

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 647 469**

51 Int. Cl.:

G01B 9/04 (2006.01)

G01B 11/06 (2006.01)

G01N 21/35 (2014.01)

G01N 21/84 (2006.01)

G01N 21/89 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **18.10.2013 PCT/US2013/065671**

87 Fecha y número de publicación internacional: **24.04.2014 WO14063044**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.10.2013 E 13846546 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.09.2017 EP 2909573**

54 Título: **Sistema para el cálculo de propiedades de material usando radiación de terahercios de reflexión y una estructura de referencia externa**

30 Prioridad:

19.10.2012 US 201261716255 P

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

21.12.2017

73 Titular/es:

**PICOMETRIX, LLC (100.0%)
2925 Boardwalk
Ann Arbor, MI 48104, US**

72 Inventor/es:

**WHITE, JEFFREY, S. y
ZIMDARS, DAVID**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 647 469 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

Sistema para el cálculo de propiedades de material usando radiación de terahercios de reflexión y una estructura de referencia externa

5 Antecedentes

1. Campo de la invención

10 La presente invención se refiere en general a sistemas y métodos para cálculos de propiedades de material usando una radiación de terahercios.

2. Descripción de la técnica relacionada

15 Los transmisores de terahercios en el dominio del tiempo ("TD-THz", *time domain terahertz*) de reflexión pueden proyectar un haz de terahercios ("THz") pulsado hacia un material dieléctrico sometido a medición que, a veces, se denomina muestra. Tales materiales pueden ser papel, papel revestido, lámina de plástico, materiales no tejidos (fibra, tela), aislamiento extruido, espumas, adhesivos y materiales similares. Un sistema para determinar el índice de refracción de una muestra en función de una señal de THz recibida se conoce a partir del documento de Yuichi Ogawa *et al.*: "*Interference terahertz label-free imaging for protein detection on a membrane*", *Opt. Express*, vol. 16, n.º 26, páginas 22083 - 22089.

25 No obstante, la medición de las propiedades de material de estos materiales dieléctricos sometidos a medición se puede complicar debido al hecho de que la reflexión de la radiación de THz se verá afectada en función de la posición de la muestra. Si no se puede determinar la posición de la muestra, la medición de las propiedades de material se verá afectada de forma adversa.

Sumario

30 Un sistema para interpretar la radiación de terahercios incluye un transmisor de terahercios que está configurado para emitir un pulso de radiación de terahercios y un receptor de terahercios que está configurado para recibir al menos una porción del pulso de radiación a partir del transmisor de terahercios. El receptor de terahercios está configurado para emitir una señal en función de la radiación que es recibida por el receptor de terahercios.

35 El sistema también incluye una primera interfase óptica que proporciona una interferencia óptica al pulso de radiación de terahercios a partir del receptor de terahercios. La primera interfase óptica reflejará una primera porción reflejada de interfase óptica del pulso de radiación de terahercios hacia el receptor de terahercios. El sistema también incluye una segunda interfase óptica que proporciona una interferencia óptica al pulso de radiación de terahercios. Una segunda interfase óptica reflejará una segunda porción reflejada de interfase óptica del pulso de radiación de terahercios hacia el receptor de terahercios. Una separación está definida entre la primera y la segunda interfases ópticas. La separación está configurada para recibir la muestra que va a ser irradiada por al menos una porción del pulso de radiación de terahercios. La muestra reflejará una primera porción reflejada de muestra del pulso de radiación de terahercios hacia el receptor de terahercios y una segunda porción reflejada de muestra del pulso de radiación de terahercios hacia el receptor de terahercios.

45 En general, el transmisor de terahercios y el receptor de terahercios están dispuestos sustancialmente adyacentes entre sí en una carcasa. Un procesador se puede encontrar en comunicación con el receptor de terahercios y estar configurado para recibir la señal a partir del receptor de terahercios. Entonces, el proceso está configurado para determinar el espesor de calibrador, la densidad, el índice de refracción o la masa de la muestra en función de la señal. El sistema también puede incluir un pórtico, en el que la carcasa está acoplada con el pórtico según una configuración para mover la carcasa por una muestra.

50 La primera interfase óptica se puede montar en la carcasa, o se puede ubicar entre el transmisor de terahercios y la muestra. La segunda interfase óptica se puede montar en el pórtico o simplemente se puede montar opuesta a la primera interfase óptica.

55 El sistema también puede incluir un sensor de posición en comunicación con el procesador. El sensor de posición está configurado para determinar la distancia los espacios entremedios de la primera interfase óptica y la segunda interfase y emitir una señal de distancia al procesador. El sensor de posición puede ser un sensor de temperatura o puede ser un sensor de corriente de Foucault.

60 Objetos, características y ventajas adicionales de la presente invención serán inmediatamente evidentes a los expertos en la materia después de una revisión de la siguiente descripción, con referencia a los dibujos y las reivindicaciones que se adjuntan a y que forman parte de la presente memoria descriptiva.

65

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 ilustra un diagrama de bloques de un sistema de terahercios tradicional basado en el dominio del tiempo;

5 la figura 2 ilustra el sistema de la figura 1 que está montado sobre un pórtico sobre una banda de material de lámina;

la figura 3 ilustra una sección transversal de un material sometido a prueba sin una segunda interfase óptica, al que a veces se hace referencia como estructura de referencia externa;

la figura 4 es una sección transversal de un material sometido a prueba con una segunda interfase óptica;

10 la figura 5 ilustra un sistema que tiene una interfase óptica que abarca la anchura del pórtico, tanto por encima como por debajo del material sometido a prueba;

la figura 6 ilustra el sistema con la primera interfase óptica incorporada en la carcasa y la segunda interfase óptica que abarca la anchura del pórtico por debajo del material sometido a prueba;

15 la figura 7 ilustra la primera interfase óptica incorporada en la carcasa del sistema y una segunda interfase óptica que está montada sobre un pórtico de movimiento sincronizado por debajo del material sometido a prueba;

la figura 8 ilustra un sistema con unas interfases ópticas que abarcan la anchura del pórtico tanto por encima como por debajo del material sometido a prueba y unos sensores de distancia que están montados sobre la primera interfase óptica o el bastidor del pórtico para medir la distancia entre la primera interfase óptica y la segunda interfase óptica;

20 la figura 9 ilustra un sistema que tiene unas interfases ópticas que abarcan la anchura del pórtico tanto por encima como por debajo del material sometido a prueba usando un sensor de posición que está montado en la carcasa;

la figura 10 ilustra un sistema con la primera interfase óptica y un sensor de distancia incorporados en la carcasa del sistema y la segunda interfase óptica que abarca la anchura del pórtico por debajo del material sometido a prueba;

25 la figura 11 ilustra un sistema que tiene la primera interfase óptica y el sensor de posición incorporados en la carcasa y una segunda interfase óptica que está montada sobre un pórtico de movimiento sincronizado por debajo del material sometido a prueba;

la figura 12 ilustra un sistema que utiliza unos sensores de temperatura que están montados sobre la primera interfase óptica o el pórtico; y

30 la figura 13 ilustra un sistema que tiene un primer acceso y un segundo acceso.

Descripción detallada

35 Haciendo referencia a la figura 1, se muestra un sistema 10 para interpretar la radiación de terahercios. Como sus componentes primarios, el sistema incluye una carcasa 12 que tiene un transmisor de terahercios 14 y un receptor de terahercios 16 contenidos dentro de la misma. El sistema 10 también incluye una unidad de control de terahercios 18, tal como una fuente óptica de láser y un sistema informático 20. La fuente óptica de láser 18 se puede acoplar con el receptor de terahercios 16 y / o el transmisor de terahercios 14 por medio de unos umbilicales 13 y 15. Los umbilicales 13 y 15 pueden tener una longitud de 0 - 100 metros. Los umbilicales de fibra óptica / eléctricos flexibles 13 y 15 se pueden colocar en una bandeja flexible para cables ("serpiente") cuando el sensor de TD-THz está montado sobre un pórtico de control de movimiento que realiza barridos a lo largo de la banda. Los umbilicales 13 y 15 acoplan ópticamente la fuente de láser 18 con el receptor de terahercios 16 y / o el transmisor de terahercios 14.

40

45 El sistema informático 20 se puede acoplar o bien directa o bien indirectamente al receptor de terahercios 16, con el fin de recibir una señal a partir del receptor de terahercios 16. El sistema informático 20 puede interpretar entonces la señal a partir del receptor de terahercios 16 con el fin de interpretar la radiación que es recibida por el receptor de terahercios 16. El sistema 10 también puede incluir una diversidad de sensores 22 y 24 separados. Estos sensores 22 y 24 pueden incluir sensores de posicionamiento y / o sensores de temperatura.

50

El sistema 10 también puede incluir una unidad de control de realimentación 26 para controlar la producción de material y también puede incluir un control de movimiento 28 para controlar un pórtico que moverá la carcasa 12 por la muestra o material sometido a prueba 30 de tal modo que se puedan hacer mediciones. La muestra 30 puede ser cualquier tipo de muestra, pero es, en general, una muestra que tiene múltiples capas tales como papel u otro tipo de material de banda.

55

La carcasa 12 incluye adicionalmente un dispositivo de división de haces 32, tal como un cubo de división de haces. El dispositivo de división de haces 32 dirige la radiación de terahercios 34 a partir del transmisor de terahercios 14 hacia la muestra 30. De una forma similar, el dispositivo de división de haces 32 dirige la radiación 36 a partir de la muestra que se transmitió originalmente a partir del transmisor de terahercios 14 hacia el receptor de terahercios 16. Además, se puede usar una lente 38 para enfocar la radiación de terahercios enviada a o desde la muestra 30, en general a través de un primer acceso 40.

60

Haciendo referencia a la figura 2, se muestra una descripción más detallada del sistema 210. En la presente realización, se usan números de referencia semejantes para hacer referencia a elementos semejantes con la excepción de que se ha colocado el número "2" delante de estos elementos. No se dará de nuevo una descripción

65

de estos elementos. En la presente realización, un pórtico 250 está ubicado por encima de una muestra 230. En el presente caso, la carcasa 212 está montada en el pórtico 250 de tal modo que la carcasa se mueve a lo largo de la longitud de la muestra 30, tal como se indica por medio de la flecha 252.

5 El receptor de terahercios 216 y/o el transmisor de terahercios 214 se puede encontrar en una configuración monoestática o colineal. En esta configuración, el haz de THz de pulsos que se proyecta hacia el material sometido a prueba 30 y las reflexiones a partir de las interfases dentro del material sometido a prueba 30 (y a partir de la interfase o interfases de estructura de referencia externa, si se encuentran presentes) siguen la misma trayectoria.

10 Por lo general, se prefiere esta configuración debido a que la misma elimina los efectos del paralaje y aumenta al máximo la potencia de reflexión a partir de la muestra. Esta configuración colineal es particularmente importante cuando el material sometido a prueba se está moviendo arriba y abajo con respecto al sensor de THz. Como alternativa, se podría usar una disposición de tipo lanzamiento - captura (*pitch - catch*), en particular para materiales muy delgados que no se están moviendo arriba y abajo.

15 El receptor de terahercios 216 y/o el transmisor de terahercios 214 se muestran como que tienen el objetivo de enfocar y recoger el haz de THz que sondea el material sometido a prueba 230. El objetivo puede ser una lente 238, espejos curvados, o una combinación. El objetivo puede tener una longitud focal fija, puede ser intercambiable, o puede ser una lente de longitud focal variable. Se puede usar un único elemento o se pueden usar múltiples elementos. Puede que algunas configuraciones no requieran un objetivo.

20 La línea de trazo discontinuo en torno al receptor de terahercios 216 y/o el transmisor de terahercios 214 es una carcasa nominal 212 que protege al sensor frente a los elementos (la humedad, el polvo) y frente a los impactos mecánicos. El sensor puede estar encerrado, o no, en una carcasa de ese tipo.

25 El receptor de terahercios 216 y/o el transmisor de terahercios 214 se muestran con la antena de transmisor y de receptor montada en un cabezal remoto y libremente posicionable que está conectado con unos umbilicales de fibra óptica / eléctricos flexibles a la unidad de control. Esta es una realización preferida debido a que el cabezal del sensor se puede hacer tan pequeño y robusto como sea posible, al colocar el láser, la fuente de alimentación, el escáner de retardo óptico, el ordenador y/u otros componentes electrónicos en la unidad de control de TD-THz. La unidad de control se puede montar de forma segura lejos del área de barrido. Esta se podría colocar en un armario de ambiente controlado.

30 Se pueden emplear un receptor de terahercios 216 y/o un transmisor de terahercios 214 alternativos. Según sea factible, algunos o la totalidad de los sistemas en la unidad de control de TD-THz se pueden miniaturizar y colocar en su totalidad en el cabezal del sensor de TD-THz. Puede que una configuración todo en uno de ese tipo no emplee necesariamente fibra óptica. El transmisor y el receptor de terahercios se pueden encontrar en soportes separados o estar ubicados mecánicamente en el mismo sitio. El receptor de terahercios 216 y/o el transmisor de terahercios 214 pueden compartir los mismos sistemas secundarios de láser, electrónicos y/u otros sistemas secundarios de soporte ubicados en el mismo sitio que el transmisor y/o el receptor (de una forma todo en uno); o los sistemas secundarios de láser, electrónicos y/u otros sistemas secundarios de soporte pueden estar ubicados a distancia con respecto al transmisor y/o el receptor, conectados por un cable eléctrico y/o de fibra óptica.

35 El receptor de terahercios 216 y/o el transmisor de terahercios 214 pueden funcionar según el principio de la correlación cruzada de pulsos de ruido que son activados por una fuente de banda ancha en lugar de usar pulsos individuales que se generan a partir de un láser de femtosegundo. Se puede emplear cualquier método de generación de EM de THz.

40 El receptor de terahercios 216 puede funcionar en el dominio de la frecuencia en lugar de en el dominio del tiempo. Si el receptor de terahercios 216 funciona en el dominio de la frecuencia, el transmisor también puede. El transmisor 214 y el receptor 216 de terahercios han de tener un ancho de banda lo bastante amplio para lograr la resolución deseada para la medición del espesor de una capa de la muestra. El transmisor de terahercios 214 puede ser, o no, de tipo pulsado, siempre que el mismo tenga el suficiente ancho de banda. El transmisor de terahercios 214 emite un haz de terahercios de banda ancha que se refleja tanto a partir de una o más interfases de capa de la muestra como a partir de cualesquiera interfases de estructura de referencia externa. El receptor de terahercios en el dominio de la frecuencia 214 registra la reflexión como una función de la fase y/o la amplitud de la frecuencia. Los datos registrados en el dominio de la frecuencia se pueden transformar entonces al dominio del tiempo a través del uso de una transformada matemática (tal como la transformada de Fourier). Estos datos que se han transformado al dominio del tiempo representarán ahora el tiempo de vuelo de las interfases dentro de la muestra y las interfases de referencia externa de una forma idéntica o similar a la de los datos que se recogen de forma nativa en el dominio del tiempo; y las propiedades de material de la muestra 230 se pueden calcular usando los métodos de compensación de la misma forma que los datos nativos en el dominio del tiempo. Como alternativa, el cómputo de las propiedades de material se podría realizar directamente a partir de las fases y/o la amplitud en el dominio de la frecuencia. Dos o más picos en el dominio del tiempo que se corresponden con unas interfases de reflexión que están separadas con un intervalo o intervalos particulares de tiempo de vuelo se representan por medio de picos de transmisión y/o pérdida separados con una separación o separaciones particulares de frecuencia en el dominio de la frecuencia.

Estas separaciones en el dominio de la frecuencia se podrían usar para calcular las mismas propiedades de material usando las separaciones de interfase de referencia externa conocidas a partir de uno o más de los esquemas de compensación que se describen. Métodos alternativos en el dominio de la frecuencia incluyen el método de onda continua modulada en frecuencia (FMCW, *frequency modulated continuous wave*).

5 Haciendo referencia a las figuras 3 y 4, estas figuras ilustran lo que le ocurre al haz de la radiación de terahercios cuando el mismo entra en contacto con la muestra 30. El haz de la radiación de terahercios 34 es reflejado por cada superficie de cada capa de la muestra 30. Estas porciones reflejadas de la radiación de terahercios se envían entonces de vuelta al receptor de terahercios 16 de la figura 1. La figura 4 ilustra un sistema que tiene una primera interfase óptica 42 y una segunda interfase óptica 44. La primera interfase óptica 42 puede ser parcialmente transmisiva mientras que la segunda interfase óptica 44 puede ser completamente reflectante, tal como un espejo. 10 En esta situación, la radiación 34 es reflejada por cada capa de la muestra 30 pero también por la primera interfase óptica 42 y la segunda interfase óptica 44. Estas porciones reflejadas del haz de terahercios 34 forman la radiación de terahercios 36 reflejada que se envía de vuelta al receptor de terahercios 16 de la figura 1.

15 La muestra 30 tendrá al menos 2 interfases de reflexión (las superficies exteriores superior e inferior) y puede tener, o no, una o más interfases internas. Las interfases ópticas 42 y 44 se pueden usar para crear una o más interfases externas adicionales que están colocadas por encima y/o por debajo del material sometido a medición. La temporización relativa de uno o más de los pulsos de reflexión a partir de la muestra 30, y uno o más de los pulsos de reflexión a partir de las interfases ópticas 42 y 44 se puede usar para calcular propiedades de la muestra 30 tales como el espesor de calibrador, la densidad, el índice de refracción y la masa. Estos valores se calculan usando uno o más coeficientes de calibración multiplicados por una combinación lineal de la suma y/o las diferencias apropiadas de tiempos de pulso de interfase. Tal como se ha expuesto previamente, el receptor de terahercios 16 puede ser estático o el mismo se puede mover. Estas interfases ópticas 42 y 44 pueden ser estáticas y pueden estar conectadas, o no, con la carcasa 12 y/o la estructura se puede mover con la carcasa 12. El receptor de terahercios 20 16, la muestra 30 y las interfases ópticas 42 y 44 están geoméricamente configuradas de tal modo que cada una de las interfases de la muestra y las interfases ópticas 42 y 44 dará como resultado un pulso de reflexión que se registra en la forma de onda de TD-THz. La temporización relativa de uno o más de estos pulsos de reflexión del material sometido a medición y una o más de las interfases ópticas 42 y 44 se puede usar para calcular propiedades de material del material sometido a medición tales como el espesor de calibrador, la densidad, el índice de refracción y la masa. 25 30

35 Estos valores se calculan usando uno o más coeficientes de calibración multiplicados por una combinación lineal de la suma y/o las diferencias apropiadas de tiempos de pulso de interfase. Las interfases ópticas 42 y 44 se construyen para tener una distancia conocida o mensurable (es decir, definida) entre las interfases ópticas 42 y 44. La separación entre todas las interfases externas ha de ser mensurable en la escala de tiempos de la recogida de una o más formas de onda de TD-THz.

40 La distancia o distancias fijas entre las interfases ópticas 42 y 44 son conocidas o se miden. Estas distancias de separación de interfase conocidas se usan, en combinación con valores obtenidos del tiempo de pulso de reflexión de TD-THz, para calcular determinadas propiedades de material que serían ambiguas exclusivamente a partir de la medición de THz (por ejemplo, la densidad) o sin algunas de las interfases externas. Las distancias definidas entre las interfases externas también se pueden usar para dar cabida a: 1) desviaciones en la temporización absoluta del pulso de TD-THz (por ejemplo, debido al estiramiento de la fibra óptica); 2) cambios en el índice de refracción del material sometido a medición; 3) cambios en la densidad del material sometido a medición; 4) y otros efectos. 45

50 Estas interfases ópticas 42 y 44 han de tener o bien 1) una alta estabilidad geométrica, de tal modo que se pueda usar una medición almacenada previamente recogida o bien 2) las distancias de interfase se han de medir con la suficiente precisión a lo largo de tiempos cortos (la longitud de medición de forma de onda de TD-THz individual de 0,001 a 1 s) y más largos (minutos, horas o días) o medirse indirectamente o determinarse a partir de métodos de calibración y sensores complementarios (por ejemplo, termopares y método de calibración para la temperatura). A menudo, la estabilidad geométrica que se requiere es menor que 2 micras. La estructura se ha de construir para reducir las vibraciones microfónicas y de otro tipo a no más de la tolerancia requerida. En algunos casos, la estructura ha de abarcar varios metros a lo largo de una amplia lámina del material sometido a medición. En este caso, la estructura de las interfases ópticas 42 y 44 puede cambiar su distancia o distancias geométricas con el paso de los minutos, las horas o los días debido a la dilatación o contracción térmica, o debido a un cierto cambio en el esfuerzo externo. 55

60 El diagrama en sección transversal del material sometido a prueba 30 que se muestra la temporización de los pulsos de reflexión de TD-THz, *sin* una estructura de referencia externa, se muestra en la figura 3. El material se muestra con una o más capas (el número indicado por N) que se etiquetan A, B, ..., N. Hay $j = N + 1$ interfases. Por lo general, las interfases superior e inferior cuentan con una frontera de aire, pero esto no es necesario. Las reflexiones a partir de las interfases se etiquetan 1, 2, ..., $j - 1$, j . La secuencia y la temporización de los pulsos de reflexión se muestran en el lado derecho de la figura. La figura 3 muestra las reflexiones con un ángulo. Este método a modo de 65 ilustración es solo para fines de claridad. Las reflexiones pueden ser normales o presentar un ángulo.

Cada una de las “N” capas tiene un espesor mecánico “L” que puede variar en cada ubicación y un índice de refracción eficaz “η”. Si el índice de refracción n es conocido, entonces el espesor de la capa se puede obtener a partir de la forma de onda de TD-THz por medio de:

$$L = c * t / (2 * n),$$

en la que c es la velocidad de la luz en el vacío. Como alternativa, el índice de refracción eficaz de la capa se puede obtener si el espesor L se mantiene a un valor conocido.

El índice de refracción es una función de la composición química y física del material, y puede ser proporcional a la densidad del material, por ejemplo. Por lo general, el índice de refracción eficaz no es constante. El mismo puede variar con la densidad, por ejemplo. El lado derecho de la figura 3 muestra que, si aumenta el índice de una capa, entonces aumenta la temporización entre los picos, incluso si el espesor mecánico permanece constante. Esto crea una ambigüedad en el cálculo del espesor del material sometido a prueba a partir de los datos de TD-THz a partir de los picos de temporización exclusivamente. Si se supusiera de forma incorrecta que el índice permanece constante, un aumento en la densidad de una capa se asemejaría (de forma incorrecta) a un aumento en el espesor de esa capa.

Una medición clave, que un índice de refracción variable de una o más capas convierte en ambigua, es el espesor de “calibre” físico global del material. El espesor de calibre global de la muestra se puede calcular si se añade una “estructura de referencia externa” o ERS (*external reference structure*) adicional o una primera interfase óptica 42 y una segunda interfase óptica 44 en torno a o cerca de la muestra de lámina. Un diagrama en sección transversal a modo de ejemplo del material sometido a prueba que se muestra la temporización de los pulsos de reflexión de TD-THz, con una estructura de referencia externa, se muestra en la figura 4. Las superficies superior e inferior de la ERS están separadas una distancia conocida o medida, D. La distancia D se conoce o bien a partir del diseño o bien a partir de unas dimensiones medidas de la ERS antes de la medición del material sometido a prueba. La presente divulgación divulga el método o métodos de determinación de la dimensión D de la ERS en unos puntos durante o muy próximos en el tiempo al proceso de medición de muestras. La solicitud de patente de EE. UU. con n.º 12/667.986 se incorpora en el presente documento por referencia en su totalidad.

Idealmente, la superficie superior de la ERS transmite la mayor parte del haz de THz. La superficie inferior de la ERS ha de ser al menos parcialmente reflectante, y puede ser un espejo. El tiempo de vuelo de los pulsos de THz 0 y j + 1 que se corresponden con las superficies superior e inferior en el aire es:

$$T_{ERS} = 2 * D / C$$

El espesor de calibrador, que es independiente del índice de refracción y / o la densidad o la composición del material de las capas internas del material sometido a prueba, es entonces:

$$L = D - c * ([t_1 - t_0] + [t_{j+1} - t_j]) / 2$$

Esto es equivalente a afirmar que el espesor del material sometido a prueba es igual a la separación de la ERS menos la suma del espesor del aire por encima y por debajo del material sometido a prueba en el interior de la ERS.

El índice de refracción promedio (de la totalidad de las N capas) del material sometido a prueba es entonces la relación

$$\text{promedio de } N = (t_1 - t_j) / (T_{ERS} - ([t_1 - t_0] + [t_{j+1} - t_j])).$$

Otro método de puesta en práctica de la medición de ERS es restar la temporización de interfase de ERS “vacía” conocida o medida (es decir, no hay muestra alguna en el haz de THz) al tiempo a partir de las mismas dos reflexiones con una muestra en el haz de THz. De esta forma, el retardo de tiempo equivalente de una medición de transmisión de doble paso se obtiene con una medición de reflexión. Este método ofrece ventajas en que la medición de tiempo de ERS “vacía” es más estable que la de una medición de transmisión convencional. Ambas mediciones requieren una medición sin encontrarse presente muestra alguna, pero la medición de reflexión de ERS es más estable que la medición puramente de transmisión y se puede volver a medir o corregir o calibrar con las realizaciones que se divulgan en el presente documento.

Haciendo referencia a la figura 5, se muestra otra realización del sistema 510. Al igual que antes, se usan números de referencia similares para hacer referencia a componentes similares. En la presente realización, la primera interfase óptica 542 está ubicada por encima de la muestra 530, mientras que la segunda interfase óptica 544 está ubicada por debajo de la muestra 530.

Haciendo referencia a la figura 6, se muestra otra realización del sistema 610. La presente realización difiere de la realización de la figura 5 en que la primera interfase óptica 642 está ubicada dentro de la carcasa 612. Haciendo referencia a la figura 7, la realización del sistema 710 es similar a la que se divulga en la figura 6. No obstante, la

segunda interfase óptica 744 está ubicada sobre el pórtico 750 de tal modo que la segunda interfase óptica 744 se encuentra directamente opuesta a la primera interfase óptica 742 a medida que la carcasa 712 se mueve a lo largo del pórtico. En esencia, la segunda interfase óptica 744 tiene un movimiento que está sincronizado con el movimiento de la carcasa 712 de tal modo que la segunda interfase óptica 744 puede reflejar una radiación de terahercios de vuelta al receptor de terahercios 716.

Haciendo referencia a la figura 8, se muestra otra realización del sistema 810. La realización es similar a la realización 510 en la figura 5. No obstante, el sistema 810 difiere en que el sistema 810 utiliza unos sensores de posición 846 y 848 que están montados sobre la primera interfase óptica 842. Los sensores de posición 846 y 848 pueden ser sensores de corriente de Foucault.

Un aspecto de la presente realización es la incorporación de los sensores de posición 846 y 848 para medir o calibrar la distancia entre las interfases 842 y 844 con el fin de dar cabida a cualquier cambio a más largo plazo en la geometría. A menudo, muchos materiales sometidos a medición se están fabricando de forma continua y, por lo tanto, siempre se encuentran presentes en algunas ubicaciones entre estas interfases de reflexión externas. Por lo tanto, cualquier sensor o sensores de separación adicionales que se usen para medir directamente la distancia absoluta entre las interfases 842 y 844, han de ser capaces de hacer esto con el material sometido a medición encontrándose presente. Es decir, idealmente la medición de desplazamiento del sensor secundario no se puede ver afectada por la presencia de la muestra. En general, los sensores que miden el campo eléctrico (de TD-THz, ópticos, capacitivos, de microondas, etc.) se ven afectados por la presencia de un material dieléctrico. Los sensores magnéticos, tales como los sensores de corriente de Foucault, no se ven sustancialmente afectados por los cambios en el espesor dieléctrico o la composición del material sometido a medición o la presencia de un material dieléctrico en la trayectoria de medición. Los sensores de corriente de Foucault tienen la tolerancia de medición de desplazamiento requerida. También se puede usar cualquier sensor o sensores de separación o de desplazamiento con una falta similar de sensibilidad al material sometido a medición.

Otro método es el uso de o bien los pulsos de THz o bien unos sensores de separación o de desplazamiento adicionales para medir la distancia entre las superficies de la interfase que, por diseño, no interaccionan con el espacio de muestra entre las interfases de reflexión externas. Un ejemplo de este método sería el uso de un sensor de THz de doble acceso para medir la separación de las interfases de estructuras en relación con la posición del sensor u otro tipo de sensor o sensores (por ejemplo, un sensor de láser, de ultrasonidos, de capacidad) que mide la distancia a las interfases de estructura de referencia en un método que no interacciona con la muestra. Esta medición puede ser a la superficie cerca del material sometido a medición o alguna otra superficie de la estructura de interfase. La interfase externa se puede encontrar, o no, entre el sensor y el material sometido a medición.

En otro aspecto, el receptor de terahercios 816 se puede usar para medir la separación de las interfases ópticas 842 y 844. Se pueden hacer mediciones de THz de las interfases ópticas 842 y 844 en ubicaciones en las que no se encuentra presente muestra alguna (es decir, a la "izquierda" y a la "derecha" de la muestra, a lo que se hace referencia como "fuera de la lámina"). Los haces de THz también se pueden dirigir para medir la distancia a una o más de las interfases ópticas 842 y 844 a través de unas trayectorias que no interaccionan con la muestra 830 sometida a medición.

Haciendo referencia a la figura 9, el sistema 910 de la figura 9 es similar al sistema 810 de la figura 8; no obstante, el sensor de posición 946 está ubicado dentro de la carcasa 912 del sistema 910 y se usa solo un sensor de posición. Al igual que antes, el sensor 946 puede ser un sensor de corriente de Foucault con el fin de determinar la distancia entre la primera interfase óptica 942 y la segunda interfase óptica 948.

Haciendo referencia a la figura 10, se muestra otra realización del sistema 1010. En la presente realización, la carcasa 1012 contiene tanto el sensor de posición 1048 como la primera interfase óptica 1042.

Haciendo referencia a la figura 11, la presente realización es similar a la realización que se muestra en la figura 10, no obstante, en la presente realización, la segunda interfase óptica está montada sobre el pórtico 1150 de tal modo que la segunda interfase óptica 1146 se encuentra directamente opuesta a la primera interfase óptica 1144 cuando el pórtico mueve la carcasa 1112. Haciendo referencia a la figura 12, la realización 1210 divulga una realización similar que se muestra en la figura 8; no obstante, en la presente realización se utilizan los sensores de temperatura 1256 y 1258.

Temperatura

Haciendo referencia a la figura 13, el sistema 1310 incluye un segundo acceso 1360 con un dispositivo de orientación de haces 1362, que dirige la radiación de terahercios a partir del transmisor de terahercios por medio del dispositivo de división de haces 1332 a través de un segundo acceso 1360 a la primera interfase óptica 1342. La presente realización permite que la primera interfase óptica 1342 se coloque en diversas posiciones. La presente realización permite que la primera interfase óptica 1342 sea completamente reflectante, tal como un espejo. Una lente 1361 puede estar colocada junto al acceso 1360 para enfocar la radiación en la primera interfase óptica 1342.

Tal como apreciará fácilmente un experto en la materia, se pretende que la descripción anterior sea una ilustración de una puesta en práctica de los principios de la presente invención. Esta descripción no tiene por objeto limitar el alcance o la aplicación de la presente invención ya que la invención es susceptible de modificaciones, variaciones y cambios, sin apartarse del espíritu de la presente invención, según se define en las siguientes reivindicaciones.

5

REIVINDICACIONES

1. Un sistema (10, 510, 610, 710, 810, 910, 1010, 1110, 1210, 1310) para interpretar una radiación de terahercios, comprendiendo el sistema (10, 510, 610, 710, 810, 910, 1010, 1110, 1210, 1310):

un transmisor de terahercios (14, 514, 614, 714, 814, 914, 1014, 1114, 1214, 1314) que está configurado para emitir un pulso de radiación de terahercios (34, 534, 634, 734, 834, 1034, 1134, 1234, 1334) a través de un primer acceso (40, 540, 640, 740, 840, 940, 1240, 1340);

un receptor de terahercios (16, 516, 616, 716, 816, 916, 1016, 1116, 1216, 1316) que está configurado para recibir al menos una porción del pulso de radiación de terahercios (36, 536, 636, 736, 836, 1036, 1136, 1236, 1336) a través del primer acceso (40, 540, 640, 740, 840, 940, 1240, 1340), en el que el receptor de terahercios (16, 516, 616, 716, 816, 916, 1016, 1116, 1216, 1316) está configurado para emitir una señal en función de la radiación recibida por el receptor de terahercios (16, 516, 616, 716, 816, 916, 1016, 1116, 1216, 1316);

una primera interfase óptica (42, 542, 642, 742, 842, 1042, 1142, 1242, 1342) que proporciona una interferencia óptica al pulso de radiación de terahercios, en el que la primera interfase óptica (42, 542, 642, 742, 842, 1042, 1142, 1242, 1342) reflejará una primera porción reflejada de interfase óptica del pulso de radiación de terahercios hacia el receptor de terahercios (16, 516, 616, 716, 816, 916, 1016, 1116, 1216, 1316);

una segunda interfase óptica (44, 544, 644, 744, 844, 944, 1044, 1144, 1244, 1344) que proporciona una interferencia óptica al pulso de radiación de terahercios, en el que la segunda interfase óptica (44, 544, 644, 744, 844, 944, 1044, 1144, 1244, 1344) reflejará una segunda porción reflejada de interfase óptica del pulso de radiación de terahercios hacia el receptor de terahercios (16, 516, 616, 716, 816, 916, 1016, 1116, 1216, 1316);

estando definida una separación entre la primera interfase óptica (42, 542, 642, 742, 842, 1042, 1142, 1242, 1342) y la segunda interfase óptica (44, 544, 644, 744, 844, 944, 1044, 1144, 1244, 1344), estando la separación configurada para recibir una muestra (30, 530, 630, 730, 830, 930, 1030, 1130, 1230, 1330) que va a ser irradiada por al menos una porción del pulso de radiación de terahercios;

en el que la muestra (30, 530, 630, 730, 830, 930, 1030, 1130, 1230, 1330) reflejará una primera porción reflejada de muestra del pulso de radiación de terahercios hacia el receptor de terahercios (16, 516, 616, 716, 816, 916, 1016, 1116, 1216, 1316) y una segunda porción reflejada de muestra del pulso de radiación de terahercios hacia el receptor de terahercios (16, 516, 616, 716, 816, 916, 1016, 1116, 1216, 1316);

en el que el transmisor de terahercios (14, 514, 614, 714, 814, 914, 1014, 1114, 1214, 1314) y el receptor de terahercios (16, 516, 616, 716, 816, 916, 1016, 1116, 1216, 1316) están dispuestos adyacentes entre sí en una carcasa (12, 512, 612, 712, 812, 912, 1012, 1112, 1212, 1312);

un procesador en comunicación con el receptor de terahercios (16, 516, 616, 716, 816, 916, 1016, 1116, 1216, 1316) y que está configurado para recibir la señal a partir del receptor de terahercios (16, 516, 616, 716, 816, 916, 1016, 1116, 1216, 1316), estando el procesador configurado para determinar el espesor de calibrador, la densidad, el índice de refracción o la masa de la muestra en función de la señal caracterizado por que

el sistema (10, 510, 610, 710, 810, 910, 1010, 1110, 1210, 1310) comprende un dispositivo de división de haces (32, 532, 632, 732, 832, 932, 1032, 1132, 1232) que está configurado para dirigir una radiación de terahercios a partir del transmisor de terahercios (14, 514, 614, 714, 814, 914, 1014, 1114, 1214, 1314) hacia la primera interfase óptica (42, 542, 642, 742, 842, 1042, 1142, 1242, 1342), la muestra (30, 530, 630, 730, 830, 930, 1030, 1130, 1230, 1330) y la segunda interfase óptica (44, 544, 644, 744, 844, 944, 1044, 1144, 1244, 1344) así como para dirigir una radiación de terahercios a partir de la primera interfase óptica (42, 542, 642, 742, 842, 1042, 1142, 1242, 1342), la muestra (30, 530, 630, 730, 830, 930, 1030, 1130, 1230, 1330) o la segunda interfase óptica (44, 544, 644, 744, 844, 944, 1044, 1144, 1244, 1344) que se transmitió originalmente a partir del transmisor de terahercios (14, 514, 614, 714, 814, 914, 1014, 1114, 1214, 1314) hacia el receptor de terahercios (16, 516, 616, 716, 816, 916, 1016, 1116, 1216, 1316); y

el primer acceso (40, 540, 640, 740, 840, 940, 1240, 1340) comprende una lente (38, 538, 638, 738, 938, 1038, 1138, 1238), estando la lente (38, 538, 638, 738, 938, 1038, 1138, 1238) configurada para enfocar la radiación de terahercios (34, 534, 634, 734, 834, 1034, 1134, 1234, 1334) enviada a o la radiación de terahercios (36, 536, 636, 736, 836, 1036, 1136, 1236, 1336) enviada a partir de la muestra (30, 530, 630, 730, 830, 930, 1030, 1130, 1230, 1330) a través del primer acceso (40, 540, 640, 740, 840, 940, 1240, 1340).

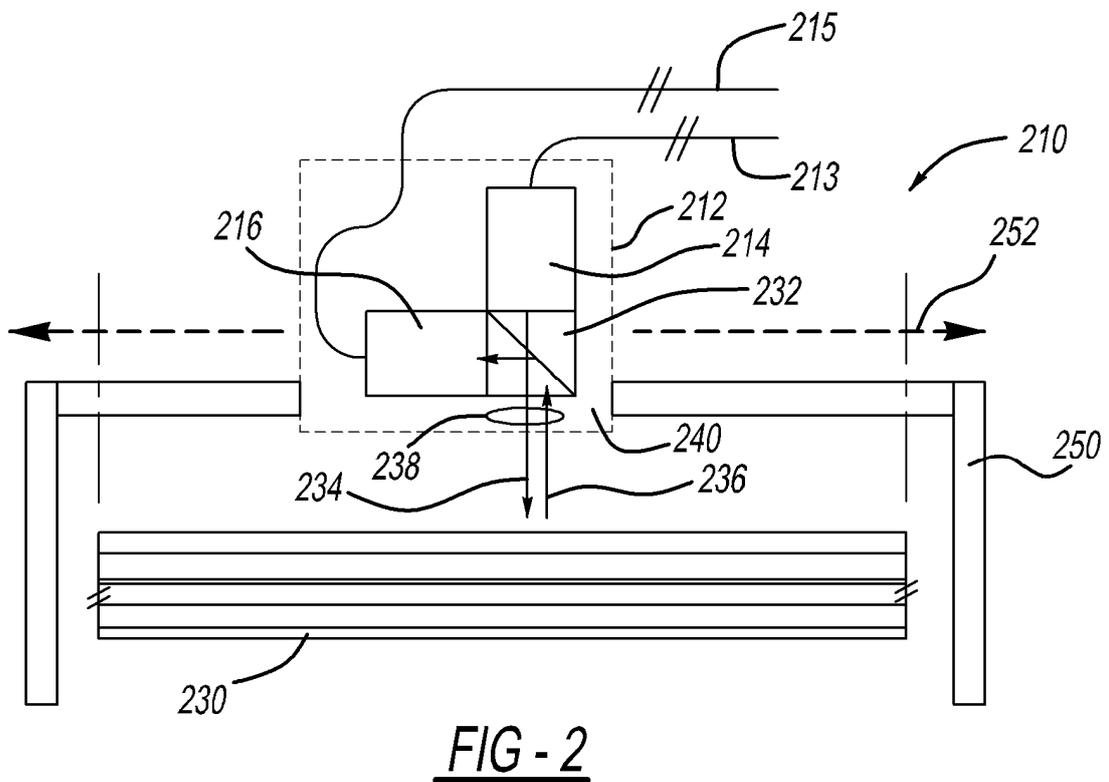
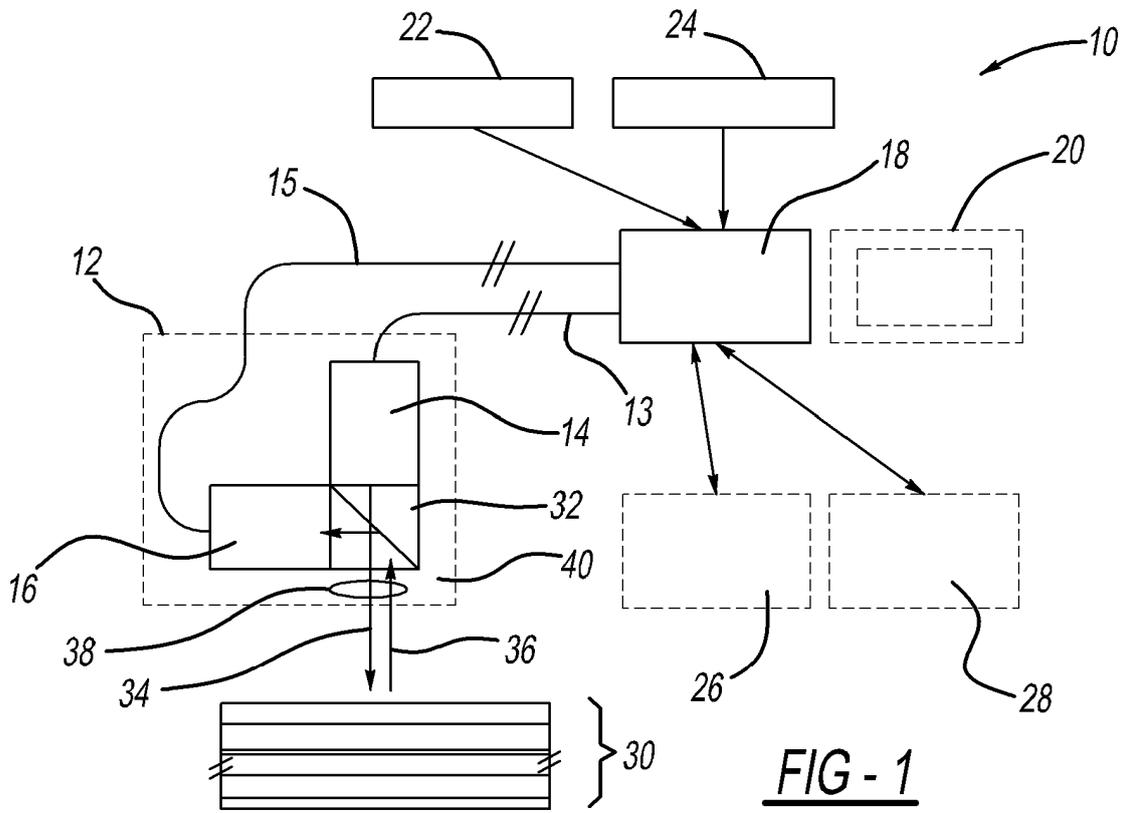
2. El sistema de la reivindicación 1, que comprende adicionalmente un pórtico, estando la carcasa acoplada con el pórtico, en el que el pórtico está configurado para mover la carcasa por la muestra.

3. El sistema de la reivindicación 2, en el que la primera interfase óptica está montada en la carcasa.

4. El sistema de la reivindicación 3, en el que la segunda interfase óptica está montada en el pórtico, en el que la segunda interfase óptica se mueve a medida que la carcasa se mueve a lo largo del pórtico, en el que la primera y la segunda interfases ópticas en general se oponen la una a la otra.

5. El sistema de la reivindicación 1, que comprende adicionalmente un sensor de posición en comunicación con el procesador, estando el sensor de posición configurado para determinar la distancia de la separación entre la primera interfase óptica y la segunda interfase óptica y emitir una señal de distancia al procesador.

6. El sistema de la reivindicación 5, en el que el sensor de posición es un sensor de corriente de Foucault.
7. El sistema de la reivindicación 6, en el que el sensor de corriente de Foucault está montado en la primera interfase óptica.
- 5 8. El sistema de la reivindicación 6, en el que el sensor de corriente de Foucault está montado en la carcasa.
9. El sistema de la reivindicación 5, en el que el sensor de posición es un sensor de temperatura, estando el sensor de temperatura configurado para medir la temperatura de la muestra.
- 10 10. El sistema de la reivindicación 1, en el que la primera interfase óptica está ubicada entre el transmisor de terahercios y la muestra.
11. El sistema de la reivindicación 10, en el que la primera interfase óptica está acoplada a la carcasa.
- 15 12. El sistema de la reivindicación 1, en el que la primera interfase óptica es una superficie de reflexión transmisiva y la segunda interfase óptica es una interfase óptica plenamente reflectante.
- 20 13. El sistema de la reivindicación 1, que comprende adicionalmente:
una fuente óptica que está configurada para emitir pulsos ópticos;
en el que la fuente óptica se encuentra en comunicación óptica con el transmisor de terahercios y el receptor de terahercios; y
en el que el transmisor de terahercios y el receptor de terahercios están sincronizados para recibir pulsos ópticos a partir de la fuente óptica de tal modo que el receptor de terahercios está sincronizado con el transmisor de terahercios mediante los pulsos ópticos.
- 25 14. El sistema de la reivindicación 13, en el que el dispositivo divisor de haces está configurado para dirigir una radiación reflejada por la primera interfase óptica, la segunda interfase óptica o la muestra hacia el receptor de terahercios.
- 30 15. El sistema de la reivindicación 13, en el que la fuente óptica se encuentra en comunicación óptica con el transmisor de terahercios o el receptor de terahercios por medio de una fibra óptica.



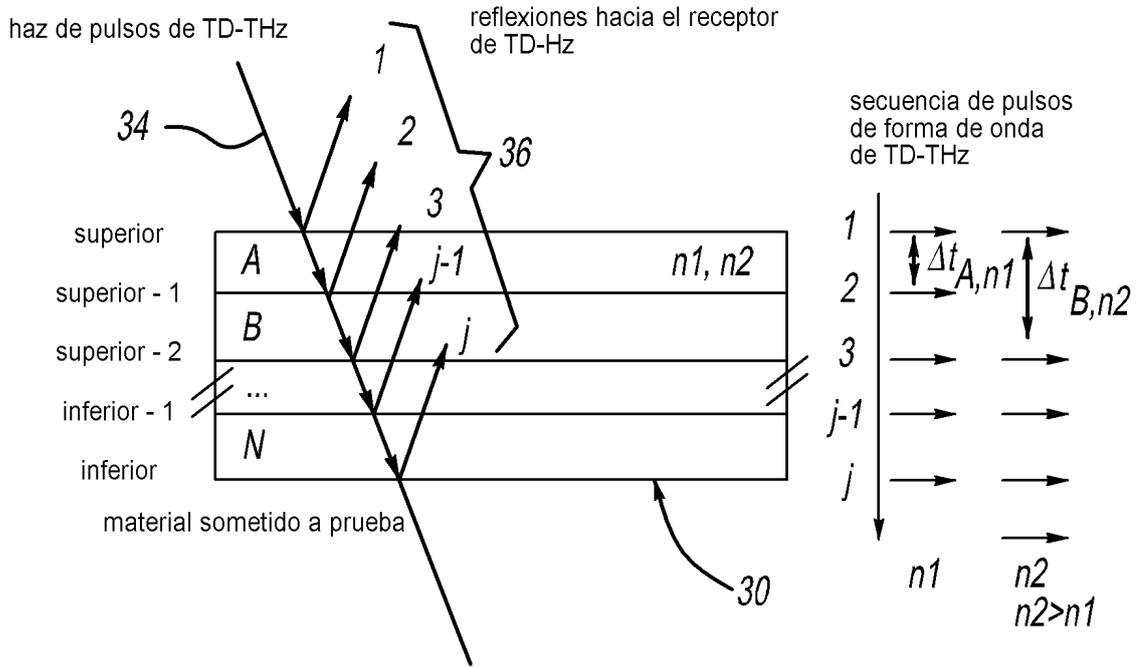


FIG - 3

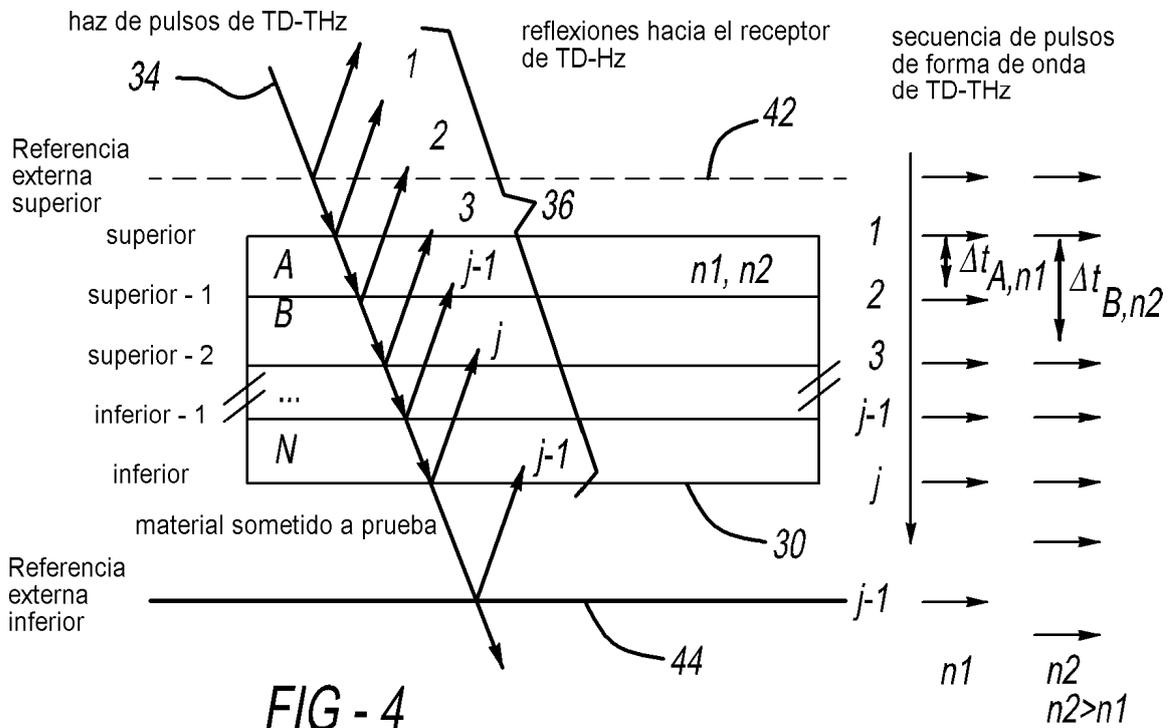


FIG - 4

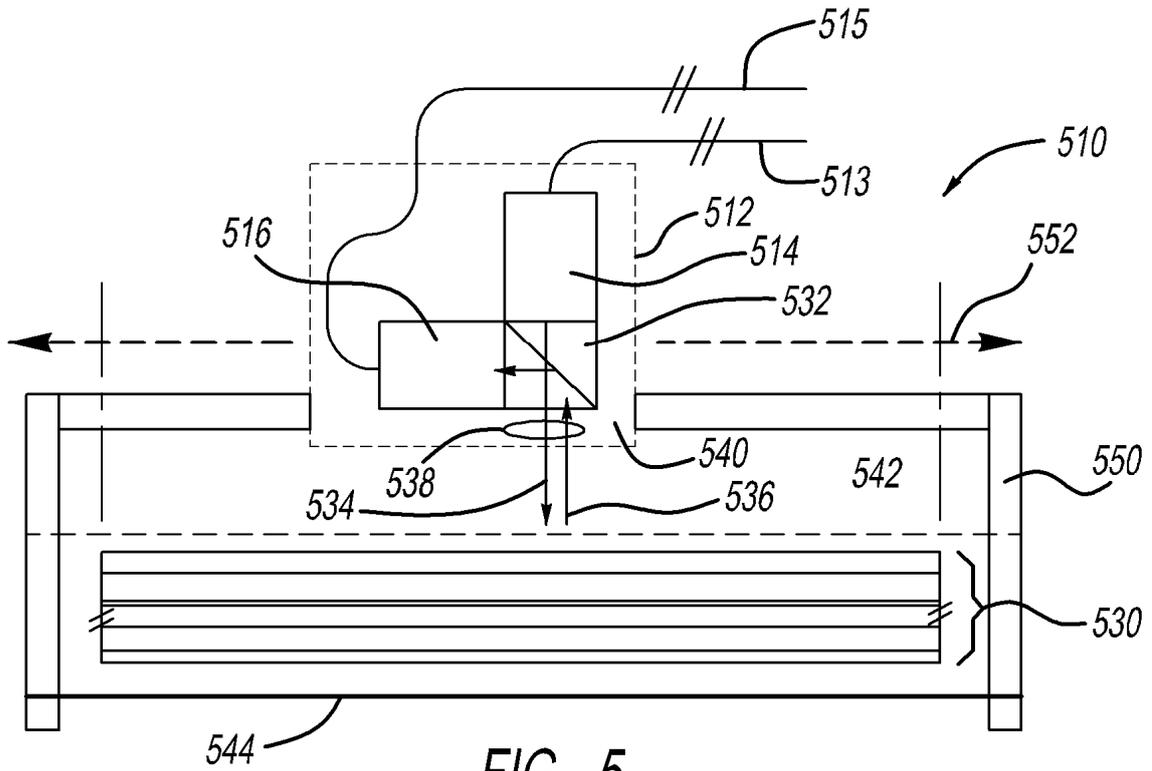


FIG - 5

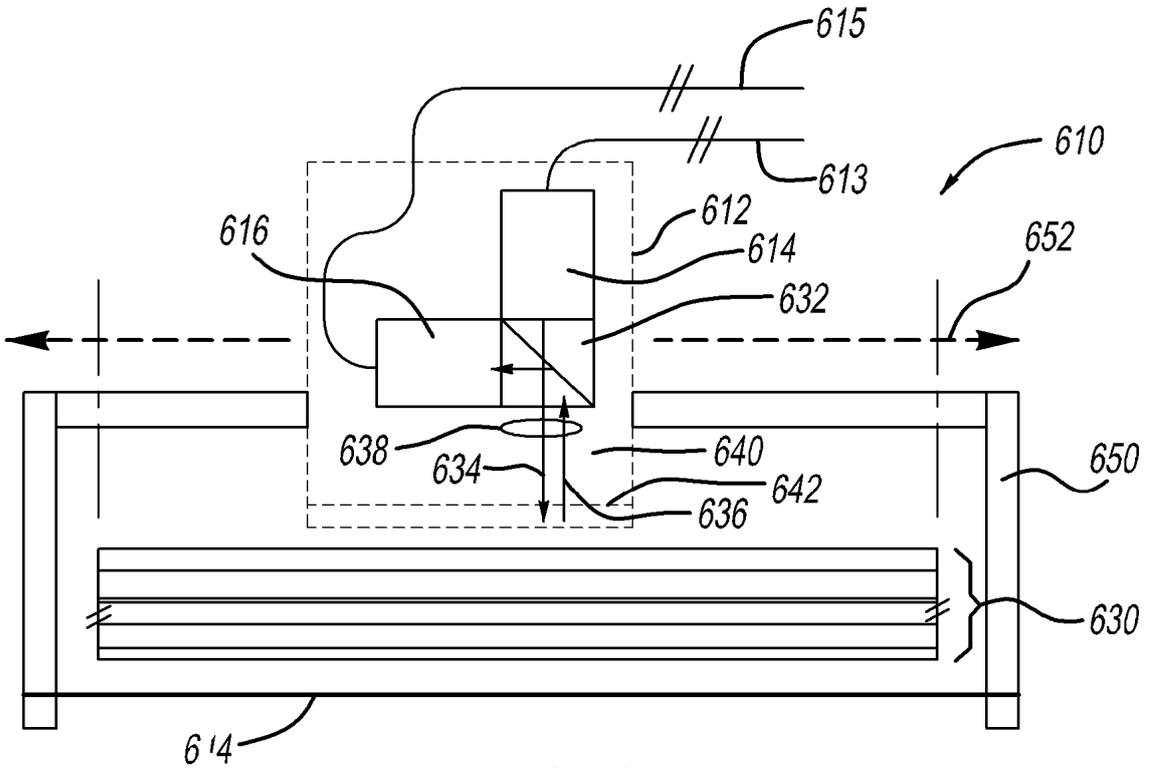
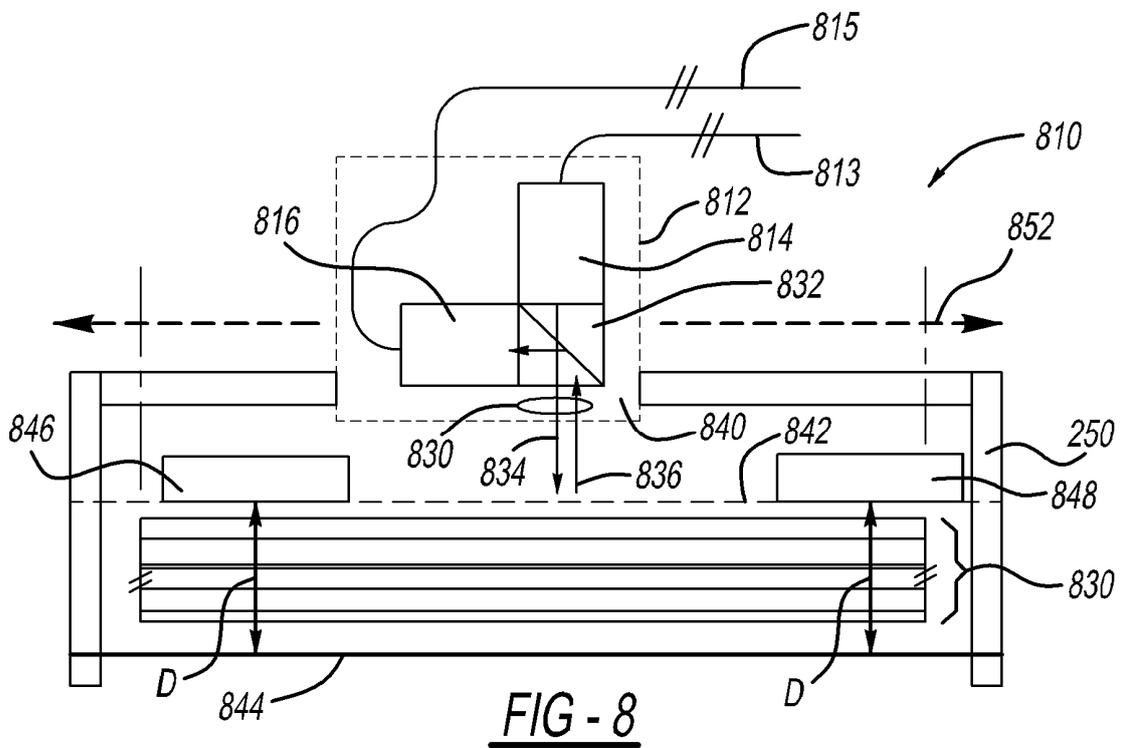
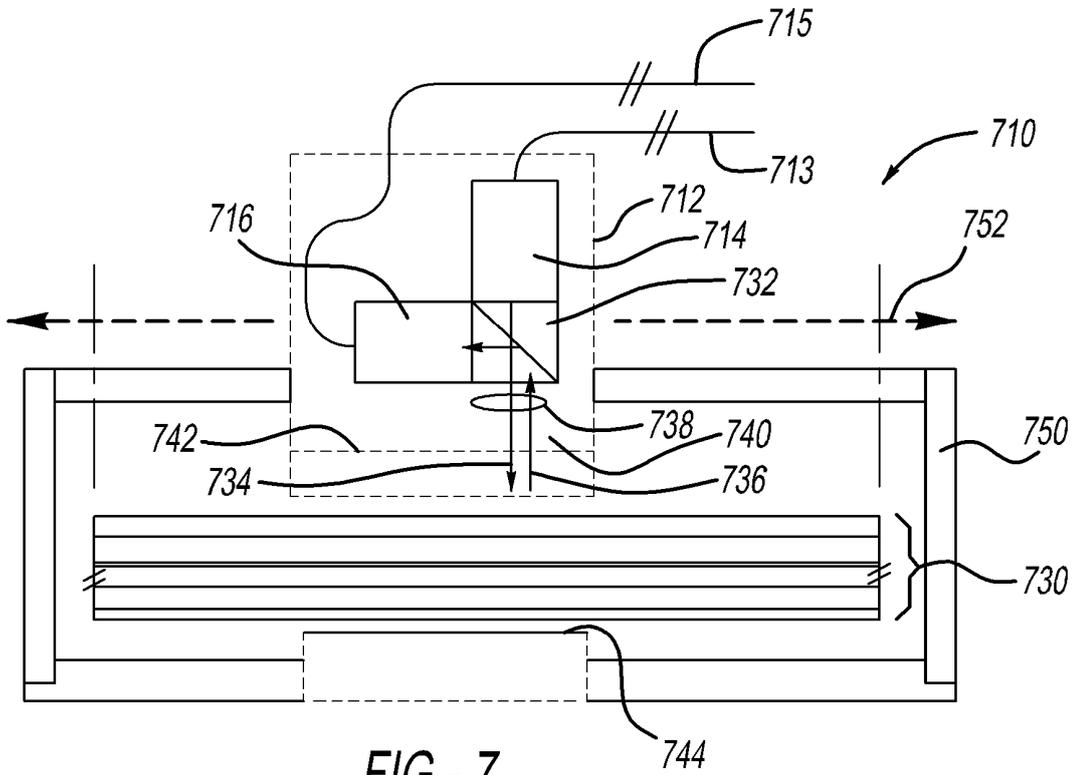


FIG - 6



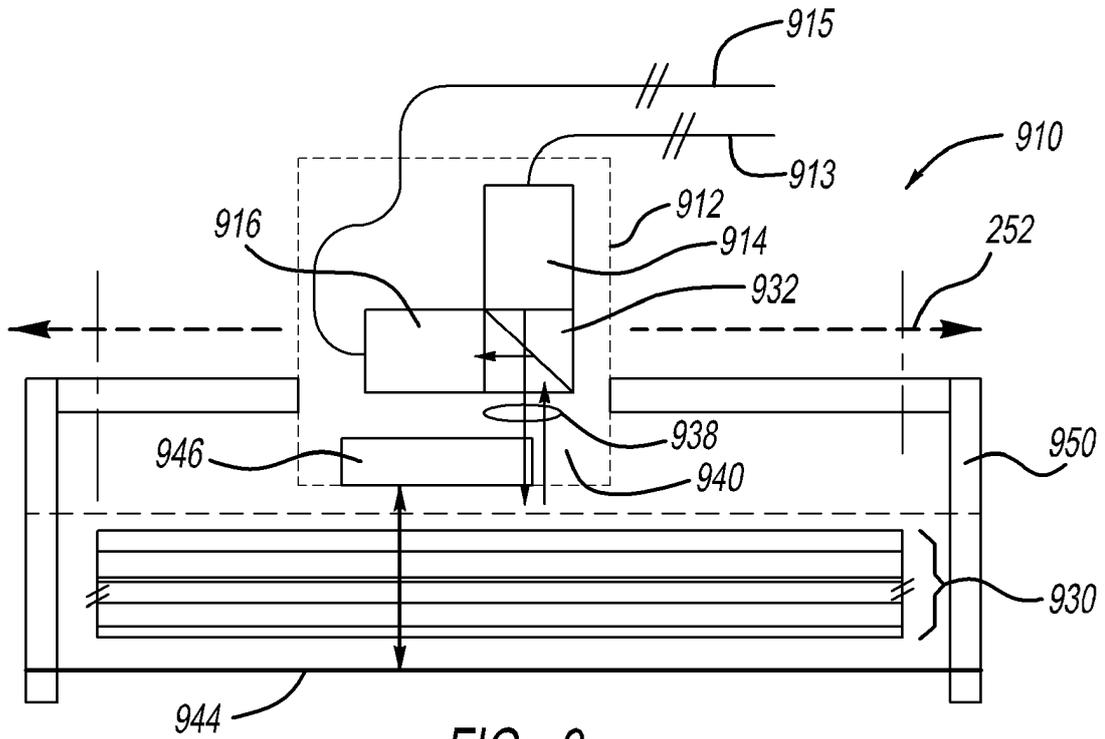


FIG - 9

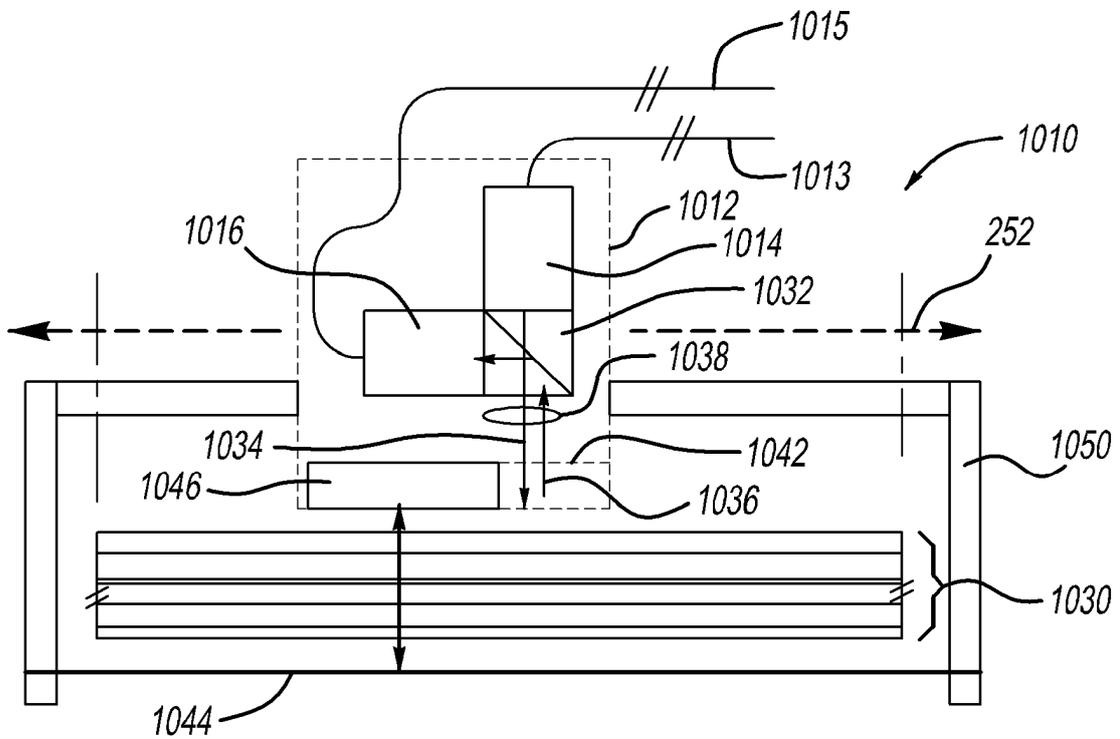
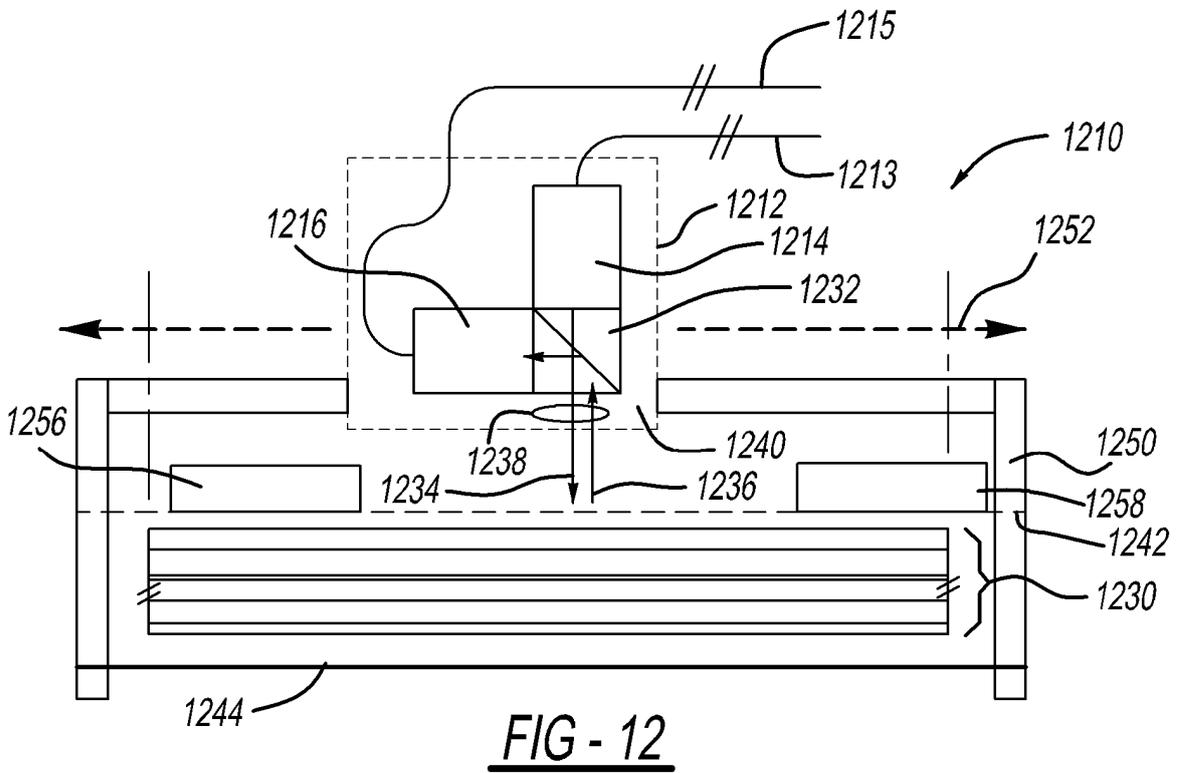
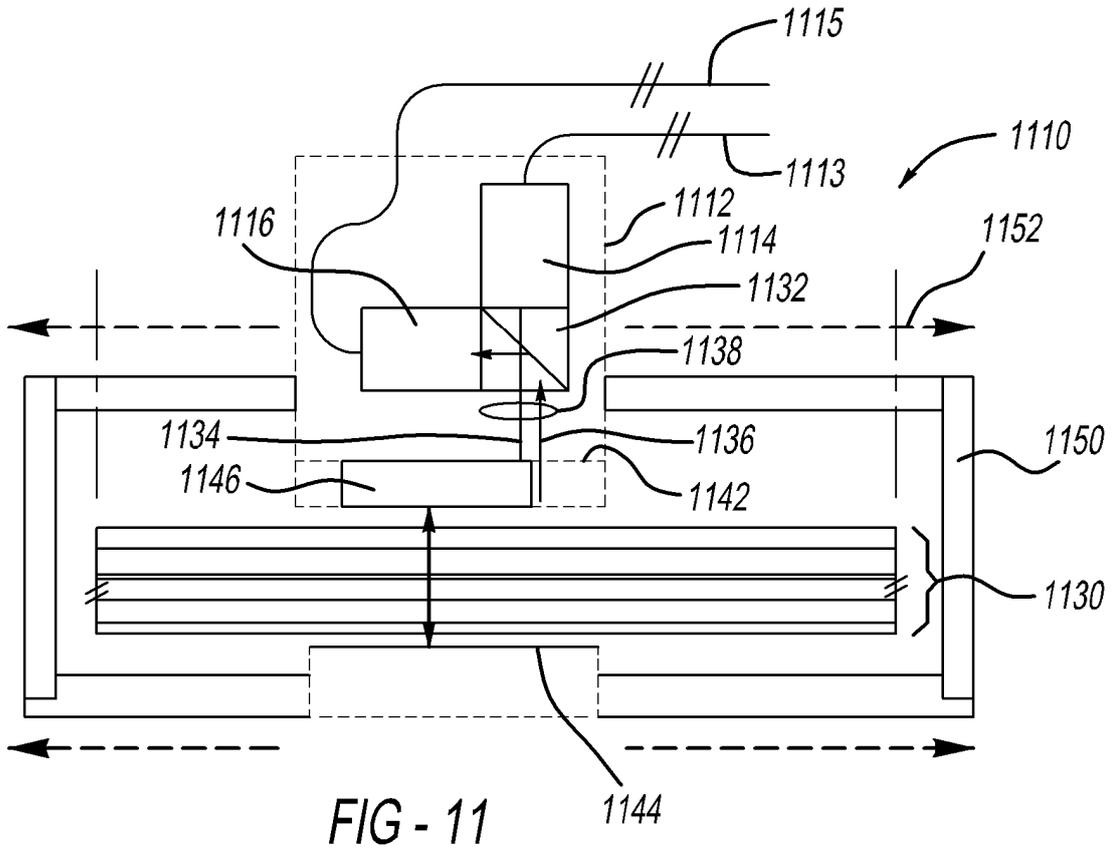


FIG - 10



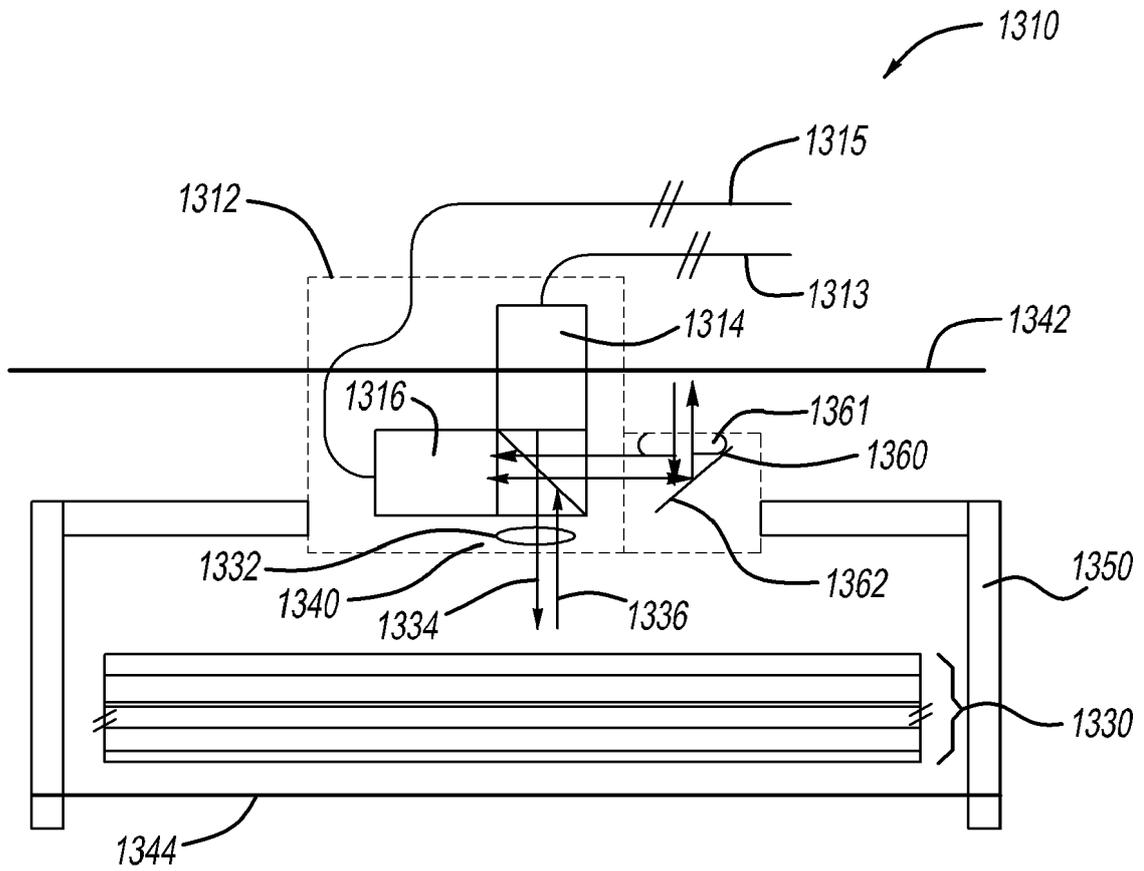


FIG - 13