

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 956 283**

51 Int. Cl.:

**G01C 11/02**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.02.2020** **E 20159640 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.06.2023** **EP 3703307**

54 Título: **Aparato combinado de formación de imágenes y criptografía cuántica**

30 Prioridad:

**26.02.2019 IL 26507519**

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

**18.12.2023**

73 Titular/es:

**IMAGESAT INTERNATIONAL (I.S.I.) LTD. (100.0%)**

**Yoni Netanyahu St. 6**

**6037604 Or Yehuda, IL**

72 Inventor/es:

**SHTERMAN, DORON y**

**INDY, SHLOMO**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

ES 2 956 283 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

Aparato combinado de formación de imágenes y criptografía cuántica

5 **Solicitud o solicitudes relacionadas**

Esta solicitud reivindica los derechos de prioridad de la solicitud de patente de Israel n° 265075 presentada el 26 de febrero de 2019.

10 **Campo y antecedentes de la invención**

La presente invención, en algunas realizaciones de la misma, se refiere a un aparato de formación de imágenes y criptografía cuántica y, más particularmente, pero no exclusivamente, a una arquitectura de carga útil de detección remota electro-óptica (EO) combinada con capacidades de distribución de clave cuántica (QKD).

15 Las cargas útiles de detección remota de EO modernas están diseñadas para recopilar señales de EM emitidas y/o reflejadas de un objetivo y crear una representación digital de esa señal en forma de una imagen. Las cargas útiles de EO son comunes en múltiples plataformas no tripuladas como automóviles, aeronaves, drones, satélites, etc., donde la función de la plataforma con respecto a la carga útil de EO es proporcionar las condiciones operativas esenciales en términos de requisitos físicos como acondicionamiento de alimentación, interfaces de E/S, conducción térmica, integridad estructural, etc., así como la lógica de operación.

25 QKD es una forma de método de comunicación segura que, mediante el uso de los fundamentos de la mecánica cuántica, permite que dos nodos de comunicación compartan una clave de encriptación secreta aleatoria de manera exclusiva. Los sistemas QKD generalmente se implementan mediante canales de comunicación fotónica y medios como fibra óptica o espacio libre, debido a la utilización generalizada de un único fotón como elemento cuántico atómico. Aunque la QKD basada en fibra está inherentemente limitada para soportar comunicaciones de larga distancia, debido a la atenuación de la señal óptica dentro de las fibras y la falta de repetidores cuánticos, la forma de espacio libre de QKD puede superar este inconveniente debido a la baja absorción atmosférica en cierto intervalo de longitud de onda.

30 Los aparatos de formación de imágenes y criptografía cuántica se han desvelado en publicaciones anteriores, por ejemplo, la publicación de solicitud de patente US2012230493A1 desvela un telescopio de distribución de clave cuántica (QKD) proporcionado para recibir una señal QKD y configurado para recopilar una o más señales de QKD y una o más señales primarias con un solo telescopio.

**Sumario de la invención**

40 Los aspectos y las realizaciones de la presente invención se exponen en las reivindicaciones adjuntas. Estos y otros aspectos y las realizaciones de la invención también se describen en el presente documento.

De acuerdo con un aspecto de algunas realizaciones de la presente invención, se proporciona un aparato de formación de imágenes y criptografía cuántica, que comprende: una configuración óptica de refracción de la luz; una configuración óptica de dirección de la luz; un sensor de formación de imágenes que captura la luz refractada de la configuración óptica de refracción de la luz y dirigida al sensor de formación de imágenes por la configuración óptica de dirección de la luz; al menos uno de: un transmisor de distribución de clave cuántica (QKD) que genera una señal de luz de QKD y que transmite la señal de luz de QKD a través de la configuración óptica de dirección de la luz y a través de la configuración óptica de refracción de la luz; un receptor de QKD que adquiere y decodifica señales de luz refractadas de la configuración óptica de refracción de la luz y dirigidas al receptor de QKD por la configuración óptica de dirección de la luz; comprendiendo además el aparato de formación de imágenes y criptografía cuántica una unidad de alineación que alinea el al menos uno del transmisor de QKD y receptor de QKD a un aparato de QKD acoplado basándose en la señal de luz que pasa a través de la configuración óptica de dirección de la luz y la configuración óptica de refracción de la luz y usando una imagen del aparato de QKD acoplado capturada por dicho sensor de formación de imágenes durante dicha alineación.

55 Opcionalmente, el aparato comprende, además: un controlador que opera al menos uno del sensor de formación de imágenes, la unidad de alineación, el transmisor de QKD, el receptor de QKD, la configuración óptica de refracción de la luz y la configuración óptica de dirección de la luz.

60 Más opcionalmente, el aparato comprende, además: un controlador que opera el sensor de formación de imágenes, la unidad de alineación, el transmisor de QKD y el receptor de QKD.

Opcionalmente, la configuración óptica de dirección de la luz incluye una configuración óptica de división de haz que separa la luz por longitud de onda.

65 Más opcionalmente, la configuración óptica de división de haz incluye un conjunto de prisma tricróico.

Opcionalmente, la unidad de alineación incluye un dispositivo de baliza para bloquear y rastrear las señales de luz.

Opcionalmente, la configuración óptica de refracción de la luz incluye un telescopio.

5

Opcionalmente, el sensor de formación de imágenes incluye una cámara de alta resolución.

Opcionalmente, el aparato se incluye en la arquitectura de carga útil para su uso en una plataforma no tripulada.

10 Opcionalmente, el controlador está operando el sensor de formación de imágenes y el al menos uno del transmisor de QKD y receptor de QKD basándose en la ubicación del aparato.

Más opcionalmente, el controlador está operando el sensor de formación de imágenes, el transmisor de QKD y el receptor de QKD basándose en la ubicación del aparato.

15

Opcionalmente, la configuración óptica de dirección de la luz dirige la luz de la configuración óptica de refracción de la luz al sensor de formación de imágenes, al receptor de QKD y a la unidad de alineación, y desde el transmisor de QKD a la configuración óptica de refracción de la luz.

20 Opcionalmente, el aparato comprende, además: un controlador (107) que da instrucción a la unidad de alineación para alinear el al menos un transmisor de QKD y el receptor de QKD al aparato de QKD acoplado durante una sesión de QKD.

25 Opcionalmente, la configuración óptica de dirección de la luz separa las señales de EM recibidas y transmitidas en una primera banda de frecuencia para el sensor de formación de imágenes, una segunda banda de frecuencia para la unidad de alineación y una tercera banda de frecuencia para el transmisor de QKD.

Más opcionalmente, la configuración óptica de dirección de la luz incluye un primer prisma para separar las señales de EM recibidas y transmitidas en la primera banda de frecuencia para el sensor de formación de imágenes, un segundo prisma para separar las señales de EM recibidas y transmitidas en la segunda banda de frecuencia para la unidad de alineación, y un tercer prisma para separar las señales de EM recibidas y transmitidas en la tercera banda de frecuencia para el transmisor de QKD.

30

Más opcionalmente, en donde la primera banda de frecuencia está en el intervalo de 400 a 750 nm, la segunda banda de frecuencia está en el intervalo de 528-536 nm y la tercera banda de frecuencia está en el intervalo de 840-890 nm. en donde el aparato se implementa en un satélite, en donde, durante una porción de una órbita, el sensor de formación de imágenes está operando mientras las condiciones de iluminación lo permiten y, durante el resto de la órbita, cuando la adquisición de imágenes no se puede realizar con resultados satisfactorios, se realiza una misión de QKD que usa al menos uno del transmisor de QKD y el receptor de QKD.

35

De acuerdo con algunas realizaciones de la invención, se proporciona un sistema que comprende: el aparato y un dispositivo de QKD acoplado con el aparato.

45 De acuerdo con un aspecto de algunas realizaciones de la presente invención, se proporciona un método para controlar un aparato de formación de imágenes y criptografía cuántica, que comprende las etapas de: dar instrucción a un sensor de formación de imágenes para capturar la luz que se refracta desde una configuración óptica de refracción de la luz y se dirige al sensor de formación de imágenes por una configuración óptica de dirección de la luz; dar instrucción a un transmisor de distribución de clave cuántica (QKD) para generar una señal de luz de QKD y transmitir la señal de luz de QKD a través de la configuración óptica de dirección de la luz y a través de la configuración óptica de refracción de la luz; y dar instrucción a una unidad de alineación para alinear el transmisor de QKD con un aparato de QKD acoplado se basa en señales de luz que pasan a través de la configuración óptica de dirección de la luz y la configuración óptica de refracción de la luz y usando una imagen del aparato de QKD acoplado capturada por dicho sensor de formación de imágenes durante dicha alineación.

50

55 Opcionalmente, el método comprende, además: dar instrucción a un receptor de QKD para adquirir y decodificar señales de luz refractadas de la configuración óptica de refracción de la luz y dirigidas por una configuración óptica de dirección de la luz hacia el receptor de QKD.

Opcionalmente, el método comprende, además, antes de dar instrucción del QKD: orientar la configuración óptica de refracción de la luz en la dirección del aparato de QKD acoplado.

60

A menos que se defina de otra manera, todos los términos técnicos y/o científicos usados en el presente documento tienen el mismo significado que el entendido comúnmente por un experto en la materia a la que pertenece la invención. Aunque pueden usarse métodos y materiales similares o equivalentes a aquellos descritos en el presente documento en la práctica o la prueba de las realizaciones de la invención, se describen a continuación métodos y/o materiales de ejemplo. En caso de conflicto, tendrá el control la memoria descriptiva de patente, incluyendo las definiciones. Además,

65

los materiales, métodos, y ejemplos son ilustrativos únicamente y no se pretende que sean necesariamente limitantes.

Cualquier característica en un aspecto de la invención puede aplicarse a otros aspectos de la invención, en cualquier combinación apropiada. En particular, los aspectos del método pueden aplicarse a aspectos del aparato y viceversa.

## Breve descripción de los dibujos

Se describen en el presente documento algunas realizaciones de la invención, a modo de ejemplo únicamente, con referencia a los dibujos adjuntos. Con referencia específica ahora a los dibujos en detalle, se hace hincapié que los detalles particulares mostrados son a modo de ejemplo y para los fines de análisis ilustrativo de las realizaciones de la invención. En este sentido, la descripción tomada con los dibujos hace evidente para los expertos en la materia cómo pueden ponerse en práctica las realizaciones de la invención.

En los dibujos:

La Figura 1 es una ilustración esquemática de un aparato de formación de imágenes y criptografía cuántica, de acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención;

La Figura 2 es un diagrama de flujo que representa esquemáticamente un método para controlar un aparato de formación de imágenes y criptografía cuántica, por ejemplo, por el controlador, de acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención;

La Figura 3 es una ilustración esquemática de un aparato de carga útil de formación de imágenes y criptografía cuántica dentro de un satélite, de acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención;

La Figura 4 es una ilustración esquemática de un caso de uso para un aparato de carga útil de satélite de formación de imágenes y criptografía cuántica durante una órbita de satélite, de acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención.

## Descripción de las realizaciones de la invención

La presente invención, en algunas realizaciones de la misma, se refiere a un aparato de formación de imágenes y criptografía cuántica y, más particularmente, pero no exclusivamente, a una arquitectura de carga útil de detección remota electro-óptica (EO) combinada con capacidades de distribución de clave cuántica (QKD).

Para permitir la operación de un sistema de QKD, se requiere transmitir la señal óptica relevante con aberraciones ópticas mínimas. Por lo tanto, la calidad óptica de la configuración óptica, así como la estabilidad estructural y térmica y la precisión de puntería de todo el sistema, deben ser altas. Algunas arquitecturas de carga útil de detección remota de EO satisfacen estos requisitos. Para cargas útiles de EO de muy alta resolución, la prescripción óptica normalmente es muy exigente, donde el objetivo final es diseñar un sistema de difracción limitada para conseguir un rendimiento de formación de imágenes superior. Cuando se implementa en una plataforma inestable, o cuando está sometido a condiciones ambientales adversas, también se realiza un esfuerzo sustancial para mitigar los efectos mutuos entre la carga útil y la plataforma o el entorno operativo. Las precisiones del sistema globales requeridas para crear un producto de imágenes de muy alta resolución podrían, en algunos casos, ser suficientes también para soportar el enlace óptico requerido para operaciones de QKD con éxito. Un aparato que soporta tanto una capacidad de formación de imágenes de muy alta resolución, así como una operación de QKD utilizando una arquitectura de carga útil única, como se propone en el presente documento, es por lo tanto único y esencial.

De acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención, se proporciona un aparato de formación de imágenes y criptografía cuántica, que incluye tanto capacidades de detección remota óptica como QKD. El aparato incluye un sensor de formación de imágenes (tal como una cámara) y un sistema de QKD (que incluye un transmisor de QKD y/o un receptor de QKD y una unidad de alineación), usando ambos la misma configuración óptica de refracción de la luz (tal como un telescopio). Una configuración óptica de dirección de la luz (tal como un divisor de haz) dirige la luz de la configuración óptica de refracción de la luz al sensor de formación de imágenes, al receptor de QKD y a la unidad de alineación, y desde el transmisor de QKD a la configuración óptica de refracción de la luz.

La combinación de la detección remota con QKD dentro de una única arquitectura de carga útil puede aprovechar significativamente las capacidades de la plataforma de detección remota y proporcionar una utilización complementaria de ambos de los dominios de la frecuencia y el tiempo. Si bien una carga útil de detección remota típica está optimizada para la recolección de espectro electromagnético (EM) particular, así como para un método de recopilación de datos específico, la QKD de espacio libre se puede implementar como una capa adicional de la carga útil para operar dentro de una parte coincidente del espectro de EM y utilizarse simbióticamente con la principal tarea de recopilación de datos de la carga útil.

Si bien la detección remota se implementa tradicionalmente para una diversidad de aplicaciones y en una amplia gama de frecuencias ópticas, incluso mucho más allá del espectro visible (de 390 nm a 700 nm), la mayoría de las cargas útiles de EO normalmente están adaptadas a un ancho de banda óptico específico en términos de la arquitectura óptica, el rendimiento del sensor, procesamiento analógico y digital, así como en su lógica operativa. Por otro lado, QKD es algo insensible a cualquier frecuencia óptica particular dado un presupuesto de enlace óptico positivo entre

los nodos de transmisión y recepción. Por lo tanto, al compartir un diseño óptico unificado, tanto las misiones de detección remota como las QKD se pueden conseguir fácilmente en términos de división del espectro, lo que permite la operación simultánea si es necesario.

5 Además, algunos sistemas de detección remota, por ejemplo, los satélites de detección remota, se utilizan para la adquisición de imágenes únicamente durante algunas duraciones de su tiempo de operación. Por lo tanto, es altamente beneficioso utilizar estas duraciones para las misiones de QKD.

10 Antes de explicar al menos una realización de la invención en detalle, se ha de entender que la invención no está limitada necesariamente en esta solicitud a los detalles de construcción y a la disposición de los componentes y/o métodos expuestos en la siguiente descripción y/o ilustrados en los dibujos y/o los ejemplos. La invención es apta para otras realizaciones o puede ponerse en práctica o llevarse a cabo de diversas maneras.

15 Haciendo referencia ahora a los dibujos, la Figura 1 es una ilustración esquemática de un aparato de formación de imágenes y criptografía cuántica, de acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención.

20 El aparato 100 incluye una configuración óptica de refracción de la luz 101, una configuración óptica de dirección de la luz 102, un sensor de formación de imágenes 103, un transmisor de QKD 104 y/o un receptor de QKD 105 y una unidad de alineación 106. El aparato 100 puede incluirse en la arquitectura de carga útil para su uso en una plataforma no tripulada.

25 La configuración óptica de refracción de la luz 101 incluye una disposición de lentes y/o espejos. La configuración óptica de refracción de la luz 101 puede incluir, por ejemplo, un telescopio, que recoge y enfoca la luz. Para que el transmisor de QKD 104 genere una cantidad significativa de claves cuánticas por sesión, y para que el sensor de formación de imágenes 103 adquiera imágenes de alta resolución, la configuración óptica de refracción de la luz 101 debe ser de alta calidad óptica. Esto significa que la configuración óptica de refracción de la luz 101 debe tener una difracción limitada con un comportamiento térmico de expansión cero. En general, para admitir un enlace óptico de QKD de espacio libre, el sistema óptico debe soportar esencialmente un enlace óptico clásico bidireccional. La "calidad" o el "presupuesto de enlace" del enlace óptico deberá ser suficiente para soportar la detección de un fotón "único", lo que podría dar como resultado un requisito de estabilidad del sistema muy exigente, que es similar al que se requiere para una carga útil de formación de imágenes de "muy alta resolución".

35 La configuración óptica de dirección de la luz 102 dirige la luz hacia y desde la configuración óptica de refracción de la luz 101. La configuración óptica de dirección de la luz 102 puede incluir, por ejemplo, un divisor de haz, tal como un divisor de haz cúbico. La configuración óptica de dirección de la luz 102 puede incluir una configuración óptica de división de haz que separa la luz por longitud de onda, por ejemplo, un conjunto de prisma tricroico. Opcionalmente y, como alternativa, la configuración óptica de dirección de la luz 102 puede incluir un espejo que cambia la dirección de la luz reflejada hacia y desde la configuración óptica de refracción de la luz 101. Opcionalmente y, como alternativa, la configuración óptica de dirección de la luz 102 puede incluir un elemento de rejilla y/o cualquier otro componente o combinación de los mismos que dirija la luz en otra dirección.

45 El sensor de formación de imágenes 103 está capturando la luz refractada de la configuración óptica de refracción de la luz 101 y dirigida al sensor de formación de imágenes 103 por la configuración óptica de dirección de la luz 102. El sensor de formación de imágenes 103 incluye, por ejemplo, una cámara de alta resolución. El sensor de formación de imágenes 103 también puede incluir uno o más sensores de captura de luz, por ejemplo, dispositivos de carga acoplada (CCD) semiconductores, sensores de píxeles activos en semiconductores complementarios de óxido de metal (CMOS), semiconductores de óxido de metal de tipo N (NMOS o Live MOS) y/o cualquier otro sensor que detecte y transmita información de luz usada para crear una imagen. Opcionalmente, se pueden usar varios sensores de formación de imágenes para aumentar el barrido efectivo.

50 El aparato 100 también incluye un transmisor de QKD 104 y/o un receptor de QKD 105.

55 El transmisor de QKD 104 está generando una señal de luz de QKD y transmitiendo la señal de luz de QKD a través de la configuración óptica de dirección de la luz 102 y a través de la configuración óptica de refracción de la luz 101, para transmitirse a un receptor de QKD de un aparato de QKD acoplado 108.

60 El receptor de QKD 105 está adquiriendo y decodificando señales de luz que llegan desde un transmisor de QKD del aparato de QKD acoplado 108, refractadas de la configuración óptica de refracción de la luz 101 y dirigidas al receptor de QKD por la configuración óptica de dirección de la luz 102.

65 El aparato de QKD acoplado 108 puede incluir un transmisor de QKD y/o un receptor de QKD, que envía y/o recibe señales de QKD hacia/desde el aparato 100, respectivamente. El aparato de QKD acoplado 108 puede incluir un sistema de QKD similar al del aparato 100. Por ejemplo, cuando el aparato 100 está incluido en un satélite, el aparato de QKD acoplado 108 puede estar incluido en una estación terrestre o en otro satélite.

El aparato 100 también incluye una unidad de alineación 106 que alinea el transmisor de QKD 104 y/o el receptor de

QKD 105 al receptor de QKD y/o al transmisor de QKD del aparato de QKD acoplado 108, para adquirir un enlace de comunicación óptica entre ellos durante la sesión de QKD. La unidad de alineación 106 puede incluir, por ejemplo, un dispositivo de baliza para bloquear y rastrear las señales de luz, un retroreflector pasivo y/o cualquier otra arquitectura de alineación activa o pasiva. La unidad de alineación 106 puede usar el sensor de formación de imágenes 103 para la alineación, por ejemplo, recibiendo la entrada de formación de imágenes del aparato de QKD acoplado 108 desde el sensor de formación de imágenes 103.

Opcionalmente, el aparato 100 también incluye un controlador 107 que opera el sensor de formación de imágenes 103, el transmisor de QKD 104 y/o el receptor de QKD 105, la unidad de alineación 106 y opcionalmente la configuración óptica de refracción de la luz 101 y/o la configuración óptica de dirección de la luz 102. El controlador 107 puede incluir cualquier tipo de dispositivo o dispositivos y/o mecanismo o mecanismos de control, que pueden ser digitales, mecánicos y/o de cualquier otro tipo. Por ejemplo, el controlador 107 puede incluir un sistema informático que tiene un procesador que está ejecutando instrucciones de software que se almacenan en una memoria.

Se hace referencia también a la Figura 2, que es un diagrama de flujo que representa esquemáticamente un método para controlar un aparato de formación de imágenes y criptografía cuántica, por ejemplo, por el controlador 107, de acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención.

En primer lugar, como se muestra en 201, se da instrucción al sensor de formación de imágenes 103 para capturar la luz que se refracta y se dirige hacia el sensor de formación de imágenes 103 mediante una configuración óptica de dirección de la luz 102.

El sistema de QKD (el transmisor de QKD 104 y/o el receptor de QKD 105) se puede operar de manera simultánea o alternativa al sensor de formación de imágenes 103. Sin embargo, la adquisición y formación de imágenes de manera simultánea con la operación de QKD daría como resultado una imagen del propio aparato de QKD acoplado 108.

Opcionalmente, como se muestra en 202, el sensor de formación de imágenes 103 se desactiva antes de que se opere el sistema de QKD. Esto puede ayudar, por ejemplo, a mitigar cualquier influencia térmica provocada por la operación del sensor de formación de imágenes 103.

Opcionalmente, como se muestra en 203, la configuración óptica de dirección de la luz 102 se ajusta para dirigir la luz que se refracta de la configuración óptica de refracción de la luz 101 al receptor de QKD 105 y la luz directa desde el transmisor de QKD 104 hacia la configuración óptica de refracción de la luz 101. Por ejemplo, los espejos de la configuración óptica de dirección de la luz 102 se desplazan en consecuencia.

Opcionalmente, como se muestra en 204, la configuración óptica de refracción de la luz 101 está orientada en la dirección del aparato de QKD acoplado 108. De esta manera, el aparato de QKD acoplado 108 está en la "línea de visión" del aparato 100, por lo que las señales de luz pueden enviarse al aparato de QKD acoplado 108 y/o recibirse del aparato de QKD acoplado 108.

A continuación, se opera el sistema de QKD.

Como se muestra en 205, se da instrucción al transmisor de QKD 104 para generar una señal de luz de QKD y transmitir la señal de luz de QKD a través de la configuración óptica de dirección de la luz 102 y a través de la configuración óptica de refracción de la luz 101.

Adicionalmente o, como alternativa, como se muestra en 206, se da instrucción al receptor de QKD 105 para adquirir y decodificar señales de luz refractadas de la configuración óptica de refracción de la luz 101 y dirigidas al receptor de QKD 105 por la configuración óptica de dirección de la luz 102.

Además, como se muestra en 207, se da instrucción a la unidad de alineación 106 para alinear el transmisor de QKD 104 y/o el receptor de QKD 105 al aparato de QKD acoplado 108. La unidad de alineación 106 se usa para alinear, por ejemplo, un aparato de QKD espacial con otro aparato de QKD terrestre (u otro aparato de QKD espacial) durante la sesión de QKD (más específicamente, el receptor de un extremo con el transmisor del otro extremo y viceversa).

Opcionalmente, el sensor de formación de imágenes 103, el transmisor de QKD 104 y el receptor de QKD 105 se operan basándose en la ubicación del aparato 100. Por ejemplo, en algunas ubicaciones, se requiere una adquisición de imágenes, mientras que, en otras ubicaciones, se puede usar una sesión de QKD.

Se hace referencia ahora a la Figura 3, que es una ilustración esquemática de un aparato de carga útil de formación de imágenes y criptografía cuántica dentro de un satélite, de acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención.

La cámara de alta resolución 303 (sensor de formación de imágenes) se usa para capturar imágenes de alta resolución. La cámara de alta resolución 303 puede ser, por ejemplo, un sensor S-CMOS con paso de 5 micrómetros, resolución de 7090 x 6000 píxeles, rango dinámico de 72 decibelios y adquisición de luz de longitudes de onda de

400-750 nanómetros (nm).

El transmisor de QKD 304 se usa para generar una señal QKD en estado señuelo. El transmisor de QKD 304 puede incluir, por ejemplo, múltiples sensores SPD y múltiples diodos láser basados en fibra con una longitud de onda de 850 nm, una anchura de pulso de 0,2 nanosegundos y una tasa de pulso de 100 megahercios.

La baliza 306 (unidad de alineación) usada para bloquear y rastrear la señal óptica desde el suelo para satisfacer es una alineación precisa entre el transmisor de QKD 304 y un aparato de recepción terrestre a lo largo de la sesión de QKD. La baliza 306 puede incluir, por ejemplo, un sensor CMOS y puede operar para una longitud de onda de 532 nm, una anchura de pulso de 0,9 nanosegundos, una tasa de pulso de 15 kilohercios y una tasa de fotogramas de 40 hercios.

El conjunto de prisma 302 (configuración óptica de dirección de la luz) se usa para separar la señal de EM recibida y transmitida relevante. El conjunto de prisma 302 puede incluir, por ejemplo, 3 prismas que dirigen la luz de 400-750 nm (para la cámara de alta resolución 303), 528-536 nm (para la baliza 306) y 840-890 nm (para el transmisor de QKD 304).

El telescopio 301 (configuración óptica de refracción de la luz) se usa tanto para recoger como para transmitir la señal de EM. El telescopio 301 puede tener, por ejemplo, un diámetro de apertura libre de 50 centímetros.

La carga útil del satélite incluye un controlador de carga útil (no mostrado) que puede operar la cámara de alta resolución 303, el transmisor de QKD 304 y la baliza 306. La carga útil del satélite puede ser, por ejemplo, de una longitud de 1,5 metros (m), una altura de 0,6 m, una anchura de 0,6 m y un peso de 55 kilogramos.

La QKD de espacio libre no está limitada por naturaleza a una frecuencia específica o tipo de onda electromagnética. El desafío práctico en la construcción de un sistema de QKD eficiente es utilizar un aparato electro-óptico que pueda conservar la información cuántica de onda de EM a lo largo del enlace óptico mientras maximiza la transmisión del sistema promedio. El uso de la longitud de onda visible es muy común en los sistemas de EO de detección remota; sin embargo, normalmente no se utiliza para la comunicación óptica en fibras ópticas debido al alto perfil de atenuación dentro de las fibras. La longitud de onda preferida para la fibra monomodo, pretendida a aplicaciones de larga distancia, se encuentra dentro de la banda de SWIR, es decir, 1550 nm. Seleccionar la banda SWIR para QKD de espacio libre también puede ser beneficioso para reducir las contribuciones de la luz de fondo al ruido del canal y para evitar el tráfico diurno. Utilizada durante el eclipse de satélite, la QKD de espacio libre basada en SWIR es una solución de QKD viable compatible también con la tecnología de comunicación de fibra óptica moderna.

Para permitir el funcionamiento del transmisor de QKD 304 y la baliza 306, se requiere que el telescopio 301 transmita la señal óptica relevante con aberraciones ópticas mínimas. La óptica del telescopio 201 tiene que ser de alta calidad óptica, por lo que está limitada por difracción, y tiene una alta estabilidad estructural y térmica con un comportamiento térmico de expansión cero. El tamaño real de la apertura del telescopio, así como cualquier imperfección óptica, podría degradar el rendimiento de QKD, pero no necesariamente impediría la capacidad de QKD por completo. También, la estabilidad y la precisión de puntería del sistema de satélite en su conjunto son importantes para la operación del transmisor de QKD 304 y la baliza 306. La precisión de puntería del satélite y la estabilidad de puntería durante una captura de imagen deberían ser mejores que tres veces la característica detectable más pequeña (sobre el terreno) por la cámara de alta resolución 303.

Se hace referencia ahora a la Figura 4, que es una ilustración esquemática de un caso de uso para un aparato de carga útil de satélite de formación de imágenes y criptografía cuántica durante una órbita de satélite, de acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención.

Los satélites de detección remota que operan dentro del espectro visible, normalmente adquieren imágenes de la región de interés (ROI) mientras las condiciones de iluminación lo permiten, típicamente desde una elevación del sol de 10° sobre el horizonte y mayor. Para los satélites de órbita terrestre baja (LEO), esta condición se cumple hasta el 40 % de la duración de la revolución, mientras que, durante el resto de la revolución, el satélite no puede realizar la adquisición de imágenes con resultados satisfactorios. Considerando la vida útil completa de este tipo de satélites, que normalmente está limitada por la cantidad de combustible o la degradación del subsistema debido a la radiación u otros efectos ambientales, aproximadamente el 60 % del tiempo no se puede usar para conseguir la misión primaria de los satélites. En el 60 % restante de la revolución, mientras que un satélite de EO típico no se puede usar, se puede realizar una misión de QKD. Por lo tanto, una carga útil de detección remota y QKD puede aumentar el potencial de usabilidad del satélite LEO del 40 % al 100 % a lo largo de la vida útil del satélite.

La terminología usada en el presente documento se eligió para explicar mejor los principios de las realizaciones, la aplicación práctica o mejora técnica sobre las tecnologías halladas en el mercado, o para posibilitar a otros expertos en la materia entender las realizaciones desveladas en el presente documento.

Se espera que durante la vida de una patente que madure a partir de esta solicitud se desarrollen muchos sistemas de QKD relevantes y se pretende que el alcance del término QKD incluya *a priori* todas tales nuevas tecnologías.

Los términos y expresiones "comprende", "que comprende", "incluye", "que incluye", "que tiene" y sus conjugados significan "que incluye, pero sin limitación". Esta expresión abarca las expresiones "que consiste en" y "que consiste esencialmente en".

5 La expresión "que consiste esencialmente en" significa que la composición o método pueden incluir ingredientes y/o etapas adicionales, pero únicamente si los ingredientes y/o etapas adicionales no modifican materialmente las características básicas y novedosas de la composición o método reivindicados.

10 Como se usa en el presente documento, la forma singular "un", "una", "el" y "la" incluye referencias plurales a menos que el contexto dicte claramente de otra manera. Por ejemplo, la expresión "un compuesto" o "al menos un compuesto" puede incluir una pluralidad de compuestos, incluyendo mezclas de los mismos.

15 La palabra "de ejemplo" se usa en el presente documento para significar "que sirve como un ejemplo, instancia o ilustración". Cualquier realización descrita como "de ejemplo" no ha de interpretarse necesariamente como preferida o ventajosa sobre otras realizaciones y/o para excluir la incorporación de características de otras realizaciones.

20 La palabra "opcionalmente" se usa en el presente documento para significar "se proporciona en algunas realizaciones y no se proporciona en otras realizaciones". Cualquier realización particular de la invención puede incluir una pluralidad de características "opcionales" a menos que tales características entren en conflicto.

25 Cada vez que se indica un intervalo numérico en el presente documento, se pretende que incluya cualquier número citado (fraccional o integral) dentro del intervalo indicado. Las expresiones "que varía/varía entre" un primer número indicado y un segundo número indicado y "que varía/varía desde" un primer número indicado "hasta" un segundo número indicado se usan en el presente documento de manera intercambiable y se pretende que incluyan el primer y segundo números indicados y todos los números fraccionales e integrales entre ellos.

30 Ciertas características descritas en el contexto de diversas realizaciones no han de considerarse características esenciales de estas realizaciones, a menos que la realización sea inoperativa sin estos elementos.

35 Un aparato de formación de imágenes y criptografía cuántica que comprende una configuración óptica de refracción de la luz (101), una configuración óptica de dirección de la luz (102), un sensor de formación de imágenes (103) que captura la luz refractada de la configuración óptica de refracción de la luz y dirigida al sensor de formación de imágenes por la configuración óptica de dirección de la luz y al menos uno de un transmisor (104) de distribución de clave cuántica (QKD) que genera una señal de luz de QKD y que transmite la señal de luz de QKD a través de la configuración óptica de dirección de la luz y a través de la configuración óptica de refracción de la luz y un receptor de QKD (105) adquiriendo y decodificando señales de luz refractadas de la configuración óptica de refracción de la luz y dirigidas al receptor de QKD por la configuración óptica de dirección de la luz. El sensor de formación de imágenes, el al menos uno del transmisor de QKD y el receptor de QKD, y la unidad de alineación, usan todos la misma configuración óptica de dirección de la luz y la misma configuración óptica de refracción de la luz. Los números de referencia que aparecen en las reivindicaciones son por medio de ilustración únicamente y no tendrán ningún efecto limitante del alcance de las reivindicaciones.

40

## REIVINDICACIONES

1. Un aparato de formación de imágenes y criptografía cuántica (100), que comprende:

una configuración óptica de refracción de la luz (101);  
 una configuración óptica de dirección de la luz (102);  
 un sensor de formación de imágenes (103) que captura la luz refractada de la configuración óptica de refracción de la luz y dirigida al sensor de formación de imágenes por la configuración óptica de dirección de la luz;  
 al menos uno de:

un transmisor (104) de distribución de clave cuántica (QKD) que genera una señal de luz de QKD y que transmite la señal de luz de QKD a través de la configuración óptica de dirección de la luz y a través de la configuración óptica de refracción de la luz;

un receptor de QKD (105) que adquiere y decodifica señales de luz refractadas de la configuración óptica de refracción de la luz y dirigidas al receptor de QKD por la configuración óptica de dirección de la luz;

**caracterizado por que** el aparato de formación de imágenes y criptografía cuántica comprende además una unidad de alineación (106) que alinea el al menos uno del transmisor de QKD y receptor de QKD a un aparato de QKD acoplado (108) basándose en la señal de luz que pasa a través de la configuración óptica de dirección de la luz y la configuración óptica de refracción de la luz y usando una imagen del aparato de QKD acoplado capturada por dicho sensor de formación de imágenes durante dicha alineación.

2. El aparato de la reivindicación 1, que comprende, además:

un controlador (107) que opera al menos uno del sensor de formación de imágenes, la unidad de alineación, el transmisor de QKD, el receptor de QKD, la configuración óptica de refracción de la luz y la configuración óptica de dirección de la luz.

3. El aparato de la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en donde la configuración óptica de dirección de la luz incluye una configuración óptica de división de haz que separa la luz por longitud de onda.

4. El aparato de la reivindicación 3, en donde la configuración óptica de división de haz incluye un conjunto de prisma tricoico.

5. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde la unidad de alineación incluye un dispositivo de baliza para bloquear y rastrear las señales de luz.

6. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en donde el controlador opera el sensor de formación de imágenes, el transmisor de QKD y el receptor de QKD basándose en la ubicación del aparato.

7. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en donde la configuración óptica de dirección de la luz dirige la luz de la configuración óptica de refracción de la luz al sensor de formación de imágenes, al receptor de QKD y a la unidad de alineación, y desde el transmisor de QKD a la configuración óptica de refracción de la luz.

8. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, que comprende, además: un controlador (107) que da instrucción a la unidad de alineación para alinear el al menos uno del transmisor de QKD y el receptor de QKD al aparato de QKD acoplado durante una sesión de QKD.

9. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en donde la configuración óptica de dirección de la luz separa las señales de EM recibidas y transmitidas en una primera banda de frecuencia para el sensor de formación de imágenes, una segunda banda de frecuencia para la unidad de alineación y una tercera banda de frecuencia para el transmisor de QKD.

10. El aparato de la reivindicación 9, en donde la configuración óptica de dirección de la luz incluye un primer prisma para separar las señales de EM recibidas y transmitidas en la primera banda de frecuencia para el sensor de formación de imágenes, un segundo prisma para separar las señales de EM recibidas y transmitidas en la segunda banda de frecuencia para la unidad de alineación, y un tercer prisma para separar las señales de EM recibidas y transmitidas en la tercera banda de frecuencia para el transmisor de QKD.

11. El aparato de la reivindicación 9 o la reivindicación 10, en donde la primera banda de frecuencia está en el intervalo de 400 a 750 nm, la segunda banda de frecuencia está en el intervalo de 528-536 nm y la tercera banda de frecuencia está en el intervalo de 840-890 nm.

12. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, en donde el aparato se implementa en un satélite, en donde durante una porción de una órbita, el sensor de formación de imágenes está operando mientras las condiciones de iluminación lo permiten y, durante el resto de la órbita, cuando la adquisición de imágenes no se puede realizar con resultados satisfactorios, se realiza una misión de QKD que usa al menos uno del transmisor de QKD y el receptor de

QKD.

13. Un método para controlar un aparato de formación de imágenes y criptografía cuántica (101), que comprende las etapas de:

- 5        dar instrucción a un sensor de formación de imágenes (103) para capturar la luz que se refracta de una configuración óptica de refracción de la luz (101) y dirigida al sensor de formación de imágenes por una configuración óptica de dirección de la luz (102);
- 10      dar instrucción a un transmisor (104) de distribución de clave cuántica (QKD) para generar una señal de luz de QKD y transmitir la señal de luz de QKD a través de la configuración óptica de dirección de la luz y a través de la configuración óptica de refracción de la luz; y
- 15      **caracterizado por que** dar instrucción a una unidad de alineación (106) para alinear el transmisor de QKD a un aparato de QKD acoplado (108) se basa en señales de luz que pasan a través de la configuración óptica de dirección de la luz y la configuración óptica de refracción de la luz y usando una imagen del aparato de QKD acoplado capturada por dicho sensor de formación de imágenes durante dicha alineación.

14. El método de la reivindicación 13, que comprende, además:

dar instrucción a un receptor de QKD (105) para adquirir y decodificar señales de luz refractadas de la configuración óptica de refracción de la luz y dirigidas por una configuración óptica de dirección de la luz hacia el receptor de QKD.

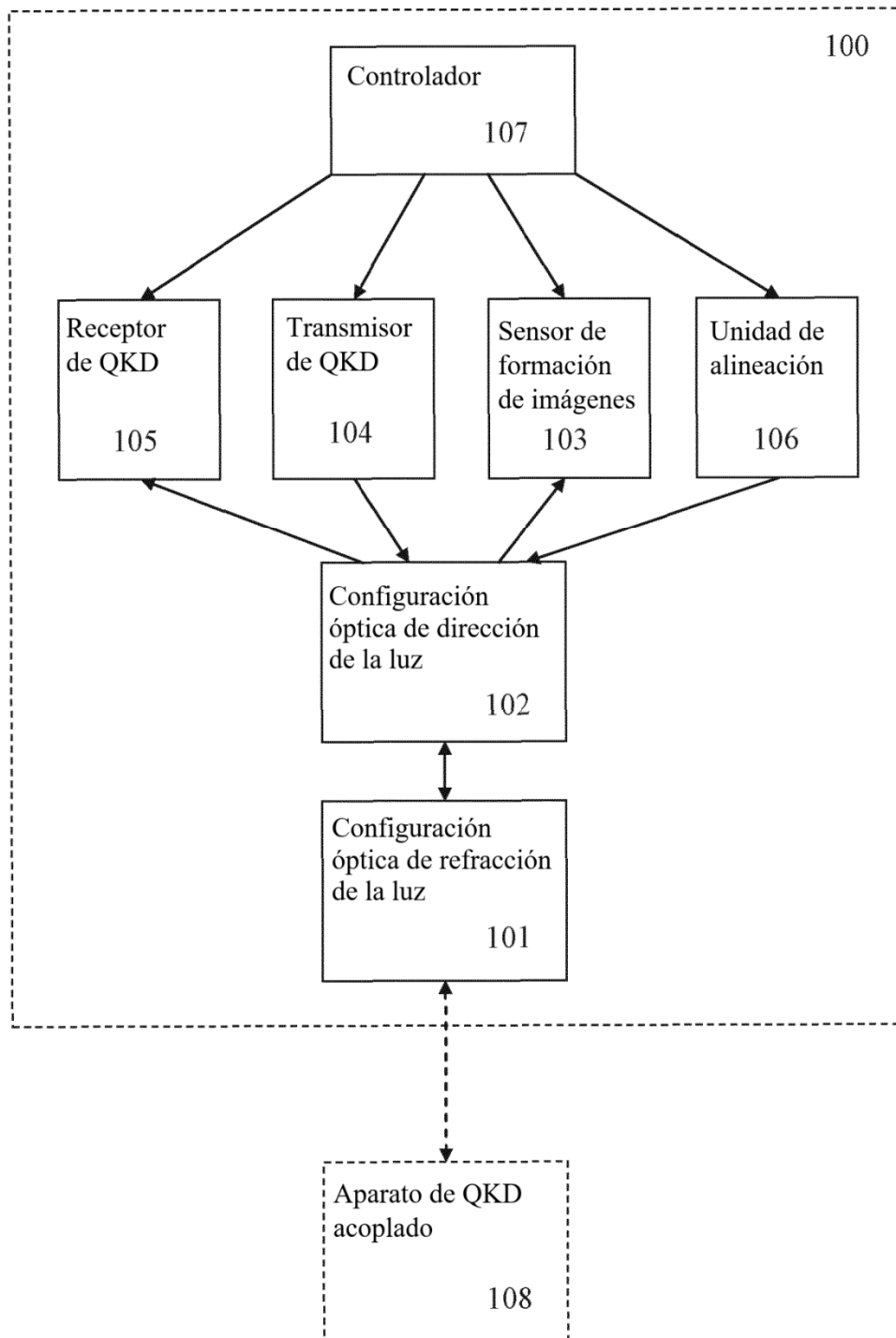


FIG. 1

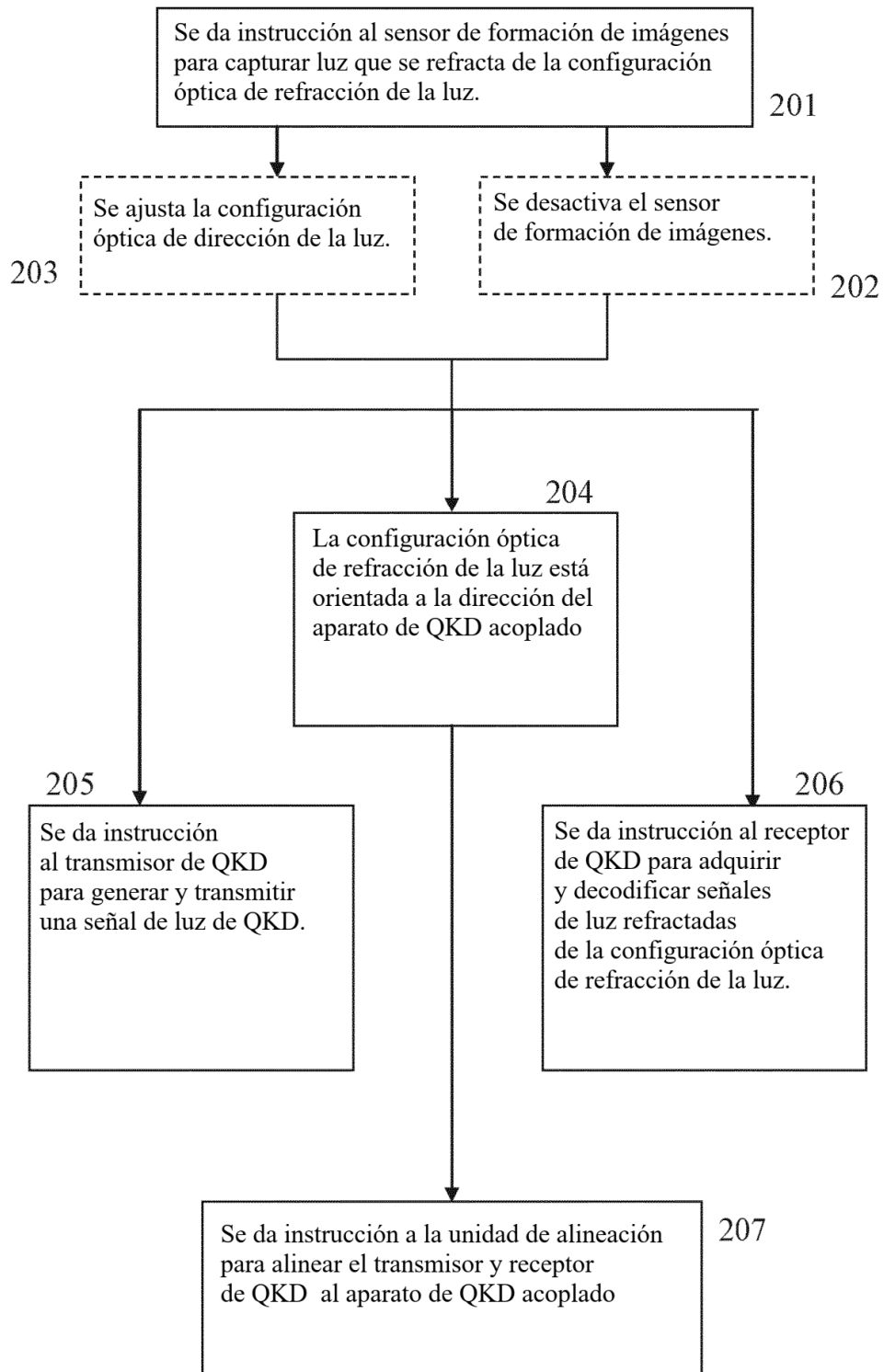


FIG. 2

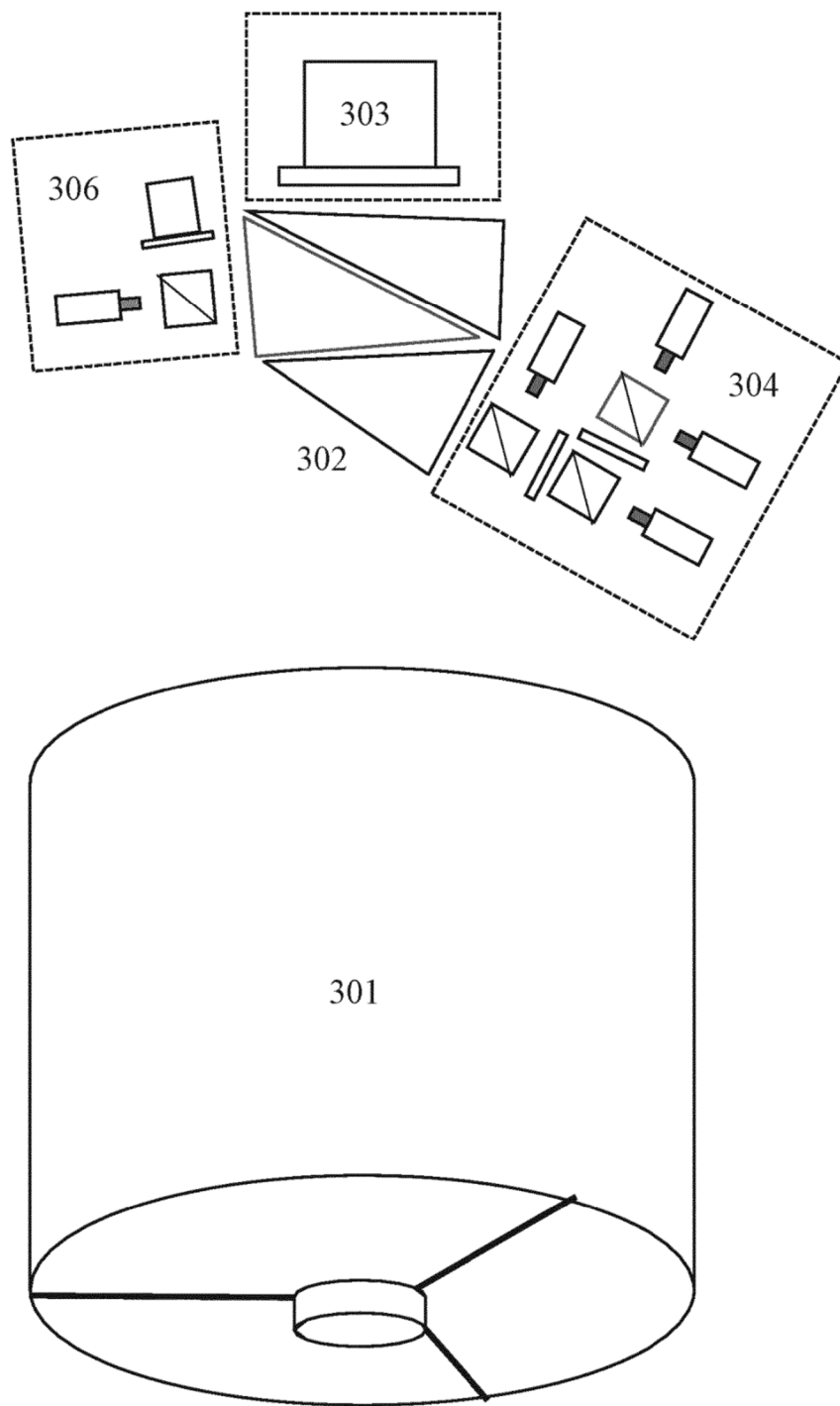


FIG. 3

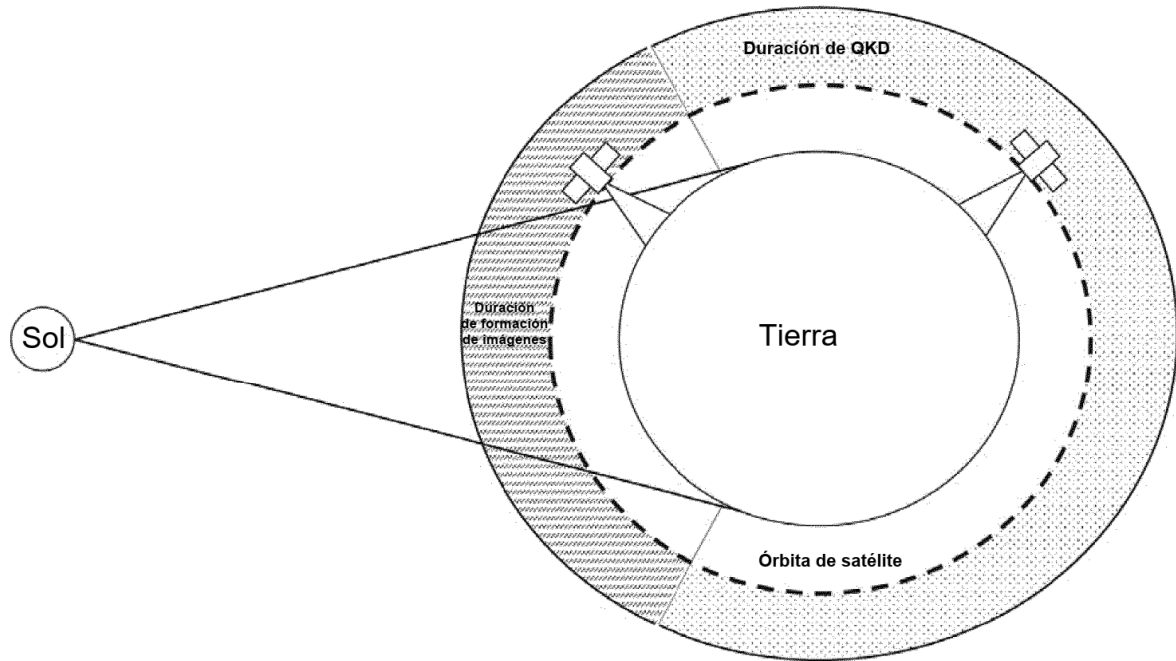


FIG. 4