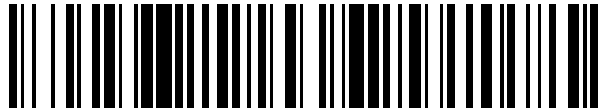


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 749 734**

21 Número de solicitud: 201830913

51 Int. Cl.:

**B64C 29/00** (2006.01)

**B64D 47/08** (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

**21.09.2018**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**23.03.2020**

Fecha de concesión:

**26.03.2021**

45 Fecha de publicación de la concesión:

**06.04.2021**

73 Titular/es:

**UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID (100.0%)**

**Av. Gregorio Peces Barba, 1**

**28919 Leganés (Madrid) ES**

72 Inventor/es:

**RIPOLL LORENZO, Jorge**

54 Título: **Dispositivo móvil de generación de imágenes 3D mediante haz láser plano**

57 Resumen:

La invención describe un dispositivo (1) móvil de generación de imágenes 3D mediante haz láser plano que comprende: un dron (2) configurado para desplazarse inmerso en un medio fluido a lo largo de una dirección de desplazamiento (DD); un emisor de haz láser plano (3) fijado al dron (2), donde el haz láser plano (3) está contenido en un plano perpendicular a la dirección de desplazamiento (DD); y una cámara (4) dotada de un objetivo (5) orientado hacia el haz láser plano (3) según la dirección de desplazamiento (DD), donde la cámara (4) está configurada para adquirir imágenes de la luz de fluorescencia, auto-fluorescencia y/o dispersada emitida. De ese modo, cuando el dron (2) se desplaza a lo largo de la dirección de desplazamiento (DD), la adquisición secuencial de imágenes de la cámara (4) a través del objetivo (5) permite construir una imagen 3D de una porción del medio fluido.

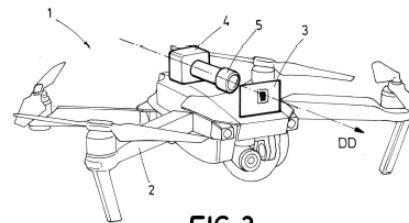


FIG. 2

ES 2 749 734 B2

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 41 LP 24/2015. Dentro de los seis meses siguientes a la publicación de la concesión en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial cualquier persona podrá oponerse a la concesión. La oposición deberá dirigirse a la OEPM en escrito motivado y previo pago de la tasa correspondiente (art. 43 LP 24/2015).

## DESCRIPCIÓN

Dispositivo móvil de generación de imágenes 3D mediante haz láser plano

### 5 OBJETO DE LA INVENCIÓN

El objeto de la presente invención es un dispositivo móvil basado en el funcionamiento de un microscopio de haz láser plano capaz de generar imágenes 3D del medio a través del cual se desplaza.

10

### ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN

Un microscopio de haz láser plano está formado fundamentalmente por una cámara acoplada a un objetivo de alta apertura numérica y dispuesta según una dirección denominada “*dirección de detección*”, y un medio de iluminación capaz de emitir una lámina delgada de luz según una dirección denominada “*dirección de iluminación*” que es perpendicular a la dirección de detección, siguiendo la configuración original de Siedentopf y Zsigmondy acoplada a una cámara de detección. Con esta configuración, la cámara puede obtener una imagen 2D de fluorescencia de la parte de la muestra iluminada por la lámina o plano de iluminación. Si además se desplaza la muestra en la dirección del eje de detección y se toman varias imágenes 2D en diferentes posiciones, se genera un conjunto o pila de imágenes 2D donde cada una de las imágenes 2D corresponde a una posición del plano de iluminación con respecto a la muestra. Esta pila de imágenes 2D contiene información de la posición en z (profundidad de la muestra según la dirección de detección) obtenida al mover la muestra, y de las posiciones x e y, presentes en cada imagen 2D. La pila de imágenes 2D puede entonces fusionarse para generar una imagen 3D de la muestra, como se describe en el documento US 7,554,725 de Stelzer et al. Posteriormente, se propuso hacer rotar la muestra alrededor de su propio eje, normalmente vertical, para captar varias pilas de imágenes 2D (comúnmente denominadas “medidas angulares”) y fusionarlas posteriormente, lo que permite mejorar la anisotropía y la calidad de las imágenes (S. Preibisch et al, Nature Methods 7 (2010)).

Desde el año 2015, los inventores de la presente solicitud han presentado varias solicitudes de patente dirigidas a diversas mejoras en este tipo de microscopios. Estas solicitudes de patente son las siguientes:

35

5 PCT/ES2015/070455, titulada "*Microscopio y procedimiento para la generación de imágenes 3D de una colección de muestras*" que describe un nuevo microscopio que combina la técnica de haz láser plano de tipo SPIM (Selective Plane Illumination Microscope) con la técnica de la tomografía de proyección óptica (OPT, Optical Projection Tomography).

10 PCT/ES2016/070714, titulada "*Dispositivo de carga múltiple para microscopio de haz láser plano*" que describe un dispositivo de carga múltiple para la alimentación a un microscopio de haz láser plano de un flujo continuo y secuencial de muestras.

15 PCT/ES2017/070028, titulada "*Dispositivo automático de cambio de objetivo para microscopio de haz láser plano*", que describe un dispositivo que permite cambiar de manera automática el objetivo de adquisición de imágenes de un microscopio de haz láser plano en función de la magnificación deseada en cada momento.

20 PCT/ES2017/070028, titulada "*Dispositivo rotativo de cambio de objetivo para microscopio de haz láser plano*", que describe un dispositivo donde el cambio de objetivo se realiza a través de rotaciones de la propia cubeta.

25 PCT/ES2017/070184, titulada "*Dispositivo de sujeción de muestras para microscopio*", que describe un dispositivo para poder montar las muestras y medirlas en un equipo de haz láser plano.

30 Para una comprensión más clara de esta técnica, se adjuntan las Figs. 1a y 1b que muestran un primer ejemplo de microscopio (100) de haz láser plano. La muestra (107) se dispone en un soporte (101) dentro de una cubeta (102) rellena con un líquido. Un haz (103) de iluminación lineal Gaussiano, Bessel, Airy o similar, incide sobre una lente (104) cilíndrica que lo enfoca gracias a un objetivo (105) de iluminación para generar la lámina (106) de iluminación plana vertical. Esta lámina (106) de iluminación plana vertical incide sobre la muestra (107) según la dirección de iluminación (DI), y la luz fluorescente (108) emitida por ese plano concreto de la muestra (107) es recogida por un objetivo (109) de detección orientado según la dirección de detección (DD), que es perpendicular a la dirección de iluminación (DI). El soporte (101) puede girar alrededor de su eje vertical para permitir la toma de varias medidas angulares de acuerdo con la técnica propuesta por Preibisch.

35 Actualmente, cuando se desea monitorizar la contaminación en el aire o la cantidad de

microplásticos en el mar utilizando un microscopio de haz láser plano, es necesario llevar a cabo un proceso relativamente largo y tedioso. En primer lugar, se toman muestras del medio en cuestión, luego se transportan hasta un laboratorio, se introducen en la cubeta de un microscopio de haz láser plano, y finalmente se acciona el microscopio para obtener una  
5 imagen 3D de todos los elementos contenidos en la muestra alojada en la cubeta.

Si bien este procedimiento puede ser suficientemente rápido para ciertas aplicaciones, sería muy deseable disponer de una manera más rápida de realizar el análisis.

## 10 DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

La presente invención resuelve el problema anterior gracias a la combinación de un microscopio de haz láser plano con un dron.

15 En efecto, los drones son bien conocidos y en la actualidad se utilizan para una gran cantidad de tareas tanto militares como civiles. Los drones comprenden fundamentalmente un medio de propulsión montado en un chasis diseñado para su desplazamiento a través de un medio fluido, como por ejemplo aire o agua. Los drones diseñados para volar a través del aire suelen disponer de un medio de propulsión que comprende una o varias hélices,  
20 mientras que los drones diseñados para desplazarse por el agua, como por ejemplo en el mar o en un río, pueden disponer de medios de propulsión a reacción.

El dispositivo de la presente invención está formado fundamentalmente por un dron que porta algunos de los elementos principales de un microscopio de haz láser plano.  
25 Concretamente, el dron dispone de un emisor de haz láser plano contenido en un plano perpendicular a la dirección de desplazamiento, de modo que el propio movimiento del dron provoca el avance del haz láser plano a través del medio en el que se desplaza. El dron dispone también de una cámara dotada de un objetivo orientado hacia el haz láser plano según la dirección de desplazamiento. De ese modo, el objetivo capta al menos una de  
30 entre la luz de fluorescencia, la luz de auto-fluorescencia y/o la luz dispersada emitida por la lámina del medio fluido iluminada a medida que el dron avanza, permitiendo así la formación de una imagen 3D del medio de un modo similar a la formación de la imagen 3D de un microscopio de haz láser plano convencional.

35 Este novedoso dispositivo permite monitorizar de una manera extremadamente rápida el estado de cualquier medio fluido a través del cual pueda desplazarse un dron y que sea

susceptible de análisis mediante la técnica del haz láser plano. El dispositivo de la invención sería por tanto útil para el análisis de la cantidad de partículas en suspensión en el agua, como por ejemplo microplásticos, para determinar la cantidad y tamaño de partículas contaminantes suspendidas en el aire, o incluso para clasificar las partículas o  
5 microplásticos en función de su tipo o tamaño.

La presente invención está dirigida a un móvil de generación de imágenes 3D mediante haz láser plano que comprende fundamentalmente los siguientes elementos: un dron, un emisor de haz láser plano, y una cámara. A continuación, se describe cada uno de estos elementos  
10 con mayor detalle.

a) Dron

El dron está configurado para desplazarse inmerso en un medio fluido a lo largo de una dirección de desplazamiento. Es decir, en el contexto de la presente invención, el término “dron” no está limitado al tipo de aeronave no tripulada convencionalmente conocida como dron, sino que comprende cualquier dispositivo móvil capaz de desplazarse a través de un medio fluido tal como el agua, el aire, u otro tipo de medios líquidos o gaseosos.  
15

En una realización preferida, el medio fluido a través del cual se desplaza el dron es el aire. Nótese que esto incluye drones capaces de desplazarse apoyados sobre una superficie sólida, de modo que no sólo incluye drones voladores propiamente dichos, sino que abarca cualquier vehículo capaz de desplazarse sobre ruedas, patines, orugas, o cualquier otro elemento de apoyo sobre una superficie sólida. En cualquier  
20 caso, el dron preferentemente se desplaza volando sin tocar el suelo

En otra realización preferida, el medio fluido a través del cual se desplaza el dron es el agua. Al igual que en el caso anterior, nótese que esto incluye tanto drones que se desplazan de manera flotante sobre la superficie del agua u otro líquido, tales como barcos o lanchas, como drones completamente submarinos. En cualquier caso, el dron preferentemente se desplaza completamente sumergido en el agua  
25

En otra realización particularmente preferida de la invención, el dron no está tripulado. Es decir, se trata de un vehículo autónomo que se maneja por control remoto, o bien en función de un programa determinado almacenado en un medio de  
30

almacenamiento del propio dron.

b) Emisor de haz láser plano

5 Se trata de un emisor de haz láser plano que está fijado al dron, donde el haz láser plano está contenido en un plano perpendicular a la dirección de desplazamiento. Se trata en general de un emisor de haz láser plano convencional del tipo utilizado en los microscopios de haz láser plano convencionales.

10 En principio, el emisor de haz láser plano podría estar fijado al dron en cualquier ubicación siempre que el haz láser plano emitido por el mismo fuese perpendicular a la dirección de desplazamiento. Sin embargo, con el propósito de evitar en la medida de lo posible la aparición de turbulencias provocadas por el propio movimiento del dron en la porción de fluido analizada, preferentemente el emisor de haz láser plano  
15 está situado en una porción delantera de dicho dron.

Por otra parte, el emisor de haz láser plano puede estar fijado en la porción superior o inferior del dron en función de las necesidades de cada aplicación. Por ejemplo, en el caso de un dron acuático flotante para el análisis de aguas, el emisor de haz láser  
20 plano estaría fijado en la porción inferior del dron, de manera que estaría sumergido bajo el agua.

c) Cámara

25 Se trata de una cámara dotada de un objetivo orientado hacia el haz láser plano de acuerdo con la dirección de desplazamiento, donde la cámara está configurada para adquirir periódicamente al menos una de entre la luz de fluorescencia, la luz de auto-fluorescencia y/o la luz dispersada emitida por la lámina del medio fluido iluminada por el haz láser plano que está dentro de su campo de visión. En principio, el objetivo  
30 puede ser de tipo similar a los utilizados en los microscopios de haz láser plano convencional. Similarmente, la cámara puede ser simplemente una cámara CMOS, aunque sin limitación.

Gracias a esta configuración, cuando el dron se desplaza a lo largo de la dirección de  
35 desplazamiento, la adquisición secuencial de imágenes de la cámara a través del objetivo permite construir una imagen 3D de una porción del medio fluido. En efecto, debido al propio

movimiento del dron cada imagen individual captada corresponderá a una posición diferente dentro del fluido en cuestión.

5 En este contexto, la captación de la luz de fluorescencia permite obtener información acerca de la materia biológica presente en la porción de fluido iluminada por el haz láser plano. Por su parte, la detección de la luz dispersada permite obtener información acerca de materia no biológica presente en la porción de fluido iluminada por el haz láser plano, por ejemplo microplásticos. Concretamente, es conocido que cuanto mayor es la diferencia entre el índice de refracción de la partícula y el índice de refracción del medio, más intensa es la  
10 señal luminosa captada. En tercer lugar, la captación de la luz de auto-fluorescencia es útil para distinguir distintos tipos de tejidos, materiales o de especies, ya que dependiendo de su composición química el espectro de auto-fluorescencia varía.

De este modo, mediante una adecuada selección del tipo de medida utilizado, es posible  
15 clasificar las partículas presentes en la porción de fluido iluminada por el haz láser plano. Alternativamente, sería posible combinar dos tipos de medida o bien un único tipo en varias longitudes de onda diferentes. Por ejemplo, es posible medir fluorescencia y dispersión a la vez, o bien medir dos longitudes de onda de fluorescencia diferente. También es posible emplear dos láseres de diferentes longitudes de onda que se encienden y apagan de  
20 manera alternativa. La medida de fluorescencia y dispersión también se podría realizar dividiendo en dos el camino óptico desde el haz láser plano y utilizando dos cámaras diferentes. Estas opciones relativas a la configuración de un microscopio de haz láser plano para la obtención de imágenes de fluorescencia, de auto-fluorescencia y de refracción son generalmente conocidas en la técnica, y por ese motivo no se describen con detalle en este  
25 documento.

En una realización preferida de la invención, el emisor de haz láser plano está configurado para emitir el haz láser plano de manera continua. De ese modo, la adquisición de imágenes por parte de la cámara puede realizarse con cualquier frecuencia elegida sin necesidad de  
30 actuar sobre el propio emisor de haz láser plano. Alternativamente, el emisor de haz láser plano puede estar configurado para emitir el haz láser plano de manera intermitente en sincronización con los momentos de adquisición de imágenes de la cámara.

En cualquier caso, seleccionando adecuadamente la velocidad del dron y la frecuencia de la  
35 adquisición de imágenes, es posible obtener una pila de imágenes 2D del fluido que posteriormente se combinan para obtener una imagen 3D. Normalmente se obtiene, por

tanto, una muestra cilíndrica del fluido en cuestión a lo largo de la trayectoria del dron. Esto permite no sólo conocer la cantidad de contaminantes dentro de la muestra sino, en función de la trayectoria recorrida por el dron, también el modo en que esta cantidad de contaminantes varía a lo largo de un recorrido determinado.

5

### **BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS**

Las Figs. 1a y 1b muestran sendas vistas de un microscopio de haz láser plano convencional de acuerdo con la técnica anterior.

10

La Fig. 2 muestra una imagen en perspectiva de un dispositivo volador de acuerdo con la presente invención.

La Fig. 3 muestra esquemáticamente el modo en que se adquiere la pluralidad de imágenes 2D para la formación de la imagen 3D final.

15

### **REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION**

La Fig. 2 muestra una imagen simplificada en perspectiva de un ejemplo de dispositivo (1) de acuerdo con la presente invención. El dispositivo (1) está formado fundamentalmente por un dron (2) en cuya porción superior se ha fijado un emisor (no mostrado) de haz láser plano (3) y una cámara (4) dotada de un objetivo (5).

20

El dron (2) es en este ejemplo un dron volador no tripulado convencional dotado de cuatro hélices de sustentación y un chasis que soporta las hélices, así como el resto de componentes tales como un medio de control, medio de comunicación, medio de posicionamiento GPS, u otros medios que habitualmente incluye un dron de este tipo.

25

El emisor de haz láser plano (3) y la cámara (4) dotada del objetivo (5) están fijados a la superficie superior del dron de manera que están alineados a lo largo de la dirección de desplazamiento (DD) del dron (2). Más concretamente, el emisor de haz láser plano (3) está orientado de modo que el haz láser plano (3) es perpendicular a la dirección de desplazamiento (DD) del dron (2), mientras que la cámara (4) dotada del objetivo (5) está orientada en dicha dirección de desplazamiento (DD). En este ejemplo, el emisor de haz láser plano (3) emite el haz láser plano (3) de manera continua, de manera que no es necesario preocuparse por la sincronización entre la emisión del haz láser plano (3) y la

30

35

adquisición de las imágenes por parte de la cámara (4).

Así, como se muestra esquemáticamente en la Fig. 3, controlando adecuadamente la frecuencia de adquisición de imágenes por la cámara (4) se obtiene una pila de imágenes correspondientes a posiciones separadas una distancia determinada  $z$ . En efecto, tomando como sistema de coordenadas el mostrado en la Fig. 2, donde el eje  $z$  coincide con la dirección de desplazamiento (DD) del dron (2), se determina que la distancia entre cada par de imágenes adquiridas es:

$$z = v/\text{fps}$$

10 donde:

$v$  es la velocidad del dron (2),

$\text{fps}$  es la frecuencia de adquisición de imágenes de la cámara ("*frames per second*")

La Fig. 3 muestra así el objetivo (5) que, fijado al dron (2), se desplaza a la velocidad  $v$ . En tres momentos determinados correspondientes a las posiciones  $z_1$ ,  $z_2$ , y  $z_3$ , la cámara (4) adquiere a través del objetivo (5) tres imágenes de la emisión de fluorescencia de la porción de medio fluido a través del cual se desplaza el conjunto iluminada por el haz láser plano (3). En este ejemplo, el tono de las imágenes representa la cantidad de partículas contaminantes en suspensión, de modo que la primera imagen tomada en  $z = z_1$  corresponde a un punto del medio fluido donde la contaminación es alta, la segunda imagen tomada en  $z = z_2$  corresponde a un punto del medio fluido donde la contaminación es menor, y finalmente la tercera imagen tomada en  $z = z_3$  corresponde a un punto del medio fluido donde la contaminación es mínima. Seleccionando adecuadamente la velocidad del dron (2), es posible elegir la distancia entre cada par de imágenes de modo que éstas puedan combinarse para formar una imagen 3D de la porción de medio que ha atravesado el objetivo (5) fijado al dron (2).

**REIVINDICACIONES**

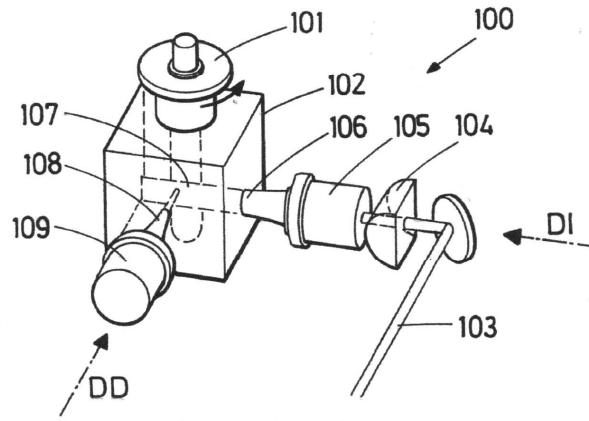
1. Dispositivo (1) móvil de generación de imágenes 3D mediante haz láser plano, caracterizado por que comprende:
- 5           - un dron (2) configurado para desplazarse inmerso en un medio fluido a lo largo de una dirección de desplazamiento (DD);
- un emisor de haz láser plano (3) fijado al dron (2), donde el haz láser plano (3) está contenido en un plano perpendicular a la dirección de desplazamiento (DD);
- una cámara (4) dotada de un objetivo (5) orientado hacia el haz láser plano (3) de acuerdo
- 10 con la dirección de desplazamiento (DD), donde la cámara (4) está configurada para adquirir periódicamente imágenes de al menos una de entre la luz de fluorescencia, la luz de auto-fluorescencia y/o la luz dispersada emitida por la porción de medio fluido iluminada por el haz láser plano (3) que está dentro del campo de visión de dicha cámara (4),
- de manera que cuando el dron (2) se desplaza a lo largo de la dirección de desplazamiento
- 15 (DD), la adquisición secuencial de imágenes de la cámara (4) a través del objetivo (5) permite construir una imagen 3D de una porción del medio fluido.
2. Dispositivo (1) de acuerdo con la reivindicación 1, donde el emisor de haz láser plano (3) está fijado en una porción delantera del dron (2).
- 20
3. Dispositivo (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el emisor de haz láser plano (3) está configurado para emitir el haz láser plano (3) de manera continua.
- 25
4. Dispositivo (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-2, donde el emisor de haz láser plano (3) está configurado para emitir el haz láser plano (3) de manera intermitente en sincronización con los momentos de adquisición de imágenes de la cámara (4).
- 30
5. Dispositivo (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el medio fluido a través del cual se desplaza el dron (2) es el aire.
6. Dispositivo (1) de acuerdo con la reivindicación 5, donde el dron (2) se desplaza volando sin tocar el suelo.
- 35
7. Dispositivo (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-4, donde el medio

fluido a través del cual se desplaza el dron (2) es el agua.

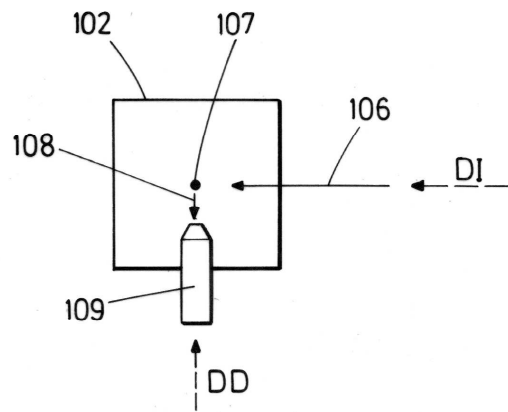
8. Dispositivo (1) de acuerdo con la reivindicación 7, donde el dron (2) se desplaza completamente sumergido en el agua.

5

9. Dispositivo (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el dron (2) no está tripulado.



**FIG. 1A**  
TÉCNICA ANTERIOR



**FIG. 1B**  
TÉCNICA ANTERIOR

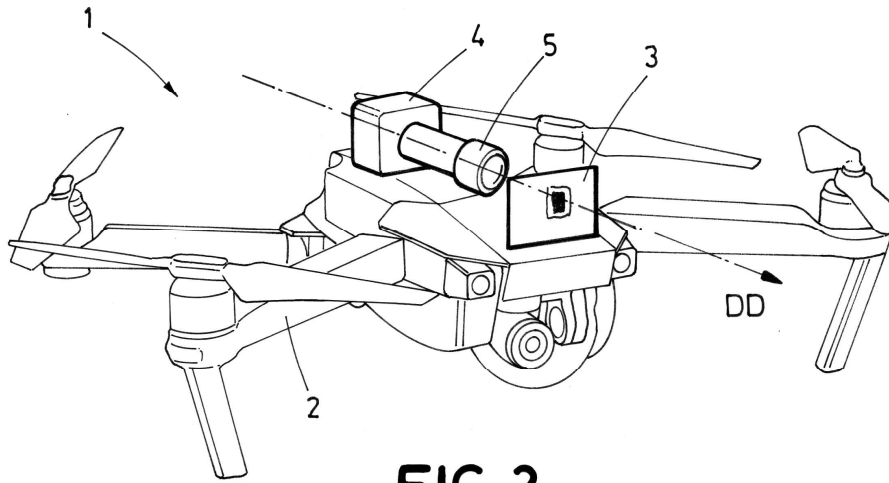


FIG. 2

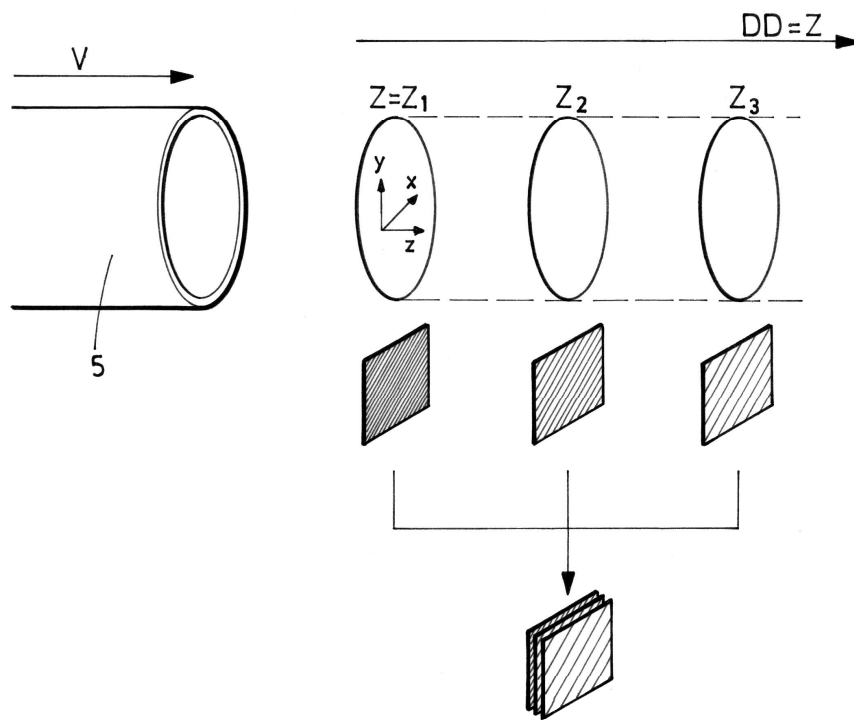


FIG. 3