

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 755 707**

51 Int. Cl.:

B42D 25/36 (2014.01)

B42D 25/324 (2014.01)

B42D 25/305 (2014.01)

G02B 5/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **05.07.2016 PCT/EP2016/065877**

87 Fecha y número de publicación internacional: **26.01.2017 WO17012862**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.07.2016 E 16745418 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.08.2019 EP 3325280**

54 Título: **Dispositivo y procedimiento de codificación óptica de una imagen**

30 Prioridad:

23.07.2015 FR 1557021

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

23.04.2020

73 Titular/es:

**OFFICE NATIONAL D'ETUDES ET DE
RECHERCHES AÉROSPATIALES (100.0%)
Chemin de la Hunière
91120 Palaiseau, FR**

72 Inventor/es:

**BOUCHON, PATRICK;
JAECK, JULIEN;
MAKHSIYAN, MATHILDE y
HAÏDAR, RIAD**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 755 707 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

Dispositivo y procedimiento de codificación óptica de una imagen

5 Estado de la técnica

Campo técnico

10 La presente invención se refiere a un dispositivo de codificación óptica de una información espacial de tipo imagen, así como a un procedimiento de codificación óptica de una información de este tipo; la invención se aplica, en concreto, a la protección contra la falsificación de objetos de valor.

Estado de la técnica

15 Se conocen unos numerosos dispositivos para la protección contra la falsificación de objetos de valores, tales como unas joyas, frascos de perfume, ropas, tarjetas bancarias, billetes de banco.

20 Estos dispositivos comprenden, por ejemplo, unos elementos ópticos de seguridad que procuran unos efectos visuales variables en función del ángulo de incidencia y/o de observación, como unos elementos para difractar, unos hologramas, etc. De este modo, es posible por medio de estos elementos ópticos marcar los objetos de valor de forma segura por unas informaciones espaciales, por ejemplo, unas informaciones de identificación, tales como unas imágenes, unos caracteres alfanuméricos, etc.

25 De entre los elementos ópticos de seguridad, se conocen, igualmente, unos dispositivos plasmónicos que comprenden unas interfaces de metal-dieléctrico, estando la capa metálica estructurada en forma de redes para permitir el acoplamiento de una onda incidente de longitud de onda dada a un plasmón de superficie.

30 Por ejemplo, la solicitud de patente de los Estados Unidos US 20120015118 describe un método para el control del color de un metal, que implementa la excitación de plasmones de superficie sobre una interfaz de metal-dieléctrico cuando la interfaz está iluminada por una radiación óptica incidente. Este método se aplica, en concreto, para la protección contra la falsificación de objetos de valor, tales como unos billetes de banco. Más precisamente, la solicitud de patente citada más arriba describe la formación de un conjunto de estructuras metálicas de sublongitudes de onda, dispuestas de forma repetitiva y obtenidas, por ejemplo, por estampando de una superficie metálica, de tal modo que se permite el acoplamiento a una longitud de onda de resonancia dada de ondas luminosas incidentes con unos plasmones de superficie. El efecto óptico observado, fuertemente dependiente del ángulo de incidencia y/o de observación, comprende, en concreto, un cambio de color de la superficie metálica, que permite crear unos patrones metálicos de color variable sobre unos objetos de valor con unos fines estéticos y/o de protección contra la falsificación.

40 Sin embargo, una estructura de acoplamiento grabada en forma de una red necesita unas dimensiones del orden de una decena de longitudes de onda como mínimo para obtener un acoplamiento eficaz de una onda luminosa incidente con un plasmón de superficie, resultando el acoplamiento del efecto colectivo de las estructuras de sublongitudes de onda. El método descrito, de este modo, en la solicitud de los Estados Unidos US 20120015118, por este hecho, no está adaptada para la formación de dispositivos de marcado en miniatura de objetos a asegurar, de dimensiones normalmente inferiores a algunas decenas de micras, por ejemplo, para la protección contra la falsificación de objetos pequeños. Por otra parte, la dependencia angular del efecto visual obtenido puede ser una fuerte restricción para ciertas aplicaciones, como la bisutería o la joyería, donde se busca obtener unos colores independientes del ángulo de observación.

50 El documento WO 2013/039454 A1 describe un dispositivo de codificación óptica de misma naturaleza que el de la reivindicación 1, salvo que las nanoantenas son de tipo Aislante-Metal.

55 La publicación de CUI ET AL: "Plasmonic and metamaterial structures as electromagnetic absorbers" ("Estructuras plasmónicas y metamateriales como absorbentes electromagnéticos"), LASER PHOTONICS REV., vol. 8, n.º 4, 2014, páginas 495-520, Biblioteca en línea de Wiley [DOI: 10.1002/lpor.201400026], describe una estructura con unas nanoantenas plasmónicas de tipo MIM (Metal-Dieléctrico-Metal), pero que no codifica una imagen que comprende al menos dos píxeles de valores diferentes.

60 La presente descripción tiene como objetivo proponer un dispositivo de codificación óptica que permite la codificación espacial de datos sobre unas mallas elementales cuyas dimensiones pueden ser del orden de la longitud de onda, que permite, en concreto, la realización de dispositivos de marcado en miniatura para la protección contra la falsificación.

Resumen

65 Según un primer aspecto, la presente descripción se refiere a un dispositivo de codificación óptica de al menos una información espacial o "imagen", que se puede descomponer en píxeles definidos cada uno por una posición en la

imagen y al menos un valor, comprendiendo una imagen al menos dos píxeles de valores diferentes. El dispositivo de codificación está destinado a ser observado en al menos una primera banda espectral de observación y comprende un soporte y un conjunto de nanoantenas plasmónicas de tipo metal - dieléctrico - metal formadas sobre dicho soporte, tales que:

- 5
- cada nanoantena plasmónica es resonante a al menos una longitud de onda comprendida en dicha primera banda espectral de observación,
 - las nanoantenas plasmónicas están dispuestas espacialmente sobre el soporte, de tal modo que a un píxel de la imagen esté asociado un subconjunto de una o varias nanoantena(s) plasmónica(s) cuya respuesta óptica según una polarización y en una banda espectral comprendida en la primera banda espectral de observación corresponde a un valor de dicho píxel, formando el conjunto de las nanoantenas plasmónicas, de este modo, al menos una primera codificación espacial de dicha imagen en dicha primera banda espectral de observación.
- 10

De forma conocida, una nanoantena plasmónica es resonante a una longitud de onda dada λ_R , llamada longitud de onda de resonancia, si su longitud, medida según una dirección dada, es igual a $\lambda_R/2np$, donde n es el índice de refracción del material dieléctrico que forma la estructura metal - dieléctrico - metal, p es un entero natural no nulo.

15

Una nanoantena plasmónica de este tipo presenta una resonancia localizada, es decir, que es adecuada para generar una respuesta óptica en una banda espectral centrada alrededor de la longitud de onda de resonancia, sobre una sección eficaz cuya superficie es del orden del cuadrado de la longitud de onda de resonancia.

20

Por "respuesta óptica", en la presente descripción se entiende una respuesta óptica medida en campo lejano, es decir, a una distancia superior a dos veces la longitud de onda; la respuesta óptica puede resultar de una medición de un flujo luminoso reflejado o de la medición de un flujo emitido por el hecho de la emisión térmica de las nanoantenas.

25

De este modo, es posible gracias a una disposición de un conjunto de nanoantenas plasmónicas, codificar una información espacial que comprende un conjunto de "píxeles" (o elementos de información elemental) definidos cada uno por una posición y uno o varios valor(es): los parámetros geométricos (forma, dimensiones, orientación) de una nanoantena plasmónica dispuesta sobre el soporte en una posición dada se eligen para generar, en una banda espectral comprendida en la banda espectral de observación, una respuesta óptica correspondiente al valor de un píxel situado en una posición correspondiente en la imagen.

30

Un dispositivo de codificación de este tipo se puede observar en emisión (emisión térmica de las nanoantenas calentadas gracias una fuente de calor externa) o en reflexión (bajo iluminación con un flujo incidente dado). En este último caso, la absorción resonante de las nanoantenas se traduce en una modificación del espectro de la onda reflejada con respecto a la onda incidente.

35

La banda espectral de observación puede estar comprendida en un rango de longitudes de onda que van del UV (300 - 450 nm) al THz (hasta 300 micras).

40

Según uno o varios ejemplos de realización, la primera codificación espacial comprende una codificación en niveles de grises; los parámetros geométricos del subconjunto de una o varias nanoantena(s) asociado a un píxel se eligen para generar una respuesta óptica medida según una polarización y en una banda espectral dada comprendida en la banda espectral de observación, que presenta una intensidad relativa ("nivel de grises") variable en función de la posición y correspondiente al valor del píxel, él mismo definido como un nivel de grises en una escala de niveles de grises.

45

Según uno o varios ejemplos de realización, eligiéndose los materiales de los que están formadas las estructuras de metal-dieléctrico-metal que constituyen las nanoantenas, así como la forma de las nanoantenas, una variación de las dimensiones y/o de la orientación de las nanoantenas permite hacer variar la intensidad relativa de la respuesta óptica en una banda espectral dada y/o según una polarización dada degradando las condiciones óptimas de absorción o de emisión resonantes de las nanoantenas.

50

Según uno o varios ejemplos de realización, un subconjunto de nanoantenas plasmónicas asociado a un píxel comprende unas nanoantenas plasmónicas que presentan unas longitudes de onda de resonancia diferentes para una misma polarización; entonces, se obtiene una respuesta óptica en una banda espectral que recubre el conjunto de las longitudes de onda de resonancia que resulta de una síntesis aditiva de las respuestas ópticas de cada una de las nanoantenas, en el caso de una observación en emisión o se obtiene una respuesta óptica que resulta de una síntesis sustractiva de las respuestas ópticas de cada una de las nanoantenas, en el caso de una observación en reflexión. En este caso, se puede obtener una codificación en niveles de grises ajustando sobre la presencia o no de las nanoantenas resonantes a las diferentes longitudes de onda.

55

60

Según uno o varios ejemplos de realización, la primera codificación espacial es una codificación "en colores" de la imagen; presentando un píxel de la imagen al menos los valores primero y segundo definidos, por ejemplo, a unas longitudes de onda distintas, es posible asociar a cada píxel un subconjunto de nanoantenas que presentan según una polarización dada, al menos una primera y una segunda respuestas ópticas en respectivamente una primera y

65

una segunda bandas espectrales comprendidas en la primera banda espectral de observación, correspondiendo las respuestas primera y segunda ópticas a los valores primero y segundo del píxel, con el fin de reproducir la codificación en color de la imagen.

5 Según uno o varios ejemplos de realización, al menos una parte de las nanoantenas plasmónicas del conjunto de nanoantenas plasmónicas es resonante según una primera polarización y al menos una parte de las nanoantenas plasmónicas del conjunto de nanoantenas plasmónicas es resonante según una segunda polarización; en estos ejemplos, las nanoantenas plasmónicas pueden estar dispuestas espacialmente sobre el soporte, de tal modo que se forma una primera codificación espacial de una primera información espacial o imagen, observable según la primera polarización y una segunda codificación espacial de una segunda información espacial o imagen, observable según la segunda polarización.

15 Según uno o varios ejemplos de realización, al menos una parte de las nanoantenas plasmónicas del conjunto de nanoantenas plasmónicas es resonante en una primera banda espectral de observación y al menos una parte de las nanoantenas plasmónicas del conjunto de nanoantenas plasmónicas es resonante en una segunda banda espectral de observación; en estos ejemplos, las nanoantenas plasmónicas pueden estar dispuestas espacialmente sobre el soporte, de tal modo que se forma una primera codificación espacial de una primera información espacial o imagen, observable en la primera banda espectral de observación y una segunda codificación espacial de una segunda información espacial o imagen, observable en la segunda banda espectral de observación.

20 Según uno o varios ejemplos de realización, las nanoantenas plasmónicas están distribuidas según unas mallas elementales de formas y de dimensiones similares, comprendiendo cada malla elemental uno de dichos subconjuntos de una o varias nanoantena(s) plasmónica(s), correspondiendo las dimensiones de una malla elemental, por ejemplo, a las dimensiones de un píxel.

25 Según uno o varios ejemplos de realización, es posible dentro de una misma malla elemental, combinar unas nanoantenas plasmónicas que presentan unas longitudes de onda de resonancia diferentes para una misma polarización; entonces, se obtiene una respuesta óptica en una banda espectral que recubre el conjunto de las longitudes de onda de resonancia que resulta de una síntesis aditiva de las respuestas ópticas de cada una de las nanoantenas, en el caso de una observación en emisión o se obtiene una respuesta óptica que resulta de una síntesis sustractiva de las respuestas ópticas de cada una de las nanoantenas, en el caso de una observación en reflexión.

30 Según uno o varios ejemplos de realización, es posible, igualmente, dentro de una misma malla elemental, combinar unas nanoantenas plasmónicas que presentan unas longitudes de onda de resonancia diferentes para unas polarizaciones ortogonales. De este modo, es posible codificar una primera información espacial según una primera polarización y una segunda información espacial según una segunda polarización.

35 Según uno o varios ejemplos de realización, las nanoantenas plasmónicas están distribuidas según unas primeras mallas elementales de formas y de dimensiones similares, presentando cada una de las primeras mallas elementales una respuesta óptica en una primera banda espectral de observación y las primeras mallas elementales están distribuidas según unas segundas mallas elementales de formas y de dimensiones similares, presentando cada una de las segundas mallas elementales una respuesta óptica en una segunda banda espectral de observación. Esta variante permite, en concreto, la codificación de dos informaciones espaciales en dos bandas espectrales de observación diferentes.

40 Según uno o varios ejemplos de realización, las nanoantenas plasmónicas están distribuidas espacialmente sobre el sustrato para codificar al menos en una primera banda espectral de observación y según una polarización dada una información espacial o imagen, que forma un código QR.

45 Según uno o varios ejemplos de realización, las nanoantenas plasmónicas están distribuidas espacialmente sobre el sustrato para codificar al menos en una primera banda espectral de observación y según una polarización dada una información espacial o imagen, que forma un patrón reconocible.

50 Según uno o varios ejemplos de realización, el conjunto de las nanoantenas plasmónicas comprende una primera capa metálica continua, una segunda capa continua de material dieléctrico formada sobre la primera capa metálica, una tercera capa metálica estructurada para formar localmente unas superposiciones de metal-dieléctrico-metal que forman las nanoantenas plasmónicas. Un dispositivo de codificación constituido, de este modo, se puede realizar por medio de procedimientos simples y dominados de forma industrial por unas técnicas de "nanoimpresión".

55 Por material dieléctrico, se entiende cualquier material o combinación de materiales cuya parte imaginaria del índice no exceda de 0,2 en la banda espectral de interés.

60 Según uno o varios ejemplos de realización, el dispositivo de codificación comprende, además, un sustrato que forma el soporte y sobre el que está depositada la primera capa continua de material metálico.

65 Alternativamente, el soporte puede estar formado directamente por la primera capa de material metálico. De este

modo, por ejemplo, el soporte puede estar formado directamente por una parte metálica de un objeto a asegurar.

Alternativamente, el soporte puede estar formado directamente por la segunda capa de material dieléctrico, para unos dispositivos de codificación de dimensiones laterales reducidas por el hecho del espesor limitado de la segunda capa de material dieléctrico (normalmente inferior a la décima parte de la longitud de onda mínima de la banda espectral de observación considerada).

Según un segundo aspecto, la presente descripción se refiere a un objeto seguro provisto de un dispositivo de codificación según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores. El objeto seguro es, por ejemplo, un objeto elegido de entre una de las siguientes categorías: joyas, frascos de perfume, ropas, tarjetas bancarias, billetes de banco, documentos de identidad (tarjetas de identidad, pasaportes, permisos de conducir, etc.) o cualquier documento de valor (cheques regalo, etc.).

Según un tercer aspecto, la presente descripción se refiere a un procedimiento de codificación de una información espacial o imagen, en una banda espectral de observación dada, por medio de un dispositivo de codificación según el primer aspecto.

Según uno o varios ejemplos de realización, el procedimiento de codificación comprende:

- la descomposición de la imagen en píxeles, presentando cada píxel una posición en la imagen;
- la asignación a cada píxel de al menos un valor de píxel;
- para cada píxel, la determinación de un subconjunto de una o varias nanoantena(s) plasmónica(s) cuya respuesta óptica según una polarización y en una banda espectral comprendida en la banda espectral de observación corresponde al valor del píxel;
- la realización de las estructuras de metal-dieléctrico-metal sobre el soporte para la formación del conjunto de las nanoantenas.

Según uno o varios ejemplos de realización, estando la imagen descompuesta en píxeles de formas y de dimensiones idénticas, el procedimiento de codificación comprende para cada píxel la determinación de una malla elemental definida por una posición sobre el soporte, una forma y una dimensión respectivamente correspondientes a la posición del píxel en la imagen, la forma y la dimensión del píxel y, para cada malla elemental, la determinación de dicho conjunto de nanoantenas cuya respuesta óptica es igual al valor del píxel.

Breve descripción de los dibujos

Otras ventajas y características de la invención aparecerán a la lectura de la descripción, ilustrada por las siguientes figuras:

- FIG. 1A y 1B, unos esquemas que ilustran dos ejemplos de dispositivos de codificación según la presente descripción;
- FIG. 2A y 2B, respectivamente un esquema que muestra un ejemplo de una malla elemental de un dispositivo de codificación y una vista en corte de dicha malla elemental;
- FIG. 2C a 2E, unas curvas que muestran respectivamente la emisión y la absorción normalizadas de nanoantenas plasmónicas, para diferentes valores de longitudes de onda de resonancia en la banda de 3 - 5 μm ; la luminancia del cuerpo negro comparada con unas curvas de emisión de nanoantenas plasmónicas, a diferentes valores de longitudes de onda de resonancia; un ejemplo de valores en niveles de grises de la respuesta óptica en función del ancho de nanoantenas plasmónicas, en el caso de nanoantenas de forma paralelepípedica rectángulo;
- FIG. 3A a 3H, unos esquemas que ilustran unos patrones elementales de nanoantenas MDM, adaptados para la formación de un dispositivo de codificación según la presente descripción;
- FIG. 4A a 4D, unos esquemas que ilustran unos patrones formados por combinaciones de antenas MDM para la formación de mallas elementales de un dispositivo de codificación según la presente descripción;
- FIG. 5A y 5B, respectivamente un ejemplo de dispositivo de codificación según la presente descripción formado por un conjunto de mallas elementales que comprenden unas nanoantenas resonantes según dos polarizaciones ortogonales y las respuestas ópticas de cada una de las mallas elementales observadas en la banda de 8 - 12 micras, según cada una de las polarizaciones;
- FIG. 6, un ejemplo de dispositivo de codificación según la presente descripción formado por un conjunto de mallas elementales que comprenden unas nanoantenas resonantes según dos polarizaciones ortogonales y dispuestas para codificar un código QR, según un ejemplo de realización de la presente descripción;
- FIG. 7A a 7D, las respuestas ópticas del dispositivo de codificación que codifica el código QR ilustrado en la figura 6, según cada una de las polarizaciones y en dos bandas espectrales;
- FIG. 8A, una primera respuesta, según una primera polarización y en una primera banda espectral, de un dispositivo de codificación según la presente descripción observado en emisión, comprendiendo el dispositivo de codificación un conjunto de mallas elementales que comprenden unas nanoantenas resonantes según dos polarizaciones ortogonales y dispuestas para codificar una primera imagen según una polarización y una segunda imagen según una segunda polarización;
- FIG. 8B, la respuesta óptica, según la segunda polarización y en la primera banda espectral, del dispositivo de

- codificación cuya una primera respuesta se ilustra en la figura 8A, observado en emisión;
- FIG. 9A a 9E, las respuestas ópticas, según la segunda polarización y en unas subbandas espectrales de la primera banda espectral, del dispositivo de codificación cuya una primera respuesta se ilustra en la figura 8A, observado en emisión.
- 5 - FIG. 10, las etapas de un procedimiento de codificación según un ejemplo de la presente descripción.
- FIG. 11A y 11B, dos esquemas que ilustran unos dispositivos adaptados para la autenticación de un objeto seguro respectivamente en reflexión, con una fuente de iluminación y en emisión, con unos medios de calentamiento.

Descripción detallada

10

Las Figuras 1A y 1B ilustran dos ejemplos de dispositivos de codificación según la presente descripción.

El dispositivo de codificación 10 comprende, en cada uno de estos ejemplos, un sustrato 11 que forma soporte, una primera capa metálica 12 continua, depositada sobre dicho sustrato, una capa de material dieléctrico 13 depositada sobre la capa de material metálico 12 y una segunda capa metálica estructurada para formar un conjunto de "terminales" metálicos 400 cuyas características geométricas se eligen de tal modo que se forman, con la capa 13 de material dieléctrico, unas estructuras de metal-dieléctrico-metal (MDM) que forman cada una una nanoantena plasmónica y que se describirán con más detalle a continuación.

20 El sustrato se elige, por ejemplo, de vidrio, silicio o plástico.

El material dieléctrico se elige de entre cualquier material o combinación de materiales cuya parte imaginaria del índice no exceda de 0,2 en la banda espectral de interés y que, preferentemente, no presenta absorción. Por ejemplo, la capa de material dieléctrico comprende un óxido (p. ej., sílice (SiO₂), óxido de titanio (TiO₂), óxido de magnesio (MgO₂), alúmina (Al₂O₃), sulfuro de zinc (ZnS), un vidrio, un material plástico o una resina (p. ej., polimetilmetacrilato (PMMA), tereftalato de polietileno (PET), Kapton, benzociclobuteno (BCB)...), un material textil (p. ej., seda) o una combinación de dos capas o más de estos materiales, que consta o no de una capa de aire. Estos materiales permiten cubrir el campo espectral del UV hasta el THz.

30 Las primera y segunda capas metálicas se eligen, por ejemplo, de oro, aluminio, cobre o plata. El aluminio y la plata permiten extender el funcionamiento del dispositivo de codificación al campo del UV (300-450 nm) y todos estos materiales funcionan de lo visible hasta el THz (normalmente 300 μm).

Según otro ejemplo de realización (no representado en las figuras), el soporte puede estar formado por una o la otra de la capa metálica 12 y de la capa de material dieléctrico 13, en cuyo caso el sustrato 11 no es necesario. Cuando se trata de un objeto a asegurar por medio del dispositivo de codificación según la presente descripción, la capa metálica 12 continua puede estar formada por una parte metálica de dicho objeto y formar soporte.

40 Como se ilustra esto en las figuras 1A y 1B, las características geométricas de los terminales 400 (forma, dimensiones, orientación) se eligen en función de su posición en el plano del soporte para codificar una información espacial o "imagen" formada por un conjunto de píxeles definidos por una posición y uno o varios valores (p. ej., nivel de grises, color).

Más precisamente, en los ejemplos de realización ilustrados en las figuras 1A y 1B, los terminales 400 están agrupados en forma de un conjunto de mallas elementales 100 de formas y de dimensiones similares, distribuidas de forma regular sobre el sustrato. Las formas de las mallas elementales pueden ser diversas: cuadrados, rectangulares, triangulares, hexagonales, octogonales, etc. Las mallas elementales corresponden cada una a un "píxel" de la información espacial que se busca codificar y, por este hecho, sus dimensiones están adaptadas para las dimensiones de los píxeles. En la práctica, las dimensiones de los píxeles se pueden elegir en función del dispositivo destinado a autenticar el dispositivo de codificación y, más precisamente, del detector y del objetivo de formación de la imagen sobre el detector. De este modo, las dimensiones mínimas de los píxeles serán del orden de la mitad de la longitud de onda máxima de la banda espectral de observación, lo que corresponde al límite de difracción del objetivo de formación de imágenes. En función de la dimensión de una malla elemental, podrá haber una o un subconjunto de nanoantenas por malla elemental, resonantes a una misma longitud de onda o a diferentes longitudes de onda.

55 En los ejemplos de las figuras 1A y 1B, cada malla elemental comprende un subconjunto de terminales 400 que forman unas nanoantenas plasmónicas. Las terminales son unos paralelepípedos rectángulos cuya longitud define la longitud de onda de resonancia. Están orientados según una dirección en el ejemplo de la figura 1A, mientras que en el ejemplo de la figura 1B, los terminales son unos paralelepípedos rectángulos orientados según dos direcciones perpendiculares.

65 En el ejemplo de la figura 1A, la respuesta óptica se observa según una polarización y resulta de una síntesis aditiva de las respuestas ópticas de cada una de las nanoantenas, en el caso de una observación en emisión o resulta de una síntesis sustractiva de las respuestas ópticas de cada una de las nanoantenas, en el caso de una observación en reflexión.

La respuesta óptica de una malla elemental en el caso del ejemplo de la figura 1B difiere según si se observa el dispositivo de codificación en polarización TM o TE y resulta, como en el ejemplo de la figura 1A, de una síntesis aditiva o sustractiva de las respuestas de cada nanoantena de la malla elemental, según una o la otra de las polarizaciones. Un dispositivo de codificación tal como se representa en la figura 1B permite, de este modo, la

5 codificación de dos informaciones espaciales, una primera información espacial según una primera polarización y una segunda información espacial según una segunda polarización. En la práctica, la observación de un dispositivo de codificación tal como se representa en la figura 1B y que codifica las primera y segunda informaciones espaciales se puede hacer en reflexión o en emisión a través de un polarizador cuyo eje está orientado según una o la otra de las polarizaciones.

10 Las figuras 2A y 2B ilustran respectivamente un esquema de una malla elemental 101 de un dispositivo de codificación tal como se ilustra en las figuras 1A o 1B y una vista en corte de esta malla elemental.

15 En este ejemplo, la malla elemental es cuadrada y presenta un lado de dimensión A. En la malla elemental 101 están dispuestos dos terminales metálicos 401, 402 de forma paralelepípedica, de dimensiones respectivas (L_1, w_1) , (L_2, w_2) , separadas por una distancia d, orientados según una misma dirección que define la polarización de la onda absorbida (o emitida). La figura 2B representa una vista en corte al nivel del terminal 401.

20 La altura de los terminales es ventajosamente superior al espesor de piel del metal (normalmente 25 nm para el oro de 600 nm a 12 μm), con el fin de evitar las fugas de la cavidad MDM mediante la capa metálica superior.

25 Se conoce que una estructura de metal - dieléctrico - metal formada, de este modo, al nivel de cada uno de los terminales metálicos 401, 402 forma una nanoantena plasmónica que presenta una longitud de onda de resonancia (respectivamente λ_{R1} , λ_{R2}) función de la longitud de la nanoantena (respectivamente L_1 , L_2) y de la elección del material dieléctrico. Se muestra que en primera aproximación (véase, por ejemplo, Cui et al., Laser & Photonics Review p. 500 - 502 (2014)), la longitud L_i de una nanoantena rectangular fija la longitud de onda de resonancia λ_{Ri} con un 10 % de aproximación según la ecuación (1) de más abajo:

$$\lambda_{Ri} \approx 2 n_D L_i \quad (1)$$

30 Donde n_D es el índice de refracción del material dieléctrico.

35 Una nanoantena de este tipo presenta una absorción extraordinaria de una onda incidente a dicha longitud de onda y para una polarización denominada transversal (TE) de la onda luminosa incidente, es decir, para el componente de la onda luminosa incidente cuyo campo magnético **H** es perpendicular a la dirección de la nanoantena según la que se mide la longitud L_i (véase figura 2A). Una nanoantena de este tipo presenta, igualmente, una emisión extraordinaria a dicha longitud de onda de una onda luminosa que presenta una polarización transversal, siendo la respuesta en emisión (o luminancia) de la nanoantena a una temperatura T dada el producto de la emisión resonante (emisividad) con la emisión del cuerpo negro a la temperatura T (luminancia del cuerpo negro).

40 La figura 2C ilustra, de este modo, unas curvas que muestran la absorción (en punteado) y la emisión (trazo completo) de nanoantenas plasmónicas que presentan diferentes longitudes de onda de resonancia.

45 La figura 2D representa la curva de luminancia del cuerpo negro a 373 K y unas nanoantenas plasmónicas de tipo MDM optimizadas para absorber un 100 % del flujo (emisividad de 1) a diferentes longitudes de onda de resonancia (4, 4,5, 5, 5,5 y 6 μm).

50 El factor de calidad Q de una nanoantena de este tipo, igual a la relación entre la longitud de onda de resonancia λ_{Ri} y el ancho a media altura de la resonancia (FWHM), una vez elegidos los materiales, depende de forma conocida de varios parámetros geométricos, tales como el espesor e de la capa de material dieléctrico, el ancho l y la longitud L de la nanoantena. Trabajando con un espesor e dado de la capa de material dieléctrico, comprendido entre $\lambda_{Ri} / 100$ y $\lambda_{Ri} / 5$, de este modo, es posible hacer variar la respuesta óptica en reflexión o en emisión de una nanoantena a una longitud de onda de observación dada, de un 0 % a un 100 % y según una polarización dada, jugando con el ancho, la longitud o la orientación. La determinación de estos parámetros para obtener una respuesta dada se puede hacer

55 por medio de softwares de cálculo conocidos, como el software Comsol®.

Por lo tanto, el campo espectral de funcionamiento de una nanoantena no depende más que de la elección del material dieléctrico y puede ir del UV (a partir de 350 nm) al THz (hasta 300 μm).

60 En el ejemplo ilustrado en la figura 2A, la elección de dos terminales metálicos dispuestos en la misma dirección, pero de longitudes diferentes permite una resonancia de las nanoantenas formadas, de este modo, a dos longitudes de onda de resonancia diferentes, para una misma polarización. De ello resulta al nivel de la malla 101 una respuesta óptica que es una síntesis aditiva o sustractiva de las respuestas de cada una de las nanoantenas, según si el dispositivo de codificación se observa en emisión o en reflexión, de las respuestas de las dos nanoantenas formadas

65 por los terminales 401, 402.

De este modo, por medio de las nanoantenas de forma paralelepípedica rectángulo, tales como se describen en las figuras 2A y 2B o en los ejemplos de las figuras 1A y 1B, es posible realizar una codificación de una o varias informaciones espaciales, en colores o en nivel de grises, para una observación en reflexión o en emisión, según una polarización dada y/o a una longitud de onda dada o en un rango de observación dado. Los párrafos que siguen dan unos ejemplos de codificación en niveles de grises o en colores, que utilizan unas nanoantenas de forma rectangular.

Ejemplos de codificación de una información espacial en nivel de grises:

Se parte de una imagen en niveles de grises, por ejemplo, una imagen bidimensional, pixelada. Por lo tanto, a cada píxel está asociado un valor de píxel, que es un nivel de grises.

Según una primera variante, se busca reproducir este nivel de grises en reflexión o en emisión en una banda espectral de medición centrada sobre una longitud de onda λ comprendida en la banda espectral de observación.

Según una primera variante, la banda espectral de medición presenta un ancho normalmente de $\lambda/10$ y correspondiente al ancho de la respuesta de una nanoantena resonante a la longitud de onda de observación (véase figura 2C). En la práctica, la medición se puede hacer a través de un filtro apropiado.

Para obtener el nivel de grises, según este ejemplo, se utiliza una nanoantena de tipo metal-dieléctrico-metal de forma rectangular, como se ha descrito anteriormente. La longitud L de la nanoantena fija la longitud de onda del máximo de absorción o de emisión térmica (véase ecuación 1).

Eligiendo adecuadamente el espesor del dieléctrico (que, a continuación, es un parámetro fijo para todas las nanoantenas), de este modo, es posible según un primer ejemplo obtener todos los niveles de absorción o de emisión de un "0 %" a un "100 %" modificando el ancho de la nanoantena, lo que arrastra de forma conocida una modificación de la eficacia de la nanoantena con respecto a un ancho calculado para optimizar la respuesta. Por ejemplo, en absorción, el nivel de un "0 %" podrá corresponder en la práctica, en el mejor de los casos, a la absorción residual del metal, normalmente del orden de un 5 % en lo visible, un 2 - 3 % en lo infrarrojo y un 1 % en el THz, pero con una variabilidad que depende de la naturaleza del metal.

La figura 2E muestra, de este modo, unas respuestas ópticas medidas en reflexión a $4,2 \mu\text{m}$ en función del ancho w de nanoantenas plasmónicas para una nanoantena de longitud $1,2 \mu\text{m}$, un material dieléctrico de sílice (espesor 220 nm, índice 1,4). En este ejemplo, el metal es oro y la capa metálica continua presenta un espesor uniforme superior a 100 nm, por lo tanto, ópticamente opaco. Se observa en este ejemplo que para un ancho de la nanoantena de aproximadamente 100 nm, la reflexión es mínima (la absorción es máxima); haciendo variar el ancho, se aumenta la reflexión, resultando este aumento de una peor absorción por la nanoantena.

El píxel se puede codificar sobre una malla elemental cuyas dimensiones mínimas son de $\lambda/2$, correspondiente al límite de difracción por debajo del que no se podrá atribuir estructuración de campo lejano. Si se busca tener un píxel de lado más grande que λ , se pueden poner varias nanoantenas por malla elementales. Por ejemplo, si se busca un píxel de lado $\sim N\lambda$, entonces, se podrá repetir periódicamente la nanoantena, por ejemplo, con un periodo en las 2 direcciones de $\sim \lambda/2$.

Según un segundo ejemplo y en el caso de píxeles de dimensiones muy grandes delante de λ , el nivel de grises se puede obtener gracias a la densidad de nanoantenas únicamente.

Según un tercer ejemplo, también se puede obtener el nivel de grises en la banda espectral dada de ancho igual a normalmente $\lambda/10$, aumentando/disminuyendo la longitud de la nanoantena. En efecto, la respuesta de la antena es normalmente Lorentziana (véase figura 2C); de este modo, cuando se modifica la longitud de la antena, se desfasa en longitud de onda la longitud de onda de resonancia y, por este hecho, la respuesta es más escasa en la banda espectral de observación.

En el caso de un funcionamiento en emisión de las nanoantenas (figura 2D), se puede obtener, igualmente, una codificación en nivel de grises modificando la longitud de la barra que forma la nanoantena plasmónica, lo que da como resultado un desplazamiento de la curva de emisión de la nanoantena sobre la curva del cuerpo negro y, por este hecho, una modificación de la respuesta óptica.

Según un cuarto ejemplo, el nivel de grises se puede obtener jugando con la orientación de la antena rectangular en el plano. Si la antena optimizada está según el eje u, se tenderá el nivel de grises de $\cos(\varphi)^2$ para la misma antena pivotada de φ .

Según una segunda variante, la banda espectral para la medición de la respuesta óptica puede ser más ancha. En este caso, se puede obtener un nivel de grises combinando varias nanoantenas, por ejemplo, varias nanoantenas de longitudes diferentes que presentan cada una una longitud de onda de resonancia propia en la banda espectral de observación. El nivel de grises se puede obtener, entonces, ajustando la respuesta de cada nanoantena según uno de los ejemplos descritos más arriba (ancho de la antena, orientación, densidad), ya sea por la ausencia de ciertas

antenas.

Según una o la otra de las variantes/ejemplos descritos, se comprende que es posible codificar varias informaciones espaciales independientes. Por ejemplo, varias informaciones se pueden codificar en varias bandas espectrales de observación. La elección de un filtro adaptado permitirá la observación de una información dada. Se pueden codificar unas informaciones espaciales independientes según las dos polarizaciones ortogonales. La elección de un polarizador adaptado durante la observación permitirá la observación de una información dada.

Ejemplos de codificación de una información espacial en colores:

Se parte, en este ejemplo, de una información espacial en colores, por ejemplo, una imagen bidimensional, pixelada. Para cada píxel de la imagen, se puede definir, por ejemplo, un nivel "RGB" (rojo verde azul), que da un color de entre un número de colores posibles identificados, por ejemplo, 16 millones de colores posibles.

Según un ejemplo, para cada uno de los 3 colores, se puede definir una imagen en nivel de grises y codificarla según el procedimiento anteriormente descrito de codificación en nivel de grises. De este modo, para un píxel dado, se eligen 3 nanoantenas resonantes a tres longitudes de onda crecientes λ_{r1} , λ_{r2} y λ_{r3} . La observación se puede hacer a simple vista, por medio de una cámara multispectral con unos filtros RGB sobre cada píxel o a través de tres filtros respectivamente. Estas tres longitudes de onda están ventajosamente separadas espectralmente por al menos $\lambda_{r3}/10$. El nivel de grises de cada antena se puede determinar, por ejemplo, por el ancho de la antena o por su orientación (respuesta polarizada únicamente). Es posible, igualmente, ajustar el nivel de grises de cada antena jugando con su longitud si la separación espectral entre las 3 longitudes de onda de resonancia es grande, esto es, modificando la longitud para obtener un nivel más escaso de absorción, no se crea una señal en la 2ª banda espectral de interés. Esto se traduce, en la práctica, en una separación espectral de al menos $\lambda_{r3}/5$.

Como anteriormente, el píxel se puede codificar sobre una malla elemental cuyas dimensiones mínimas son de $\lambda_{r3}/2$, correspondiente al límite de difracción por debajo del que no se podrá atribuir estructuración de campo lejano.

De este modo, es posible codificar varias informaciones en color en diferentes bandas espectrales, por ejemplo, una imagen en lo visible y una imagen en lo infrarrojo. En la práctica, los 2 píxeles de codificación presentan unas dimensiones que son unos múltiplos una de la otra (por ejemplo, una cuadrícula de codificación visible con unos píxeles de 250 nm y una cuadrícula infrarroja con unos píxeles de 2 μ m), conteniendo cada píxel infrarrojo 64 píxeles visible.

Es posible, igualmente, codificar una o varias informaciones según una o la otra de las polarizaciones.

Es posible, igualmente, codificar una o varias informaciones en niveles de grises y una o varias informaciones en color, en una o varias bandas espectrales, según una o la otra de las polarizaciones.

Aunque se acaba de describir un modo de realización particular que implementa unas nanoantenas formadas por medio de terminales de forma paralelepípeda rectángulo, el experto en la materia conoce que se pueden realizar unas nanoantenas de formas diferentes y que la forma de los terminales metálicos para la formación de las nanoantenas plasmónicas no se limita a unos paralelepípedos rectángulos.

De este modo, las figuras 3A a 3H representan según unas vistas desde arriba un conjunto de terminales metálicos adaptados para la formación de estructuras de metal-dieléctrico-metal que forman unas nanoantenas plasmónicas. Las estructuras que presentan en vista desde arriba unas formas de tipo terminal cuadrado (FIG. 3A), círculo (FIG. 3B), cruz (FIG. 3C) y combinación de rectángulos de misma longitud y según dos ejes perpendiculares (FIG. 3D) presentan unas respuestas insensibles a la polarización. Las estructuras que presentan en vista desde arriba unas formas de tipo rectángulo (FIG. 3E), elipse (FIG. 3F), cruz asimétrica (FIG. 3G) y combinación de varios rectángulos de longitudes diferentes según unos ejes perpendiculares (FIG. 3H) tienen una respuesta óptica que depende de la polarización.

Las figuras 3E, 3D y 3H presentan unas combinaciones de terminales de forma de paralelepípedo rectángulo ya descritos por medio de las figuras 2A a 2D. La respuesta óptica puede variar en "color" o en nivel de grises, como se ha descrito esto anteriormente. Las figuras 3C y 3G presentan unas nanoantenas plasmónicas que, en vista desde arriba, tienen unas formas de cruz. Estas estructuras tienen unos comportamientos sustancialmente similares a los comportamientos respectivamente de las nanoantenas representadas en las figuras 3D (rectángulos de misma longitud) y 3G (rectángulos de longitudes diferentes) y presentan unas reglas de dimensionamiento descritas, por ejemplo, en Cui et al., Laser & Photonics Review 8, 495 (2014).

Unas nanoantenas plasmónicas obtenidas por medio de terminales metálicos cuadrados (véase figura 3A) se han descrito, por ejemplo, en Cui et al., Laser & Photonics Review 8, 495 (2014). Las reglas de dimensionamiento son similares a las de las nanoantenas de forma paralelepípeda rectángulo, pero presentan una respuesta óptica independiente de la polarización. En el caso de nanoantenas de forma cuadrada, se puede obtener una codificación en nivel de grises observando en una banda espectral de observación dada y haciendo variar la dimensión del

cuadrado, como se ha descrito esto anteriormente.

Unas nanoantenas plasmónicas que presentan en vista desde arriba una forma circular están, por ejemplo, se han descrito en el mismo artículo de revisión Cui et al., *Laser & Photonics Review* 8, 495 (2014). También en este caso, la respuesta óptica es independiente de la polarización y las reglas de dimensionamiento son sustancialmente similares a las de las nanoantenas plasmónicas de forma cuadrada. De la misma manera que para las nanoantenas de forma cuadrada, se puede obtener una codificación en nivel de grises observando en una banda espectral de observación dada y haciendo variar el diámetro del círculo.

Unas nanoantenas plasmónicas que presentan en vista desde arriba una forma elíptica tienen unas reglas de dimensionamiento sustancialmente similares a las de las nanoantenas plasmónicas de forma rectangular.

Otros patrones (estrella, triángulo, cruz más compleja, etc.) son posibles, igualmente, pero presentan el inconveniente de una menor flexibilidad para diseñar la respuesta óptica de la malla.

Las figuras 4A a 4D ilustran, igualmente, según unas vistas desde arriba, unas mallas elementales en las que están asociadas unas nanoantenas plasmónicas que presentan diferentes formas geométricas.

Teniendo cada nanoantena una longitud de resonancia propia, una malla elemental diseñada, de este modo, permite generar una respuesta óptica que resulta de una síntesis aditiva o sustractiva, según si el dispositivo de codificación se observa en emisión o en reflexión, de las respuestas de las diferentes nanoantenas. En el caso de una codificación espectral de la información, esto permite acceder a un mayor número de respuestas ópticas o "colores". También en este caso, en este ejemplo, ciertas de las mallas elementales presentan unas respuestas insensibles a la polarización (FIG. 4A, FIG. 4B, 4C), mientras que la FIG. 4D ilustra un ejemplo en el que el "color" depende de la polarización.

Las figuras 5 a 9 ilustran con más detalle unos ejemplos de realización del dispositivo de codificación según la presente descripción. Implementan unas nanoantenas de forma rectangular, pero, al igual, podrían diseñarse con unas nanoantenas que presentan diferentes formas, como las descritas anteriormente, dependiendo la elección, en concreto, del deseo de tener unas nanoantenas en las que las respuestas ópticas están polarizadas o no.

Las figuras 5A y 5B ilustran un ejemplo de aplicación de un dispositivo de codificación 10 según la presente descripción, que permite una primera codificación espectral según una primera polarización y una segunda codificación espectral según una segunda polarización, estando el dispositivo destinado a ser observado en reflexión en una banda espectral dada.

La figura 5A representa el dispositivo de codificación 10 visto desde arriba; solo se representan las formas de las mallas elementales y de las nanoantenas plasmónicas dispuestas en cada una de las mallas. El dispositivo de codificación está compuesto por 12 mallas elementales 101 - 112, idénticas, de forma cuadrada, cuya dimensión está adaptada para la dimensión del píxel de la información que se busca codificar. Dentro de cada malla elemental están asociadas unas nanoantenas plasmónicas que presentan unas respuestas según cada una de las dos polarizaciones. Las nanoantenas horizontales (según x) codifican para la polarización TM y las antenas verticales (según y) codifican para la polarización TE. En este ejemplo, cada nanoantena plasmónica presenta una forma rectangular dispuesta según una o la otra de dos direcciones perpendiculares. En cada malla elemental, puede haber hasta 4 nanoantenas plasmónicas de longitudes diferentes según una dirección, que, por lo tanto, presentan en la banda espectral de observación 4 longitudes de onda de resonancia diferentes.

La presencia o no de cada una de las nanoantenas de longitudes diferentes permite formar según cada polarización $2^4 = 16$ respuestas ópticas diferentes en la banda espectral de observación, cuando el dispositivo de codificación se observa en reflexión o en emisión. La figura 5B ilustra, de este modo, las respuestas ópticas 301 - 312 en función de la longitud de onda calculadas para cada malla elemental según cada una de las polarizaciones TE y TM (los espectros se representan respectivamente en trazo completo (TE) y en trazo punteado (TM)).

La figura 6 representa un ejemplo de dispositivo de codificación 10 aplicado a la realización de un código de tipo QR (abreviatura de "Quick Response", "Respuesta Rápida") o código de tipo código de barras bidimensional, en colores, observable en dos bandas espectrales (visible e infrarrojo) y según dos polarizaciones (TE, TM). Las figuras 7A, 7B y 8A, 8B representan las respuestas ópticas en cada una de las bandas espectrales.

La figura 6 comprende un primer conjunto de mallas elementales 100 y un segundo conjunto de mallas elementales 200, comprendiendo las mallas elementales 200 cada una un subconjunto de mallas elementales 100.

Las mallas elementales 100 están dimensionadas para formar una respuesta óptica en lo visible, según dos polarizaciones ortogonales. De este modo, cada malla elemental comprende un primer conjunto de nanoantenas orientadas según una primera dirección (por ejemplo, unas nanoantenas de forma paralelepípedica) para la codificación de una primera información según una primera polarización y un segundo conjunto de nanoantenas orientadas según una dirección perpendicular para la codificación de una segunda información según una segunda polarización. Más precisamente, las nanoantenas representadas horizontalmente (según x) en la figura 6 codifican

para la polarización "vertical" o TM y las nanoantenas representadas verticalmente (según y) en la figura 6 codifican para la polarización "horizontal" (o TE). En este ejemplo, la codificación es una codificación "en colores", tal como se ha descrito esto anteriormente. De este modo, cada nanoantena puede tomar una longitud de entre tres longitudes que permite la absorción resonante a una de las tres longitudes de onda de resonancia λ_{r1} , λ_{r2} y λ_{r3} situadas respectivamente en el azul, el verde y el rojo. En este ejemplo, cada nanoantena está ya sea presente, ya sea ausente, lo que da como resultado 8 combinaciones posibles que permiten formar 8 colores, a saber, rojo, azul oscuro, verde, blanco, negro, rosa, azul claro y amarillo, como se ilustra esto en las figuras 7A y 7B. La observación se puede hacer a simple vista, pero también por cualesquiera cámaras/aparatos de fotos.

- 5
- 10 Las mallas elementales 200 están dimensionadas para formar una respuesta óptica en lo infrarrojo (alrededor de 2 - 3 μm), igualmente, según dos polarizaciones ortogonales. En este ejemplo, cada malla elemental 200 comprende un primer conjunto de como mucho 2 nanoantenas orientadas según una primera dirección para la codificación de una primera información en lo infrarrojo según una primera polarización y un segundo conjunto de como mucho 2 nanoantenas orientadas según una dirección perpendicular para la codificación de una segunda información en lo infrarrojo según una segunda polarización. La codificación es, igualmente, en este ejemplo, una codificación "en colores", tal como se ha descrito esto anteriormente. Cada nanoantena puede tomar una longitud de entre dos longitudes que permiten una absorción resonante a una de las dos longitudes de onda de resonancia λ_{r4} , λ_{r5} situadas respectivamente en la banda 2 - 3 μm . En este ejemplo, cada nanoantena está ya sea presente, ya sea ausente, lo que da como resultado 4 combinaciones posibles que permiten formar 4 colores, como se ilustra esto en las figuras 7C y 7D. La observación se puede hacer a través de un polarizador, por medio de una cámara infrarroja estándar.

- 25 Las figuras 8A y 8B, 9A a 9E ilustran la observación en emisión de un dispositivo de codificación según la presente descripción, realizado por medio de nanoantenas plasmónicas de forma paralelepípedica rectángulo dispuestas sobre unas mallas elementales de dimensiones 30x30 micras. En este ejemplo, el sustrato es de Silicio, el metal de oro, el dieléctrico está formado de sílice. La capa metálica inferior presenta un espesor de 200 nm (capa ópticamente opaca). El espesor de la capa de dieléctrico es de 220 nm. Los terminales metálicos tienen un espesor de 50 nm. Las antenas tienen unos anchos de 100 nm y sus longitudes en una de las direcciones varían entre 900 y 1.450 nm, por paso de 50 nm para codificar 11 niveles de grises en emisión según una polarización y presentan 5 longitudes diferentes en la otra dirección. La temperatura de la muestra es de 373 °C para una emisión observable en la banda espectral de 3 - 5 micras. En este ejemplo, una primera imagen "Molière" (figura 8A) está codificada según una primera polarización y una segunda imagen, formada por una superposición de las letras "M", "I", "N", "A", "O" está codificada según una segunda polarización. De este modo, las figuras 8A y 8B resultan de la observación en emisión del dispositivo calentado a través de dos polarizadores cruzados. En estos ejemplos, la codificación del "Molière" se efectúa en nivel de grises, modificando la longitud de la barra que forma la nanoantena plasmónica, lo que da como resultado un desplazamiento de la curva de emisión de la nanoantena sobre la curva del cuerpo negro (véase figura 2D) y, por este hecho, una modificación de la respuesta óptica. La codificación del conjunto de las letras se realiza en niveles de grises en 5 bandas espectrales diferentes, centradas respectivamente 3,20 micras, 3,71 micras, 4,22 micras, 4,73 micras, 5,24 micras. El nivel de grises se obtiene para cada letra modificando la longitud de cada antena. Las figuras 9A a 9E muestran, de este modo, la observación a través de unos filtros respectivamente centrados sobre cada una de las longitudes de onda.
- 30
- 35
- 40

Para el conjunto de estos ejemplos, se puede utilizar un procedimiento de codificación tal como se representa en la figura 10.

- 45 La figura 10 ilustra un ejemplo de procedimiento de codificación de al menos una información espacial o "imagen" por medio de un dispositivo de codificación según la presente descripción, por ejemplo, un dispositivo de codificación que comprende unas nanoantenas plasmónicas, tales como se han descrito anteriormente. La información espacial es, por ejemplo, una información espacial que forma un patrón reconocible (como, por ejemplo, el "Molière" o las letras de las figuras 8A y 8B) o una información espacial que forma un código de barras de tipo QR, tal como se describe por medio de las figuras 6 y 7A a 7D o puede ser una imagen representativa de una información espacial monodimensional, por ejemplo, un código de barras unidimensional. En todos los casos, se busca adaptar la codificación de la información para los dispositivos de autenticación y, en concreto, para los parámetros del detector (banda espectral de detección, tamaño del píxel) y de la óptica de enfoque (apertura numérica del objetivo), por ejemplo, tales como se describen en las figuras 11A y 11B.
- 50

- 55 La o las imagen(es) se recortan, en primer lugar, en píxeles o "pixelados" (etapa S1), dependiendo la dimensión de los píxeles de los parámetros de los sistemas de detección. Para cada píxel $P_{j,i}$ de cada imagen, donde i es la posición del píxel en la imagen de índice j, se asigna un valor que puede ser, como se ha descrito esto anteriormente, un nivel de grises en un rango de observación dado o un "color", es decir, un conjunto de varios valores de niveles de grises para diferentes longitudes de onda o rangos de longitudes de onda (etapa S2). Luego, se determina (etapa S3) la malla elemental en la posición i sobre el soporte del dispositivo de codificación que permitirá formar la o las respuesta(s) óptica(s) de valor dado para cada píxel, según los procedimientos de codificación descritos anteriormente. La última etapa (S4) consiste, entonces, en fabricar el dispositivo de codificación, según unos métodos de fabricación conocidos, por ejemplo, deposición metálica sobre sustrato, deposición de la capa dieléctrica, litografía electrónica (pero que puede ser reemplazada por una litografía UV o nanoimpresión) para la formación de los terminales metálicos, seguido de un despegue (véase, por ejemplo, Levesque et al., "Plasmonic planar antenna for wideband and efficient linear
- 60
- 65

polarization conversion", "Antena plana plasmónica para una conversión de polarización lineal eficiente y de banda ancha", Appl. Phys. Lett 104, 111105 (2014)).

5 Las figuras 11A y 11B representan dos ejemplos de dispositivos de autenticación de productos seguros por medio de dispositivo de codificación según la presente descripción, para una autenticación respectivamente en reflexión y en emisión.

10 El dispositivo de autenticación representado en la figura 11A está adaptado para una autenticación en reflexión de un dispositivo de codificación 10 según la presente descripción. El dispositivo de codificación 10 está integrado, por ejemplo, en un objeto a asegurar (no representado). El dispositivo de autenticación comprende una vía de emisión con una fuente de emisión 20 para la emisión de un haz luminoso colimado I, destinado a iluminar el dispositivo de codificación 10. La fuente de emisión comprende, por ejemplo, un emisor 21 y una lente óptica de colimación 22. El emisor está adaptado para la banda espectral de observación buscada. Por ejemplo, el emisor es una fuente luminosa visible o una fuente luminosa en lo infrarrojo, por ejemplo, una de las bandas espectrales de 3 - 5 μm o de 8 -12 μm correspondientes a unas bandas de transmisión atmosférica. El dispositivo de autenticación comprende, por otra parte, una vía de detección con un sistema de detección 30, destinado a recibir un haz R resultante de la reflexión del haz I de iluminación por el dispositivo de codificación. El sistema de detección 30 comprende un elemento óptico de enfoque 31 que puede estar formado, por ejemplo, por un objetivo, por una lente óptica o por cualquier combinación de estos elementos y un detector 32 para la detección en la banda espectral de observación. El detector comprende, por ejemplo, una cámara CCD o CMOS para la observación en lo visible, con unos tamaños de píxeles de 1 a 10 μm . En lo infrarrojo, los detectores pueden comprender, por ejemplo: unos detectores de microbolómetros (3 - 14 μm), unos detectores MCT banda I (1,5 - 5 μm), unos detectores InGaAs (1 - 1,8 μm). La vía de detección comprende, además, en uno o varios modos de realización, uno o varios polarizadores 50 y uno o varios filtros espectrales 40. El sistema de detección define un "tamaño de píxel" limitado por la apertura de la óptica de enfoque 31 o el tamaño de un detector elemental del detector 32. El tamaño de píxel es normalmente de 1 a 10 μm en un sistema de detección visible; está limitado por el límite de difracción, con una influencia sobre la relación señal a ruido que decrece cuando los píxeles se vuelven pequeños. El tamaño de píxel es normalmente de 15 μm en un sistema de detección infrarrojo, pero debería descender a 10 μm para los detectores de próxima generación.

30 El dispositivo de autenticación representado en la figura 11B está adaptado para una autenticación en emisión de un dispositivo de codificación 10 según la presente descripción. Comprende una vía de detección sustancialmente similar a la representada en la figura 11A, pero no vía de emisión, puesto que es la emisión térmica del dispositivo de codificación la que se mide y no la reflexión de una onda óptica incidente. Según uno o varios ejemplos de realización, el dispositivo de autenticación comprende unos medios de calentamiento 60 que permiten una emisión térmica a unas longitudes de onda en las bandas de detección infrarroja convencionales.

40 En lo visible, los dispositivos de codificación se pueden autenticar, igualmente, a simple vista. De este modo, con una visión normal, un individuo puede distinguir unos patrones con una resolución angular de 1 minuto de arco, lo que corresponde para un objeto observado en el *punctum proximum* (punto próximo) (normalmente a una distancia de 25 cm) a ver unos píxeles sobre el objeto que están entre 7 y 8 μm . Es posible descender hasta el límite de difracción de lo visible con unos aparatos convencionales (lupa, microscopio).

45 Aunque se ha descrito a través de un cierto número de ejemplos de realización detallados, el dispositivo y el procedimiento de codificación según la presente descripción comprenden diferentes variantes, modificaciones y perfeccionamientos que aparecerán de forma evidente para el experto en la técnica, entendiéndose que estas diferentes variantes, modificaciones y perfeccionamientos forman parte del alcance de la invención, tal como se define por las reivindicaciones que siguen.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo de codificación óptica (10, 20, 30, 40) de una imagen formada por píxeles, definidos cada uno por una posición, y al menos un valor, comprendiendo la imagen al menos dos píxeles de valores diferentes, estando el dispositivo de codificación destinado a ser observado en al menos una primera banda espectral de observación, y comprendiendo:
- un soporte;
 - un conjunto de nanoantenas plasmónicas de tipo Metal-Dieléctrico-Metal, formadas sobre dicho soporte, tales que:
 - cada nanoantena plasmónica es resonante a al menos una longitud de onda comprendida en dicha primera banda espectral de observación,
 - las nanoantenas plasmónicas están dispuestas espacialmente sobre el soporte, de tal modo que a un píxel de la imagen esté asociado un subconjunto de una o varias nanoantena(s) plasmónica(s), cuya respuesta óptica según una polarización y en una banda espectral, comprendida en la primera banda espectral de observación, corresponde a un valor de dicho píxel, formando el conjunto de las nanoantenas plasmónicas, de este modo, al menos una primera codificación espacial de dicha imagen en dicha primera banda espectral de observación.
2. Dispositivo de codificación según la reivindicación 1, en el que al menos una primera codificación espacial comprende una codificación en niveles de grises, presentando dicha respuesta óptica de un subconjunto de una o varias nanoantena(s) plasmónica(s), asociado a un píxel, una intensidad relativa en una escala de intensidades correspondiente a un valor de un píxel definido por un nivel de grises en una escala de niveles de grises.
3. Dispositivo de codificación según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que, presentando un píxel de la imagen al menos unos valores primero y segundo, a cada píxel de la imagen está asociado un subconjunto de nanoantenas, que presentan según una polarización dada, al menos una primera y una segunda respuestas ópticas en respectivamente una primera y una segunda bandas espectrales, comprendidas en la primera banda espectral de observación, correspondiendo las respuestas primera y segunda ópticas a los valores primero y segundo del píxel, que forman, de este modo, una codificación espacial en colores de la imagen en dicha primera banda espectral de observación.
4. Dispositivo de codificación según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que:
- el conjunto de las nanoantenas plasmónicas comprende unas nanoantenas plasmónicas resonantes en una primera banda espectral de observación y unas nanoantenas plasmónicas resonantes en una segunda banda espectral;
 - las nanoantenas plasmónicas resonantes en la primera banda espectral están dispuestas espacialmente sobre el sustrato, de tal modo que se forma una primera codificación espacial de una primera imagen, observable en la primera banda espectral de observación, y las nanoantenas plasmónicas resonantes en la segunda banda espectral están dispuestas espacialmente sobre el sustrato, de tal modo que se forma una segunda codificación espacial de una segunda imagen, observable en la segunda banda espectral de observación.
5. Dispositivo de codificación según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que:
- el conjunto de nanoantenas plasmónicas comprende unas nanoantenas plasmónicas resonantes según una primera polarización, y unas nanoantenas plasmónicas resonantes según una segunda polarización;
 - las nanoantenas plasmónicas resonantes según la primera polarización están dispuestas espacialmente sobre el sustrato, de tal modo que se forma una primera codificación espacial de una primera imagen, observable en dicha primera banda espectral de observación según la primera polarización y las nanoantenas plasmónicas resonantes según la segunda polarización están dispuestas espacialmente sobre el sustrato, de tal modo que se forma una segunda codificación espacial de una segunda imagen, observable en dicha primera banda espectral de observación según la segunda polarización.
6. Dispositivo de codificación según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que las nanoantenas plasmónicas están distribuidas según unas mallas elementales (101, 201, 301) de formas y de dimensiones similares, comprendiendo cada malla elemental un subconjunto de una o varias nanoantenas plasmónicas, que presentan una respuesta óptica correspondiente a un valor de un píxel de la imagen.
7. Dispositivo de codificación según la reivindicación 6, en el que las antenas plasmónicas están distribuidas según unas primeras mallas elementales (100) de formas y de dimensiones similares, comprendiendo cada una de las primeras mallas elementales (100) un subconjunto de una o varias nanoantena(s) plasmónica(s), que presentan una respuesta óptica en una primera banda espectral de observación correspondiente a un valor de un píxel de una primera imagen y las primeras mallas elementales están distribuidas según unas segundas mallas elementales (200) de formas y de dimensiones similares, comprendiendo cada una de las segundas mallas elementales (200) un subconjunto de una o varias nanoantena(s) plasmónica(s), que presentan una respuesta óptica en una segunda banda espectral de

observación, correspondiente a un valor de un píxel de una segunda imagen.

5 8. Dispositivo de codificación según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que las nanoantenas plasmónicas están distribuidas espacialmente sobre el sustrato para codificar en una primera banda espectral de observación y según una polarización dada, al menos una primera imagen que forma un código QR.

10 9. Dispositivo de codificación según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que las nanoantenas plasmónicas están dispuestas espacialmente sobre el sustrato para codificar en una primera banda espectral de observación, y según una polarización dada, al menos una primera imagen que forma un patrón reconocible.

10 10. Dispositivo de codificación según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el conjunto de las nanoantenas plasmónicas comprende:

15 - una primera capa metálica continua (12);
- una segunda capa continua de material dieléctrico (13), formada sobre la primera capa metálica continua (12);
- una tercera capa metálica, dispuesta sobre la segunda capa continua de material dieléctrico (13), y estructurada para formar localmente unas superposiciones de metal-dieléctrico-metal (MDM_i), que forman dichas nanoantenas plasmónicas.

20 11. Dispositivo de codificación según la reivindicación 10, que comprende, además, un sustrato (11), que forma el soporte sobre el que está depositada la primera capa metálica continua (12).

25 12. Dispositivo de codificación según la reivindicación 10, en el que el soporte está formado por la primera capa metálica continua o por la segunda capa de material dieléctrico (13).

13. Objeto seguro, que comprende un dispositivo de codificación según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

30 14. Procedimiento de codificación en al menos una primera banda espectral de observación de al menos una imagen, por medio de un dispositivo de codificación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, que comprende:

35 - la descomposición de la imagen en píxeles, presentando cada píxel una posición en la imagen;
- la asignación a cada píxel de al menos un valor de píxel;
- para cada píxel, la determinación de un subconjunto de una o varias nanoantena(s) plasmónica(s), cuya respuesta óptica según una polarización y en una banda espectral, comprendida en la banda espectral de observación, corresponde al valor del píxel;
- la realización de las estructuras de metal-dieléctrico-metal sobre el soporte para la formación del conjunto de las nanoantenas.

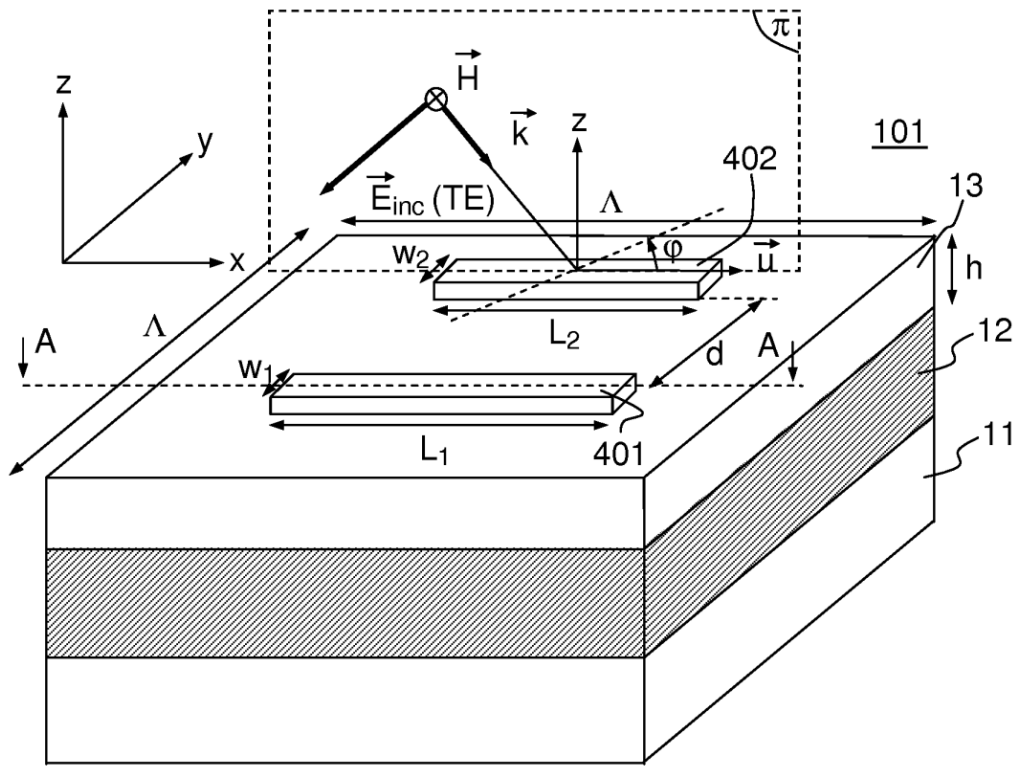


FIG.2A

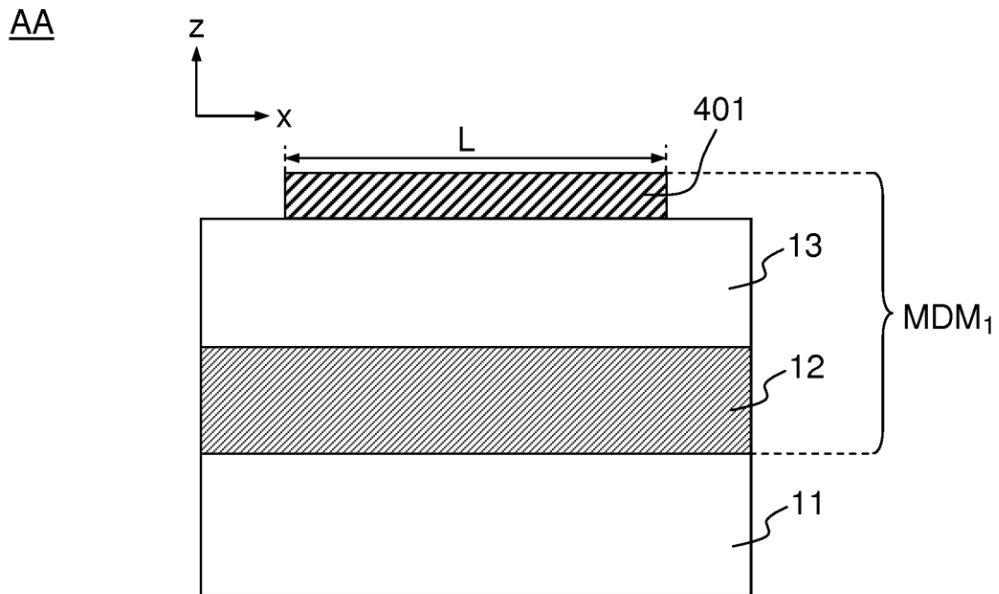


FIG.2B

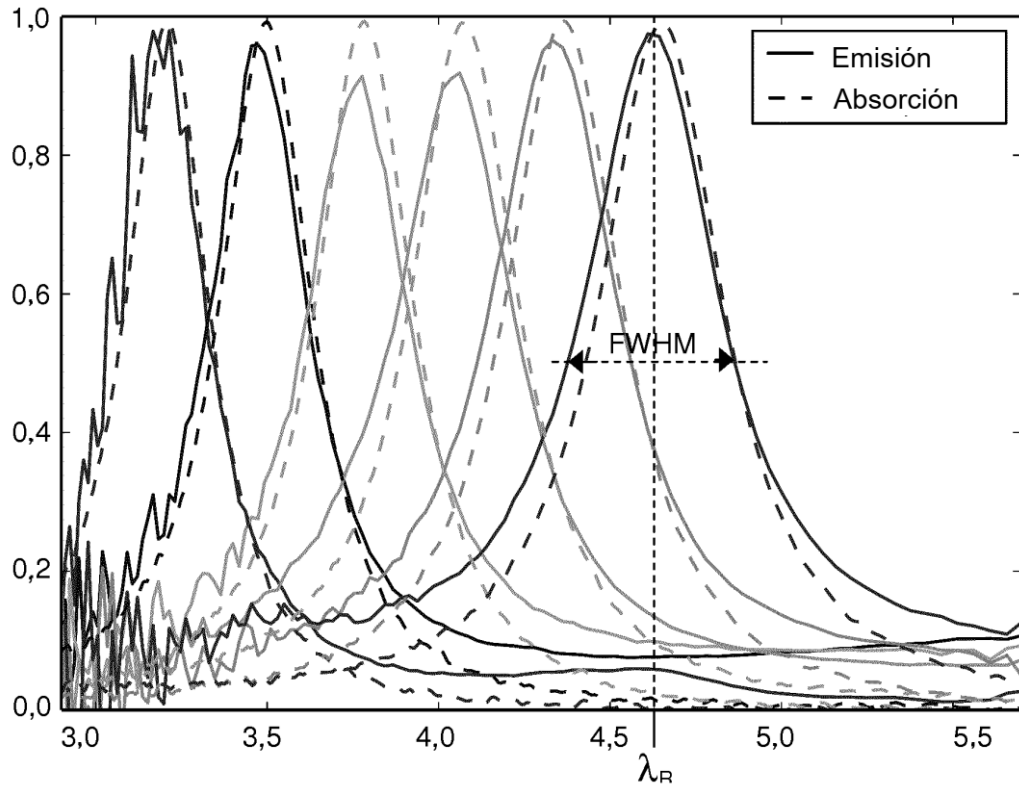


FIG.2C

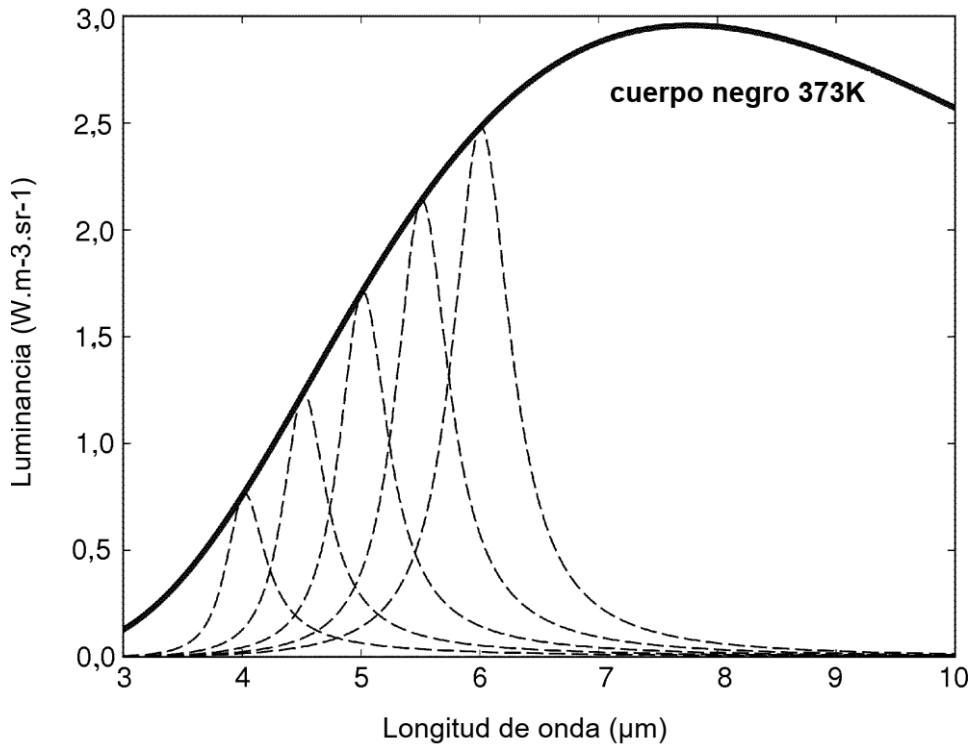


FIG.2D

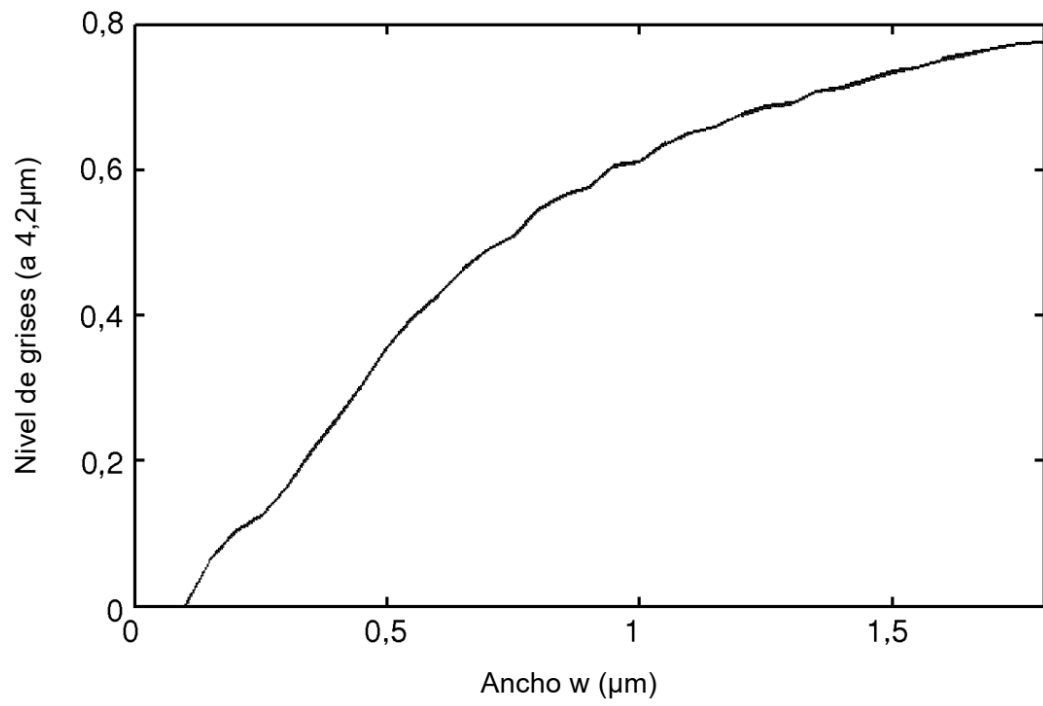


FIG.2E

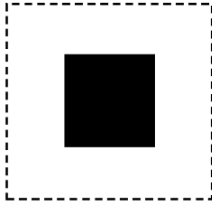


FIG.3A

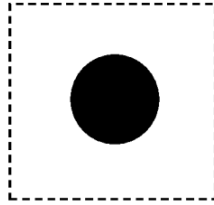


FIG.3B

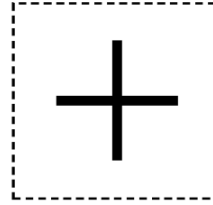


FIG.3C

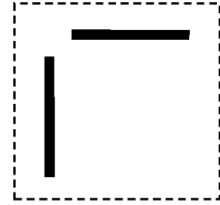


FIG.3D



FIG.3E

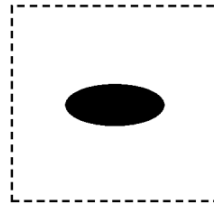


FIG.3F

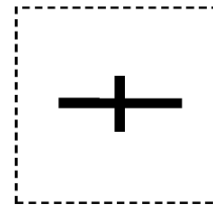


FIG.3G

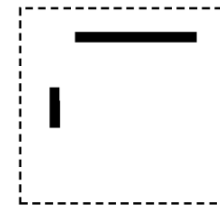


FIG.3H

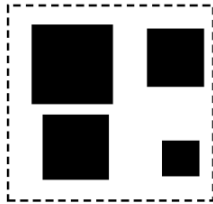


FIG.4A

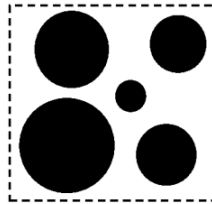


FIG.4B

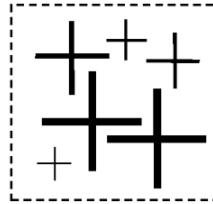


FIG.4C

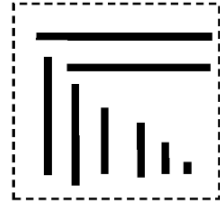


FIG.4D

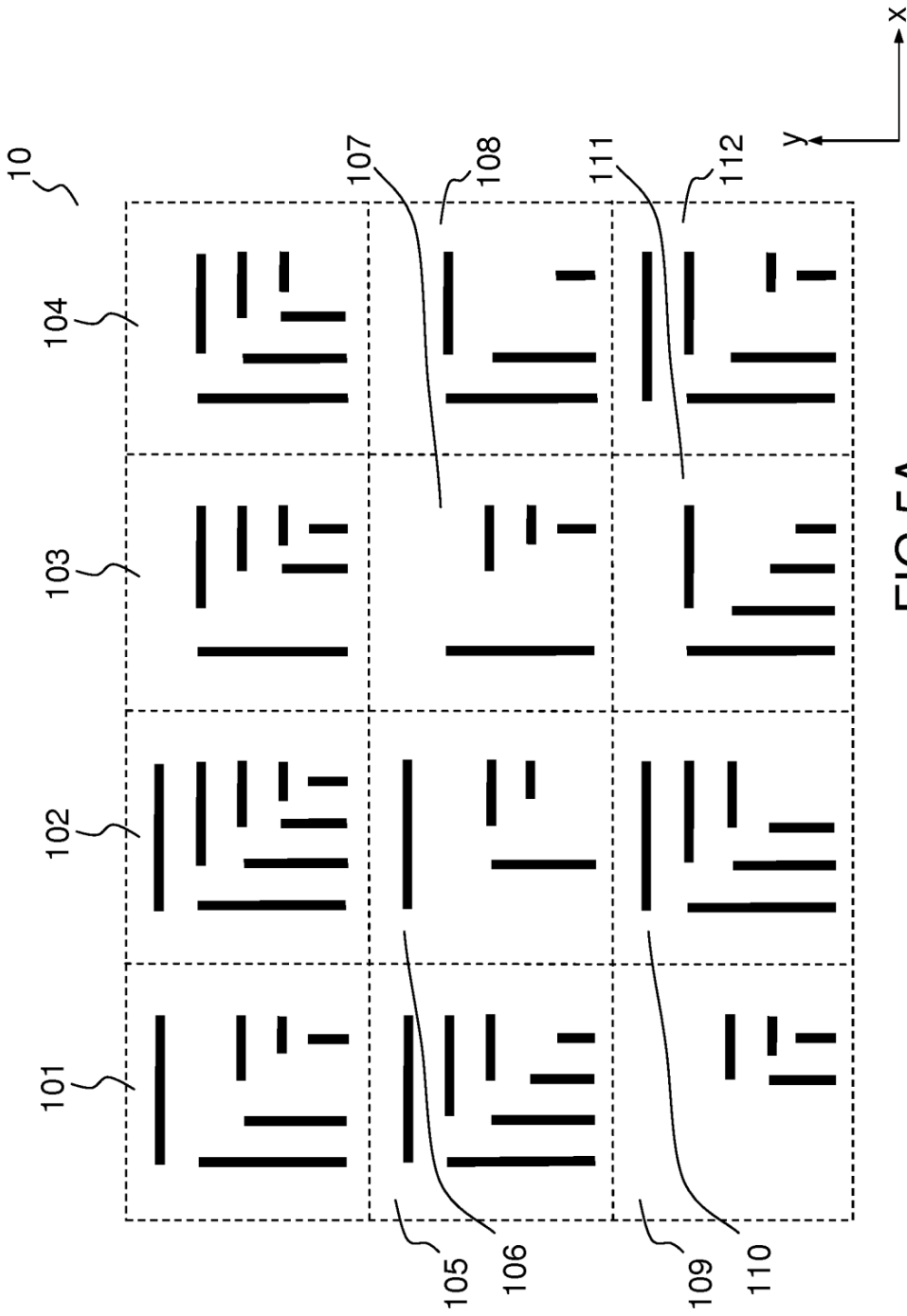
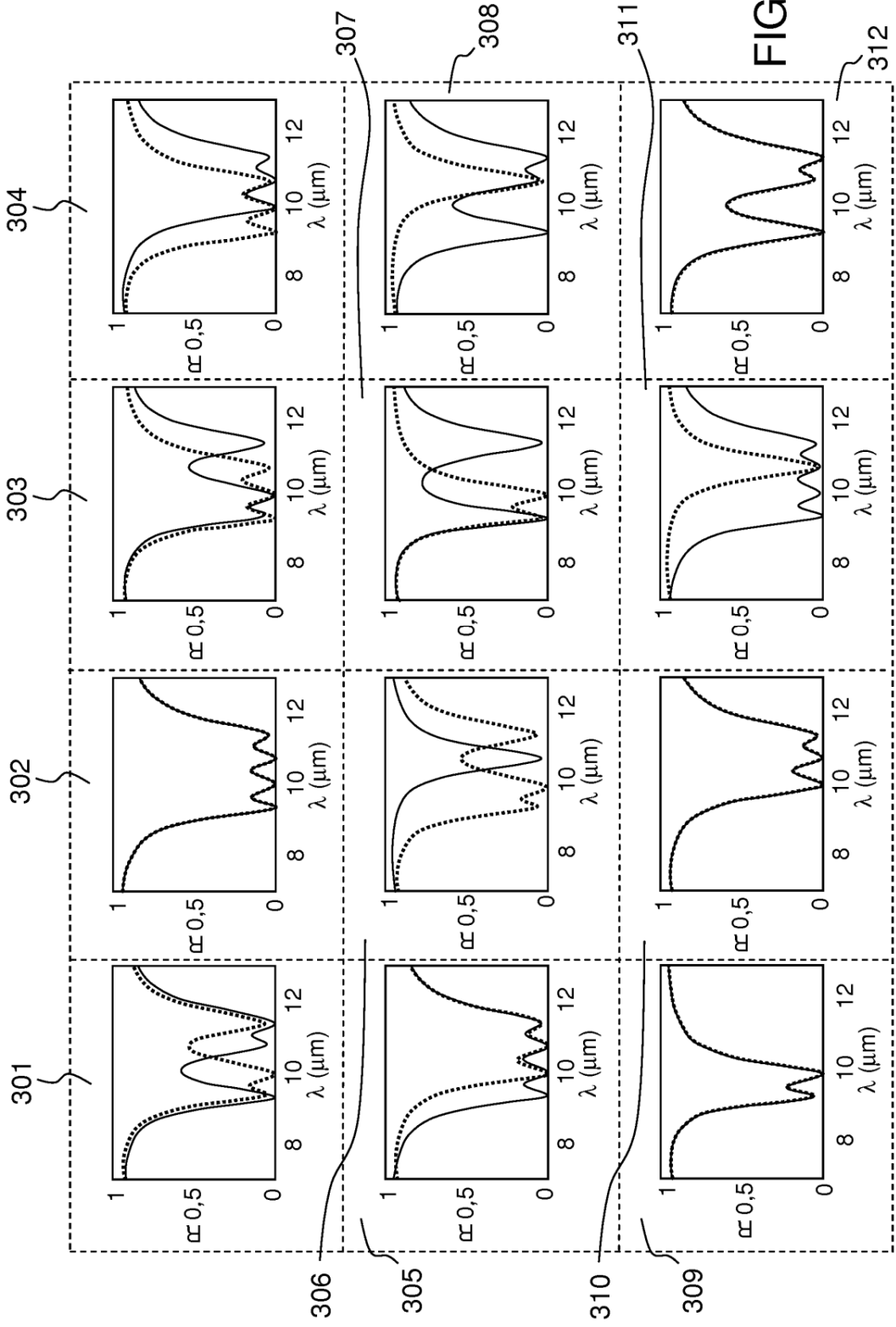


FIG.5A



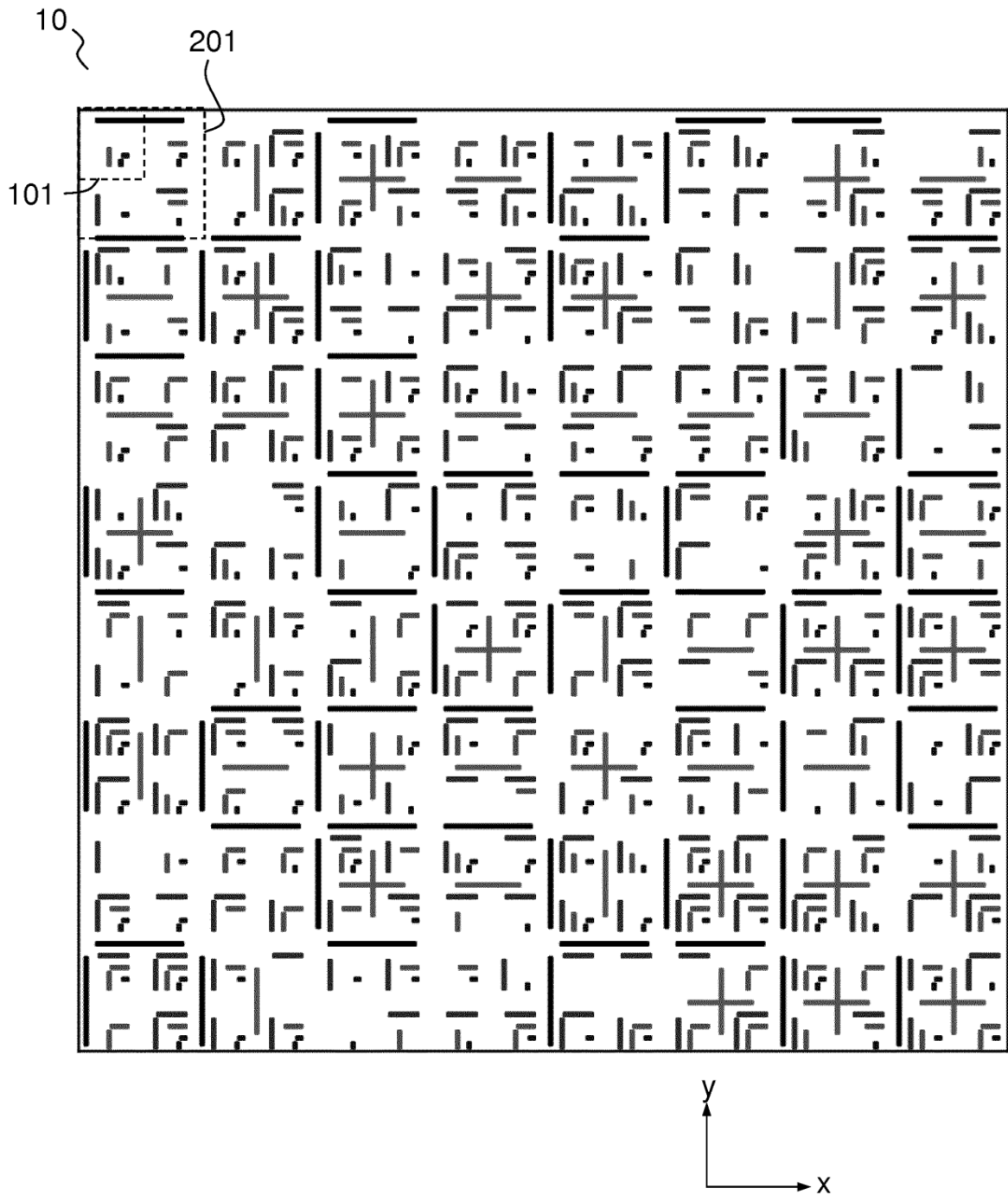


FIG.6

P_1 Polarización Horizontal (Visible)

3	6	5	8	6	6	5	6	5	6	7	3	1	2	1	2
3	7	3	4	6	4	8	4	2	1	4	4	6	4	8	8
2	2	4	1	4	3	6	8	6	3	2	1	2	8	2	2
3	6	3	8	8	2	4	2	4	7	7	6	5	7	4	1
5	5	5	2	5	6	4	3	4	2	4	7	8	5	2	1
3	7	2	5	6	6	5	2	4	6	8	6	1	6	3	4
1	2	1	8	1	4	2	7	6	1	7	6	5	6	5	4
3	4	2	5	1	3	7	8	6	1	2	3	7	2	5	2
7	5	7	6	2	5	4	8	7	8	5	5	4	5	6	8
3	5	3	5	2	6	5	5	5	8	2	6	2	7	8	7
8	5	8	8	1	3	4	7	6	3	8	3	5	2	3	6
4	3	5	3	3	1	2	7	3	4	2	5	1	3	3	2
1	3	6	5	8	5	3	4	4	1	8	2	5	7	3	2
8	4	7	5	5	8	2	2	3	3	8	8	8	1	2	8
8	8	6	2	3	6	6	1	2	2	2	5	6	5	6	2
5	8	3	6	1	2	2	8	4	6	5	7	1	7	3	6

FIG.7A

- 1 = Blanco
- 2 = Azul claro
- 3 = Amarillo
- 4 = Verde
- 5 = Rosa
- 6 = Rojo
- 7 = Azul oscuro
- 8 = Negro

P'_1 Polarización Vertical (Visible)

6	3	6	4	1	7	6	7	3	2	6	8	1	6	1	6
2	3	3	8	6	5	1	7	8	8	1	2	1	7	3	4
8	5	6	2	7	2	2	3	8	2	7	7	1	8	3	5
5	1	4	4	1	3	2	3	1	2	1	7	2	5	3	8
8	5	8	7	1	4	8	7	8	2	2	4	3	4	1	7
6	5	7	8	4	5	2	3	5	3	3	5	7	6	1	1
4	8	1	1	6	2	3	4	5	8	2	6	3	7	7	6
8	1	8	4	5	3	8	3	1	5	2	1	6	6	4	5
5	3	8	4	3	5	3	6	1	4	5	5	6	3	7	3
2	5	3	4	8	6	7	5	5	2	1	1	4	4	7	1
8	7	2	1	2	6	7	5	6	3	7	2	1	7	3	8
4	8	6	3	5	4	1	1	4	5	6	2	3	2	2	2
2	5	5	6	6	2	8	3	7	8	6	7	5	6	1	6
4	3	2	7	2	1	5	3	8	4	7	2	8	8	2	7
5	8	2	1	2	2	1	4	1	1	1	5	8	5	4	4
5	4	4	4	3	5	6	5	2	7	7	7	7	3	7	5

FIG.7B

- 1 = Blanco
- 2 = Azul claro
- 3 = Amarillo
- 4 = Verde
- 5 = Rosa
- 6 = Rojo
- 7 = Azul oscuro
- 8 = Negro

Q₁ Polarización Horizontal (Infrarrojo)

2	1	4	3	3	2	4	3
4	4	1	3	4	1	1	4
4	3	4	3	3	3	3	1
3	1	4	2	2	2	3	4
2	1	2	3	2	4	4	4
1	4	4	4	3	4	3	2
1	2	4	4	1	3	3	4
2	1	2	1	2	4	3	3

FIG.7C

1 = Blanco
 2 = Gris claro
 3 = Gris oscuro
 4 = Negro

Q'₁ Polarización Vertical (Infrarrojo)

1	3	4	1	2	2	3	1
2	4	2	3	4	1	3	3
1	1	4	1	1	1	2	2
4	1	2	2	1	2	3	2
3	3	3	4	4	1	4	4
4	2	4	1	3	1	2	2
1	1	4	1	4	4	4	3
2	4	1	1	2	3	4	4

FIG.7D

1 = Blanco
 2 = Gris claro
 3 = Gris oscuro
 4 = Negro



FIG.8A

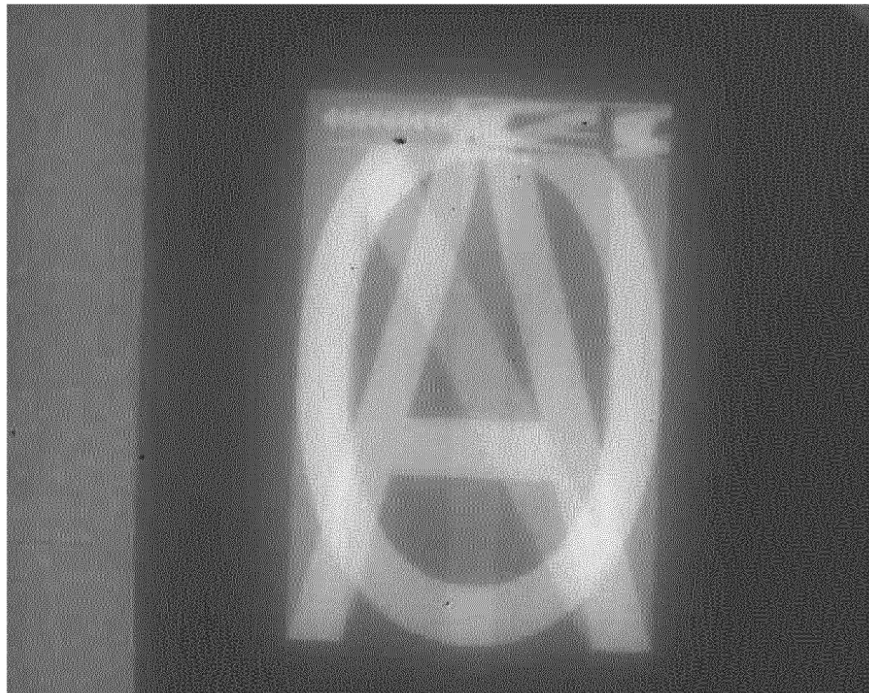


FIG.8B

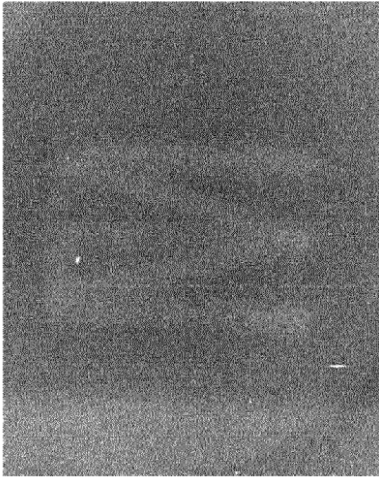


FIG.9A

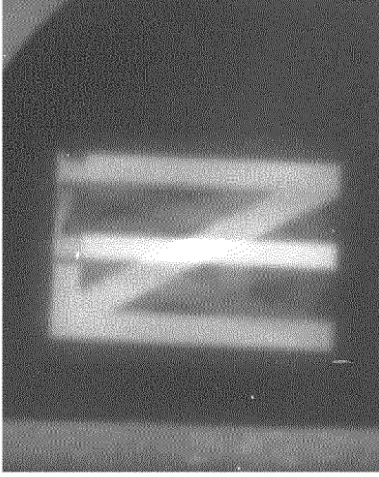


FIG.9B

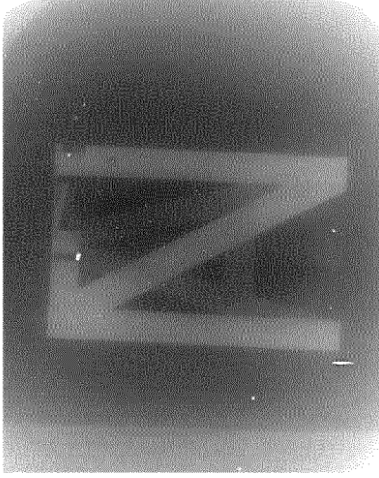


FIG.9C

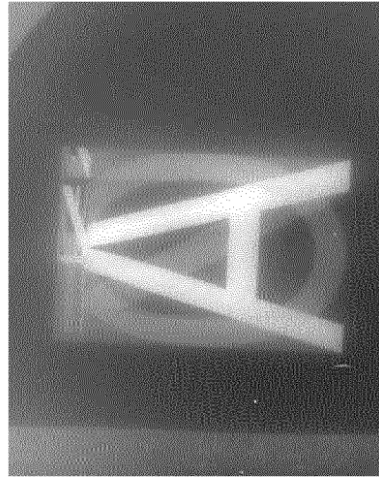


FIG.9D

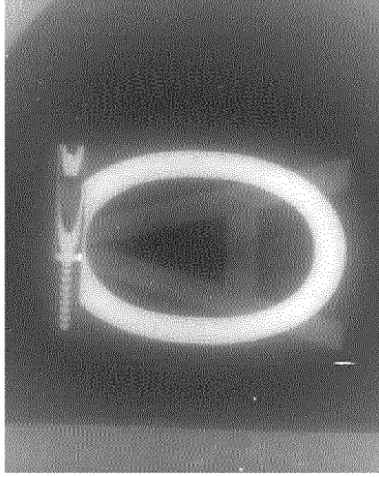


FIG.9E

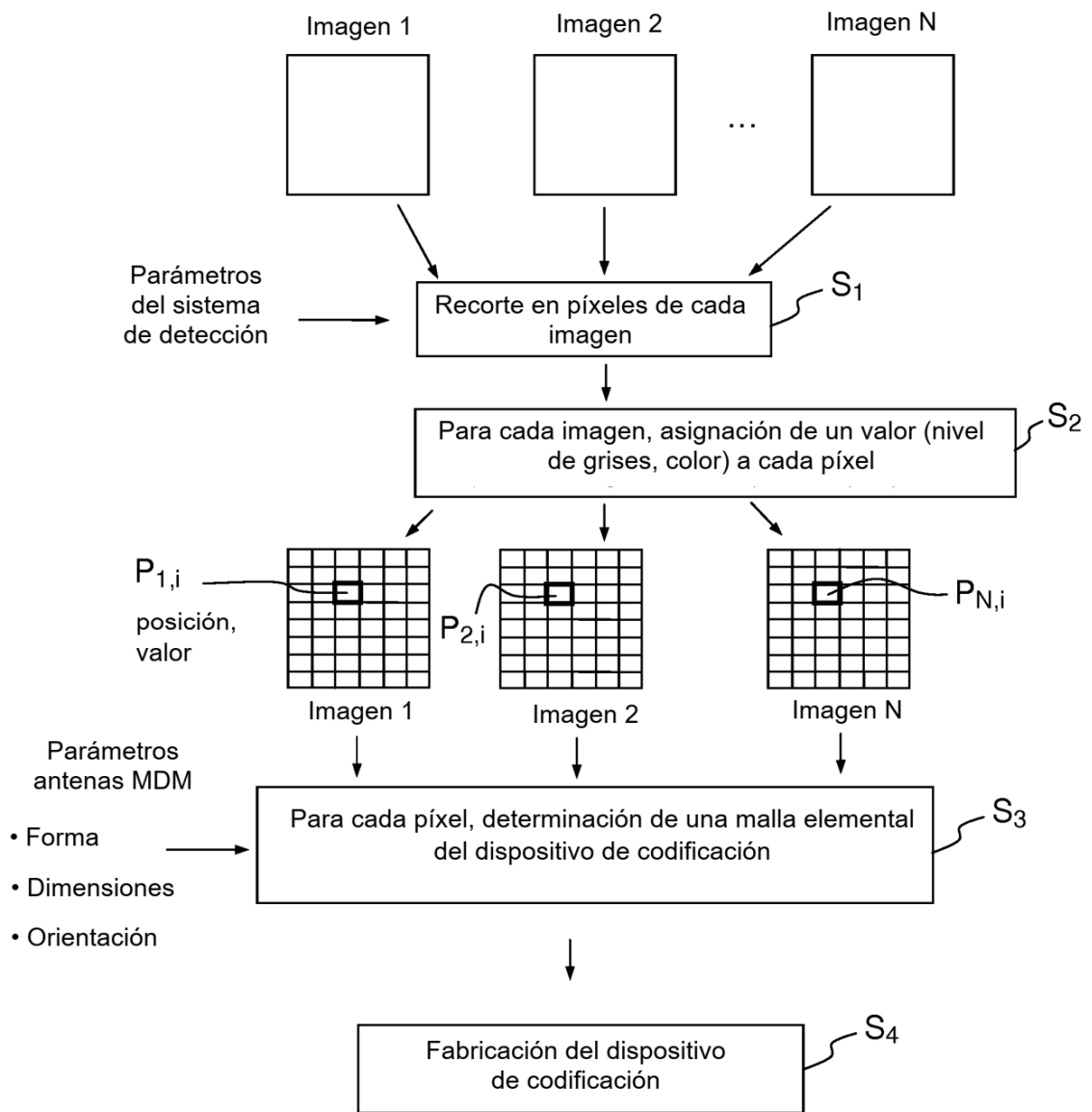


FIG.10

