono. Por ejemplo, el material puede quemarse localmente, por lo que algunos átomos de carbono del nanomaterial de carbono forman óxidos de carbono gaseosos, por ejemplo, monóxido de carbono (CO) o dióxido de carbono (CO₂).

Se ha averiguado que los nanomateriales de carbono se pueden modelar localmente mediante oxidación inducida por radiación electromagnética. Esto significa que la oxidación se induce localmente en un área que está expuesta a dicha radiación electromagnética en un ambiente que comprende oxígeno. Además, se ha averiguado que el grado de oxidación puede controlarse controlando al menos una de (i) las propiedades de la radiación utilizada para la oxidación, (ii) el tiempo de exposición y/o (iii) el contenido de oxígeno del ambiente. Como el nivel de oxidación se ve afectado localmente, también se ven afectadas localmente las otras propiedades que dependen de él.

Según la invención, la oxidación inducida por la luz se debe a la oxidación inducida por dos fotones o por fotones múltiples. La oxidación inducida por la luz se debe a la oxidación inducida por dos fotones o por fotones múltiples, en la que los fotones provienen de la región de longitudes de ondas visibles o del infrarrojo cercano (es decir, de 400 nm a 1100 nm). La oxidación inducida por la luz se debe a la oxidación inducida por dos fotones o por fotones múltiples, en la que los fotones provienen de la región de longitud de onda visible (es decir, de 400 nm a 700 nm). La oxidación inducida por la luz se debe a la oxidación inducida por dos fotones o por fotones múltiples, en la que los fotones provienen de la región de longitud de onda del infrarrojo cercano (es decir, de 700 nm a 1100 nm). Además, o alternativamente, y no formando parte de la invención, la oxidación inducida por la luz puede deberse a la oxidación inducida por un solo fotón. La oxidación inducida

por la luz puede deberse a una oxidación inducida por un solo fotón, en la que el fotón proviene de la región de longitud de onda ultravioleta (es decir, de 250 nm a 400 nm). Se discutirán más adelante otros valores de los diferentes parámetros.

En general, los materiales fotosensibles se conocen desde hace mucho tiempo. En la tecnología de fabricación de electrónica, se usan comúnmente materiales fotosensibles junto con diversas máscaras pasivas, en donde la máscara pasiva comprende áreas que son transparentes y otras áreas que son opacas, y la transparencia de estas áreas no se puede controlar activamente, por ejemplo, por medios eléctricos. Al exponer el material fotosensible a través de la máscara pasiva, se puede modelar una imagen, por ejemplo, sobre una preforma de una placa de circuito impreso. Después de la exposición, algunos materiales expuestos pueden ser, por ejemplo, arrastrados mientras el material no expuesto permanece en la preforma (o viceversa). Sin embargo, no se conoce la sensibilidad de los nanomateriales de carbono a la luz, o al menos no se ha utilizado en la fabricación de dispositivos electrónicos.

La fabricación de una máscara pasiva de este tipo es muy costosa. Además, el coste aumenta a medida que disminuye el ancho de línea de la máscara pasiva. Por lo tanto, las máscaras pasivas para la electrónica futura con anchos de línea pequeños serán muy caras. En diversas realizaciones del método, se puede omitir totalmente una máscara pasiva. Esto se debe a que las intensidades requeridas, en particular para la oxidación de dos fotones o de fotones múltiples, son altas, por lo que se utiliza un láser para generar luz. Un láser produce un haz colimado, opcionalmente un haz que comprende al menos un impulso. Por lo tanto, la luz láser se puede usar para exponer solo localmente el nanomaterial de carbono incluso sin una máscara pasiva.

Con referencia a la figura 1a, una pieza de nanomaterial de carbono 100 puede oxidarse localmente, es decir, modelarse. La pieza de nanomaterial de carbono 100 tiene una longitud L, un ancho W y un grosor T, de modo que la longitud L es mayor o igual que el grosor T, el ancho W es mayor o igual que el grosor T. Cada uno de las direcciones de longitud L, ancho W y grosor T son perpendiculares a las otras dos direcciones. En cuanto al término "nanomaterial", el grosor es como máximo de 50 nm. El grosor puede ser como máximo de 10 nm o como máximo de 5 nm.

El término "nanomaterial de carbono" también puede referirse a un objeto que puede obtenerse, mediante doblado o enrollado, a partir de una muestra de nanomaterial de carbono que tiene una longitud L, un ancho W y un grosor T. También aquí la longitud L es mayor o igual que el grosor T, el ancho W es mayor o igual que el grosor T. Cada una de las direcciones de longitud L, ancho W y grosor T son perpendiculares a las otras dos direcciones. En cuanto al término "nanomaterial", el grosor de la muestra de nanomaterial de carbono, a partir del cual se puede obtener la pieza de nanomaterial de carbono, es como máximo de 50 nm. El grosor T de la muestra de nanomaterial de carbono, usado para formar la pieza de nanomaterial de carbono 100, puede ser alternativamente, por ejemplo, de 10 nm como máximo o de 5 nm como máximo.

El pequeño grosor es beneficioso en muchos aspectos, en particular para futuros dispositivos electrónicos. Los nanomateriales de carbono finos son muy flexibles, por lo que la forma del material puede deformarse fácilmente, por ejemplo, por doblado o enrollado. Además, el nanomaterial de carbono fino puede ser prácticamente transparente, por lo que se pueden fabricar dispositivos electrónicos invisibles a simple vista. Se ha observado que, al seleccionar los parámetros de proceso de manera apropiada (véase más abajo), la oxidación inducida por la luz se puede usar también para nanomateriales de carbono prácticamente transparentes. Naturalmente, la transparencia del nanomaterial de carbono puede ser ligeramente inferior a uno, ya que la luz interactúa con el nanomaterial de carbono. La transparencia de una pieza de nanomaterial de carbono 100, para el intervalo de longitud de onda visible (de 400 nm a 700 nm) puede ser, por ejemplo, de al menos un 75% o de al menos un 90%.

La pieza de nanomaterial de carbono 100 comprende una región 110, en la que la región comprende al menos un 80% en moles de átomos de carbono. La región 110 puede comprender al menos un 90% en moles de átomos de carbono o al menos un 95% en moles de átomos de carbono. Además, inicialmente la pieza de nanomaterial de carbono 100 puede tener propiedades uniformes. Por lo tanto, la pieza de nanomaterial de carbono 100 puede comprender al menos un 80% en moles de átomos de carbono, al menos un 90% en moles de átomos de carbono o al menos un 95% en moles de átomos de carbono. La región 110 puede tener el mismo tamaño que la pieza de nanomaterial de carbono 100, o puede ser más pequeña.

Inicialmente, la región 110 puede no oxidarse u oxidarse hasta cierto punto. Por lo tanto, en la región 110, la relación molar de oxígeno a carbono tiene un valor base que es igual o mayor que cero. Esta relación molar en la región 110 se define como N_O/N_C , en donde N_O es el número de átomos de oxígeno en la región 110 (opcionalmente cero) y N_C es el número de átomos de carbono en la región 110 (mayor que cero). El valor base es, por lo tanto, la relación N_O/N_C en la región 110; esto se indicará con $N_O/N_C|_{110}$.

Con el método, se oxidará una primera área 120. La región 110 comprende la primera área 120. La primera área 120 es más pequeña que la región 110. De este modo, la región 110 y la primera área 120 definen una base 115 que está constituida por la diferencia de la región 110 y la primera área 120. La diferencia de la región 110 y la primera área 120 es el conjunto de puntos de la región 110 que no están comprendidos en la primera área 120. En la teoría de conjuntos, esto a menudo se denota con el signo "-". Por lo tanto, la diferencia de la región 110 y la primera área 120 puede denotarse, por ejemplo, mediante "110-120". La diferencia de la región y la primera área, 110-120, es un conjunto no vacío, porque la primera área 120 es más pequeña que la región 110. La base 115 está comprendida en esta diferencia; véase la figura 1a.

El método, es decir, una primera realización del método, comprende: -generar una primera secuencia de impulsos de luz 150 con los valores de propiedad de la primera secuencia de impulsos de luz, comprendiendo la primera secuencia de impulsos de luz 150 al menos un impulso de luz.

5 Los valores de propiedad de la primera secuencia de impulsos de luz incluyen, por ejemplo, intensidad, longitud de onda, duración y número de impulsos de luz en la primera secuencia de impulsos de luz.

El método comprende además

10 - exponer la primera área 120 a dicha primera secuencia de impulsos de luz 150 en un primer ambiente de proceso 155 que tiene un primer contenido de oxígeno.

El método se relaciona con el modelado del nanomaterial de carbono, siendo el modelado inherentemente un proceso local, por el cual no se trata por el método toda la pieza de nanomaterial de carbono 100. Por lo tanto, el método comprende

15 - exponer la primera área 120 a dicha primera secuencia de impulsos de luz 150 sin exponer al menos parte de la base 115 a dicha primera secuencia de impulsos de luz 150.

20 Se ha observado que, por la presencia de oxígeno, tiene lugar una oxidación inducida por la luz en la primera área 120, pero no en la base 115. Mediante dicha exposición, y debido a que el primer ambiente de proceso tiene el primer contenido de oxígeno, el método comprende

25 - oxidar localmente, en la primera área 120, al menos algunos átomos de carbono de la pieza de nanomaterial de carbono 100.

Se ha observado además que, si la intensidad de la luz es excepcionalmente alta, parte del nanomaterial de carbono puede eliminarse de la pieza de nanomaterial de carbono 100. Sin embargo, para hacer un dispositivo funcional a partir de nanomaterial de carbono, dicha exposición debe eliminar sólo pequeñas cantidades de carbono, si las hay. Por lo tanto, el método comprende

30 - oxidar localmente, en la primera área 120, al menos algunos átomos de carbono de la pieza de nanomaterial de carbono 100 de tal manera que
35 - como máximo el 10% de los átomos de carbono de la primera área 120 se eliminan de la primera área 120.

Además, como la oxidación inducida por la luz tiene lugar en la primera área 120, después de exponer dicha primera área 120 a dicha primera secuencia de impulsos de luz 150, en la primera área 120, la relación molar de átomos de oxígeno a átomos de carbono tiene un primer valor, en donde el primer valor es mayor que el valor base. La primera área 120 comprende un número $N_{O|120}$ de átomos de oxígeno y un número $N_{C|120}$ de átomos de carbono. La relación molar de átomos de oxígeno a átomos de carbono, $(N_{O|120})/(N_{C|120})$, en la primera área 120, se denotará por $N_{O}/N_{C|120}$. Dado que se ha producido la oxidación, $N_{O}/N_{C|120} > N_{O}/N_{C|110}$.

40 Como al menos una parte de la base 115 no está expuesta, la base comprende una parte, en la que el nivel de oxidación de la parte de la base 115 no se ve afectado. Dado que de esta manera la oxidación se produce sólo localmente, el método comprende: -modelar la primera área 120 de la pieza de nanomaterial de carbono 110.

Se ha averiguado que el método es adecuado para modelar, por ejemplo, grafeno. Dentro de esta descripción, el término "grafeno" se usa para una muestra de grafeno plana, doblada o enrollada; sin embargo, una muestra de grafeno que se enrolla para formar un tubo cerrado se denomina nanotubo. El nanotubo de carbono está abierto o cerrado desde sus extremos; sin embargo, la superficie del nanotubo está cerrada. Por el contrario, un nanocaracol de carbono es una muestra de grafeno enrollado con una sección transversal en espiral (abierto). A diferencia de los nanotubos, el término "grafeno" puede referirse a una muestra de grafeno abierta plana, doblada o enrollada.

55 Según la invención, la pieza de nanomaterial de carbono 100 comprende o, preferiblemente, consta de

- una monocapa de grafeno, por ejemplo, plana o doblada y, opcionalmente, como máximo parcialmente oxidada,
o
- un grafeno multicapa, por ejemplo, plano o doblado, que comprende varias monocapas de grafeno, en donde el
60 número es como máximo de 30, de manera opcional tratadas químicamente en al menos una superficie.

También se ha averiguado que el grado de oxidación inducida por la luz depende de los parámetros utilizados para la oxidación. Además, se ha averiguado que es posible modelar una segunda área 130 de la misma pieza de nanomaterial de carbono 100 de tal manera que en la segunda área 130, la relación molar de átomos de oxígeno a átomos de carbono tenga un segundo valor $N_{O}/N_{C|130}$, siendo el segundo valor mayor que el valor base, es decir, $N_{O}/N_{C|130} > N_{O}/N_{C|110}$, y diferente del primer valor, es decir, $N_{O}/N_{C|130} \neq N_{O}/N_{C|120}$.

Una segunda realización del método comprende todos los pasos de la primera realización. En particular, dado que la primera realización comprende exponer la primera área 120, las realizaciones primera (y segunda) comprenden

- 5
- usar un primer conjunto de valores de parámetros de proceso para oxidar la primera área 120, en donde
 - el primer conjunto de valores de parámetros de proceso comprende los valores de propiedad de la primera secuencia de impulsos de luz y el primer contenido de oxígeno.

10 El primer conjunto de valores de parámetros de proceso puede comprender, por ejemplo, el valor de la intensidad, el valor de la(s) longitud(es) de onda, el valor de la duración y el valor del número de impulsos de luz en la primera secuencia de impulsos de luz 150; además del valor del primer contenido de oxígeno del primer ambiente de proceso 155.

15 Con referencia a la figura 1b, la pieza de nanomaterial de carbono 100 comprende además una segunda área 130. Como se discutirá, en una segunda realización, la segunda área 130 está expuesta a una segunda secuencia de impulsos de luz 160. La primera área 120 también se muestra en la figura 1b. La segunda área 130 puede estar comprendida en la primera área 120. La segunda área 130 no comprende toda la base 115, cuya base 115 no está expuesta a la primera secuencia de impulsos de luz 150 por la primera realización del método. En otras palabras, la diferencia de la segunda área 130 y la base 115 es un conjunto no vacío. Por lo tanto, al menos una parte de la base 115 permanece sin exponerse (tanto a la secuencia de impulsos de luz 150 como a la 160) también en la segunda realización.

20 La segunda realización comprende

- 25
- cambiar al menos un valor de un parámetro de proceso del primer conjunto de valores de parámetros de proceso generando así un segundo conjunto de valores de parámetros de proceso, en el que al menos un valor de un parámetro de proceso en el primer conjunto de valores de parámetros de proceso es diferente del valor del parámetro de proceso en el segundo conjunto de valores de parámetros de proceso.

30 Por lo tanto, la segunda realización puede comprender cambiar, cuando se cambia la secuencia de impulsos de luz que expone la pieza de nanomaterial de carbono, es decir, el impulso de luz de exposición, desde la primera secuencia 150 hasta la segunda secuencia 160, al menos uno de

- 35
- la intensidad de luz de un impulso de luz de la secuencia de impulsos de luz de exposición (150, 160),
 - la duración de un impulso de luz de la secuencia de impulsos de luz de exposición (150, 160),
 - el número de impulsos de luz en la secuencia de impulsos de luz de exposición (150, 160),
 - el tiempo de exposición utilizado para exponer el área (120, 130),
 - la tasa de repetición de los impulsos de luz en la secuencia de impulsos de luz (150, 160),
 - el contenido de oxígeno del ambiente en el que se oxida el nanomaterial de carbono, o -el ambiente.

40 La segunda realización comprende además

- 45
- generar una segunda secuencia de impulsos de luz 160 con unos valores de propiedad de la segunda secuencia de impulsos de luz, estando constituidos los valores de propiedad de la segunda secuencia de impulsos de luz en el segundo conjunto de valores de parámetros de proceso, comprendiendo la segunda secuencia de impulsos de luz 160 al menos un impulso de luz.

La segunda realización comprende además

- 50
- exponer la segunda área 130 a dicha segunda secuencia de impulsos de luz 160 en (a) el ambiente de proceso 155 que tiene un segundo contenido de oxígeno o (b) otro ambiente de proceso 165 que tiene un segundo contenido de oxígeno, estando comprendido el segundo contenido de oxígeno en el segundo conjunto de valores de parámetros de proceso.

55 Por ejemplo, si la primera exposición se realiza en un segundo ambiente 165 diferente, la segunda exposición se puede realizar en el segundo ambiente 165 que tiene un contenido de oxígeno diferente. La pieza de nanomaterial de carbono 100 se puede mover desde el primer ambiente 155 hasta el segundo ambiente 165. Sin embargo, el contenido de oxígeno de los ambientes primero y segundo puede ser constante en el tiempo.

60 Como alternativa, se puede usar el mismo ambiente (es decir, ubicación) para ambas exposiciones, de tal manera que el contenido de oxígeno cambie entre la primera exposición y la segunda exposición. Alternativamente, se puede usar el mismo ambiente para ambas exposiciones, de tal manera que el contenido de oxígeno no cambie entre la primera exposición y la segunda exposición; en su lugar, se utilizan secuencias de impulsos de luz 150, 160 con al menos una propiedad diferente.

65 En particular, la segunda realización comprende exponer la segunda área 130 a dicha segunda secuencia de impulsos de luz 160 sin exponer al menos parte de la parte de la base 115, que no ha sido expuesta a la primera secuencia de

impulsos de luz 150, a dicha segunda secuencia de impulsos de luz 160. Por lo tanto, al menos parte de la base 115 no se expone ni a la primera secuencia de impulsos de luz 150 ni a la segunda secuencia de impulsos de luz 160.

5 Como al menos se cambia un valor de un parámetro de proceso, al menos un valor del parámetro de proceso usado para exponer la segunda área 130 a la segunda secuencia de impulsos de luz 160 es diferente del valor del parámetro de proceso correspondiente usado para exponer la primera área 120 a la primera secuencia de impulsos de luz 150, por lo que se oxida la segunda área 130 de una manera diferente a la de la primera área 120. Además, al menos una parte de la base 115 no se oxida o no se oxida adicionalmente. Por lo tanto, el método comprende

10 - oxidar localmente, en la segunda área 130, al menos algunos átomos de carbono de la pieza de nanomaterial de carbono 100.

También en la segunda realización, solo se elimina mediante dicha exposición un poco de material, si lo hay. Por lo tanto, la segunda realización comprende

15 - oxidar localmente, en la segunda área 130, al menos algunos átomos de carbono de la pieza de nanomaterial de carbono 100 de tal manera que como máximo se eliminen de la segunda área 130 el 10% de los átomos de carbono de la segunda área 130.

20 Debido a que se oxida la segunda área 130, después de exponer dicha segunda área 130 a dicha segunda secuencia de impulsos de luz 160, en la segunda área 130, la relación molar de átomos de oxígeno a átomos de carbono tiene un segundo valor $N_{O}/N_{C}|_{130}$, siendo el segundo valor mayor que el valor base, es decir, $N_{O}/N_{C}|_{130} > N_{O}/N_{C}|_{110}$.

25 Debido a que se oxida la segunda área 130 usando diferentes parámetros de proceso para la oxidación inducida por la luz que para la oxidación inducida por la luz de la primera área 120, después de exponer dicha segunda área 130 a dicha segunda secuencia de impulsos de luz 160, en la segunda área 130, la relación molar de átomos de oxígeno a átomos de carbono tiene un segundo valor $N_{O}/N_{C}|_{130}$, siendo el segundo valor diferente del primer valor, es decir, $N_{O}/N_{C}|_{130} \neq N_{O}/N_{C}|_{120}$.

30 Como se discutió, la oxidación afecta localmente a, por ejemplo, las propiedades eléctricas de la pieza de nanomaterial de carbono 100. Un ejemplo de tal propiedad eléctrica es el hueco de banda (local) del material. El hueco de banda, en general, es pequeño para conductores eléctricos y grande para aislantes eléctricos.

35 En una realización del método, la pieza de nanomaterial de carbono 100 no se oxida inicialmente. Por lo tanto, también después del procesamiento, al menos parte de la base 115 es un conductor eléctrico. Por lo tanto, en esta realización, el hueco de banda de al menos esa parte de la base 115 es como máximo de 0,01 eV, tal como cero eV. De manera correspondiente, en la pieza procesada de un nanomaterial 400, obtenida procesando la pieza de nanomaterial de carbono 100, el hueco de banda de la parte de la base es como máximo de 0,01 eV, tal como cero eV. En una realización preferida, la pieza de nanomaterial de carbono comprende grafeno y el hueco de banda de la parte no procesada de la base 115 está dentro de estos valores.

40 Como ejemplo comparativo, el hueco de banda del óxido de grafeno reducido (RGO) puede estar en el intervalo de 0,02 eV a 2 eV. Por lo tanto, una pieza procesada de este tipo de nanomaterial de carbono 400 se adapta mucho mejor a la electrónica que una pieza compuesta de RGO o hecha de RGO. De manera similar, al aplicar el método a una pieza de nanomaterial de carbono, que tiene una base con un hueco de banda inferior a 0,02 eV, se producirá una pieza procesada de nanomaterial de carbono 400 que es superior para fines electrónicos en comparación con dispositivos basados en RGO. De manera correspondiente, la parte de la base 115 de la pieza procesada 400 podría tener un hueco de banda inferior a 0,02 eV.

50 La pieza de nanomaterial de carbono 100 puede haberse oxidado inicialmente hasta cierto punto. Por lo tanto, el hueco de banda de la base 115 también puede ser mayor que 0,01 eV. Según la primera realización del método, la conductividad de la primera área 120 de la pieza de nanomaterial 100 disminuye por dicha oxidación. Por lo tanto, en una realización, la primera área 120 se oxida de tal manera que el hueco de banda de la primera área 120 es mayor que el hueco de banda de la parte conductora mencionada anteriormente de la base 115. Más específicamente, en una realización,

55 - la base 115 tiene un hueco de banda base,
 - la primera área 120 se oxida de tal manera que el hueco de banda en la primera área 120 tiene un primer valor de hueco de banda, en el que
 - el primer valor de hueco de banda es mayor que el hueco de banda base y
 60 - la segunda área 130 se oxida de tal manera que el hueco de banda en la segunda área 130 tiene un valor que es mayor que el primer valor de hueco de banda.

65 Además, para hacer que la primera área 120 sea semiconductor (es decir, que no sea ni buena conductora ni buena aislante), la primera área 120 puede oxidarse de tal manera que el hueco de banda de la primera área 120 sea superior a 0,05 eV, tal como al menos 0,1 eV. Aún más, para hacer que la primera área 120 sea semiconductor, la primera área 120 puede oxidarse de tal manera que el hueco de banda de la primera área 120 sea inferior a 3 eV, tal como máximo 2 eV.

Por lo tanto, en una pieza procesada correspondiente de nanomaterial de carbono 400, la primera área 120 de una pieza procesada de nanomaterial de carbono 400 se oxida (o se ha oxidado) de tal manera que el hueco de banda de la primera área 120 es

5

- más que el hueco de banda de la parte de la base 115, opcionalmente menos de 3 eV y/o
- más de 0,05 eV, tal como al menos 0,1 eV, opcionalmente menos de 3 eV.

Según la segunda realización del método, la conductividad de la segunda área 130 de la pieza del nanomaterial 100 disminuye por dicha oxidación. Las áreas primera y segunda 120, 130 se pueden ordenar (nombrar) de tal manera que la segunda área 130 se oxida más que la primera área 120. La segunda área 130 se puede oxidar, por ejemplo, para formar un área eléctricamente aislante. Por lo tanto, en una realización, la segunda área 130 se oxida de tal manera que el hueco de banda de la segunda área 130 es

10

- mayor que el hueco de banda de la primera área 120, y/o
- al menos 3 eV.

15

Por lo tanto, en una realización, la segunda área 130 de una pieza procesada del nanomaterial de carbono 400 está (o ha sido) oxidada de tal manera que el hueco de banda de la segunda área 130 es

20

- mayor que el intervalo de explosión de la primera área 120, y/o
- al menos 3 eV.

Como se discutió anteriormente, se usa(n) preferiblemente fuente(s) de luz láser para generar una secuencia de impulsos de luz (150 o 160) o las secuencias de impulsos de luz 150 y 160.

25

Según la invención, la primera secuencia de impulsos de luz se genera usando un láser, de tal modo que un impulso de luz de la primera secuencia de impulsos de luz comprende fotones que tienen una longitud de onda de 400 nm a 1100 nm, oxidando así localmente, en la primera área, al menos algunos átomos de carbono de la pieza de nanomaterial de carbono por oxidación de dos fotones o fotones múltiples.

30

Por lo tanto, en una realización

- la primera secuencia de impulsos de luz 150 se genera usando una primera fuente de luz láser. La fuente de luz láser puede ser la fuente de luz 330 (véase la figura 3b) o la fuente de luz 180 (véase la figura 3a).

35

En una realización, en la que también se genera la segunda secuencia de impulsos de luz 160

- la segunda secuencia de impulsos de luz 160 se genera usando una fuente de luz láser, tal como la primera fuente de luz láser u otra fuente de luz láser (véanse las figuras 3a y 3b).

40

La primera (y opcionalmente la otra) fuente de luz láser está dispuesta para producir una secuencia de impulsos de luz 150 (opcionalmente también 160). Por lo tanto, se usa preferiblemente un láser de impulsos como la fuente de luz para generar una secuencia de impulsos de luz (150, 160). La fuente de luz láser de impulsos está dispuesta para generar impulsos de luz láser que tienen una duración. La duración está preferiblemente en el intervalo de 1 fs a 1 ps, tal como de 10 fs a 200 fs, tal como de 20 fs a 60 fs. Se ha observado que esta duración proporciona un buen control de la intensidad y el tiempo de exposición habida cuenta de la oxidación. El número de impulsos de luz en una secuencia de impulsos de luz (150, 160) puede ser, por ejemplo, del orden de 10^6 .

45

Como se discutió anteriormente, y con referencia a las figuras 3a y 3b, cuando se usa una fuente de luz láser, no se requiere una máscara. Por lo tanto, en una realización,

50

- la primera secuencia de impulsos de luz 150 se transporta desde la primera fuente de luz láser (180, 330) sobre la primera área 120 sin penetrar una máscara pasiva que comprende áreas que son transparentes y otras áreas que son opacas. En particular, en esta realización, la primera secuencia de impulsos de luz 150 no está atenuada o bloqueada por un área opaca de la máscara pasiva. Por lo tanto
- la primera secuencia de impulsos de luz 150 se transporta desde la primera fuente de luz láser (180, 330) sobre la primera área 120 sin ser bloqueada, al menos en parte, por un área opaca de una máscara pasiva, a través de la cual está concebida para circular la primera secuencia de impulsos de luz 150.

55

60

En cuanto al término máscara pasiva, la transparencia local de la máscara pasiva, es decir, la transparencia de las áreas transparentes y opacas de la máscara pasiva, no puede controlarse eléctricamente.

En una realización,

65

- la segunda secuencia de impulsos de luz 160 se transporta desde la primera fuente de luz láser (180, 330) u otra fuente de luz láser sobre la segunda área 130 sin penetrar una máscara pasiva que comprende áreas que son transparentes y otras áreas que son opacas. Por ejemplo, sin estar al menos parcialmente bloqueada por un área opaca de una máscara pasiva, a través de la cual está concebida para circular la segunda secuencia de impulsos de luz 160.

Naturalmente, se podría usar una máscara pasiva para el modelado. En una realización correspondiente, al menos parte de la primera secuencia de impulsos de luz 150 está dispuesta para pasar a través de una máscara pasiva, de tal modo que al menos parte de la primera secuencia de impulsos de luz 150 esté bloqueada por un área opaca de la máscara pasiva.

Se ha averiguado que el grado de oxidación afecta en particular la conductividad eléctrica de la pieza de nanomaterial de carbono 100. La conductividad eléctrica, por otro lado, puede diseñarse localmente para formar un dispositivo electrónico funcional. Por ejemplo, en una tercera realización, en la que se realizan los pasos de la primera realización,

- la base 115 tiene una conductividad eléctrica base y
- la primera área 120 se oxida de tal manera que la conductividad eléctrica de la primera área 120 es menor que la conductividad eléctrica base.

Por ejemplo, la base 115 puede formar un conductor y la primera área 120 puede formar un semiconductor. La conductividad de los semiconductores puede verse afectada, por ejemplo, por un campo eléctrico.

De manera correspondiente, en una realización,

- la base 115 tiene un hueco de banda base y
- la primera área 120 se oxida de tal manera que el hueco de banda en la primera área 120 es mayor que el hueco de banda base.

Además, en una cuarta realización, en la que se realizan los pasos de la segunda realización,

- la base 115 tiene una conductividad eléctrica base,
- la primera área 120 se oxida de tal manera que la conductividad eléctrica de la primera área 120 tenga una primera conductividad eléctrica, en la que
- la primera conductividad eléctrica es menor que la conductividad eléctrica base y
- la segunda área 130 se oxida de tal manera que la conductividad eléctrica de la segunda área 130 es menor que la primera conductividad eléctrica.

Se pueden modelar varios tipos de nanomateriales de carbono con diversas realizaciones del método.

Las figuras 2a a 2c muestran ejemplos de piezas de nanomateriales de carbono. Una pieza de nanomaterial de carbono 100 puede comprender

- una monocapa de grafeno 210 (figura 2a),
- múltiples capas de grafeno (figura 2b), es decir, grafeno multicapa 220 que comprende un número N de monocapas de grafeno 210, preferiblemente como máximo 30 monocapas de grafeno,
- un nanotubo de carbono 240 (figura 2c), tal como un nanotubo de carbono monopared (SWCNT)
- otro nanotubo de carbono 240 (figura 2c), tal como un nanotubo de carbono multipared (MWCNT), y/o
- una red de nanotubos de carbono 240 unidos entre ellos (figura 2d). Los nanotubos pueden estar unidos por sus extremos o de otra manera.

La figura 2a muestra una monocapa de grafeno 210, que es un ejemplo de una pieza de nanomaterial de carbono 100. El grafeno es un material bidimensional que consta de una red hexagonal de carbonos aromáticos. Es ultrafino, tiene un grosor mínimo de una sola capa atómica y tiene excelentes propiedades electrónicas, lo que lo convierte en un material potencial para ser utilizado en dispositivos electrónicos finos flexibles y transparentes. La capa de grafeno puede estar soportada sobre un soporte, tal como un soporte de polímero o un soporte de vidrio. También puede estar soportada solo desde sus límites, por ejemplo, por un soporte de metal. Tal capa de grafeno también puede oxidarse en cierto grado, es decir, algunos de los átomos de la rejilla pueden formar un enlace con un átomo de oxígeno.

La figura 2b muestra un grafeno multicapa 220, es decir, una pieza delgada que comprende varias monocapas (es decir, N) de grafeno 210, tal como máximo 30 monocapas. En la figura 2b, el número N es tres. La pieza de nanomaterial de carbono 100, es decir, el grafeno multicapa 220, puede estar soportado sobre un soporte, tal como un soporte de polímero o un soporte de vidrio. También puede estar soportado solo desde sus límites, por ejemplo, por un soporte metálico. Tal pieza de nanomaterial de carbono también puede oxidarse en cierto grado, es decir, algunos de los átomos de carbono pueden formar un enlace con un átomo de oxígeno.

La figura 2c muestra un nanotubo de carbono 240, otro ejemplo de una pieza de nanomaterial de carbono 100. Los nanotubos de carbono (CNT) pueden considerarse tubos formados a partir de grafeno enrollado. Los CNT pueden ser monopared (SWCNT) o multipared (MWCNT). Los CNT pueden ser metálicos o semiconductores dependiendo de cómo se enrolle la lámina de grafeno en un tubo. Un nanotubo de carbono tiene un diámetro, que equivale tanto al ancho como al grosor de la pieza de nanomaterial de carbono 100. La longitud de un nanotubo de carbono es típicamente muchas veces mayor que el diámetro. El nanotubo de carbono 240 puede ser un nanotubo monopared (SWCNT) o un nanotubo multipared (MWCNT), como se ilustra en la figura 2c.

Se pueden hacer películas delgadas a partir de CNT donde una red de CNT forma una capa delgada de tubos interconectados. Las películas CNT pueden usarse como materiales (semi)transparentes en aplicaciones electrónicas y de sensores. La figura 2d muestra una red de nanotubos de carbono 240, otro ejemplo de una pieza de nanomaterial de carbono 100. Los nanotubos de carbono 240 pueden comprender nanotubos monopared (SWCNT) y/o nanotubos multipared (MWCNT). Los nanotubos están unidos entre ellos. Los nanotubos pueden estar unidos entre ellos por sus extremos o de otra manera.

Según la invención, la pieza de nanomaterial de carbono 100 comprende, preferiblemente consta de,

- una monocapa de grafeno 210,
- una monocapa de al menos una parte de grafeno oxidado,
- grafeno multicapa 220 que comprende varias monocapas de grafeno 210, en donde el número es como máximo de 30,
- grafeno multicapa tratado en superficie que comprende varias monocapas de grafeno, en donde el número es como máximo de 30, habiendo sido tratado químicamente desde al menos una superficie.

El nanomaterial de carbono puede comprender:

- grafeno multicapa 220 que comprende una serie de monocapas de grafeno 210, en donde el número es como máximo de 10, y
- grafeno multicapa tratado en superficie que comprende una serie de monocapas de grafeno, en donde el número es como máximo de 10, habiendo sido tratado químicamente desde al menos una superficie.

Además, la pieza de nanomaterial de carbono se puede soportar sobre un soporte, opcionalmente solo desde sus límites. El soporte puede comprender, por ejemplo, menos del 80% en moles de átomos de carbono.

La primera secuencia de impulsos de luz 150 comprende un impulso de luz. Los impulsos de luz de la primera secuencia de impulsos de luz 150 se generan usando al menos un láser. Además, se pueden usar láseres adicionales para aumentar la intensidad y/o aplicar muchas longitudes de onda diferentes a la primera área 120. Esto se aplica también a la segunda secuencia de impulsos de luz 160 usada en la segunda realización para exponer la segunda área 130.

En cuanto a la longitud de onda, en la primera o en la segunda realización, las propiedades de la primera secuencia de impulsos de luz 150 se seleccionan de tal manera que:

- un impulso de luz de la primera secuencia de impulsos de luz 150 comprende fotones que tienen una longitud de onda de 400 nm a 1100 nm.

En la segunda realización, las propiedades de la segunda secuencia de impulsos de luz 160 pueden seleccionarse de manera que

- un impulso de luz de la segunda secuencia de impulsos de luz 160 comprende fotones que tienen una longitud de onda de 250 nm a 1100 nm.

Se ha observado que estas longitudes de onda oxidan eficazmente la pieza de nanomaterial de carbono 100.

En cuanto a la intensidad de la luz de la primera secuencia de impulsos de luz 150, en la primera o en la segunda realización,

- un impulso de luz de la primera secuencia de impulsos de luz 150 tiene una intensidad de 10^9 W/(cm)² a 10^{14} W/(cm)²; tal como de 10^{10} W/(cm)² a 10^{13} W/(cm)², por ejemplo, de 7×10^{10} W/(cm)² a 7×10^{11} W/(cm)².

En la segunda realización,

- un impulso de luz de la segunda secuencia de impulsos de luz 160 tiene una intensidad de 10^9 W/(cm)² a 10^{14} W/(cm)²; tal como de 10^{11} W/(cm)² a 10^{13} W/(cm)², por ejemplo, de 7×10^{10} W/(cm)² a 7×10^{11} W/(cm)².

Se ha averiguado que estos valores son suficientemente altos para una oxidación local. Se ha averiguado que estos valores son suficientemente altos para una oxidación local usando oxidación de fotones múltiples. Se ha averiguado que

estos valores son suficientemente bajos para evitar la eliminación excesiva de material de carbono de la primera área 120 y, opcionalmente, de la segunda área 130.

5 En particular, la intensidad puede seleccionarse de tal manera que la intensidad de todos los impulsos de luz de la primera secuencia de impulsos de luz 150 está por debajo de un umbral de ablación. El umbral de ablación se define en la presente memoria como la intensidad mínima requerida para inducir la separación de los átomos de carbono de la pieza de nanomaterial de carbono 100 debido a una irradiación intensa incidente. Los átomos de carbono separados pueden formar óxido de carbono gaseoso, tal como el monóxido de carbono (CO) o el dióxido de carbono (CO₂). Este umbral puede depender del grado inicial de oxidación, es decir, el valor base $N_O/N_C|_{110}$ (véase anteriormente) y/o del contenido de oxígeno del ambiente (es decir, el contenido de oxígeno primero o segundo).

15 Además, se ha observado que cuando el proceso implica excitación de fotones múltiples, la intensidad debe seleccionarse cuidadosamente; por un lado, para permitir la excitación de fotones múltiples y, por otro lado, para evitar la ablación. La excitación de fotones múltiples parece ser necesaria al menos cuando se usa luz visible o del infrarrojo cercano (longitud de onda de 400 nm a 1100 nm) en la secuencia de impulsos de luz correspondiente (150, 160). Las intensidades mencionadas anteriormente son adecuadas para la oxidación de fotones múltiples. Además, las intensidades mencionadas anteriormente también pueden ser adecuadas para impulsos de luz de diferentes longitudes de onda.

20 En cuanto al contenido de oxígeno del primer ambiente 155, en el que la pieza de nanomaterial de carbono está expuesta a la luz, en la primera o la segunda realización,

- el primer contenido de oxígeno es de al menos 0,4 moles/m³.

25 En principio, no hay límite superior para el contenido de oxígeno. Si es necesario, el primer contenido de oxígeno puede ser, por ejemplo, como máximo 100 moles/m³, tal como máximo 40 moles/m³. En la segunda realización

- el segundo contenido de oxígeno es de al menos 0,4 moles/m³.

30 El segundo contenido de oxígeno puede ser, por ejemplo, como máximo de 100 moles/m³, tal como máximo 40 moles/m³.

Además, parece que la tasa de oxidación es insensible al contenido de oxígeno, cuando el contenido de oxígeno es superior a aproximadamente 10 moles/m³.

35 Se ha averiguado que estos valores son suficientemente altos para una oxidación local. Se ha averiguado que estos valores son suficientemente bajos para evitar la ignición de la pieza de nanomaterial de carbono, al menos para algunas de las intensidades mencionadas anteriormente. En principio, cuanto mayor sea el contenido de oxígeno, podría ser suficiente una menor intensidad y/o un tiempo de exposición más corto.

40 En cuanto al tiempo de exposición, se ha averiguado que, dentro del intervalo de intensidad mencionado anteriormente, un tiempo de exposición entre 10 ms y 10 s, tal como de 100 ms a 5 s, tal como de 0,5 s a 2 s, por ejemplo, aproximadamente 1 s, proporciona buenos resultados de oxidación. Se puede usar un tiempo de exposición menor con una mayor intensidad y viceversa.

45 El tiempo de exposición en la presente memoria se define como el tiempo de exposición del(las) área(s) (120, 130) a la secuencia de impulsos de luz. Más precisamente, la diferencia está en los casos en los que el último impulso de luz deja de iluminar y cuando el primer impulso comienza a iluminar. El tiempo de exposición adecuado puede depender de una tasa de repetición de los impulsos de luz de la secuencia de impulsos de luz (150, 160).

50 La tasa de repetición para los impulsos de luz de la secuencia de impulsos de luz (150, 160) se puede definir como el número de impulsos de luz por unidad de tiempo. Por lo tanto, la tasa de repetición es la inversa de la diferencia de tiempo entre los impulsos de luz posteriores (en particular, la diferencia de tiempo de la misma parte de los impulsos). Se observó que una tasa de repetición de 10 kHz a 10 MHz, como de 100 kHz a 1 MHz, tal como aproximadamente de 600 kHz, proporciona buenos resultados de oxidación.

55 El tiempo de iluminación total, que es el producto de (a) el número de impulsos de luz en la secuencia de impulsos (primera secuencia 150 o segunda secuencia 160) durante el tiempo de exposición y (b) la duración del impulso, puede ser significativamente menor. Por ejemplo, para el tiempo de exposición de 1 s, una frecuencia de repetición de 600 kHz y una duración del impulso de 40 fs, el tiempo de iluminación total es de solo 24 ns.

60 Con la duración de impulsos y tiempo de exposición mencionados anteriormente, el número aplicable de impulsos de luz puede estar en el intervalo de 1×10^3 a 1×10^7 , tal como de 1×10^4 a 3×10^6 , tal como de 1×10^5 a 1×10^6 , por ejemplo, aproximadamente 6×10^5 .

65 Es probable que los dispositivos electrónicos futuros sean pequeños y comprendan múltiples áreas operativas diferentes. Por lo tanto, el método se aplica preferiblemente de tal manera que el área modelada sea pequeña y/o tenga una forma precisa. Como el modelado es inducido por la luz, la primera secuencia de impulsos de luz 150, cuando golpea la primera

5 área 120, es decir, el área expuesta, tiene preferiblemente un tamaño pequeño. El tamaño del área expuesta se puede controlar, por ejemplo, utilizando ópticas de enfoque u ópticas de campo cercano. Estas pueden usarse en la primera realización o en la segunda realización. Además, el enfoque puede usarse para la primera área 120, y la óptica de campo cercano para la segunda área 130, o viceversa. La óptica de enfoque natural o de campo cercano se puede utilizar para las áreas primera 120 y segunda 130.

10 La figura 3a muestra un ejemplo del uso de la óptica de enfoque 310 para colimar la primera secuencia de impulsos de luz 150 sobre la primera área 120. Se podrían usar ópticas similares para colimar la segunda secuencia de impulsos de luz 160 sobre la segunda área 130. El dispositivo de la figura 3a comprende

- una fuente de luz 180 dispuesta para generar la primera secuencia de impulsos de luz 150. La fuente de luz 180 puede estar dispuesta para generar la segunda secuencia de impulsos de luz 160, y
- una óptica de enfoque 310 dispuesta para disminuir el área en sección transversal de un impulso de luz de la primera secuencia de impulsos de luz 150.

15 Una realización de un método correspondiente comprende

- enfocar la primera secuencia de impulsos de luz 150 usando la óptica de enfoque 310 para disminuir el área en sección transversal de un impulso de luz de la primera secuencia de impulsos de luz 150.

20 La óptica de enfoque 310 puede comprender una lente 310. Como alternativa o además, se puede usar una superficie reflectante para enfocar la secuencia de impulsos de luz (primera o segunda). Como se desprende de la figura 3a, el área en sección transversal de un impulso de luz de la primera secuencia de impulsos de luz 150 disminuye después de pasar por la lente 310. El tamaño del modelo que se puede lograr usando el dispositivo de la figura 3a está limitado por la longitud de onda de la luz de la secuencia de impulsos de luz. Por lo tanto, para producir áreas con un ancho de línea pequeño, se debe usar luz con una longitud de onda corta.

25 La figura 3b muestra un ejemplo del uso de una óptica de campo cercano para exponer la primera área 120 o la segunda área 130. La figura 3b muestra una fuente de impulsos de luz 330, dispuesta para generar la primera secuencia de impulsos de luz 150 y guiar la primera secuencia de impulsos de luz 150 dentro de una guíaondas 320. La figura 3b muestra también la guíaondas 320, que está dispuesta cerca del área (120, 130) de la pieza de nanomaterial de carbono 100 que está expuesta a la luz.

30 En una óptica de campo cercano, la distancia d entre un extremo de la guíaondas 320 y el área expuesta (120, 130) es menor que la longitud de onda de la luz utilizada. Por lo tanto, en una realización,

- una secuencia de impulsos de luz (es decir, la primera secuencia de impulsos de luz 150 o la segunda secuencia de impulsos de luz 160) comprende un impulso de luz o impulsos de luz que tienen una longitud de onda muy larga.

35 La realización comprende

- usar una guíaondas 320 para guiar una secuencia de impulsos de luz (es decir, la primera secuencia de impulsos de luz 150 o la segunda secuencia de impulsos de luz 160) desde una fuente de luz 330 hasta un extremo de la guíaondas, de tal manera que,
- la distancia más cercana d entre el extremo de la guíaondas y la pieza de nanomaterial de carbono 100 sea, como máximo, la longitud de onda más larga.

40 De esta manera, se puede modelar un área que tenga un ancho de línea menor o igual que la longitud de onda del impulso de luz de la primera secuencia de impulsos de luz.

45 La longitud de onda más larga puede ser, por ejemplo, de 1100 nm, 700 nm, 300 nm o 250 nm. Por lo tanto, la distancia d puede ser, por ejemplo, como máximo de 1100 nm, como máximo de 700 nm, como máximo de 300 nm o como máximo de 50 nm.

50 Para controlar el proceso de modelado, en particular la forma de la primera área modelada 120, se podría usar una máscara pasiva, como se discutió anteriormente, pero tal máscara pasiva preferiblemente no se usa. Alternativamente, la forma de la primera área modelada 120 puede controlarse moviendo el haz. Aún más, la forma de la primera área modelada 120 puede controlarse mediante la forma y/o el perfil de intensidad de la primera secuencia de impulsos de luz 150 y/o la segunda secuencia de impulsos de luz 160.

55 Durante la iluminación del área (120, 130), el área expuesta (es decir, el área que está iluminada por la secuencia de impulsos de luz 150, 160) se puede mover con respecto a la pieza de nanomaterial de carbono 100 para modelar patrones oxidados que se extiendan dentro del nanomaterial de carbono. Por ejemplo, la pieza de nanomaterial de carbono 100 se puede mover con respecto a una óptica fija. Por ejemplo, se puede fijar la pieza de nanomaterial de carbono 100, y el área expuesta se puede mover moviendo o girando la óptica. La velocidad del movimiento relativo afecta al tiempo de

exposición. Por lo tanto, la primera área 120 y la segunda área 130 pueden modelarse de diferentes maneras variando también la velocidad a la cual el área iluminada (120, 130) se dispone para moverse sobre la pieza de nanomaterial de carbono.

5 La forma y/o el perfil de intensidad de una secuencia de impulsos de luz, tal como la primera 150 o la segunda 160, también pueden controlarse mediante un modulador de luz espacial (SLM). En esta realización, el rayo láser de entrada está estructurado de manera que algunas partes espaciales de la secuencia de impulsos de luz tienen una mayor intensidad y otras partes espaciales tienen una menor intensidad. De esta manera, algunas partes de la pieza de nanomaterial de carbono se oxidan de manera diferente a otras partes. En contraste con, por ejemplo, una lente, que
10 también modifica el perfil espacial de la luz, un modulador de luz espacial es un componente activo. Un modulador de luz espacial puede controlarse electrónicamente.

Por lo tanto, al usar el modulador de luz espacial, se modifica una secuencia de impulsos de luz para comprender espacialmente dos partes: una primera secuencia de impulsos de luz 150 y una segunda secuencia de impulsos de luz
15 160. En esta realización, las dos secuencias de impulsos de luz se usan simultáneamente para oxidar la primera área 120 y la segunda área 130. Naturalmente, también podrían usarse dos fuentes de luz diferentes para oxidar simultáneamente de diferentes maneras las áreas.

El modulador de luz espacial puede comprender un polarizador y una unidad de cristal líquido controlable eléctricamente. La unidad de cristal líquido está dispuesta para cambiar localmente la polarización de la luz que se propaga a través de la unidad de cristal líquido. La cantidad de cambio en la polarización se puede controlar eléctrica y localmente dentro de la unidad de cristal líquido. En combinación con el polarizador, la transparencia del modulador de luz espacial se vuelve espacialmente no uniforme, por lo que el modulador de luz espacial puede usarse para modelar la pieza de nanomaterial de carbono. Además, la transparencia espacial del modulador de luz espacial es controlable eléctricamente. De esta
20 manera, el modulador de luz espacial forma una máscara activa. A diferencia de la máscara pasiva mencionada anteriormente, puede controlarse eléctricamente la transparencia local de la máscara activa, es decir, la transparencia de las áreas transparentes y opacas de la máscara activa.

Por lo tanto, una realización comprende modificar el perfil espacial de una secuencia de impulsos de luz usando un modulador de luz espacial activo. Como ejemplo, una realización comprende modificar el perfil espacial de un impulso de luz de una secuencia de impulsos de luz usando un modulador de luz espacial activo. El modulador de luz espacial activo puede controlarse eléctricamente. La transparencia local del modulador de luz espacial activo puede controlarse
30 eléctricamente.

Después de que haya sido procesada la pieza de nanomaterial de carbono 100, se obtiene una pieza procesada de nanomaterial de carbono 400, una pieza procesada de nanomaterial de carbono que no forma parte de la invención como tal.

Con referencia a la figura 4, una pieza procesada de nanomaterial de carbono 400 tiene

- una longitud L, un ancho W y un grosor T, de tal modo que
- la longitud L es mayor o igual que el grosor T, el ancho W es mayor o igual que el grosor T, y el grosor T es como máximo de 50 nm,
- cada una de las direcciones de longitud L, ancho W y grosor T son perpendiculares a las otras dos direcciones.

Sin embargo, además del proceso de oxidación mencionado anteriormente, se puede obtener la muestra de nanomaterial de carbono o la pieza de nanomaterial de carbono 100, por ejemplo, mediante doblado o enrollado, a partir de una muestra de nanomaterial de carbono que tiene una longitud, un ancho y un grosor en el que la longitud es mayor o igual que el grosor, el ancho es mayor o igual que el grosor, y el grosor es como máximo de 50 nm.

La pieza procesada del nanomaterial de carbono 400 es plana (es decir, no está doblada o enrollada), en donde la pieza procesada del nanomaterial de carbono tiene las medidas descritas anteriormente.

La pieza procesada del nanomaterial de carbono 400 comprende

- al menos 80% en moles de átomos de carbono,
- una base 115 que tiene una parte, al menos la parte de la base 115 que comprende átomos de carbono y átomos de oxígeno de tal manera que la relación molar de oxígeno a carbono, N_o/N_c , tiene un valor base $N_o/N_c|_{110}$ (véase anteriormente, obsérvese que esta relación no se ve afectada por el método, ya que la parte de la base no está expuesta a la luz) que es igual o mayor que cero,
- una primera área 120 que comprende átomos de carbono y átomos de oxígeno de tal manera que la relación molar de oxígeno a carbono en la primera área 120 tiene un primer valor $N_o/N_c|_{120}$ (que es mayor que el valor base $N_o/N_c|_{110}$, y
- una segunda área 130 que comprende átomos de carbono y átomos de oxígeno de tal manera que la relación molar de oxígeno a carbono en la segunda área 130 tiene un segundo valor $N_o/N_c|_{130}$ que es mayor que el valor base $N_o/N_c|_{110}$ y diferente del primer valor $N_o/N_c|_{120}$.

Como la pieza procesada de nanomaterial de carbono 400 es el resultado del procesamiento de la pieza de nanomaterial de carbono 100 mediante la segunda realización del método, la pieza procesada de nanomaterial de carbono 400 puede comprender

- 5
- una monocapa de grafeno o grafeno multicapa que comprende un número de monocapas de grafeno, tal como máximo de 30 monocapas,
 - un nanotubo de carbono, tal como un nanotubo de carbono monopared (SWCNT) o un nanotubo de carbono multipared (MWCNT), o
- 10
- una red de nanotubos de carbono unidos entre ellos, por ejemplo, por sus extremos.

En particular, la pieza procesada de nanomaterial de carbono 400 puede comprender, o preferiblemente consistir en

- 15
- una monocapa no enrollada de grafeno, opcionalmente al menos parcialmente oxidada, o
 - grafeno multicapa no laminado que comprende una serie de monocapas de grafeno, en donde el número es como máximo de 30, opcionalmente tratado químicamente en al menos una superficie.

La pieza procesada de nanomaterial de carbono 400 puede estar dispuesta sobre un soporte, tal como un soporte de vidrio o un soporte de polímero. La pieza procesada de nanomaterial de carbono 400 puede estar dispuesta en un soporte solo desde sus límites, tal como unida a un soporte de metal que limita con una abertura, estando dispuesta la pieza procesada de nanomaterial de carbono 400 en la abertura. El soporte puede comprender, por ejemplo, menos del 80% en moles de átomos de carbono.

20

Cuando las áreas se modelan usando oxidación inducida por la luz, se pueden modelar con precisión áreas razonablemente pequeñas. En una realización,

25

-la primera área 130 tiene un ancho de línea W_L , una longitud de línea L_L y un grosor de línea T_L , siendo el grosor de línea T_L paralelo al grosor T de la pieza procesada de nanomaterial de carbono 400, siendo la dirección del ancho de línea W_L perpendicular a la dirección de la longitud de línea L_L y perpendicular a la dirección del grosor de línea T_L , y siendo el ancho de línea W_L como máximo la longitud de línea L_L , en donde

30

- el ancho de línea W_L está adaptado para ser adecuado para dispositivos electrónicos.

Aquí el grosor de línea T_L es paralelo al grosor de una capa de la pieza procesada de nanomaterial de carbono 400. Cuando la pieza procesada de nanomaterial de carbono es plana o está doblada, la pieza procesada 400 comprende solo una de tales capas. Por lo tanto, el grosor de línea T_L es paralelo al grosor de la pieza procesada de nanomaterial de carbono 400 y la capa de la pieza procesada de nanomaterial de carbono 400. Sin embargo, cuando la pieza procesada de nanomaterial de carbono se enrolla a partir de una capa de nanomaterial, el grosor de línea T_L es paralelo al grosor de la capa de la pieza procesada de nanomaterial de carbono 400.

35

40

Por ejemplo, el ancho de línea W_L es como máximo 1 mm, tal como como máximo 10 μm , como máximo 700 nm o como máximo 300 Nuevo Méjico. El ancho de línea W_L se puede disminuir mediante el uso de la óptica de colimación o técnicas de campo cercano como se discutió anteriormente.

45 En un método correspondiente, la pieza de nanomaterial de carbono 100 se procesa de tal manera que se logran estas medidas.

La longitud de línea L_L se puede aumentar moviendo el punto, en el que la secuencia de impulsos de luz (primera o segunda) ilumina la pieza de nanomaterial de carbono.

50

Como la pieza procesada del nanomaterial de carbono 400 puede haberse producido por oxidación inducida por la luz que ha eliminado algunos átomos de carbono, por ejemplo,

- 55
- al menos algunos átomos de carbono se han eliminado de un área procesada de la pieza procesada del nanotubo de carbono 400, por lo que
 - la primera área 120 o la segunda área 130 comprende una ranura.

Además, la relación molar de oxígeno a carbono, en la región procesada (es decir, la primera área 120 o la segunda área 130) que comprende la ranura, es mayor que en la base 115.

60

Las propiedades de la pieza de nanomaterial 100 o la pieza procesada de material 400 pueden analizarse, por ejemplo, mediante el uso de microscopía de mezcla de cuatro ondas (FWM). En este método, tres campos láser con diferentes frecuencias interactúan a través de la susceptibilidad del nanomaterial para generar una señal en una cuarta frecuencia. Las cuatro longitudes de onda se pueden elegir para que todas estén en el intervalo visible de tal manera que la cuarta longitud de onda se pueda separar ópticamente de las otras tres. Posteriormente, se puede usar un microscopio óptico para analizar la señal en la cuarta longitud de onda. La señal FWM es sensible en particular a las propiedades eléctricas y

65

vibratorias del nanomaterial. Al sintonizar las frecuencias entrantes o emitidas en una resonancia electrónica del material, se pueden sondear excitaciones electrónicas seleccionadas. Además, la excitación electrónicamente resonante del material está acompañada por una respuesta de FWM mejorada. De esta manera, se puede confirmar el cambio en las propiedades eléctricas del material, tal como se obtiene mediante las realizaciones mencionadas anteriormente. Un ejemplo de una aplicación de FWM es la formación de imágenes coherente de dispersión anti-Stokes Raman (CARS). Otro ejemplo del método FWM es la dispersión Raman estimulada (SRS).

La figura 5 muestra la señal FWM obtenida de una pieza de nanomaterial de carbono 100 antes del procesamiento, en la parte izquierda, como se indica con la letra "A". La figura 5 muestra además la señal FWM obtenida de una pieza procesada de nanomaterial de carbono 400, es decir, después del procesamiento, en la parte derecha, como se indica con la letra "B". La señal FWM disminuye tras la oxidación, proporcionando un contraste entre las áreas oxidadas y no oxidadas. Dado que el nivel de oxidación se correlaciona con las propiedades eléctricas y la señal de FWM, esta última puede usarse para supervisar el cambio en las propiedades eléctricas.

La señal FWM obtenida de la pieza procesada de nanomaterial de carbono 400 (figura 5B) muestra claramente un rectángulo oscuro. Esto indica que se ha modelado un área rectangular oxidada sobre una pieza de nanomaterial de carbono. El nanomaterial de carbono de la figura 5 es el grafeno monocapa. De esta manera, se ha modelado un rectángulo con propiedades eléctricas diferentes de las de una base. Por ejemplo, el hueco de banda de la región modelada (primera área 120) puede estar en los intervalos definidos para la primera área 120 o la segunda área 130, como se discutió anteriormente.

La pieza procesada del nanomaterial de carbono 400 se puede usar para formar un dispositivo electrónico. En un dispositivo electrónico, la pieza procesada de nanomaterial de carbono 400 está acoplada eléctricamente con otro objeto. El otro objeto puede ser un conductor eléctrico, un semiconductor eléctrico o un aislante eléctrico. El otro objeto puede ser un conductor eléctrico metálico.

Por ejemplo, la base 115 puede formar un conductor, la primera área 120 puede formar un semiconductor, y la segunda área 130 puede formar un aislante. Por lo tanto, una pieza procesada de nanomaterial de carbono 400 que tiene una primera área semiconductor 120 entre dos áreas base conductoras 115 puede actuar como un transistor, tal como un transistor de efecto de campo (FET). La segunda área 130 se puede usar para aislar eléctricamente la primera área 120 de un conductor, por lo que el conductor puede usarse para producir un campo eléctrico en la primera área.

La figura 4 muestra un ejemplo de una pieza procesada de nanomaterial de carbono 400 de este tipo. En la figura, la base 115 comprende cuatro áreas base 115a, 115b, 115c y 115d. Las áreas base 115a y 115b están acopladas eléctricamente con una primera área semiconductor 120. El área semiconductor se fabrica como se ha descrito anteriormente para la primera área 120. Además, la pieza procesada de nanomaterial de carbono 400 comprende segundas áreas aislantes 130.

Con referencia a la figura 4, un área aislante o áreas aislantes 130 se utilizan para aislar eléctricamente, unas de otras, tales áreas conductoras 115a y 115b que están conectadas eléctricamente al área semiconductor 120.

En la figura 4, en la que la pieza 400 comprende otras áreas base conductoras 115c y 115d, las áreas aislantes 130 se usan para aislar las áreas conductoras 115a y 115b también de las otras áreas base 115c y 115d con el fin de no formar un cortocircuito eléctrico entre las áreas 115a y 115b que están acopladas eléctricamente con el área semiconductor 120. Las áreas conductoras 115c y/o 115d pueden usarse para generar un campo eléctrico en la primera área semiconductor 120.

Tal transistor comprende

- una pieza procesada de nanomaterial de carbono 400, y
- medios para afectar la conductividad eléctrica de la primera área 120.

Los medios para afectar la conductividad eléctrica pueden comprender, por ejemplo, un conductor eléctrico (por ejemplo, 115c y/o 115d) aislado eléctricamente, por ejemplo por la segunda área 130, respecto de la primera área 120, dispuesta de ese modo para generar un campo eléctrico en la primera área 120.

REIVINDICACIONES

1. Un método para modelar una pieza de nanomaterial de carbono (100), en el que

- 5 - la pieza de nanomaterial de carbono (100) (i) tiene una longitud (L), un ancho (W) y un grosor (T) o (ii) se puede obtener, por ejemplo, mediante doblado o enrollado a partir de una muestra de nanomaterial de carbono que tiene una longitud (L), un ancho (W) y un grosor (T), en el que
- la longitud (L) es mayor o igual que el grosor (T), el ancho (W) es mayor o igual que el grosor (T), y el grosor (T) es como máximo de 50 nm,
- 10 - el nanomaterial de carbono comprende (i) una monocapa de grafeno, opcionalmente oxidada a lo sumo en parte, o (ii) un grafeno multicapa que comprende una serie de monocapas de grafeno, en el que el número es como máximo de 30, opcionalmente tratadas químicamente en al menos una superficie,
- la pieza de nanomaterial de carbono (100) comprende una región (110), en la cual la relación molar de oxígeno a carbono tiene un valor base que es igual o mayor que cero,
- 15 - la región (110) de la pieza de nanomaterial de carbono (100) comprende al menos un 80% en moles de átomos de carbono,
- la región (110) comprende una primera área (120) de tal manera que la primera área (120) es más pequeña que la región (110); con lo que la región (110) y la primera área (120) definen una base (115) que está constituida por la diferencia de la región (110) y la primera área (120); comprendiendo el método
- 20 - generar una primera secuencia de impulsos de luz (150) con valores de propiedad de la primera secuencia de impulsos de luz, comprendiendo la primera secuencia de impulsos de luz (150) al menos un impulso de luz, y
- exponer la primera área (120) a dicha primera secuencia de impulsos de luz (150) en un primer ambiente de proceso (155) que tiene un primer contenido de oxígeno, sin exponer al menos parte de la base (115) a dicha primera secuencia de impulsos de luz (150);
- 25 - generar la primera secuencia de impulsos de luz (150) usando un láser, de tal modo que un impulso de luz de la primera secuencia de impulsos de luz (150) comprenda fotones con una longitud de onda de 400 nm a 1100 nm,
- oxidando así localmente, en la primera área (120), al menos algunos átomos de carbono de la pieza de nanomaterial de carbono (100) por oxidación de dos fotones o de fotones múltiples de tal manera que
- como máximo, el 10% de los átomos de carbono de la primera área (120) se eliminen de la primera área (120), y
- 30 - después de exponer la primera área (120) a dicha primera secuencia de impulsos de luz (150), en la primera área (120), la relación molar de átomos de oxígeno a átomos de carbono tiene un primer valor, siendo el primer valor mayor que el valor base;
- modelando así la primera área (120) de la pieza de nanomaterial de carbono (100).

35 2. El método de la reivindicación 1, en el que

- la pieza de nanomaterial de carbono (100) comprende además una segunda área (130), y
- mediante dicha exposición de la primera área (120), el método comprende usar un primer conjunto de valores de parámetros de proceso para oxidar la primera área (120), en el que el primer conjunto de valores de parámetros de proceso comprende los valores de propiedad de la primera secuencia de impulsos de luz y el primer contenido de oxígeno; comprendiendo el método además
- 40 - cambiar al menos un valor de un parámetro de proceso del primer conjunto de valores de parámetros de proceso generando así un segundo conjunto de valores de parámetros de proceso, en el que al menos un valor de un parámetro de proceso en el primer conjunto de valores de parámetros de proceso es diferente del valor del parámetro de proceso en el segundo conjunto de valores de parámetros de proceso,
- 45 - generar una segunda secuencia de impulsos de luz (160) con valores de propiedad de la segunda secuencia de impulsos de luz, estando constituidos los valores de propiedad de la segunda secuencia de impulsos de luz por el segundo conjunto de valores de parámetros de proceso, comprendiendo la segunda secuencia de impulsos de luz (160) al menos un impulso de luz, y
- 50 - exponer la segunda área (130) a dicha segunda secuencia de impulsos de luz (160) (a) en el ambiente de proceso que tiene un segundo contenido de oxígeno o (b) en otro ambiente de proceso que tiene un segundo contenido de oxígeno, estando constituido el segundo contenido de oxígeno por el segundo conjunto de valores de parámetros de proceso;
- utilizando así el segundo conjunto de valores de parámetros de proceso para oxidar localmente al menos algunos átomos de carbono en la segunda área (130) de tal manera que,
- 55 - como máximo, el 10% de los átomos de carbono de la segunda área (130) se eliminan de la segunda área (130), y
- después de dicha exposición de la segunda área (130) a dicha segunda secuencia de impulsos de luz (160), en la segunda área (130), la relación molar de átomos de oxígeno a átomos de carbono tiene un segundo valor, siendo el segundo valor mayor que el valor base y diferente del primer valor.
- 60

3. El método de la reivindicación 1 o 2, en el que el nanomaterial de carbono consta de

- 65 - un nanotubo de carbono, tal como un nanotubo de carbono monopared (SWCNT) o un nanotubo de carbono multipared (MWCNT), o
- una red de nanotubos de carbono unidos entre ellos, por ejemplo por sus extremos; y

- el método comprende modelar grafeno.

4. El método de la reivindicación 1 o 2, en el que el nanomaterial de carbono consta de

- 5
- una monocapa de grafeno, opcionalmente oxidada a lo sumo en parte, o
 - grafeno multicapa que comprende un cierto número de monocapas de grafeno, en el que el número es como máximo de 30, tratadas opcionalmente por vía química en al menos una superficie.

5. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que

- 10
- un impulso de luz de la primera secuencia de impulsos de luz (150) tiene una intensidad de $10^9 \text{ W}/(\text{cm})^2$ a $10^{14} \text{ W}/(\text{cm})^2$; tal como desde $7 \times 10^{10} \text{ W}/(\text{cm})^2$ hasta $7 \times 10^{11} \text{ W}/(\text{cm})^2$.

6. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que

- 15
- el primer contenido de oxígeno es al menos de $0,4 \text{ moles}/\text{m}^3$, y opcionalmente como máximo $100 \text{ moles}/\text{m}^3$; tal como desde $0,4 \text{ moles}/\text{m}^3$ hasta $40 \text{ moles}/\text{m}^3$.

7. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que

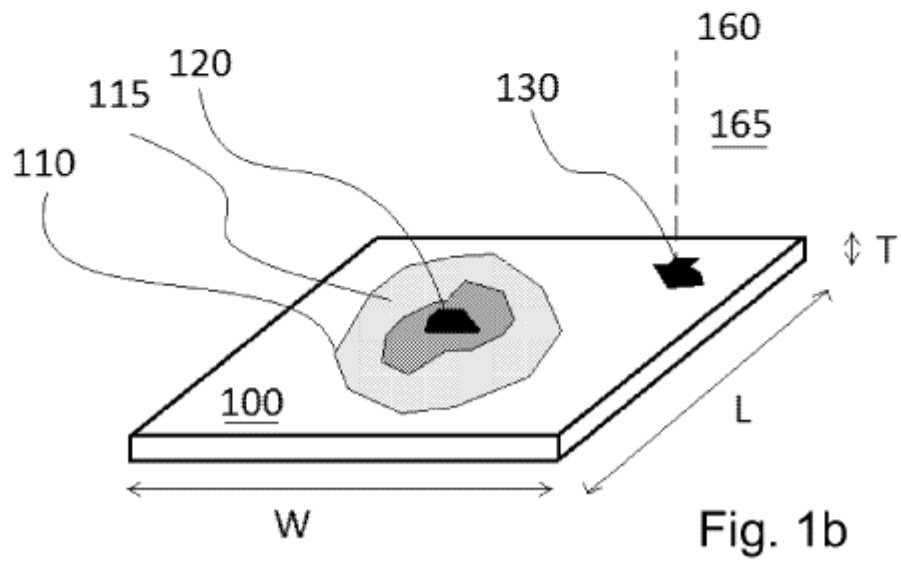
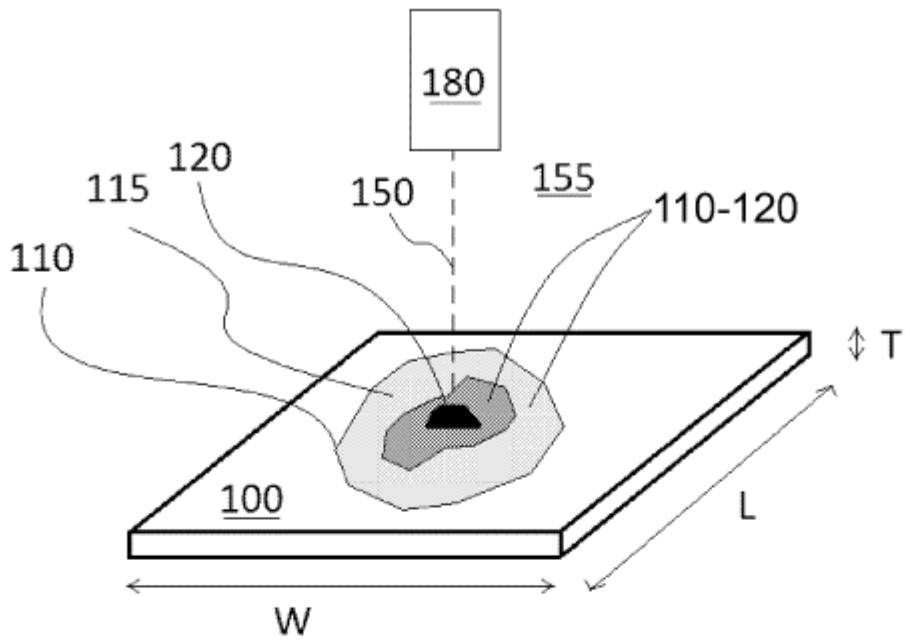
- 20
- el hueco de banda de al menos parte de la base (115) es como máximo de $0,01 \text{ eV}$, y
 - la primera área (120) se oxida de tal manera que el hueco de banda de la primera área (120) es mayor de $0,05 \text{ eV}$, tal como por lo menos $0,1 \text{ eV}$.

8. El método de la reivindicación 7, en el que

- 25
- la segunda área (130) se oxida de tal manera que el hueco de banda de la segunda área (130) es mayor que el hueco de banda de la primera área (120) y, opcionalmente, el hueco de banda de la segunda área (130) es mayor que 2 eV , tal como al menos 3 eV .
- 30

9. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que

- 35
- la primera área (120) tiene un ancho de línea (W_L), una longitud de línea (L_L) y un grosor de línea, siendo el ancho de línea (W_L) perpendicular a la longitud de línea (L_L) y perpendicular al grosor de línea, y siendo el ancho de línea (W_L) como máximo la longitud de línea (L_L), en el que
 - el ancho de línea (W_L) se adapta de modo que sea adecuado para dispositivos electrónicos.



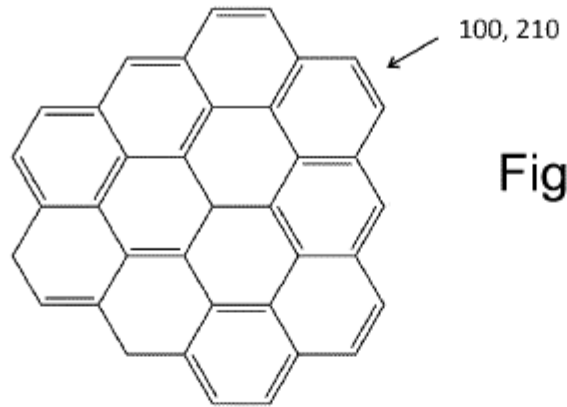


Fig. 2a

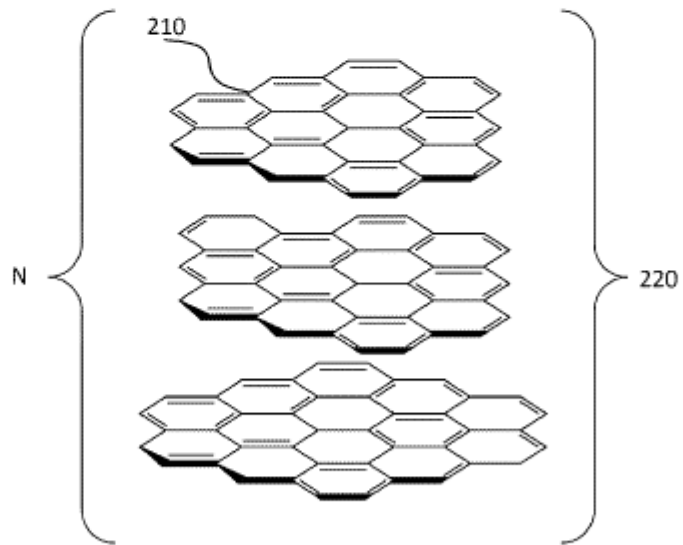


Fig. 2b

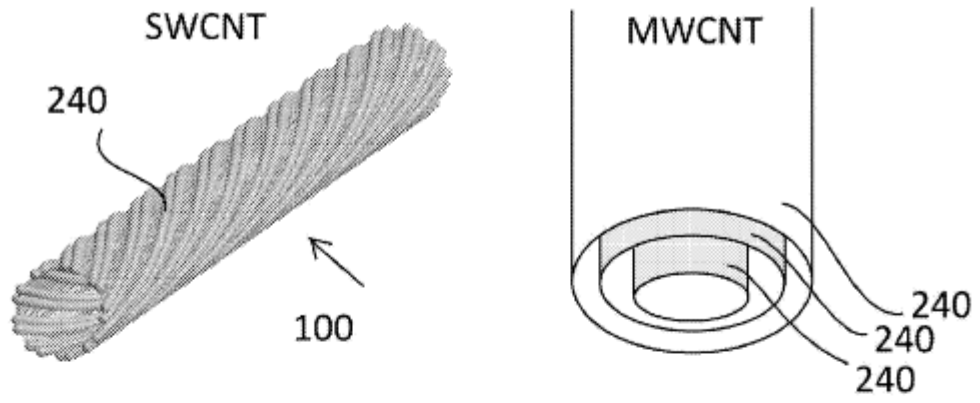


Fig. 2c

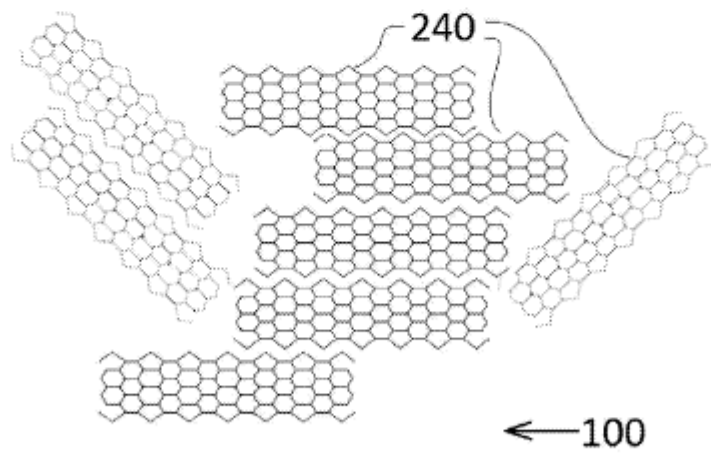


Fig. 2d

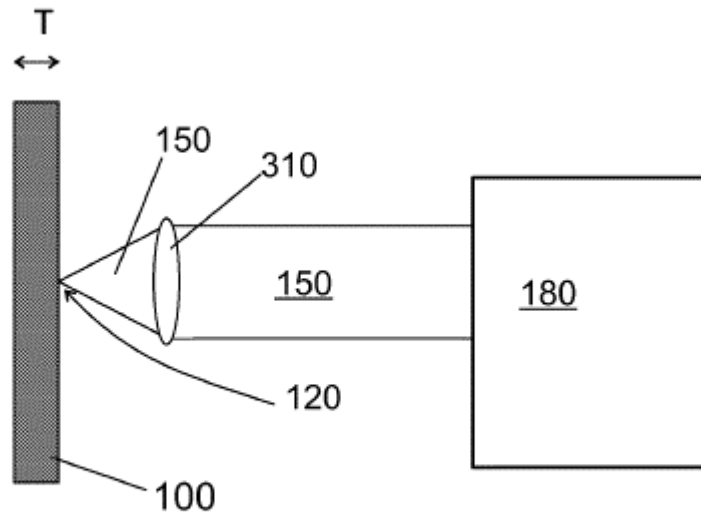


Fig. 3a

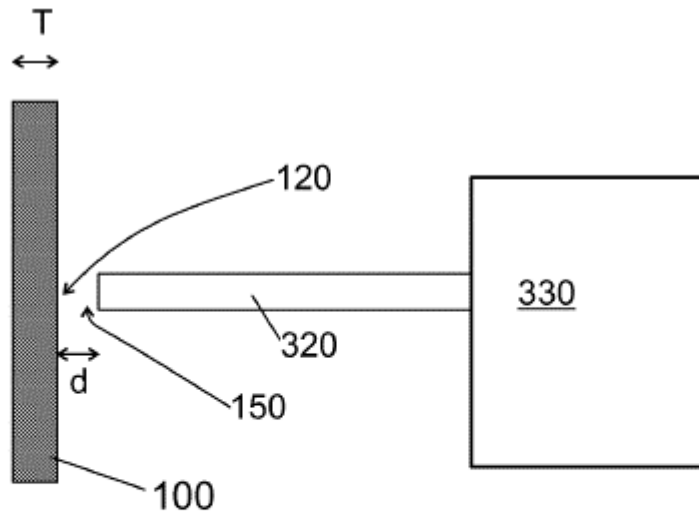


Fig. 3b

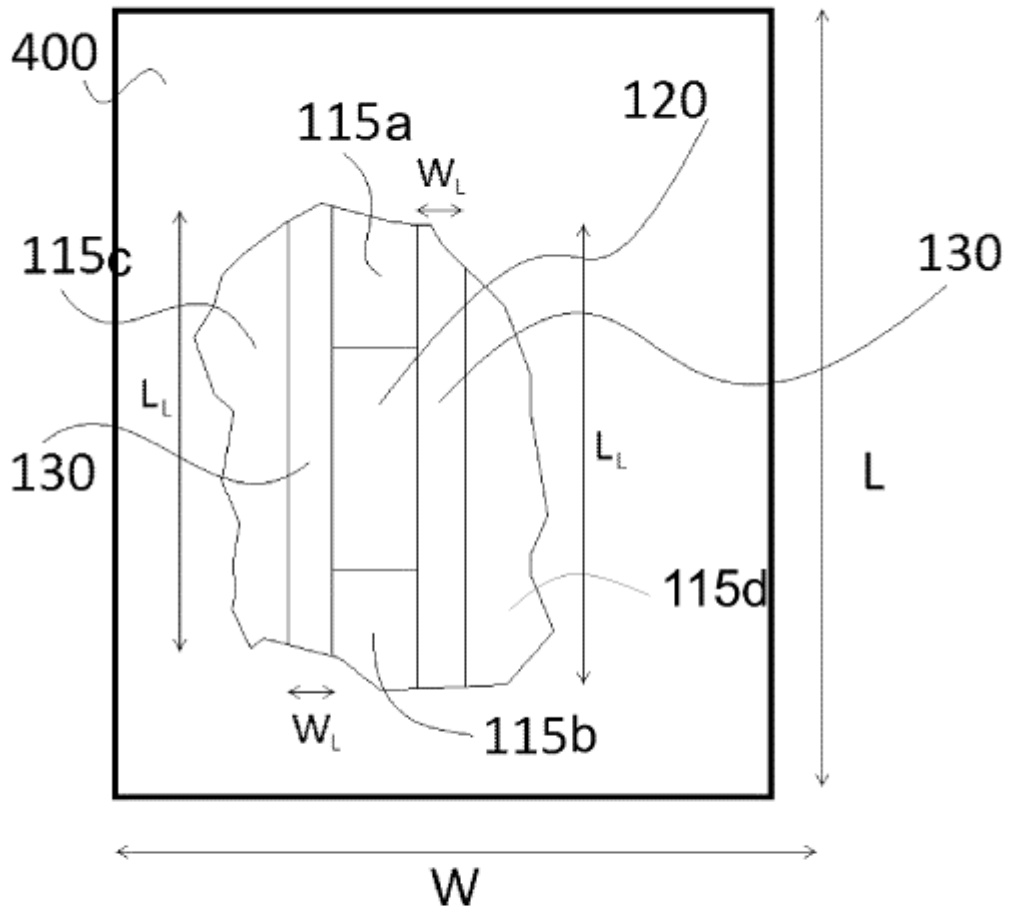


Fig. 4

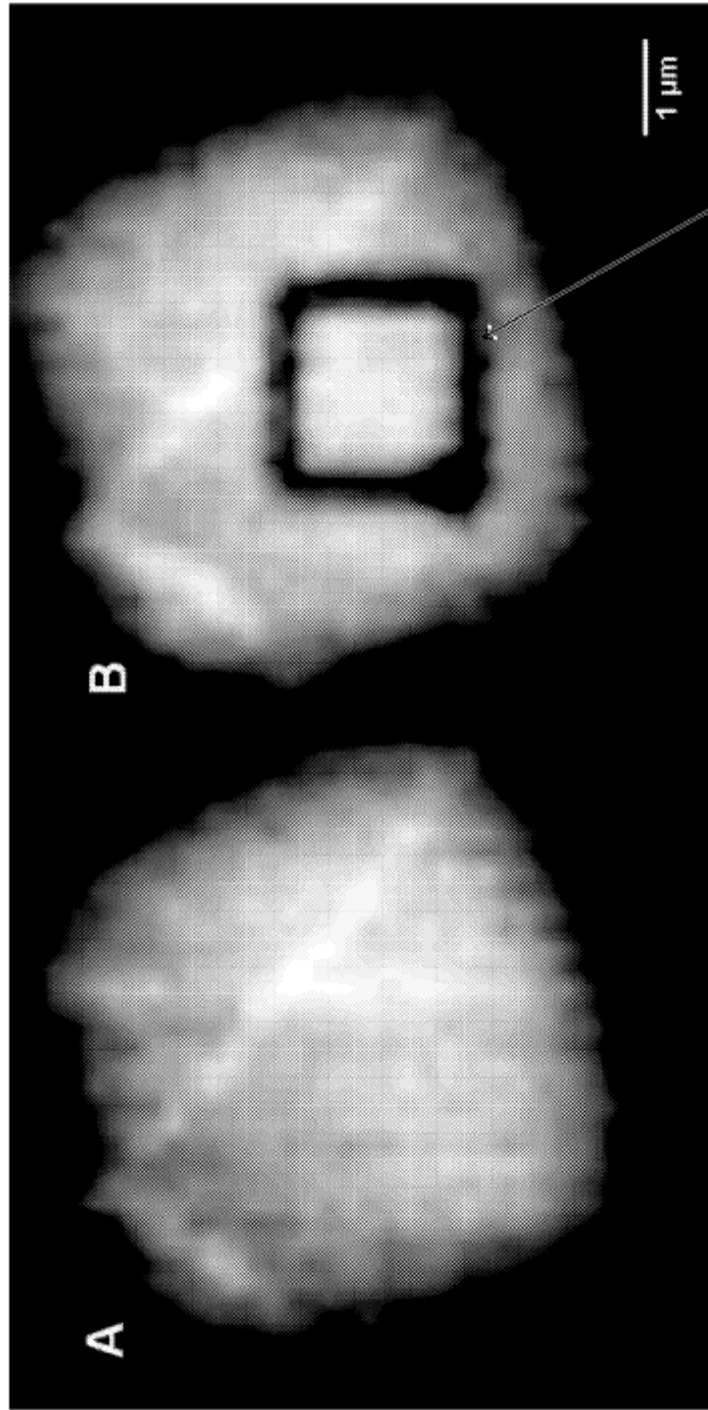


Fig. 5

100
400
120