

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 642 350**

51 Int. Cl.:

G06T 7/00 (2007.01)

G06T 7/40 (2007.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.08.2013** **PCT/DK2013/050264**

87 Fecha y número de publicación internacional: **20.02.2014** **WO14026692**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.08.2013** **E 13755943 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.05.2017** **EP 2883207**

54 Título: **Identificación automática de un material de película mono-capa y/o de pocas capas**

30 Prioridad:

13.08.2012 EP 12180234

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

16.11.2017

73 Titular/es:

DANMARKS TEKNISKE UNIVERSITET (100.0%)
Anker Engelunds Vej 101 A
2800 Kgs. Lyngby, DK

72 Inventor/es:

JESSEN, BJARKE SØRENSEN;
KLARSKOV, MIKKEL BUSTER;
TSCHAMMER, LISA KATHARINA;
BOOTH, TIMOTHY JOHN y
BØGGILD, PETER

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 642 350 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

Identificación automática de un material de película mono-capa y/o de pocas capas

CAMPO DE LA INVENCION

- 5 La presente invención se refiere a un método y a un sistema para la identificación automática de una representación digital de material en capas de película delgada, p. ej., de un grafeno mono-capa y/o de pocas capas, en una imagen digital.

Pocas capas ha de entenderse que comprende hasta 10 capas o más. Pocas capas en este contexto comprende específicamente mono-, bi-, tri- y cuatro capas.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

- 10 El grafeno es un material bidimensional que comprende una sola capa de átomos de carbono dispuestos en una rejilla de panal. Tiene muchas propiedades ventajosas de temperatura ambiente como casi el doble de la conductividad eléctrica del cobre, más de diez veces la conductividad térmica de la plata, casi treinta veces la movilidad de los electrones de silicio, alrededor de 5 veces la resistencia a la tracción o módulo de Young del acero y más de 45 veces la resistencia a la tracción del diamante.

- 15 Estas propiedades permiten muchos usos y mejoras utilizando grafeno.

Grafeno de alta calidad puede obtenerse, p. ej., por una técnica a la que se alude habitualmente como micro-escisión o escisión micro-mecánica o diversos métodos de exfoliación.

- 20 Alternativamente, el grafeno puede ser 'desarrollado' utilizando métodos de deposición química de vapor (CVD). Sin embargo, un inconveniente de la CVD es que el grafeno típicamente se 'desarrolla' en el cobre o níquel y luego necesita ser movido a otro sustrato utilizable usando una técnica denominada de transferencia. Además, cada zona coherente de grafeno obtenido de esta manera es relativamente pequeña, es decir, el grafeno de CVD puede ser visto como que comprende un mayor número de zonas de grafeno adyacentes mucho más pequeñas.

- 25 El grafeno tiene un grosor de sólo 0,335 nm, con lo cual herramientas de caracterización que implican equipos tales como microscopio de fuerza atómica (AFM), microscopio de efecto túnel de barrido (STM) o un microscopio electrónico de barrido (SEM) se utilizan a menudo para identificar correctamente y de forma fiable grafeno. Sin embargo, el uso de estas técnicas consume mucho tiempo y el equipo también es relativamente costoso.

Además, dado que el grafeno micro-escindido de una sola capa de calidad de investigación o similar es típicamente sólo algunos pocos miles de μm^2 en una oblea 4" o similar, métodos de identificación similares que consumen mucho tiempo no son prácticos para la producción a gran escala o el uso de investigación.

- 30 Alternativamente, la identificación manual de grafeno - que todavía se utiliza - es lenta, tediosa y/o propensa a errores, especialmente para muestras fragmentadas. El tiempo típico empleado en la identificación manual de grafeno es, p. ej., aproximadamente 5 segundos para una imagen digital y aproximadamente 6 - 7 horas para una oblea de 4" cuando se digitaliza a una resolución adecuada necesaria para identificar correctamente el grafeno.

- 35 La solicitud de patente de EE.UU. 2011/0299720 describe un enfoque automatizado para la determinación de una serie de planos atómicos en muestras de material en capas. De acuerdo con un aspecto, la calibración se lleva a cabo para un material de película fina bajo condiciones de iluminación específicas en las que se determina una correlación entre el número de capas del material de película fina en capas y una gama de valores de componentes de color. La correlación se utiliza entonces para determinar el número de capas en una región seleccionada de una imagen para otra muestra que comprende el mismo material que el utilizado durante la calibración. Para obtener resultados precisos, la imagen necesita ser capturada bajo las mismas condiciones de iluminación tal como se utilizan durante la calibración.

La calibración se lleva a cabo, p. ej., utilizando espectroscopía micro-Raman y microscopía de fuerza atómica (AFM).

- 45 Una vez que la calibración se lleva a cabo, ésta se puede utilizar para la detección de capa para otras muestras, siempre que el material de la muestra y el material de calibración sea el mismo, el sustrato para el material de calibración y para el material de la muestra sea el mismo y las condiciones de iluminación sean las mismas.

Sin embargo, no es prácticamente sencillo asegurar que las condiciones de iluminación permanezcan siendo verdaderamente las mismas y un material de muestra dada siempre tendrá pequeñas variaciones, p. ej., de espesor, incluso a través del material de la muestra.

5 Por lo tanto, hay una necesidad de identificar de una manera simple, fiable, robusta y/o eficiente automatizada grafeno y/u otros materiales de película delgada en una imagen digital.

10 La solicitud de patente JP 2010 043987 describe un método y un sistema para la detección del espesor de grafeno o película de grafito micro-fina, en que 1) un sustrato, tal como una muestra de referencia (a la que se ha proporcionado una sola capa de grafeno o una película de grafito micro-fina formado mediante la laminación de dos o más capas de grafeno) y 2) un sustrato como una muestra diana de medición son proyectados, respectivamente, a través de un filtro que tiene predeterminadas características de color y frecuencia de aparición con respecto a un valor de luminancia del color predeterminado, se obtienen de acuerdo con las imágenes representadas.

OBJETO Y SUMARIO DE LA INVENCION

Es un objeto de permitir una identificación robusta y fiable automatizada de grafeno y/u otros materiales de película delgada.

15 Un objeto adicional es permitir esta identificación de una manera sencilla y/o eficiente.

De acuerdo con un aspecto, uno o más de estos objetos se consiguen, al menos en cierta medida, por un método de identificar automáticamente una o más representaciones digitales de material de película delgada mono-capa y/o de pocas capas en una imagen digital, teniendo la imagen digital un número predeterminado de componentes de color, comprendiendo el método

20 - determinar un componente de color de fondo de la imagen digital para cada uno de los componentes de color, y
- determinar o estimar un componente de color de un material de película delgada a ser identificado en la imagen digital para cada uno de los componentes de color, teniendo el material de película delgada a identificar un número dado de capas que es al menos uno,

25 en el que determinar o estimar un componente de color de un material de película delgada a ser identificado en la imagen digital para cada uno de los componentes de color comprende

30 - obtener un valor de contraste pre-determinado para cada uno de los componentes de color y determinar o estimar el componente de color del material de película delgada a ser identificado y que tiene el número dado de capas para cada uno de los componentes de color, para cada uno de los componentes de color, multiplicar una diferencia numérica entre el valor pre-determinado de contraste para un componente de color dado y aproximadamente 1 con el componente de color de fondo para el componente de color dado,

y en donde el método comprende, además,

35 - identificar una o más representaciones digitales de material de película delgada mono-capa y/o de pocas capas como puntos o partes de la imagen digital que, para cada uno de los componentes de color, tiene un componente de color que está dentro de un intervalo predeterminado del componente de color determinado o estimado del material de película delgada a ser identificado con el número dado de capas, y

en el que el valor de contraste predeterminado obtenido para cada uno de los componentes de color se ha derivado como:

40 - la diferencia numérica entre la intensidad de color del fondo del componente de color dado y la intensidad de color del material de película delgada a ser identificado del componente de color dado, dividida por la intensidad de color del fondo del componente de color dado.

De esta manera, se proporciona una identificación robusta y fiable del material de película delgada en capas en una imagen digital, ya que la identificación se realiza basándose en el color real del fondo y luego el color real del material de película delgada se deriva utilizando información acerca de contrastes.

45 Además, esto se proporciona sin la necesidad de una calibración que implica un equipo costoso y o que requiere mucho tiempo tal como microscopio de fuerza atómica (AFM), microscopio de efecto túnel de barrido (STM) o un microscopio electrónico de barrido (SEM).

Adicionalmente, la identificación funciona en imágenes digitales obtenidas por un equipo relativamente barato y estándar.

5 Esta identificación se puede utilizar en todos los tipos de materiales de película delgada en capas, en que un contraste dado corresponde a una capa dada, p. ej., una sola capa, del material de película delgada. Para grafeno, actualmente es posible distinguir al menos 10 capas. Para otros materiales de película delgada, puede ser posible distinguir incluso más capas y, por supuesto, también menos.

10 Se debe entender, que por la diferencia numérica entre el valor de contraste pre-determinado para un componente de color dado y aproximadamente 1 se entiende el valor absoluto de la diferencia entre el valor de contraste pre-determinado para un componente de color dado y aproximadamente 1, es decir, sólo se necesita la diferencia numérica, no el signo de la diferencia y/o el orden de los parámetros en la diferenciación.

15 Utilizando la diferencia numérica entre el valor de contraste pre-determinado para un componente de color dado y exactamente 1 se debería idealmente dar el resultado más exacto, pero ha de entenderse que el uso de valores cercanos a 1 todavía puede dar resultados utilizables en que lo cercano a 1 que debería estar el grado preferido puede depender de la aplicación real. Ejemplos de un valor a utilizar en lugar de exactamente 1 - p. ej., dependiendo de la aplicación real - son, p. ej., valores de 0,95 a 1,00; valores de 0,90 a 1,00; valores de 1,00 a 1,05; valores de 1,00 a 1,10, siendo, p. ej., 1,00; 0,99; 0,98; 0,97; 0,96; 0,95; 0,94; 0,93; 0,92; 0,91; 0,90; 1,01; 1,02; 1,03; 1,04; 1,05; 1,06; 1,07; 1,08; 1,09; 1,10 ejemplos específicos. Una vez más, dependiendo de la aplicación real, también se pueden utilizar otros valores.

En una realización, el material de película delgada es grafeno.

20 En una realización, el material de película delgada es uno cualquiera seleccionado del grupo de

- disulfuro de molibdeno,
- nitruro de boro hexagonal,
- Sb_2Te_3 ,
- $MoTe_2$,
- 25 - WS_2 ,
- $MoSe_2$,
- $TaSe_2$,
- Bi_2Te_3 ,
- $NbSe_2$, y
- 30 - $NiTe_2$.

Ha de entenderse que otros tipos de materiales de película delgada en capas también pueden identificarse de una manera similar.

En una realización, la imagen digital es una imagen en escala de grises o se convierte en una imagen en escala de grises y el número de componentes de color es uno.

35 En una realización alternativa, la imagen digital es una imagen en color y el número de componentes de color es tres o más.

En una realización, el método comprende la identificación de una o más representaciones digitales de material de película delgada mono-capa y/o de pocas capas en una serie de imágenes digitales, en el que

- la determinación de un componente de color de fondo de la imagen digital para cada uno de los
- 40 componentes de color, y/o
- la determinación o estimación de un componente de color de material de película delgada a ser identificado en la imagen digital para cada uno de los componentes de color,

se realiza para cada una de las imágenes digitales de la serie o se realiza una vez, en donde la o las determinaciones se utilizan para imágenes digitales posteriores de la serie.

45 Es más exacto determinar el color de fondo y/o el color del material de la capa delgada para cada una de las imágenes pero para hacer uno o ambos sólo una vez y utilizar el o los valores determinados es más sencillo y puede ser totalmente suficiente para determinados usos.

En una realización, el material de película delgada de la imagen digital se encuentra en un sustrato dado, que tiene un espesor predeterminado, cuando se capturó la imagen digital y en donde la determinación de un componente de color de fondo de la imagen digital para cada uno de los componentes de color comprende

- 5 - proporcionar información predeterminada de un intervalo aproximado de un componente de color de fondo para cada uno de los componentes de color como una función del tipo particular y un espesor del sustrato dado.

En una realización, el método comprende, además,

- 10 - aplicar un filtro, p. ej., un filtro de mediana, a la imagen digital para eliminar el ruido de alta frecuencia y/o el ruido de sal y pimienta antes de determinar un componente de color de fondo de la imagen digital para cada uno de los componentes de color,
- 15 - aplicar una o más etapas de dilatación, seguidas de una o más etapas de erosión con el fin de mejorar la calidad de la imagen digital para la identificación de material de película delgada,
- aplicar un umbral en el que se descartan todos los píxeles de la imagen digital a excepción de los píxeles que tienen, para cada uno de los componentes de color, un componente de color que está dentro de un segundo intervalo predeterminado del componente de color determinado o estimado del material de capa delgada a identificar que tiene el número dado de capas, y/o
- detectar bordes o un contorno de al menos una parte de la imagen digital que se ha identificado que es una o más representaciones digitales de material de película delgada mono-capa y/o de pocas capas.

20 De acuerdo con otro aspecto, la invención se refiere también a un sistema para la identificación automática de una o más representaciones digitales de un material de película delgada mono-capa y/o de pocas capas en una imagen digital, teniendo la imagen digital un número predeterminado de componentes de color, en donde el sistema comprende una o más unidades de procesamiento adaptadas para

- determinar un componente de color de fondo de la imagen digital para cada uno de los componentes de color, y
- 25 - determinar o estimar un componente de color de un material de película delgada a ser identificado en la imagen digital para cada uno de los componentes de color, teniendo el material de película delgada a ser identificado un número dado de capas que es al menos uno,

en el que una o más unidades de procesamiento está adaptada para determinar o estimar un componente de color de un material de película delgada a identificar en la imagen digital para cada uno de los componentes de color

- 30 - obteniendo un valor de contraste predeterminado (C_R ; C_V ; C_A) para cada uno de los componentes de color y determinar o estimar el componente de color del material de película delgada a identificar y que tiene el número dado de capas para cada uno de los componentes de color multiplicando, para cada uno de los componentes de color, una diferencia numérica entre el valor de contraste predeterminado (C_R ; C_V ; C_A) para un componente de color dado y aproximadamente 1 con el componente de color de fondo para el
- 35 componente de color dado,

y en el que las una o más unidades de procesamiento está adaptada, además, para

- identificar una o más representaciones digitales de material de película delgada mono-capa y/o de pocas capas como puntos o partes de la imagen digital que, para cada uno de los componentes de color, tiene un componente de color que está dentro de un intervalo predeterminado del componente de color determinado o estimado del material de película delgada a identificar con el número dado de capas, y
- 40

en el que el valor de contraste predeterminado obtenido para cada uno de los componentes de color se ha derivado como:

- la diferencia numérica entre la intensidad de color del fondo del componente de color dado y la intensidad de color del material de película delgada a identificar del componente de color dado, dividida por la intensidad de color del fondo del componente de color dado.
- 45

El sistema y realizaciones del mismo corresponden al método y realizaciones del mismo y tienen las mismas ventajas por las mismas razones.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Estos y otros aspectos resultarán evidentes a partir de y se aclararán con referencia a las realizaciones ilustrativas tal como se muestran en los dibujos, en los que:

- La Figura 1 ilustra una imagen digital de un sustrato que comprende un grafeno mono-capa y bi-capa;
- 5 la Figura 2 ilustra esquemáticamente un diagrama de flujo de una realización de un método de identificación de material de película delgada;
- la Figura 3 ilustra esquemáticamente un gráfico de histogramas de píxeles de cada uno de los componentes de color obtenido para la imagen de la Figura 1;
- 10 la Figura 4 ilustra esquemáticamente la imagen de la Figura 1 después del procesamiento (opcional) de la imagen eliminando el denominado ruido de sal y pimienta sin bordes borrosos en la imagen;
- las Figuras 5a - 5f ilustran esquemáticamente el efecto de procesamiento (opcional) de la imagen adicional de la imagen de la Figura 1;
- la Figura 6 ilustra esquemáticamente la imagen de la Figura 1 después de haber identificado grafeno mono-capa y de haber eliminado no grafeno;
- 15 la Figura 7 ilustra esquemáticamente la Figura 6 después de algún procesamiento de imagen adicional eliminando ruido y/o artefactos;
- la Figura 8 ilustra esquemáticamente la imagen de la Figura 1 después de haber identificado grafeno bi-capa de ha sido identificado y de haber eliminado no grafeno;
- 20 la Figura 9 ilustra esquemáticamente la Figura 8 después de algún procesamiento de imagen adicional eliminando ruido y/o artefactos;
- la Figura 10 ilustra esquemáticamente el resultado final del procesamiento de la imagen de la Figura 1 mostrando grafeno tanto mono- como bi-capa identificados; y
- 25 la Figura 11 ilustra esquemáticamente una realización de un sistema para la identificación automática de una representación digital de material de película delgada de mono-capa, bi-capa y/o de pocas capas, p. ej., grafeno, en una imagen digital.

DESCRIPCIÓN DE REALIZACIONES PREFERIDAS

- 30 La Figura 1 ilustra una imagen digital de un sustrato que comprende un grafeno mono-capa y bi-capa, obtenida mediante un microscopio óptico más o menos estándar. La figura muestra una representación digital de un sustrato que comprende - en este ejemplo particular - un grafeno mono-capa 101 así como un grafeno bi-capa 102 y multi-capa 103. Al grafeno multi-capa también se le conoce como grafito, y típicamente se considera como grafeno con más de 10 capas. También se muestra una sombra 105 proyectada por un trozo más grande de grafeno multi-capa.

Esta imagen digital 100 a modo de ejemplo particular es un segmento o parte de una imagen digital mayor.

- 35 La imagen también muestra marcas de índice de metal (opcionales) u otros tipos de marcas de índice 104, típicamente físicamente presentes en el sustrato, que permiten la identificación de dónde es esta imagen digital específica 100 del sustrato global mayor. Tales marcas 104 también son útiles para permitir la determinación de la ubicación de un elemento dado, p. ej., una superficie de grafeno mono-capa, sobre el sustrato.

Además, la imagen digital puede comprender representaciones digitales de los residuos de cinta, ruido, arañazos y/u otros artefactos.

- 40 En este ejemplo particular, el sustrato es dióxido de silicio SiO_2 con un espesor de 90 nm sobre silicio Si. Sin embargo, igualmente se pueden utilizar otros sustratos, p. ej., poli(metacrilato de metilo) sobre Si o Al_2O_3 sobre Si o

Al y/u otros espesores, siempre y cuando proporcionen un contraste numéricamente significativo para la película delgada de interés.

Una imagen digital, tal como la mostrada en la Figura 1, se puede utilizar para identificar material de película delgada mono-, bi-, tri-, tetra-capa y/o de pocas capas, p. ej., tal como grafeno, tal como se describirá en mayor detalle como un ejemplo en relación con la Figura 2 y en otros lugares.

A pesar de que la imagen digital 100 en este ejemplo particular comprende grafeno, ha de entenderse que otras imágenes que comprenden otros tipos de material de película delgada en capas también pueden ser investigadas de una manera similar para identificar un material de película delgada en capas dado. Como ejemplos de tales materiales de película delgada son, p. ej., disulfuro de molibdeno (MoS_2), nitruro de boro hexagonal (BN), Sb_2Te_3 , MoTe_2 , WS_2 , MoSe_2 , TaSe_2 , Bi_2Te_3 , NbSe_2 , NiTe_2 , etc.

Como puede verse, el color de grafeno mono-capa 101 está próximo al color del fondo (es decir, el color del sustrato), pero sigue siendo aún distinguible por un ojo humano, aunque quizás no tan fácilmente.

La Figura 2 ilustra esquemáticamente un diagrama de flujo de una realización de un método de identificación de material de película delgada. Se muestra un diagrama de flujo 300 que se inicia en la etapa 301. Antes o al iniciar, una imagen digital (p. ej., como la que se muestra en la Figura 1) se proporciona u obtiene para el procesamiento automático con el fin de identificar material de película delgada mono-, bi-, tri-, tetra-capa y/o de pocas capas. En lo que sigue, el grafeno sobre un sustrato de SiO_2 se utiliza como un ejemplo.

En la etapa 302 (una etapa opcional), el ruido de alta frecuencia – al que también se le alude a menudo como un ruido de sal y pimienta – se elimina con el fin de obtener una imagen digital más uniforme que permite una detección más fiable de una o más regiones que comprenden grafeno.

Esto puede hacerse, p. ej., aplicando un filtro mediano o similar que sustituye a cada uno de los valores de píxel con un valor mediano de los píxeles circundantes, de este modo eliminando de forma eficaz píxeles periféricos.

Un filtro mediano es muy eficaz en la eliminación del ruido de sal y pimienta, preservando al mismo tiempo la nitidez de los bordes y, por lo tanto, es particularmente útil para facilitar o mejorar la precisión de la identificación de área y/o de detección de borde posterior si se utiliza (véase más adelante para la etapa 309) y/u otras funciones.

Un ejemplo de aplicación de un filtro o función de este tipo puede verse, p. ej., en la Figura 4, que muestra una imagen digital 100 detrás de haber aplicado un filtro mediano a la imagen de la Figura 1. Como puede verse, el ruido de sal y pimienta/de alta frecuencia se ha eliminado o disminuido y la imagen contiene colores más uniformes.

Después de la etapa 302, se lleva a cabo la etapa 303 (opcional) que emplea un procesamiento de imagen adicional para mejorar el proceso de identificación aún más. Más particularmente, se llevan a cabo una o más etapas de dilatación o similar, seguidas de una o más etapas de erosión o similar. El número de etapas de dilatación no tiene que ser igual al número de etapas de erosión.

La dilatación y su contraparte – la erosión – están en sus operaciones de forma básica en la morfología matemática. La dilatación es una convolución de una imagen dada (escala de grises, binaria, o color) con un núcleo o similar, habitualmente denominado un operador de máximo local. La operación reemplaza todos los píxeles con el valor máximo de los píxeles circundantes limitados por el tamaño y la forma del núcleo. Como un ejemplo, se puede utilizar un núcleo de 3x3 píxeles cuadrados. Esto se ha utilizado, p. ej., en relación con las Figuras 5a - 5f, pero se ha de entender que se pueden utilizar otras formas y/o tamaños del núcleo.

En una frontera entre una región más oscura y una más clara en una imagen dada, la aplicación de la dilatación expandirá la frontera de la región clara (que es lo mismo que reducir la frontera de la región oscura), aumentando de este modo las áreas de las zonas más claras, mientras que la aplicación de la erosión hará lo contrario, es decir, expandirá la frontera de la región oscura (que es lo mismo que reducir la frontera de la región clara), aumentando de este modo las áreas de las zonas más oscuras.

Específicamente en relación con la identificación de grafeno (u otros materiales de película delgada), la dilatación se puede utilizar para eliminar los bordes alrededor de trozos pequeños, manchas o zonas de grafito y residuos, dado que se eliminarán los píxeles con un contraste de píxeles positivo (es decir, más oscuro que el color de fondo) cerca del color de fondo.

Las Figuras 5a - 5c ilustran un ejemplo de dilatación que se aplica sucesivamente un número de veces (en este ejemplo particular tres veces) a la imagen de la Figura 4.

Como puede verse, las fronteras de las regiones claras se expanden y la contribución de los bordes, etc., se reduce en gran medida, en esencia 'limpiando' la imagen aún más para un procesamiento más preciso.

- 5 Sin embargo, la o las partes de la imagen que corresponden a grafeno se reducen en tamaño, así como durante este proceso. Por lo tanto, para obtener con mayor precisión límites más exactos o límites de las zonas de grafeno, se llevan a cabo después una o más aplicaciones de erosión.

Las figuras 5d - 5f muestran un ejemplo de erosión que se aplica sucesivamente un número de veces (en este ejemplo particular, también tres veces).

- 10 Como puede verse, se expanden las fronteras de las regiones oscuras.

La aplicación de dilatación una o más veces, seguido de la aplicación de la erosión una o más veces (al estar equilibrada, pero no necesariamente iguales) reducirá o eliminará partes o elementos de la imagen más pequeños y más oscuros y luego ampliará partes o elementos más grandes más o menos de vuelta a su tamaño original, en donde no se restablecerán partes o elementos eliminados. Esto, en esencia, 'limpia' adicionalmente la imagen sin eliminar y/o cambiar el color sustancial y/o la información de borde para las partes de grafeno de la imagen.

- 15 Después de la etapa 303 (opcional), se lleva a cabo la etapa 304, en la que se determina el color real del fondo específico, es decir, el color real del sustrato específico.

- 20 Podría ser tentador registrar simplemente el color de fondo de una imagen de referencia del sustrato utilizado y luego simplemente restar la imagen de referencia, p. ej., los valores de RVA (o similar en otro espacio de color) o valor de escala de grises, a partir de imágenes de una o más obleas a ser procesadas para su identificación.

- 25 Sin embargo, cuando se obtienen imágenes digitales de un sustrato que comprende grafeno (u otro material de película delgada), el color de fondo cambia a lo largo de toda la oblea de, p. ej., 4". La diferencia es bastante pronunciada y puede ser provocada por pequeñas variaciones en el espesor del sustrato, por la intensidad de la lámpara de una fuente de iluminación, por el tiempo del obturador del dispositivo de captura de microscopio, y/o el desenfoque debido al arco de la oblea, etc.

Preferiblemente, el color de fondo se determina individualmente para cada una de las imágenes a procesar para la identificación, p. ej., como parte de análisis de una serie de imágenes, para proporcionar un color real del fondo específico. Alternativamente, el color de fondo se puede determinar una vez y utilizar para imágenes posteriores, lo que es más simple pero no es tan preciso.

- 30 Una manera simple y eficiente para determinar el color de fondo es simplemente utilizar la información predeterminada de un intervalo aproximado de un color de fondo para un sustrato dado de un espesor dado.

Esta información predeterminada para uno o más tipos de sustratos puede ser almacenada, p. ej., físicamente en una memoria y/o almacenamiento eléctrico apropiado (véase, p. ej., 203 en la Figura 11) para la recuperación o el uso cuando sea necesario.

- 35 Para el ejemplo específico en la Figura 1, se sabe que el valor del componente de color de cada uno de los componentes de color primario R(ojo), V(erde) y A(zul) es, p. ej., aproximadamente 175 ± 10 , 145 ± 10 , 140 ± 10 . Para el procesamiento de la escala de grises, se sabe que el valor del componente de color único es aproximadamente 150 ± 10 . Ha de entenderse que se pueden utilizar en su lugar otros intervalos, p. ej., 140 ± 5 , 140 ± 15 , etc. para cada uno de los colores primarios. El intervalo no debería ser demasiado estrecho (potencialmente descartando los píxeles de fondo) o demasiado amplio (no tanto un problema con respecto a perder información útil, sino luego simplemente perdiendo tiempo de procesamiento y/o esfuerzo).

- 40

Se debe entender también que se pueden utilizar otros espacios o modelos de color a RVA, p. ej., tal como TSL (tonalidad, saturación, luminancia), TSV (tonalidad, saturación, valor), TSI (tono, saturación e intensidad), etc.

- 45 Utilizando un intervalo de valores de componente de color e histogramas de píxeles para cada uno de los componentes de color primario (o un intervalo de componentes de un solo color y el histograma para las imágenes

en escala de grises), los valores de los componentes de color de fondo real (o valor de escala de grises) para la imagen específica puede determinarse, p. ej., mediante la determinación de un óptimo global dentro del intervalo predeterminado para cada uno de los componentes de color (o valor de escala de grises), suponiendo que el color de fondo será el color mucho más dominante de la imagen. Esta suposición es muy segura para hacer las imágenes de este tipo con el material localizado de esta manera sobre un sustrato. Alternativamente, podrían ser igualmente válidos otros métodos para determinar el color de fondo.

Este se ilustra, p. ej., en la Figura 3, que muestra un histograma de píxeles para cada uno de R (401), V (402) y A (403) utilizando el espacio de color RVA. Se puede ver fácilmente que el color de fondo (más a la derecha de la línea quebrada en cada uno de los histogramas de píxeles) es ahora el dominante.

Como alternativa, no son necesarios un valor esperado y el intervalo de valores de los componentes de color, provocando con ello la necesidad de determinar un óptimo global para cada uno de los componentes de color sobre todos los valores disponibles. Esto funcionará igual de bien para todas las otras realizaciones, pero sólo requiere más tiempo y/o esfuerzo de procesamiento.

El derivar uno o más histogramas de píxeles de una imagen digital es bastante directo y bien conocido.

Cuando se han determinado los valores de los componentes de color específicos para el color de fondo, se determina entonces el color específico para el grafeno.

Esto se hace en esta forma de realización obteniendo en primer lugar uno o más valores de contraste predeterminados en la etapa 305, p. ej., de una memoria y/o almacenamiento adecuado (véase, p. ej., 203 en la Figura 11). Para las imágenes en escala de grises se obtiene sólo un único valor de contraste mientras que tres valores de contraste diferentes se obtienen para una imagen de color, p. ej., utilizando componentes de color R, V, A. Ha de entenderse que se pueden utilizar otros modelos/espacios de color distintos a RVA y que el número de componentes de color puede ser diferente de tres.

El contraste se puede calcular como la diferencia entre la intensidad del color, como se representa por los valores de los componentes de color, del fondo y de la intensidad del color de grafeno de interés, dividida por la intensidad del color del fondo, es decir,

$$C = \frac{I_{\text{fondo}} - I_{\text{grafeno}}}{I_{\text{fondo}}}$$

Esto también se cumple para cada uno de los componentes de color, p. ej.,

$$C_{\text{rojo}} = \frac{I_{\text{fondo, rojo}} - I_{\text{grafeno, rojo}}}{I_{\text{fondo, rojo}}}$$

Los autores de la invención se han dado cuenta y han demostrado que el contraste de grafeno de un tipo dado (es decir, sea ya sea grafeno mono-, bi-, tri-, tetra-capa o de pocas capas) en una imagen digital - para un espesor dado del sustrato sobre el que se deposita el grafeno - es constante (dentro de una pequeña tolerancia) - incluso para diferentes espacios/modelos de color - e igualmente que el contraste de grafeno para cada uno de los componentes de color es constante (dentro de una pequeña tolerancia) y se determina de forma única por el sustrato (y su espesor).

El contraste de grafeno de una capa dada es diferente de manera distinguible del contraste de grafeno de otra capa dada, p. ej., el contraste de grafeno mono-capa es diferente al contraste de grafeno bi-capa, que es diferente al contraste de grafeno tri-capa, y así sucesivamente. El contraste de grafeno bi-capa es aproximadamente 2 veces el contraste de grafeno mono-capa, mientras que el contraste de grafeno tri-capa es aproximadamente 3 veces el contraste de grafeno mono-capa, etc.

Esto permite la distinción fácil y eficiente y, con ello, la identificación separada de grafeno de diferentes capas que incluyen grafito.

Por ejemplo, los contrastes R , V , A [C_R ; C_V ; C_A] para una imagen de color digital de grafeno mono-capa en un sustrato de SiO_2 de 90 nm es aproximadamente [9%; 11%; 8%]. Puede variar un poco debido a pequeñas variaciones y errores. Los autores de la invención, por ejemplo, han medido experimentalmente que los contrastes son, p. ej., de aproximadamente [8,6%; 10,5%; 8,1%], así como otros ejemplos.

- 5 Los valores de los contrastes (p. ej. para cada uno de los componentes de color) simplemente se pueden medir una vez para un sustrato dado como una función del tipo de sustrato y su espesor y después se almacenan en una memoria y/o almacenamiento adecuado (véase, p. ej., 203 en la Figura 11) para su uso posterior.

- 10 Una manera de determinar los valores de contraste para un sustrato dado con un espesor dado es, p. ej., encontrar manualmente un trozo de grafeno con un microscopio óptico, capturar una imagen del trozo y medir el contraste. Alternativamente, se podría calcular el contraste considerando la propagación de la luz en películas delgadas en capas, p. ej., mediante el uso de las ecuaciones de Fresnel y convertirlo en un espacio de color apropiado.

Después de esta predeterminación, no hay necesidad de medir de nuevo el mismo sustrato con el mismo grosor, evitando la necesidad de una calibración adicional.

- 15 El valor específico para cada uno de los componentes de color de un grafeno de una capa dada puede entonces determinarse utilizando dichos valores de contraste predeterminados [C_R ; C_V ; C_A] para cada uno de los componentes de color y el color del fondo determinado (tal como se determina en la etapa 304) también para cada uno de los componentes.

- 20 Esto se realiza en la etapa 306, en donde cada uno de los componentes de color de fondo identificados se multiplica por el resultado de 1 menos el contraste del mismo componente de color del grafeno en cuestión (o el valor absoluto del contraste del mismo componente de color del grafeno en cuestión menos 1). Ha de entenderse que el uso de valores cercanos a 1 todavía puede dar resultados utilizables. El grado preferido de cómo de cerca de 1 debe estar el valor puede depender de la aplicación real. Ejemplos de utilizar un valor en lugar de exactamente 1 - p. ej., dependiendo de la aplicación real - son, p. ej., valores de 0,95 a 1,00; valores de 0,90 a 1,00; valores de 1,00 a 1,05; valores de 1,00 a 1,10, siendo ejemplos específicos, p. ej., 1,00; 0,99; 0,98; 0,97; 0,96; 0,95; 0,94; 0,93; 0,92; 0,91; 0,90; 1,01; 1,02; 1,03; 1,04; 1,05; 1,06; 1,07; 1,08; 1,09; 1,10. Una vez más, dependiendo de la aplicación real, también se pueden utilizar otros valores.

- 30 Por ejemplo, para grafeno mono-capa en donde se ha determinado que la intensidad de color de fondo componente rojo es 175 y se ha recuperado que el valor de contraste rojo predeterminado C_R es 9%, el resultado será $175 \times (1 - 9\%)$ que es igual a aproximadamente 159, lo que significa que el componente rojo del grafeno mono-capa tiene un valor de aproximadamente 159 en la imagen real. Esto se corresponde con el pico en los valores de píxel que se ven en el histograma rojo alrededor de 159 en la Figura 3. De manera similar, se determinan los valores de verde y azul.

- 35 Cuando se determinan estos valores, se determina el color real (o una muy buena estimación del mismo) del tipo dado de grafeno con el número dado de capas en la imagen dada. Zonas o regiones que contienen ese tipo particular de grafeno con ese número particular de capas (que es al menos uno) pueden entonces ser identificadas fácilmente, p. ej., simplemente encontrando las partes de la imagen que tienen los mismos valores de los componentes de color - preferentemente dentro de un intervalo dado. Esto puede hacerse, p. ej., simplemente buscando píxeles en la imagen que tienen los valores correspondientes (p. ej., dentro de un cierto intervalo) para cada uno de los componente de color.

- 40 Como ejemplo de la continuación de lo anterior, si componente de color rojo del grafeno mono-capa tiene un valor de 159, entonces todos los píxeles que tienen un valor de color rojo dentro del intervalo de, p. ej., 159 ± 5 (y también que cumplen que tiene un valor dentro del intervalo adecuado tanto para verde como azul) se determina que contiene grafeno mono-capa.

Si también han de identificarse otros tipos de grafeno, p. ej. grafeno bi-capa, en la imagen, estos se pueden derivar de la misma manera utilizando los contrastes predeterminados para los tipos particulares de grafeno.

- 45 Sin embargo, la simple búsqueda de píxeles no es eficiente. Alternativamente, los píxeles correspondientes se pueden determinar de acuerdo con las etapas 307 y 308 (opcionales) tal como se describirá en lo que sigue.

Habiendo determinado los valores de color para un tipo particular de grafeno, se aplica un umbral en la etapa 307, en que se descartan todos los píxeles (p. ej., se establece en el color negro), excepto aquellos píxeles que tienen valores correspondientes a un intervalo relativamente pequeño adecuado alrededor de los valores del tipo particular de grafeno. Los píxeles restantes pueden entonces ajustarse a otro color, p. ej., blanco. Un resultado a modo de ejemplo de esto puede verse en la Figura 6 para grafeno mono-capa.

Es importante señalar que el umbral se aplica a los tres colores RVA juntos. Si un píxel RVA dado obedece al contraste de píxel (es decir, está dentro del intervalo de valores relevante) para cualquier cosa menos de los tres colores, entonces se descarta. Utilizando restricciones en tres colores resulta una precisión mucho mayor que en imágenes en escala de grises, en donde los tres colores RVA se aplanan en un solo color en escala de grises, p. ej., de acuerdo con la intensidad de gris = $0,3 \times \text{intensidad rojo} + 0,59 \times \text{intensidad verde} + 0,11 \times \text{intensidad de color azul}$ o similar.

Sin embargo, el proceso todavía se puede utilizar en una imagen en escala de grises - pero entonces con menos precisión - en los que se aplica el umbral únicamente para un solo color en escala de grises.

Si se determinan varios tipos de grafeno, a cada uno se les puede dar su color único, p. ej. grafeno mono-capa se puede establecer en blanco, el grafeno bi-capa se puede establecer en un tono dado de gris, etc. La Figura 8 muestra un ejemplo de grafeno bi-capa.

Sin embargo, la imagen umbral obtenida todavía puede contener algunos artefactos y ruido - como también se puede ver en las Figuras 6 y 8. Esto se puede eliminar, p. ej., de acuerdo con la etapa 308 (opcional), en donde se llevan a cabo una o más etapas de erosión seguidas de una o más etapas de dilatación.

Alternativamente, se pueden aplicar otros filtros logrando el mismo efecto.

Esto elimina eficazmente remanentes de píxeles de no grafeno. Mientras que las etapas combinadas de erosión y dilatación sirven para preservar su mayoría del área y la forma del grafeno, hay que señalar que las características finas también serán eliminadas. Sin embargo, esto no es normalmente un problema, ya que zonas delgadas de grafeno (si la característica delgada realmente representa a éstas) normalmente no es de interés para su posterior procesamiento.

Las figuras 7 y 9 muestran las imágenes de las Figuras 6 y 8, respectivamente, después de la aplicación de la erosión seguida de una dilatación y se puede ver claramente una superficie de grafeno y se ha identificado de manera eficiente como tal.

El procedimiento podría terminar ahora. Sin embargo, en algunas realizaciones, pueden aplicarse (opcionalmente) funciones adicionales como en la etapa 309, dependiendo del uso de las mismas. Estas funciones pueden comprender, p. ej., aplicar un algoritmo de detección de borde o contorno apropiado, p. ej., permitir información más cuantitativa acerca de una zona dada de grafeno que se ha de derivar

Cuando se ha determinado el contorno/todos los bordes de una zona de grafeno dada, es fácil calcular uno o más parámetros tales como área, perímetro, circularidad, pseudo-longitud, pseudo-anchura, etc. La circularidad representa la relación del perímetro real a la de un círculo con el mismo área. La pseudo-longitud es la longitud de un rectángulo con el área dada y el perímetro, mientras que la pseudo-anchura es la pseudo-longitud dividida por el área.

Tales parámetros pueden ser útiles en la caracterización de las zonas de grafeno. Especialmente el área y la circularidad pueden ser parámetros o limitaciones importantes para la detección de zonas de grafeno adecuadas, p. ej., para uso a ser post-procesado con la litografía de haz de electrones para los dispositivos Hall-barras que requieren una cierta longitud y anchura, o para otros usos.

Una ubicación de un área de grafeno sobre el sustrato o la oblea se puede determinar utilizando las marcas de índice de la imagen. Esta información de la ubicación (junto con otros parámetros relevantes) se puede utilizar, p. ej., en un programa de CAD o similar, que permite la colocación optimizada automática de dispositivos en las zonas de grafeno identificadas. Esto podría incluir la identificación de la posición y/o la orientación de dominios individuales de grafeno desarrollados en Cu, Ni, SiC, Ru, Ir y materiales similares, antes o después de procesos y el procesamiento de transferencia.

La Figura 10 muestra el resultado final del procesamiento de la imagen de la Figura 1, mostrando grafeno tanto mono-como bi-capa identificado.

Por etapas opcionales ha de entenderse que éstas no necesitan estar presentes, a pesar de que pueden ser, en el procedimiento de llevar a cabo la identificación, en contraposición a estar presentes pero no invocadas.

5 Después de haber procesado una imagen y de haber identificado una o más zonas de grafeno, p. ej., estratificadas de manera diferente, el método puede retornar a la etapa 301 o 302 y procesar otra imagen, si es aplicable. Esto puede prolongarse, p. ej., hasta que todas las imágenes de una oblea o similar hayan sido procesadas y también pueden continuar para más obleas.

10 Ha de entenderse que el orden de ejecución de las etapas 304 y 305, p. ej., se puede conmutar o incluso realizarse en paralelo. Como otra alternativa, la etapa 302 puede realizarse después de la etapa 303.

15 La Figura 3 ilustra esquemáticamente un gráfico de histogramas de píxeles de cada uno de los componentes de color obtenidos para una zona alrededor del grafeno mono- y bi-capa en la Figura 1 para hacer que la información sea más clara. Alternativamente, se pueden derivar para toda la imagen. Se muestra un histograma de píxeles para cada uno de los componentes de color R (401), V (402) y A (403). La línea discontinua más a la derecha es para el color de fondo, la línea discontinua del medio es para grafeno de mono-capa, mientras que la línea discontinua de la izquierda es para grafeno bi-capa.

La Figura 4 ilustra esquemáticamente la imagen de la Figura 1 después del procesamiento de imágenes (opcional) eliminando el denominado ruido de sal y pimienta sin bordes borrosos en la imagen. Se muestra una imagen digital procesada 100.

20 Las Figuras 5a - 5f ilustran esquemáticamente el efecto de un procesamiento adicional de imágenes (opcional) de la imagen de la Figura 1.

Las Figuras 5a - 5c ilustran el efecto de aplicar dilatación tres veces (una aplicación por Figura).

Las Figuras 5d - 5f ilustran el efecto de aplicar erosión tres veces (una aplicación por Figura).

25 La Figura 6 ilustra esquemáticamente la imagen de la Figura 1 después de haber identificado grafeno mono-capa y de haber eliminado no grafeno con algunos artefactos y el ruido todavía presentes.

La Figura 7 ilustra esquemáticamente la Figura 6 después de algún procesamiento adicional de imágenes eliminando ruido y/o artefactos.

La Figura 8 ilustra esquemáticamente la imagen de la Figura 1 después de haber identificado grafeno bi-capa y de haber eliminado no grafeno.

30 La Figura 9 ilustra esquemáticamente la Figura 8 después de algún procesamiento adicional de imágenes eliminando ruido y/o artefactos.

La Figura 10 ilustra esquemáticamente el resultado final del procesamiento de la imagen de la Figura 1, mostrando grafeno tanto mono- como bi-capa identificados.

35 Los contenidos y las acciones de las Figuras 4 – 10 se han explicado con más detalle en conexión con el diagrama de flujo de la Figura 2.

40 La Figura 11 ilustra esquemáticamente una realización de un sistema para la identificación automática de una representación digital de material de película delgada mono-capa, bi-capa, y/o de pocas capas, p. ej., grafeno, en una imagen digital. Se muestra un sistema 200 que comprende al menos una unidad de procesamiento 201 conectada a través de una o más comunicaciones y/o buses de datos 202 a una memoria y/o almacenamiento 203, elementos de comunicaciones opcionales 204, p. ej., para la comunicación a través de una red, Internet, una Wi- Fi, y/o similares, y una visualización 205 (opcional).

El sistema 200 puede ser un sistema computacional más o menos estándar tal como un PC, un ordenador portátil, una tableta, etc., o cualquier otro sistema apropiado programado adecuadamente para llevar a cabo el método o procedimiento tal como se describe en las diversas realizaciones en toda la memoria y variaciones de las mismas.

5 El sistema 200 también comprende, opcionalmente, un dispositivo de captura de imágenes 206 para la obtención de imágenes tal como el mostrado en la Figura 1. Alternativamente, una imagen de este tipo simplemente se puede proporcionar al sistema 200.

10 En las reivindicaciones, cualquier signo de referencia colocado entre paréntesis no debe ser considerado como limitante de la reivindicación. La expresión "que comprende" no excluye la presencia de elementos o etapas distintos de los enumerados en una reivindicación. La palabra "un" o "una" precediendo a un elemento no excluye la presencia de una pluralidad de tales elementos.

El mero hecho de que determinadas medidas se citen en reivindicaciones dependientes mutuamente diferentes no indica que no se puede utilizar ventajosamente una combinación de estas medidas.

15 Resultará evidente para una persona experta en la técnica que las diversas realizaciones de la invención tal como se describen y/o elementos de las mismas pueden combinarse sin apartarse del alcance de la invención tal como se define por las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un método de identificar automáticamente una o más representaciones digitales de material de película delgada mono-capa (101) y/o de pocas capas (102) en una imagen digital (100), teniendo la imagen digital (100) un número predeterminado de componentes de color, comprendiendo el método

- 5 - determinar (304) un componente de color de fondo de la imagen digital (100) para cada uno de los componentes de color, y
 - determinar o estimar (306) un componente de color de un material de película delgada a ser identificado en la imagen digital (100) para cada uno de los componentes de color, teniendo el material de película delgada a identificar un número dado de capas que es al menos uno,

10 en el que determinar o estimar (306) un componente de color de un material de película delgada a ser identificado en la imagen digital (100) para cada uno de los componentes de color comprende

- obtener un valor de contraste pre-determinado para cada uno de los componentes de color y determinar o estimar el componente de color del material de película delgada a ser identificado y que tiene el número dado de capas para cada uno de los componentes de color, para cada uno de los componentes de color,
 15 multiplicar una diferencia numérica entre el valor pre-determinado de contraste para un componente de color dado y aproximadamente 1 con el componente de color de fondo para el componente de color dado,

y en donde el método comprende, además,

- identificar (307) una o más representaciones digitales de material de película delgada mono-capa (101) y/o de pocas capas (102) como puntos o partes de la imagen digital (100) que, para cada uno de los
 20 componentes de color, tiene un componente de color que está dentro de un intervalo predeterminado del componente de color determinado o estimado del material de película delgada a ser identificado con el número dado de capas, caracterizado por que el valor de contraste predeterminado obtenido para cada uno de los componentes de color se ha derivado como:
 25 la diferencia numérica entre la intensidad de color del fondo del componente de color dado y la intensidad de color del material de película delgada a ser identificado del componente de color dado, dividida por la intensidad de color del fondo del componente de color dado.

2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el material de película delgada es grafeno.

3. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el material de película delgada es uno seleccionado del grupo de

- 30 - disulfuro de molibdeno,
 - nitruro de boro hexagonal,
 - Sb_2Te_3 ,
 - MoTe_2 ,
 - WS_2 ,
 35 - MoSe_2 ,
 - TaSe_2 ,
 - Bi_2Te_3 ,
 - NbSe_2 , y
 - NiTe_2 .

40 4. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 - 3, en el que

- la imagen digital (100) es una imagen en escala de grises o se convierte en una imagen en escala de grises y el número de componentes de color es uno, o
 - la imagen digital (100) es una imagen en color y el número de componentes de color es tres o más.

45 5. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 - 4, el método comprende la identificación de una o más representaciones digitales de material de película delgada mono-capa (101) y/o de pocas capas (102) en una serie de imágenes digitales (100), en el que

- la determinación (304) de un componente de color de fondo de la imagen digital (100) para cada uno de los componentes de color, y/o
- la determinación o estimación (306) de un componente de color de material de película delgada a ser identificado en la imagen digital (100) para cada uno de los componentes de color, se realiza para cada una de las imágenes digitales de la serie o se realiza una vez, en donde la determinación o las determinaciones se utilizan para imágenes digitales posteriores de la serie.

6. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 - 5, en el que el material de película delgada de la imagen digital (100) se encontraba en un sustrato dado, que tiene un espesor predeterminado, cuando se capturó la imagen digital y en donde la determinación (304) de un componente de color de fondo de la imagen digital (100) para cada uno de los componentes de color comprende

- proporcionar información predeterminada de un intervalo aproximado de un componente de color de fondo para cada uno de los componentes de color como una función del tipo particular y un espesor del sustrato dado.

7. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 - 6, en el que el método comprende, además,

- aplicar un filtro (302), p. ej., un filtro de mediana, a la imagen digital (100) para eliminar el ruido de alta frecuencia y/o el ruido de sal y pimienta antes de determinar (304) un componente de color de fondo de la imagen digital (100) para cada uno de los componentes de color,
- aplicar (303) una o más etapas de dilatación, seguidas de una o más etapas de erosión con el fin de mejorar la calidad de la imagen digital (100) para la identificación de material de película delgada,
- aplicar un umbral (307) en el que se descartan todos los píxeles de la imagen digital (100) a excepción de los píxeles que tienen, para cada uno de los componentes de color, un componente de color que está dentro de un segundo intervalo predeterminado del componente de color determinado o estimado del material de capa delgada a identificar que tiene el número dado de capas, y/o
- detectar bordes o un contorno (309) de al menos una parte de la imagen digital (100) que se ha identificado que es una o más representaciones digitales de material de película delgada mono-capa (101) y/o de pocas capas (102).

8. Un sistema (200) para la identificación automática de una o más representaciones digitales de un material de película delgada mono-capa (101) y/o de pocas capas (102) en una imagen digital (100), teniendo la imagen digital (100) un número predeterminado de componentes de color, en donde el sistema comprende una o más unidades de procesamiento (201) adaptadas para

- determinar un componente de color de fondo de la imagen digital (100) para cada uno de los componentes de color, y
- determinar o estimar un componente de color de un material de película delgada a ser identificado en la imagen digital (100) para cada uno de los componentes de color, teniendo el material de película delgada a ser identificado un número dado de capas que es al menos uno,

en el que una o más unidades de procesamiento (201) está adaptada para determinar o estimar un componente de color de un material de película delgada a identificar en la imagen digital (100) para cada uno de los componentes de color

- obteniendo un valor de contraste predeterminado para cada uno de los componentes de color y determinar o estimar el componente de color del material de película delgada a identificar y que tiene el número dado de capas para cada uno de los componentes de color multiplicando, para cada uno de los componentes de color, una diferencia numérica entre el valor de contraste predeterminado para un componente de color dado y aproximadamente 1 con el componente de color de fondo para el componente de color dado,

en el que las una o más unidades de procesamiento (201) está adaptada, además, para

- identificar una o más representaciones digitales de material de película delgada mono-capa (101) y/o de pocas capas (102) como puntos o partes de la imagen digital (100) que, para cada uno de los componentes de color, tiene un componente de color que está dentro de un intervalo predeterminado del componente de color determinado o estimado del material de película delgada a identificar con el número dado de capas, y

caracterizado por que el valor de contraste predeterminado obtenido para cada uno de los componentes de color se ha derivado como:

- la diferencia numérica entre la intensidad de color del fondo del componente de color dado y la intensidad de color del material de película delgada a identificar del componente de color dado, dividida por la intensidad de color del fondo del componente de color dado.

5

9. El sistema de acuerdo con la reivindicación 8, en donde el material de película delgada es grafeno.

10. El sistema de acuerdo con la reivindicación 8, en donde el material de película delgada es uno seleccionado del grupo de

- disulfuro de molibdeno,
- nitruro de boro hexagonal,
- Sb_2Te_3 ,
- $MoTe_2$,
- WS_2 ,
- $MoSe_2$,
- $TaSe_2$,
- Bi_2Te_3 ,
- $NbSe_2$, y
- $NiTe_2$.

10

15

11. El sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 8 - 10, en donde

- la imagen digital (100) es una imagen en escala de grises o se convierte en una imagen en escala de grises y el número de componentes de color es uno, o

20

- la imagen digital (100) es una imagen en color y el número de componentes de color es tres o más.

12. El sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 8 - 11, en donde el sistema está adaptado para identificar una o más representaciones digitales de material de película delgada mono-capa (101) y/o de pocas capas (102) en una serie de imágenes digitales (100), en donde

25

- la determinación de un componente de color de fondo de la imagen digital (100) para cada uno de los componentes de color, y/o
- la determinación o estimación de un componente de color de material de película delgada a ser identificado en la imagen digital (100) para cada uno de los componentes de color, se realiza para cada una de las imágenes digitales de la serie o se realiza una vez, en donde la determinación o las determinaciones se utilizan para imágenes digitales posteriores de la serie.

30

13. El sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 8 - 12, en el que el material de película delgada de la imagen digital (100) se encontraba en un sustrato dado, que tiene un espesor predeterminado, cuando se capturó la imagen digital, y en donde la una o más unidades de procesamiento (201) están adaptadas para determinar un componente de color de fondo de la imagen digital (100) para cada uno de los componentes de color

35

- proporcionando información predeterminada de un intervalo aproximado de un componente de color de fondo para cada uno de los componentes de color como una función del tipo particular y un espesor del sustrato dado.

14. El sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 8 - 13, en donde la una o más unidades de procesamiento (201) están adaptadas, además, para

40

- aplicar un filtro, p. ej., un filtro de mediana, a la imagen digital (100) para eliminar el ruido de alta frecuencia y/o el ruido de sal y pimienta antes de determinar un componente de color de fondo de la imagen digital (100) para cada uno de los componentes de color,
- aplicar una o más etapas de dilatación, seguidas de una o más etapas de erosión con el fin de mejorar la calidad de la imagen digital (100) para la identificación de material de película delgada,
- aplicar un umbral en el que se descartan todos los píxeles de la imagen digital (100) a excepción de los píxeles que tienen, para cada uno de los componentes de color, un componente de color que está

45

- dentro de un segundo intervalo predeterminado del componente de color determinado o estimado del material de capa delgada a identificar que tiene el número dado de capas, y/o
- detectar bordes o un contorno de al menos una parte de la imagen digital (100) que se ha identificado que es una o más representaciones digitales de material de película delgada mono-capa (101) y/o de pocas capas (102).
- 5

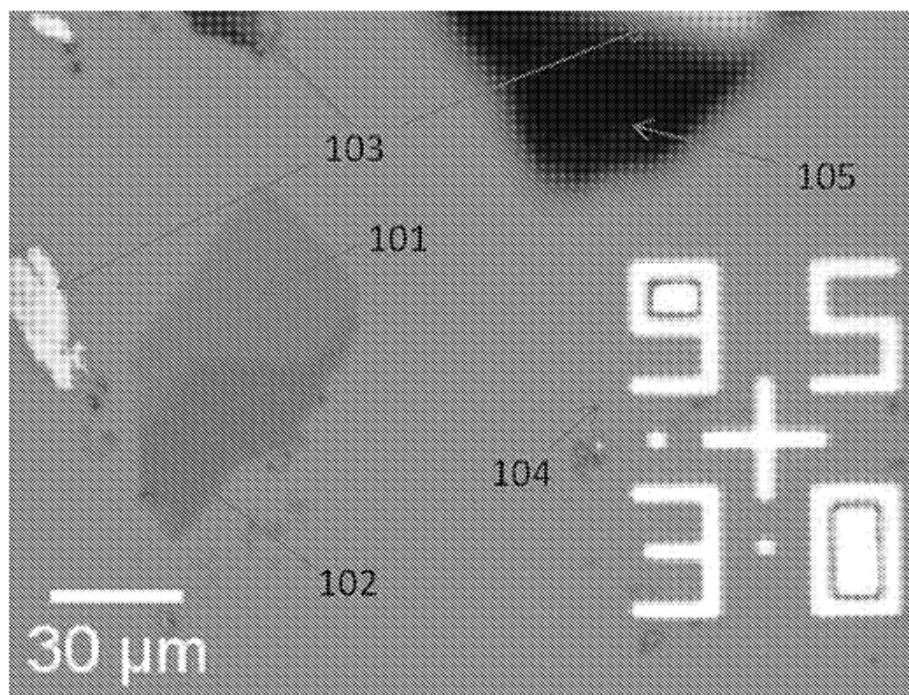


Figura 1

100

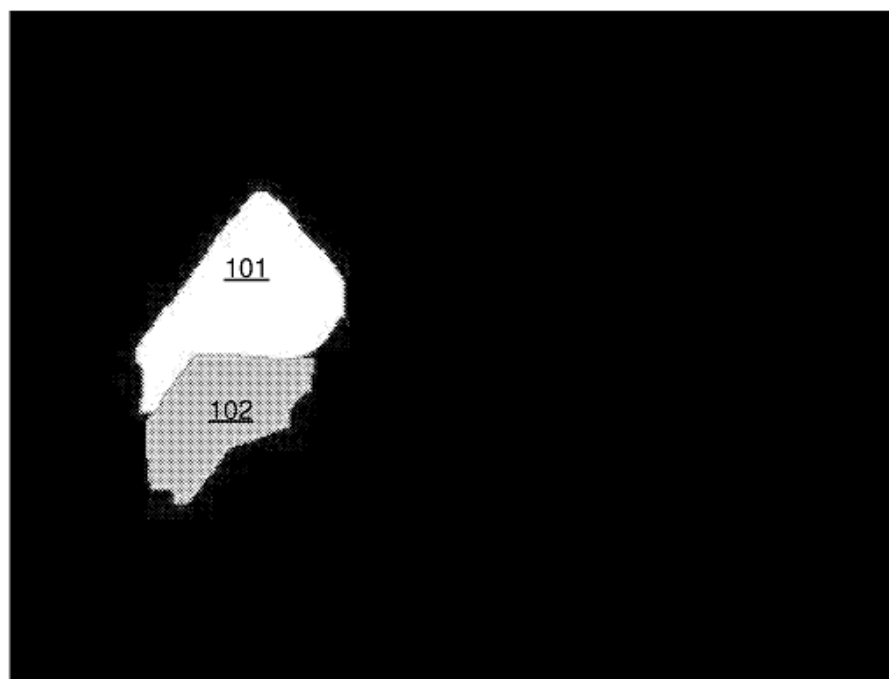
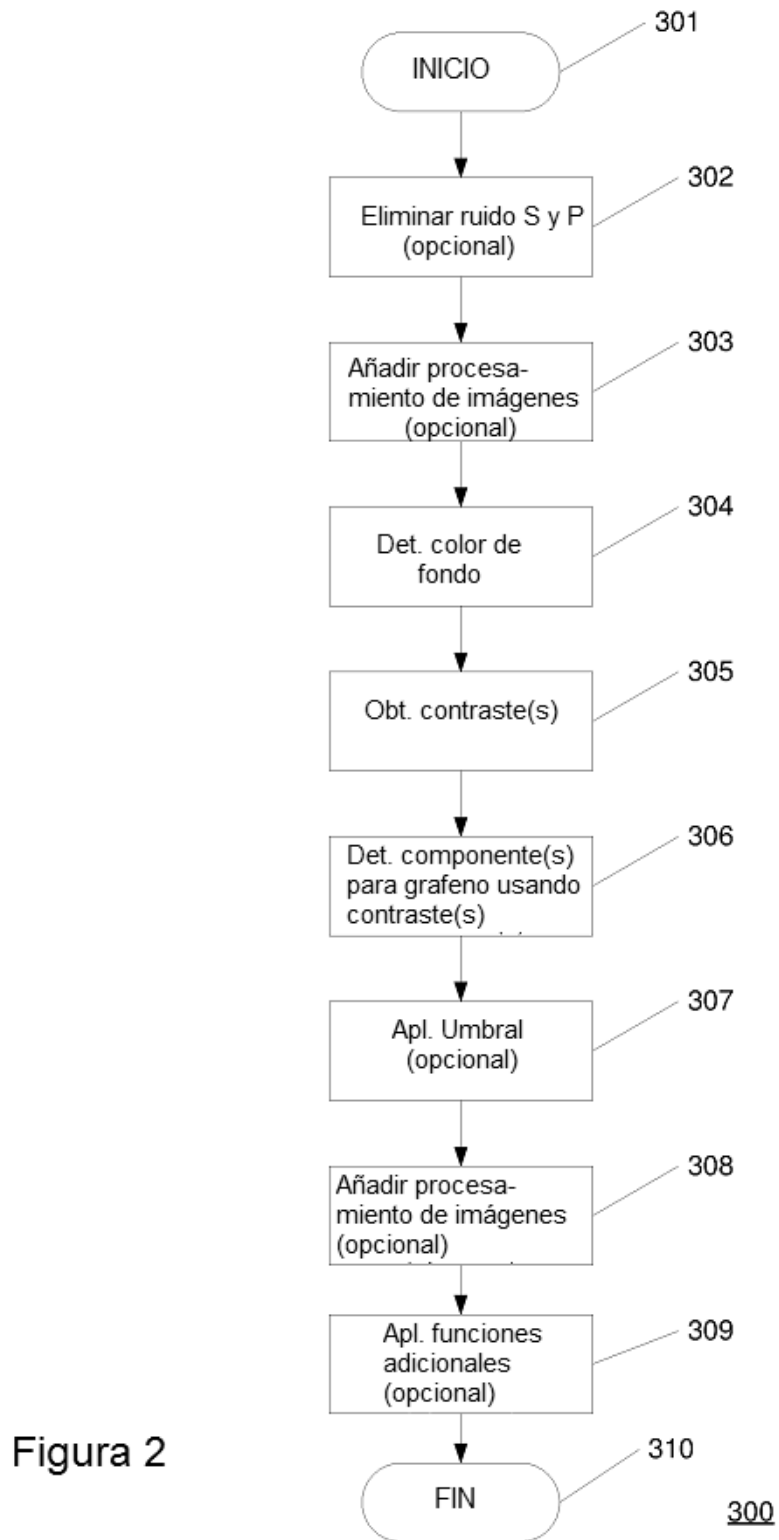


Figura 10

100



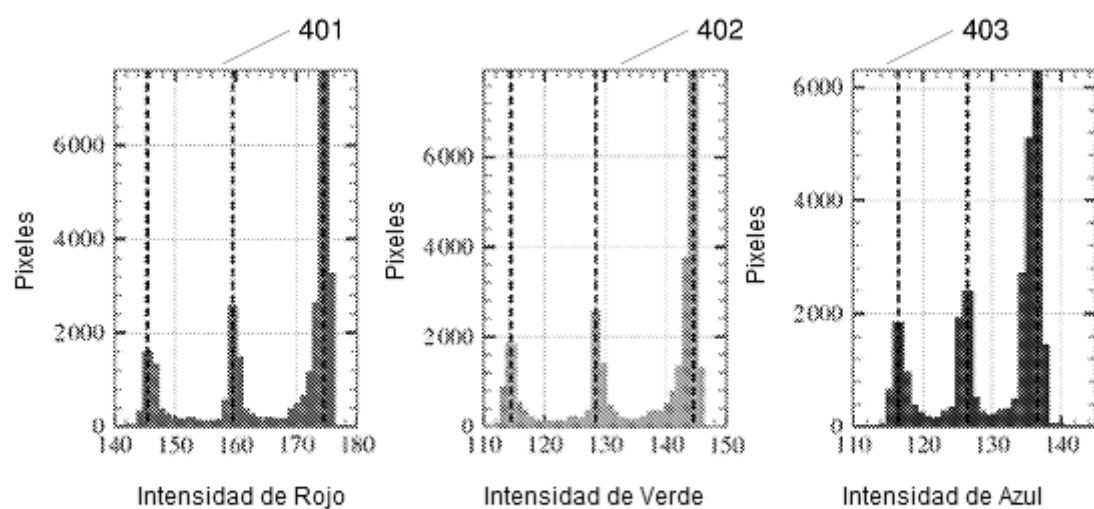


Figura 3

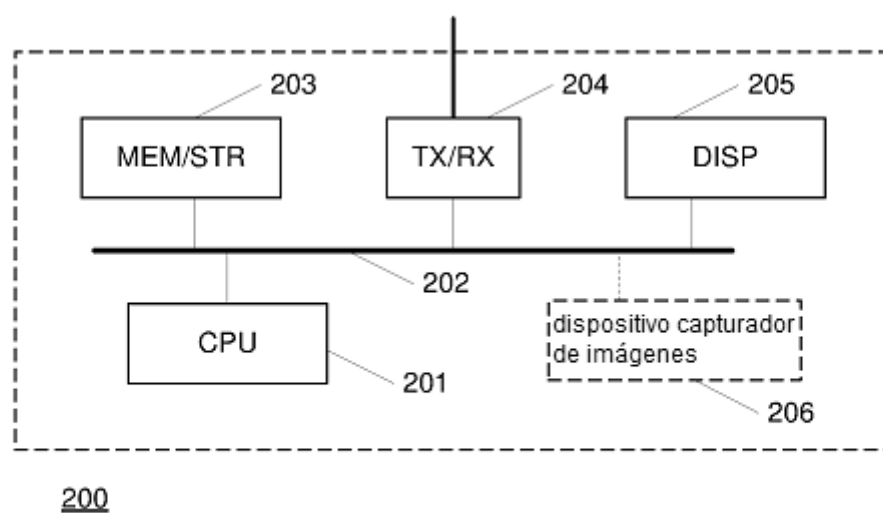
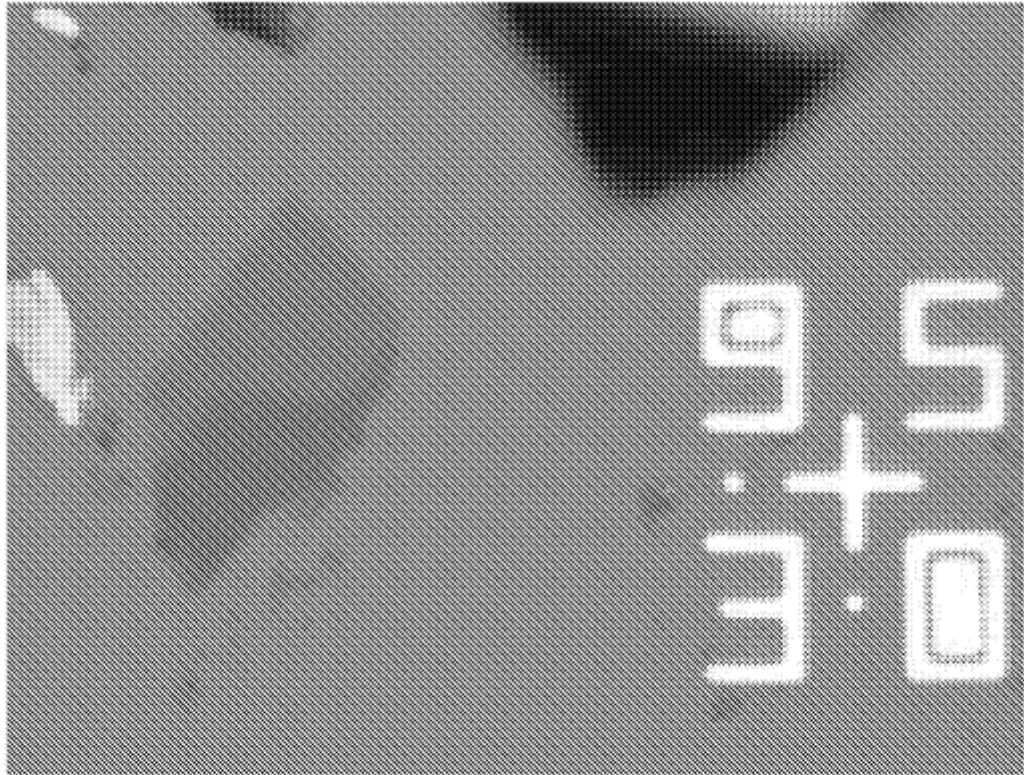


Figura 11



100

Figura 4

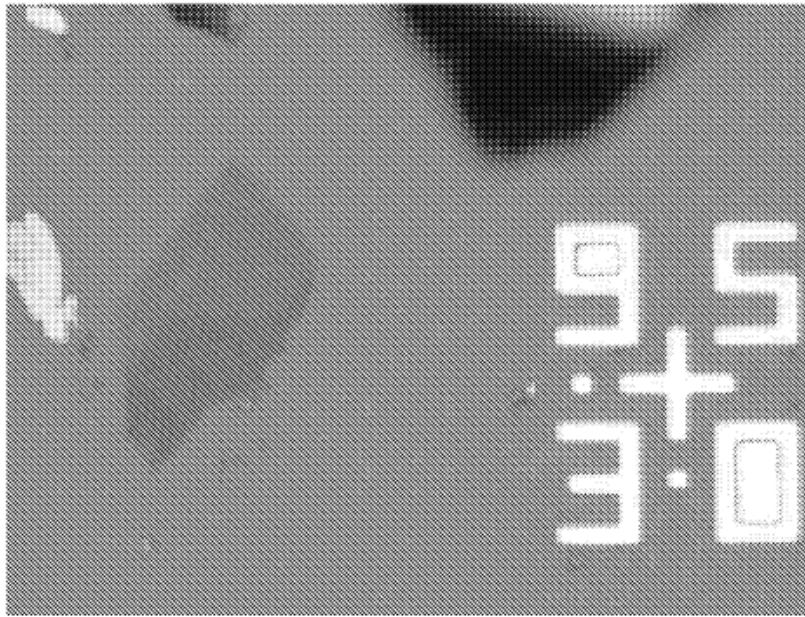


Figura 5a

100

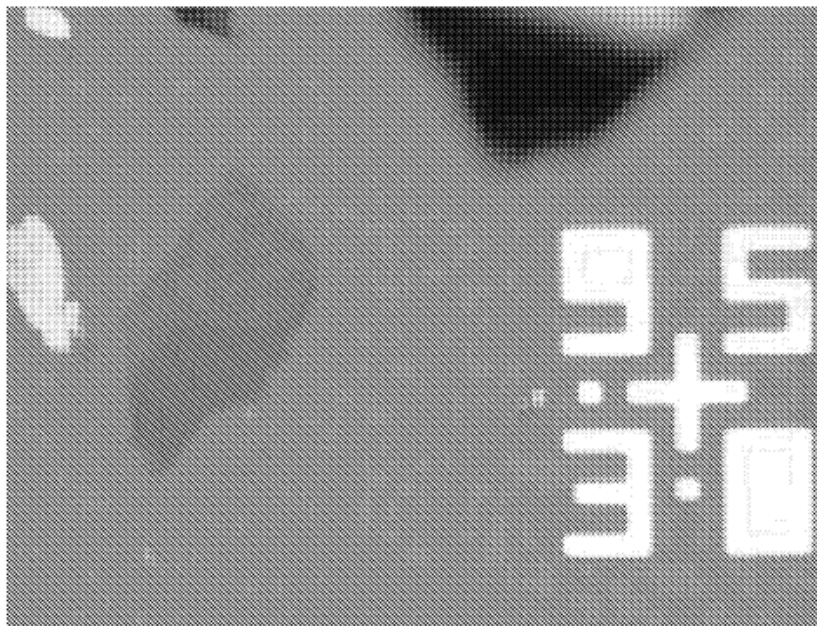


Figura 5b

100

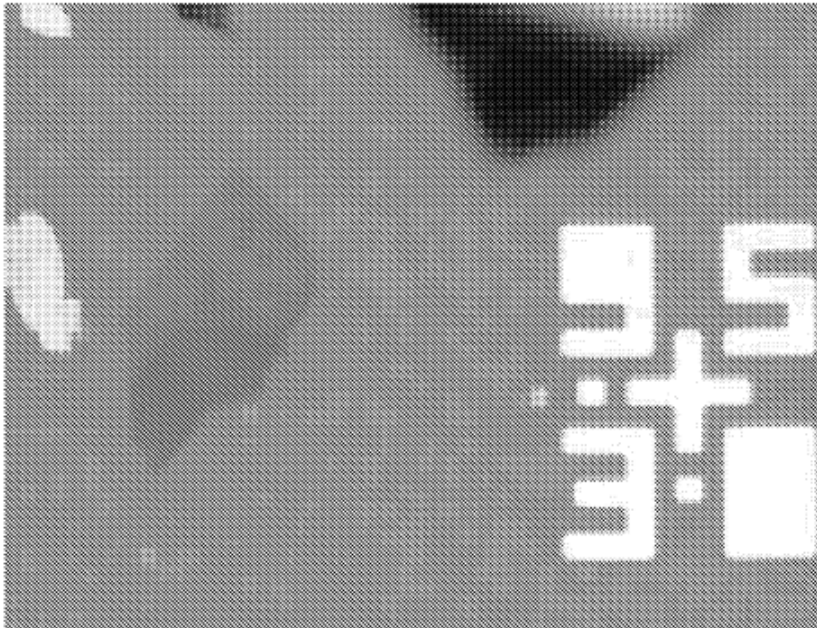


Figura 5c

100

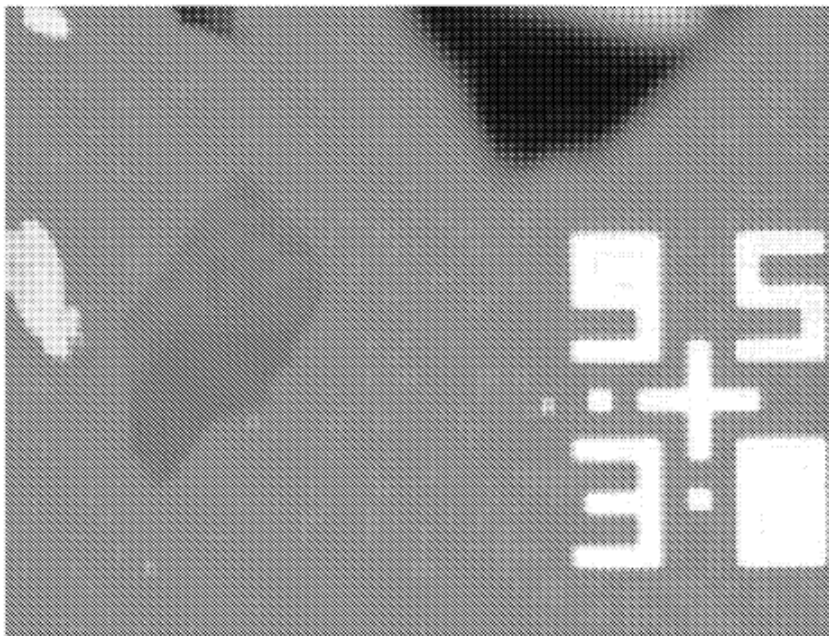


Figura 5d

100

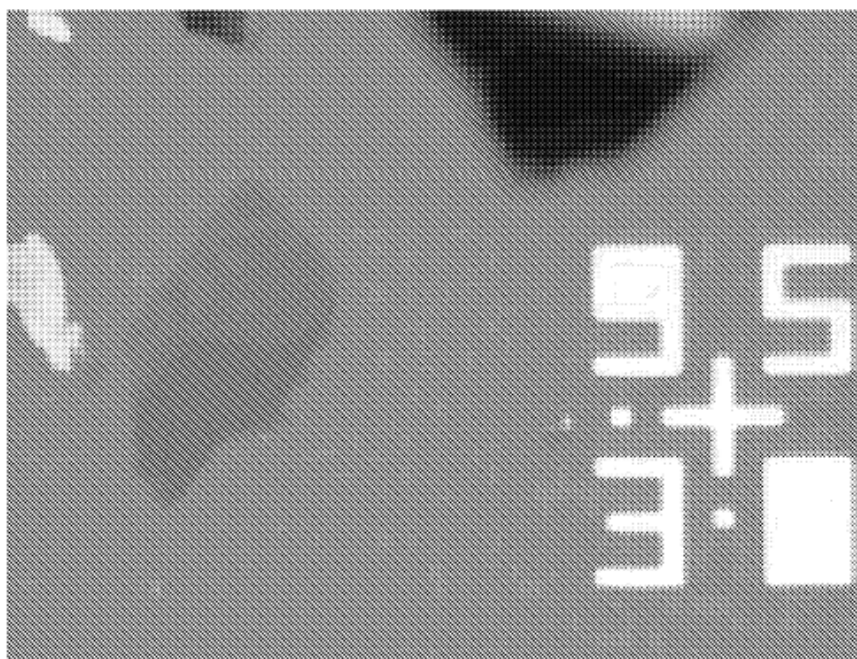


Figura 5e

100

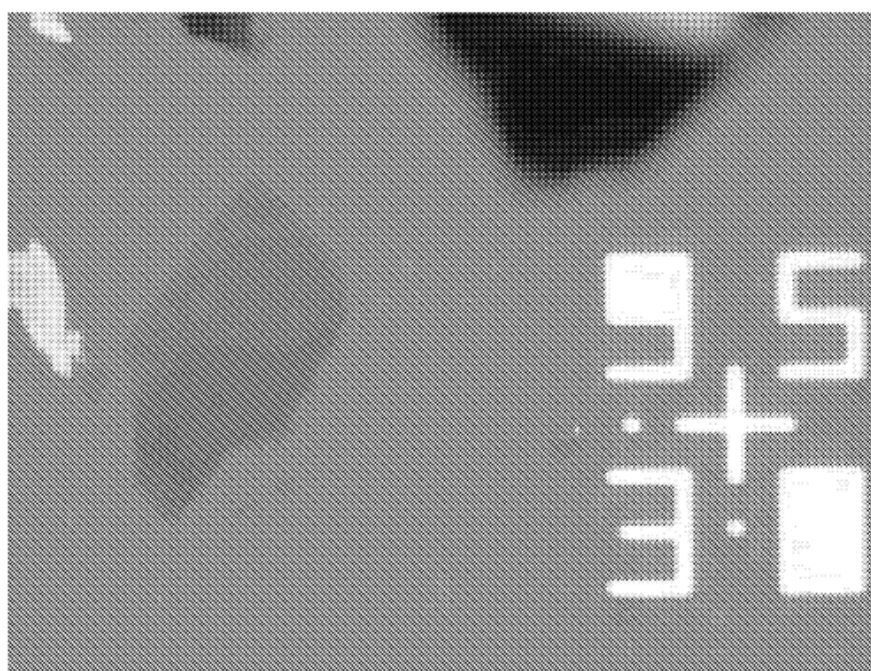


Figura 5f

100

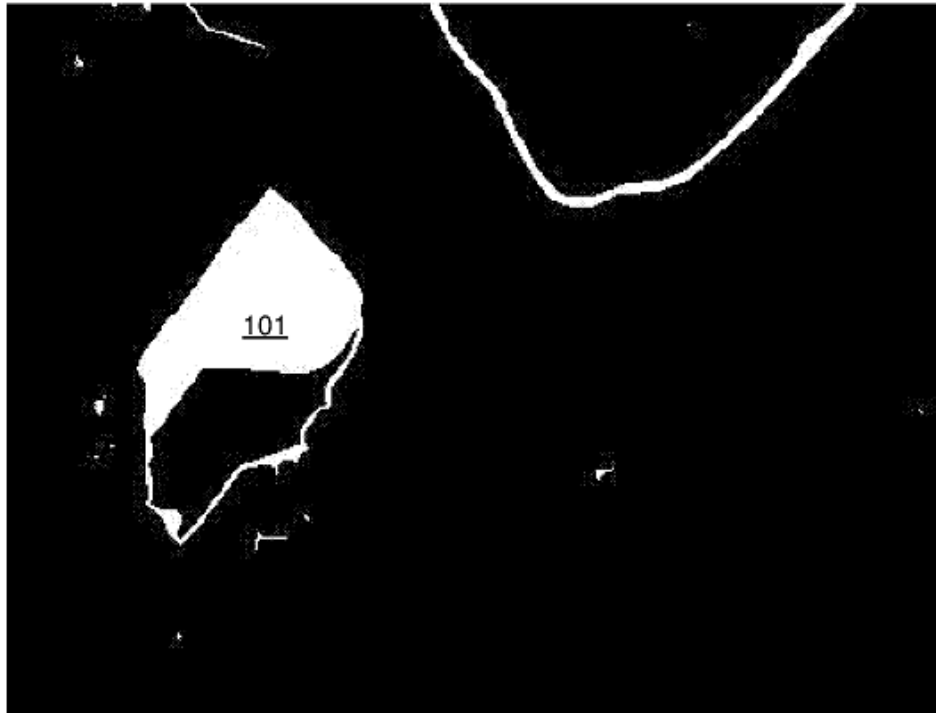


Figura 6

100

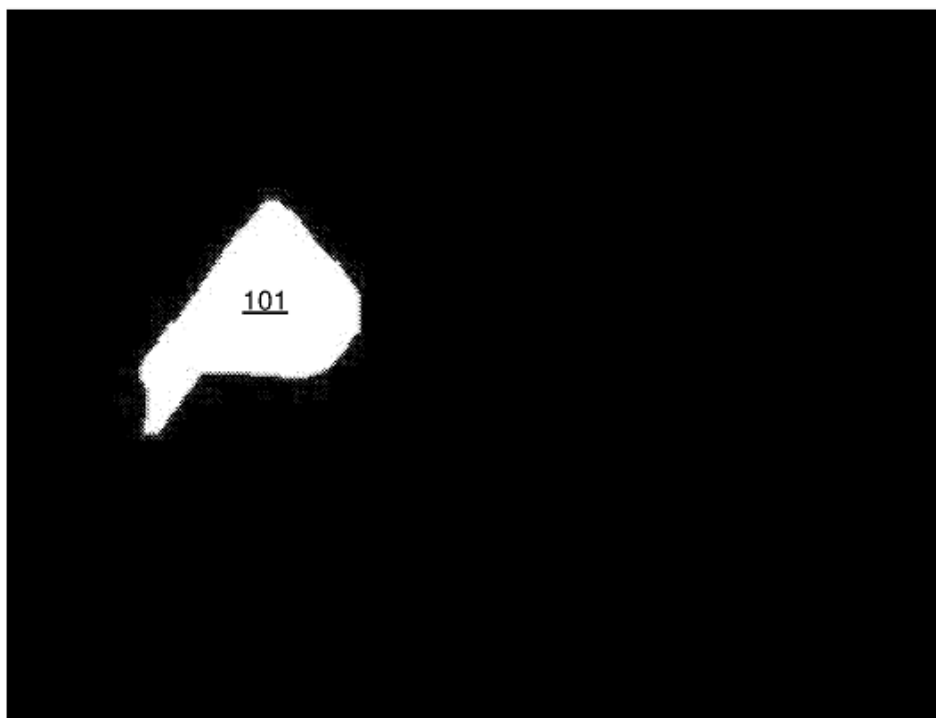


Figura 7

100

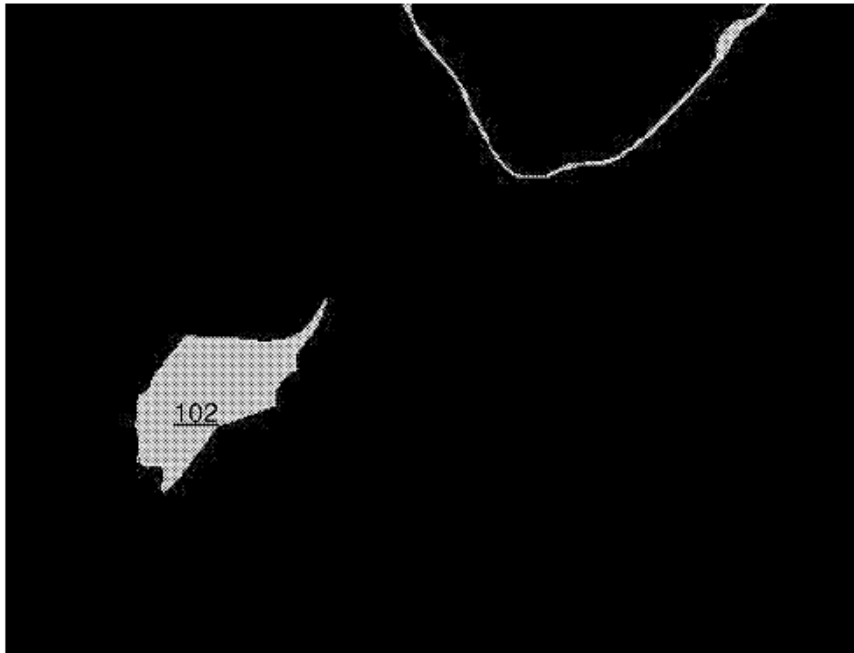


Figura 8

100

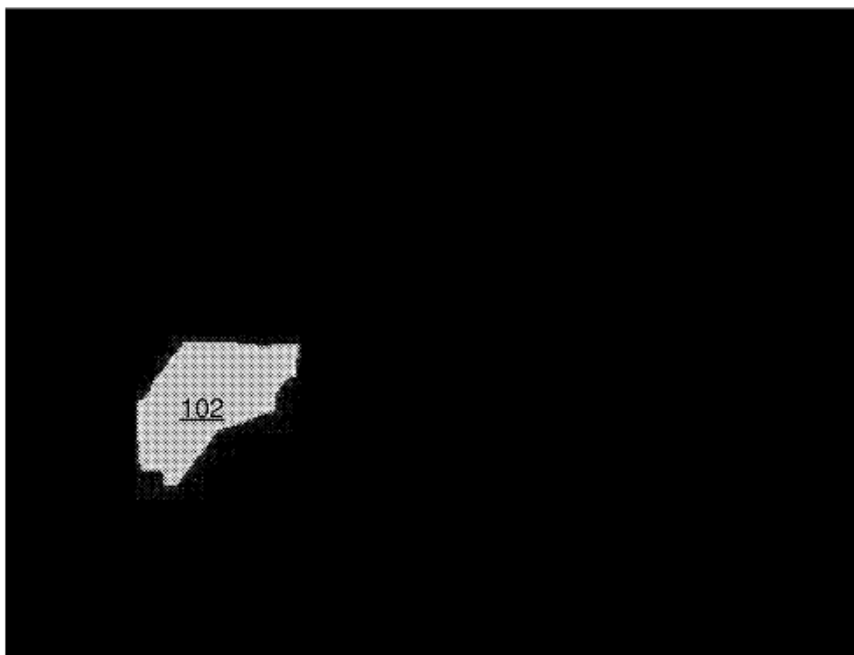


Figura 9

100