

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 950 768**

51 Int. Cl.:

G01N 21/552 (2014.01)
G01N 33/00 (2006.01)
G01N 29/02 (2006.01)
G01N 29/036 (2006.01)
G01N 27/12 (2006.01)
G01N 21/17 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.05.2019** **PCT/US2019/031684**
87 Fecha y número de publicación internacional: **14.11.2019** **WO19217792**
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.05.2019** **E 19727200 (8)**
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.07.2023** **EP 3791164**

54 Título: **Sistema de detección por resonancia de plasmones de superficie**

30 Prioridad:

11.05.2018 US 201862670155 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
13.10.2023

73 Titular/es:

CARRIER CORPORATION (100.0%)
13995 Pasteur Blvd.
Palm Beach Gardens, FL 33418, US

72 Inventor/es:

LINCOLN, DAVID L.;
BIRNKRANT, MICHAEL J.;
CASTILLO-GARZA, JOSE-RODRIGO;
PIECH, MARCIN;
THIBAUD, CATHERINE;
GIERING, MICHAEL J.;
REDDY, KISHORE K. y
VENUGOPALAN, VIVEK

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 950 768 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 de detección por resonancia de plasmones de superficie

- 5 Esta solicitud está relacionada con un detector de productos químicos, y más particularmente con un sistema de detección por resonancia de plasmones de superficie.

10 Se pueden usar sistemas de detección para identificar humo o productos químicos para una advertencia avanzada de una amenaza, por motivos de seguridad, o algo semejante. Como ejemplos, se puede diseñar sistemas para identificar cantidades de rastros de partículas de humo en un edificio como advertencia avanzada de un fuego, cantidades de rastros de un objetivo de producto químico como advertencia avanzada de toxicidad de un ambiente, o cantidades diminutas de sustancias aeroportadas en humanos, equipaje, paquetes u otros objetos como medida de seguridad.

15 Un tipo de detector de productos químicos es un detector por resonancia de plasmones de superficie (SPR). La resonancia de plasmones de superficie (SPR) es un efecto óptico que se pueden utilizar para medir la cohesión o "adsorción" de moléculas sobre una superficie de metal. En una configuración de SPR, se dirige un haz de luz a través de un prisma de vidrio a una cara recubierta de metal del prisma de vidrio. El haz de luz se refleja desde la cara recubierta de metal en un ángulo que excita los electrones en la capa de metal, haciendo
20 que resuenen. Esta resonancia se conoce como "resonancia de plasmones de superficie." Esta resonancia se modifica cuando un compuesto es adsorbido sobre la capa de metal. Un inconveniente de algunos detectores por SPR es su propensión a dar resultados falsos positivo.

25 Los documentos EP 2108941 A2, JP H09257699 A, DE 10054351 A1, US 2008035180 A1 y JP 2007263736 A divulgan, cada uno, sistemas de resonancia de plasmones de superficie. Uno de los sistemas de detección por SPR descritos en el documento JP H09257699 A comprende un prisma que tiene depositada en su superficie una capa de metal delgada que tiene una parte de detección configurada para exponerse a un gas de muestra y una parte de referencia cubierta por una cubierta de manera que se forma una cavidad entre la parte de referencia y la cubierta, en donde la parte de referencia se configura para exponerse a un gas de referencia en
30 la cavidad. El sistema de detección por SPR descrito en el documento DE 10054351 A1 comprende, además de un fotodetector para detectar la señal de SPR, un detector eléctrico para mediciones de impedancia en la capa de metal. El documento EP 3040716 A1 divulga un sensor para detectar agentes gaseosos que incluye un circuito resonante eléctrico.

35 Un sistema de SPR según la presente invención incluye un primer prisma que tiene una primera superficie, una primera capa de metal dispuesta sobre la primera superficie y configurada para exponerse a un gas de muestra, un segundo prisma que tiene una segunda superficie, y una segunda capa de metal dispuesta sobre la segunda superficie y configurada para exponerse a un gas de referencia. Al menos una fuente de luz se configura para proporcionar respectivos haces a las superficies primera y segunda, donde cada uno de los haces provoca la
40 SPR de una respectiva de las capas de metal. Al menos un fotodetector se configura para medir una propiedad de reflexión de reflejos de los respectivos haces desde las capas de metal durante la SPR. Al menos un detector eléctrico se configura para determinar una propiedad eléctrica de las capas de metal primera y segunda durante la SPR. Un controlador se configura para determinar si un objetivo de gas está presente en el gas de muestra en función de una composición conocida del gas de referencia y al menos una de la propiedad eléctrica de las
45 capas de metal primera y segunda durante la SPR y la propiedad de reflexión de las capas de metal primera y segunda. Cada una de las capas de metal primera y segunda comprende una pista eléctrica en serpentín depositada sobre las superficies primera y segunda respectivamente del primer y segundo prisma respectivo, y la propiedad eléctrica de la capa de metal se mide en la pista eléctrica en serpentín.

50 Opcionalmente, el controlador se configura para determinar que el objetivo de gas está presente en el gas de muestra en función de al menos uno de un cambio en la propiedad eléctrica de la primera capa de metal y un cambio en el haz reflejado desde la primera superficie que indica adsorción del objetivo de gas en la primera capa de metal.

55 Opcionalmente, el sistema de detección por SPR incluye una barreta piezoeléctrica en voladizo que tiene un primer extremo que se asegura a un soporte, y segundo extremo libre que está opuesto al primer extremo y tiene un recubrimiento de metal. Un dispositivo de vibración se configura para hacer vibrar la barreta piezoeléctrica en voladizo a su frecuencia resonante. El controlador se configura para basar además su determinación de si el gas de muestra incluye el objetivo de gas en si un cambio en la frecuencia resonante
60 indica adsorción del objetivo de gas en el recubrimiento de metal.

Opcionalmente, la fuente de luz incluye un divisor de haz configurado para dividir un haz desde la fuente de luz a un primer haz dirigido al primer prisma y un segundo haz dirigido al segundo prisma.

65 Opcionalmente, cada capa de metal incluye oro.

Opcionalmente, el objetivo de gas es ácido sulfhídrico.

Opcionalmente, el gas de referencia es inerte.

- 5 Opcionalmente, la propiedad eléctrica de cada capa de metal incluye una resistencia de la capa de metal, una amplitud de una señal eléctrica proporcionada a través de la capa de metal, o una frecuencia de una señal eléctrica proporcionada a través de la capa de metal.

- 10 Opcionalmente, el detector eléctrico incluye un primer circuito puente configurado para medir una resistencia de la primera capa de metal durante la SPR de la primera capa de metal, y un segundo circuito puente configurado para medir una resistencia de la segunda capa de metal durante la SPR de la segunda capa de metal.

- 15 Opcionalmente, cada circuito puente incluye nodos primero, segundo, tercero y cuarto. El primer nodo se acopla a cada una de una primera parte de su capa de metal asociada, un primer resistor y un dispositivo de medición de corriente. El segundo nodo se acopla a cada una de una segunda parte de la capa de metal asociada, un segundo resistor y una fuente de energía. El tercer nodo se acopla a cada uno del primer resistor, la fuente de energía y un tercer resistor. El cuarto nodo se acopla a cada uno del segundo resistor, el tercer resistor y el dispositivo de medición de corriente.

- 20 Opcionalmente, el sistema de detección por SPR incluye una pareja de paredes espaciadas se miran entre sí, con al menos uno del primer prisma y el segundo prisma dispuesto entre la pareja de paredes espaciadas. Una pluralidad de aletas se extienden entre la pareja de paredes espaciadas y se disponen alrededor del al menos un prisma. Las paredes y la pluralidad de aletas definen una cámara de gas alrededor del al menos un prisma, y la pluralidad de aletas se espacian entre sí para definir canales para que entre y salga gas de la cámara de gas.

- 25 Opcionalmente, la pluralidad de aletas se ponen en cascada de manera que una parte de cada aleta se extiende fuera de la cámara.

- 30 Opcionalmente, los prismas primero y segundo se disponen entre la misma pareja de paredes espaciadas.

- Opcionalmente, el sistema de detección por SPR incluye al menos un calentador configurado para inducir desorción de analitos de las capas de metal primera y segunda al calentar las capas de metal primera y segunda.

- 35 También se describe un sistema de detección de productos químicos, fuera del alcance de la invención, que incluye una pluralidad de detectores dispuestos para recoger datos de una muestra de gas. Cada detector incluye una respectiva capa de metal. Diversas de las capas de metal tienen diferentes afinidades de adhesión para una pluralidad de objetivos de gases. La pluralidad de detectores se configuran para usar al menos una de técnicas de detección fotoacústicas y por SPR para recoger datos sobre la muestra de gas. Un procesador se configura para realizar un análisis basado en aprendizaje por máquina para determinar si cualquiera de los objetivos de gases está presente en la muestra de gas en función de los datos recogidos por la pluralidad de detectores de la muestra de gas.

- 40 Opcionalmente, para realizar el análisis basado en aprendizaje por máquina, el procesador se configura para: aplicar al menos una técnica de aprendizaje por máquina a un conjunto de datos de entrenamiento históricos para producir un conjunto nodal que representa al menos una de correlaciones espacial y temporal en el conjunto de datos de entrenamiento históricos, los datos de entrenamiento recopilados por la pluralidad de detectores cuando se exponen a una pluralidad de diferentes gases de entrenamiento que tienen composiciones conocidas; y utilizar el conjunto nodal para determinar si cualquiera de los objetivos de gases está presente en la muestra de gas en función de los datos recogidos por la pluralidad de detectores de la muestra de gas.

- 45 Opcionalmente, el conjunto nodal incluye una red neural que comprende al menos una de una red neural recurrente y una red neural convolutiva.

- 50 Opcionalmente, los datos recogidos por la pluralidad de detectores de la muestra de gas incluyen un cambio en resistencia a través de una pluralidad de las capas de metal cuando la pluralidad de capas de metal están resonando debido a la SPR y se exponen a la muestra de gas.

- 55 Opcionalmente, los datos recogidos por la pluralidad de detectores de la muestra de gas incluyen un cambio en la amplitud, la frecuencia, o ambas señales eléctricas respectivas a través de las respectivas capas de metal cuando las respectivas capas de metal están resonando debido a SPR y se exponen a la muestra de gas.

- 60 Opcionalmente, los datos recogidos por la pluralidad de detectores de la muestra de gas incluyen cambios en

las propiedades de reflexión de haces reflejados desde las capas de metal que están resonando debido a SPR y se exponen a la muestra de gas.

- 5 Opcionalmente, los datos recogidos por la pluralidad de detectores de la muestra de gas incluye datos de desorción indicativos de un tiempo necesario para que analitos de la muestra de gas se desorban de las diversas capas de metal.

El alcance de la invención se define por las reivindicaciones adjuntas.

- 10 La Figura 1 es una vista esquemática de un ejemplo de sistema de detección por SPR.

La Figura 2 ilustra esquemáticamente un ejemplo de la capa de metal que se puede depositar sobre una superficie de un prisma en el sistema de detección por SPR de la Figura 1.

- 15 La Figura 3 ilustra esquemáticamente un ejemplo de detector por SPR que utiliza un circuito puente ejemplar.

La Figura 4A ilustra un ejemplo de detector por SPR dispuesto sobre una plataforma.

La Figura 4B se toma a lo largo de la línea A-A de la Figura 4A.

20

La Figura 4C ilustra otro ejemplo de detector por SPR dispuesto sobre una plataforma.

La Figura 5 ilustra esquemáticamente un ejemplo de detector en voladizo.

- 25 La Figura 6 ilustra esquemáticamente un ejemplo de chip que incluye una distribución de detectores por SPR.

La Figura 7A ilustra esquemáticamente una vista en perspectiva parcialmente en despiece ordenado de un ejemplo de distribución de SPR.

- 30 La Figura 7B ilustra esquemáticamente una vista lateral de la distribución de SPR de la Figura 7A.

La Figura 8 ilustra esquemáticamente una fila de un ejemplo de distribución de SPR.

- 35 La Figura 9 ilustra esquemáticamente un ejemplo de proceso de análisis profundo de red neural para identificar un objetivo de gas.

Las realizaciones discutidas en esta memoria divulgan varias técnicas que mejoran la sensibilidad y la fiabilidad de detectores por SPR, y también permiten mejoras para analizar datos derivados de detectores por SPR en general. Estas mejoras mitigan los resultados falsos positivos comunes con detectores por SPR de la técnica anterior.

40

La Figura 1 es una vista esquemática de un ejemplo de sistema de SPR 10 que incluye dos detectores por SPR 11A-B. Los dos detectores por SPR 11A-B se usan en una configuración diferencial, con el sensor 11B que actúa como referencia, para mejorar la sensibilidad y la fiabilidad.

45

Cada detector por SPR 11A-B incluye un prisma respectivo 12A-B. Los prismas 12 se pueden componer de vidrio, o un material tal como plástico o acrílico que tiene un índice de refracción similar al del vidrio. El vidrio típicamente tiene un índice de refracción de aproximadamente 1,5. En un ejemplo, el prisma 12 tiene un índice de refracción de aproximadamente de 1,5 - 2. Cada prisma 12A-B comprende una respectiva superficie 14A-B que está adyacente a una respectiva capa de metal 16A-B. En un ejemplo, las capas de metal 16A-B se forman en las respectivas superficies 14A-B. En un ejemplo, los sensores 11A-B son idénticos excepto por el gas al que se exponen.

50

La primera capa de metal 16A se expone a un gas de muestra 20A, y la segunda capa de metal 16B se expone a un gas de referencia 20B que está en un recinto 15, tiene una composición conocida (p. ej., un gas inerte tal como helio, argón, nitrógeno, etc.), y genera una respuesta de SPR conocida. El sistema de SPR 10 se configura para determinar si un gas de muestra 20A incluye un objetivo de gas. El objetivo de gas puede ser un contaminante, tal como gas ácido sulfhídrico (H₂S), por ejemplo. Sin embargo, podrían usarse otros objetivos de gases que no son necesariamente contaminantes. En un ejemplo el objetivo de gas es un subproducto de combustión tal como NO₂, NO, SO₂, SO₃, metano, CO₂, H₂O, etc. En un ejemplo, las capas de metal 16 incluyen oro o plata. El oro es útil para la detección de H₂S gaseoso porque el oro es sumamente reactivo al H₂S gaseoso y generalmente inerte a otros gases.

60

Una fuente de luz 22, tal como un diodo de láser, se configura para proporcionar un haz 24 de luz a un divisor de haz 26 que divide el haz 24 en un primer haz 24A y un segundo haz 24B. El primer haz 24A se dirige a la superficie 14A en una interfaz de la superficie 14A y la primera capa de metal 16A, y refleja atrás al fotodetector

65

30 como reflexión 28A. El segundo haz 24B se dirige a la superficie 14B en una interfaz de la superficie 14B y la segunda capa de metal 16B, y refleja atrás al fotodetector 30 como reflexión 28B. En un ejemplo, el fotodetector 30 incluye al menos un fotodiodo.

- 5 Una parte del haz 24A se refleja atrás en un primer ángulo de intensidad reflejada mínima θ_1 , y una parte del haz 24B se refleja atrás de manera similar en un segundo ángulo de intensidad reflejada mínima θ_2 . Los haces 24A-B provocan que los electrones en las capas de metal 16A-B resuenen. Los electrones resonantes se conocen como "plasmones de superficie" y su resonancia se conoce como "resonancia de plasmones de superficie" o SPR. Si las partículas de analito en los gases 20 se adhieren a la capa de metal 16A, el ángulo
- 10 de intensidad reflejada mínima θ cambia, lo que es detectado por el fotodetector 30. Estos cambios son indicativos de información sobre los gases 20, tal como afinidad de adhesión, concentración de adhesión, tiempo de adsorción, tiempo de desorción, etc.

- 15 La adsorción del objetivo de gas por la capa de metal 16A modifica las propiedades ópticas y eléctricas de la capa de metal 16A, dando como resultado la variación de su resonancia de plasmones de superficie y su resistencia eléctrica. Por ejemplo, se espera que la resistencia de la capa de metal 16A aumente durante la adsorción del objetivo de gas.

- 20 Un controlador 32 se conecta funcionalmente a la fuente de luz 22, el fotodetector 30 y las capas de metal 16A-B. El controlador 32 se configura para que la fuente de luz 22 mande pulsos para proporcionar los haces 24A-B y hacer funcionar el fotodetector 30 para que lea los reflejos 28A-B en función de una temporización de los pulsos. El controlador 32 incluye un procesador 33, tal como un microprocesador, un microcontrolador o un circuito integrado de aplicación específica (ASIC) que se programa para implementar las diversas técnicas discutidas en esta memoria. El controlador 32 incluye una memoria 34 que almacena instrucciones de
- 25 programa para el procesador 33. El controlador 32 también incluye una interfaz de entrada 35 para interactuar con las capas de metal 16, la fuente de luz 22 y el fotodetector 30.

- El controlador 32 también puede funcionar para tomar mediciones eléctricas de las capas de metal 16A-B mientras los haces 24 provocan la SPR en las capas de metal 16A-B. Las mediciones eléctricas pueden incluir
- 30 resistencia, por ejemplo, que puede cambiar durante la SPR. Como se emplea en esta memoria, "durante la SPR" de una capa de metal 16 significa que los electrones en la capa de metal 16 están resonando debido a resonancia de plasmones de superficie. En un ejemplo, las mediciones eléctricas incluyen un cambio en la frecuencia y/o la amplitud de una señal que se proporciona a través de las capas de metal 16 durante la SPR (p. ej., desde una fuente de energía de CA, o una fuente de energía de CC realizando modulación por anchura
- 35 de impulsos "PWM").

- Puesto que las capas de metal 16 son delgadas, la relación área de superficie a volumen es grande. Un gas de superficie que se une a la superficie de una de las capas de metal 16 cambiará su resistividad eléctrica. La resistividad eléctrica es el análogo de baja frecuencia de la permitividad eléctrica que da origen a la resonancia
- 40 de plasmones de superficie.

- Mediante sondeo a frecuencias bajas y altas, se puede obtener diferente información sobre la interacción de la superficie de las capas de metal 16 con el ambiente. Como ejemplo, a alta frecuencia la SPR prueba la unión
- 45 de un producto químico a la superficie. Sin embargo, un cambio similar en la reflectividad podría ocurrir por la deslaminación de la capa de metal 16. Medir la resistividad eléctrica permite la validación de que la medición de SPR es a partir de la adhesión de superficie de un gas de muestra y no un cambio físico en la capa de metal 16.

- El controlador 32 se configura para determinar si el objetivo de gas está presente o ausente en el gas de muestra 20A en función de una o más propiedades eléctricas de las capas de metal 16 y en función de los haces reflejados 28A-B.
- 50

- El controlador 32 también puede funcionar para controlar los calentadores 36A-B que se disponen para calentar las capas de metal 16A-B e inducir desorción de analitos de las capas de metal primera y segunda 16A-B para
- 55 un subsiguiente ciclo de pruebas.

- El sistema de SPR 10 permite detección a prueba de fallos de niveles de trazas de un objetivo de gas (p. ej., H_2S en concentraciones de <1 a 100 ppm). El sistema de SPR 10 detecta un objetivo de gas al monitorizar simultáneamente la resonancia de plasmones de superficie y la resistencia eléctrica. La adsorción del objetivo
- 60 de gas por la capa de metal 16 modifica sus propiedades ópticas y eléctricas, dando como resultado la variación de su SPR y su resistencia eléctrica. Ambos mecanismos de detección (es decir, detectar cambios en las propiedades eléctricas y las propiedades ópticas) permiten al sistema de SPR 10 ser a prueba de fallos. Si un mecanismo de detección falla (p. ej., no se detecta cambio en las propiedades eléctricas), el otro puede continuar monitorizando adsorción de objetivo de gas sin interrupción (p. ej., continuar monitorizando
- 65 propiedades ópticas del haz reflejado 28). La correlación y la calibración de estos dos mecanismos de detección, conjuntamente con el uso del sensor 11B como sensor de referencia, proporciona un dispositivo a

prueba de fallos con mínima sensibilidad cruzada que se comporta mejor que los detectores puntuales de corriente usados en ambiente extremo (p. ej., ambientes similares del desierto que son muy calientes y secos).

5 Cada capa de metal 16 tiene propiedades físicas que le permiten producir un plasmón de superficie. La permitividad y la movilidad de electrones son dos parámetros clave para establecer un plasmón de superficie en una frecuencia de luz particular. En caso de elementos de los grupos 11 o 1B de materiales puramente metálicos de la tabla periódica tienen las propiedades físicas que permiten un plasmón de superficie. Adicionalmente, los elementos de los grupos 10, 12 y 14 de la tabla periódica también pueden soportar resonancias de plasmones. Los óxidos de elementos de los grupos 4-7 de la tabla periódica pueden producir resonancias de plasmones en frecuencias más altas. La selección de la capa de metal soporta el establecimiento de la longitud de onda requerida para excitar la resonancia de plasmones de superficie.

10 La Figura 2 ilustra esquemáticamente un ejemplo de la capa de metal 16 que se deposita sobre una superficie 14. En un ejemplo la deposición se logra a través de enlace anódico de la capa de metal 16 a la superficie de vidrio 14. Como se muestra en la Figura 2, la capa de metal 16 proporciona una pista que sigue un camino en serpentín a lo largo de la superficie 14 e incluye extremos 37A, 37B conectados funcionalmente al controlador 32 para medir propiedades eléctricas de la pista (p. ej., resistencia, amplitud, frecuencia, etc.), por ejemplo, como se describe más adelante con relación a la Figura 3.

20 La Figura 3 ilustra esquemáticamente un ejemplo de detector por SPR 11 en el que el controlador 32 utiliza un circuito puente 38 para medir una o más propiedades eléctricas, tales como resistencia, de la capa de metal 16 cuando se expone al gas de muestra 20A en un área de detección de gas 39. En el ejemplo no limitativo de la Figura 3, el circuito puente 38 utiliza una configuración Wheatstone que incluye nodos N1-N4. El nodo N1 se acopla al extremo 37A de la capa de metal 16, el resistor R1 y un galvanómetro 40 que mide una corriente eléctrica a través de la capa de metal 16. El nodo N2 se acopla al extremo opuesto 37B de la capa de metal 16, el resistor R3 y una fuente de energía 42. El nodo N3 se acopla al resistor R1, la fuente de energía 42 y un resistor R2. El nodo N4 se acopla al resistor R2, el resistor R3 y el galvanómetro 40. En un ejemplo los resistores R1, R2, R3 tienen los mismos o sustancialmente los mismos valores de resistencia (p. ej., dentro de un 1-5 % entre sí). Cuanto más preciso son los valores de resistor R1, R2, R3, más precisas serán las mediciones del circuito puente 38.

El uso del circuito puente 38 permite buena sensibilidad de medición de propiedades eléctricas, y permite mediciones globales más precisas que las obtenibles sin el circuito puente 38.

35 Aunque en la Figura 3 se representa un único circuito puente 38, se entiende que se podrían usar circuitos puente 38 separados para el primer detector por SPR 11A y el segundo detector por SPR 11B, respectivamente.

40 La Figura 4A ilustra un ejemplo de detector por SPR 111 dispuesto sobre una plataforma 46A. En esta divulgación, numerales de referencia semejantes designan elementos semejantes donde sea apropiado y numerales de referencia con la adición de cien o múltiplos del mismo designan elementos modificados que se entiende que incorporan los mismos rasgos y beneficios del elementos correspondientes.

45 Una pluralidad de aletas en cascada 48 se extienden hacia arriba desde la plataforma 46A y se disponen circunferencialmente alrededor del prisma 12 y la capa de metal 16 adyacente al prisma 12. Las aletas 48 crean un laberinto que permite que fluya entrando aire ambiente a una cámara de gas 50 alrededor del prisma 12 que actúa como volumen de detección, mientras se bloquea y/o reduce la cantidad de luz ambiente que entra a la cámara de gas 50. Las aletas 48 se superponen circunferencialmente entre sí de manera que parejas adyacentes de las aletas 48 definen canales 52 para que entre y salga gas de la cámara 50. Las aletas 48 se ponen en cascada de manera que una parte 53 de cada aleta 48 reside fuera de la cámara 50.

50 La Figura 4B se toma a lo largo de la línea A-A de la Figura 4A e incluye una plataforma adicional 46B. Como se muestra en la Figura 4B, las aletas 48 se extienden entre la primera plataforma 46A y la segunda plataforma adicional 46B. Las plataformas 46A-B se espacian entre sí y se miran entre sí, y junto con las aletas 48 definen la cámara de gas 50. En un ejemplo, las plataformas 46 actúan como barreras para minimizar la cantidad de luz y polvo que entra a la cámara de gas 50. En el ejemplo, las aletas 48 son perpendiculares a las plataformas 46A-B.

60 Haciendo referencia de nuevo a la Figura 4A, el controlador 32 se conecta funcionalmente a un impulsor de fuente de luz 54 que hace funcionar la fuente de luz 22 (p. ej., un diodo emisor de luz "LED" o diodo de láser), y un impulsor de fotodetector 56 que funciona el fotodetector 30 (p. ej., un fotodiodo, avalancha fotodiodo (APD), contador de fotones multi-píxel (MPPC), etc.). Las aletas 48A-B adyacentes a la fuente de luz 22 son hendidas para evitar obstruir un haz de luz desde la fuente de luz 22 al prisma 12, y las aletas 48C-D adyacentes al fotodetector 30 también son hendidas para evitar obstruir el haz reflejado desde el prisma 12. Aunque no se muestra en la Figura 4A, el controlador 32 también se conecta funcionalmente a la capa de metal 16 (p. ej., usando el circuito puente de la Figura 3) para medir una o más propiedades eléctricas del detector por SPR

111.

En un ejemplo, los detectores por SPR 11A-B se disponen entre la misma pareja de plataformas espaciadas 46A-B, con cada detector por SPR 111 con su propia distribución en cascada de las aletas 48.

5 Aunque en la Figura 4A se muestra un diseño de aleta particular, se entiende que se podrían usar otras configuraciones, tales como el ejemplo de disposición de la Figura 4C, en el que cada aleta 148 incluye dos partes de aleta conectadas 148A-B que se angulan relativamente entre sí, y residen en planos separados, con la parte 148B obstruyendo parcialmente un canal adyacente 52. En el ejemplo de la Figura 4C, el prisma 12 y su capa de metal 16 adyacente están todavía situados en la plataforma 46, y todavía incluyen una pluralidad de aletas en cascada 148 que se extienden hacia arriba desde la plataforma 46A y se disponen circunferencialmente alrededor del prisma 12 y la capa de metal 16.

15 La Figura 5 ilustra esquemáticamente un ejemplo de detector en voladizo 58 que comprende una barreta piezoeléctrica en voladizo 59 que se extiende desde un dispositivo impulsión/detección 60. En particular, un primer extremo 61A de la barreta piezoeléctrica 59 se asegura al dispositivo de impulsión/detección 60, y un segundo extremo opuesto 61B de la barreta piezoeléctrica 59 es un extremo libre que tiene un recubrimiento metálico 62, tal como un recubrimiento de oro o plata. El dispositivo de impulsión/detección 60 funciona en un modo de impulsión para proporcionar una señal de CA que tiene una frecuencia que provoca que la barreta piezoeléctrica 59 vibre a su frecuencia resonante. En un ejemplo, la señal se proporciona en una frecuencia resonante de la barreta piezoeléctrica 59. Mientras la barreta piezoeléctrica 59 está vibrando, el dispositivo de impulsión/detección 60 deja de proporcionar la señal de CA y funciona en un modo de detección en el que el dispositivo de impulsión/detección 60 mide la frecuencia resonante actual de la barreta piezoeléctrica 59. El controlador 132 controla el dispositivo de impulsión/detección 60, y recibe sus datos de frecuencia detectados de modo que el controlador 132 puede determinar si la frecuencia resonante ha cambiado, lo que podría indicar adsorción del objetivo de gas sobre el recubrimiento de metal 62.

En un ejemplo, el detector en voladizo 58 proporciona redundancia y actúa como mecanismo a prueba de fallos adicional para el sistema de SPR 10. El detector en voladizo 58 basa su detección en la adsorción de un gas de muestra (p. ej., que puede contener un objetivo de gas que es un contaminante tal como H₂S gaseoso) por el recubrimiento metálico 62. La barreta en voladizo 59, en un ejemplo, se compone de un material piezoeléctrico, tal como cuarzo o circonato titanato de plomo ("PZT"). La adsorción del objetivo de gas por el recubrimiento metálico 62 modifica la masa de la barreta y desplaza su frecuencia resonante, lo que es detectado por el controlador 132 que monitoriza una respuesta de señal piezoeléctrica de la barreta 59. La medición en voladizo se usa para confirmar la presencia del objetivo de gas o para permitir un estado de alarma en caso de que falle el sistema de SPR 10 (p. ej., para indicar que un nivel anterior de redundancia de sensor ya no está disponible). Después de cada medición, el recubrimiento metálico 62 se calienta para limpiar y/o liberar material adsorbido del recubrimiento metálico 62 para funcionamiento continuo. La adición del mecanismo de detección en voladizo proporciona un dispositivo redundante a prueba de fallos con mínima sensibilidad cruzada.

Aunque en la Figura 5 únicamente se muestra un detector en voladizo 58, se entiende que se podría utilizar una pluralidad de ellos en una configuración similar a la Figura 1 en la que un detector en voladizo 58 se expone al gas de muestra 20A, y un detector en voladizo 58 se expone al gas de referencia 20B. El detector en voladizo 58 expuesto al gas de referencia 20B podría proporcionar una línea de base para comparación frente al detector en voladizo 58 expuesto al gas de muestra 20A. Esto permitiría el rechazo de vibraciones ambiente y podría permitir una sensibilidad mejorada.

La Figura 6 ilustra esquemáticamente un chip microfotónico 64 (p. ej., un chip de silicio) que incluye una pluralidad de distribuciones 65 de estructuras de óxido metálico (MOF) de SPR en un diseño "en chip". Cada distribución 65 incluye una pluralidad de detectores por SPR 11, cada uno utiliza un MOF como su capa de metal 16. Se usa una pluralidad de MOF diferentes que tiene diferentes porosidades y diferentes afinidades de adhesión para una pluralidad de diferentes objetivos de gases. Una entrada de gas 66 proporciona un gas de muestra a la pluralidad de distribuciones SPR-MOF 65, que determinan las propiedades de reflexión y eléctricas del gas de muestra. En un ejemplo, la entrada de gas 66 incluye un interruptor fluídico que controla un flujo de gas a las distribuciones 65.

El controlador 232 recibe un conjunto de datos de entrenamiento históricos 82 que han sido recopilados por las distribuciones SPR-MOF 65 cuando se exponen a una pluralidad de diferentes gases de entrenamiento que tienen composiciones conocidas en una biblioteca de compuestos 68. Los datos de entrenamiento incluyen características eléctricas y/u ópticas observadas de las distribuciones SPR-MOF 65 (o de una configuración diferente, pero sustancialmente similar de las distribuciones SPR-MOF) cuando se exponen a los compuestos químicos de la biblioteca 68. El controlador 232 realiza una técnica de aprendizaje por máquina para generar un conjunto nodal 80 que representa correlaciones en el conjunto de datos de entrenamiento históricos 82. En un ejemplo, el conjunto nodal 80 incluye una red neural profunda, tal como una red neural convolutiva (CNN), una red neural recurrente (RNN), o una RNN-CNN combinada en la que la RNN proporciona un envoltorio

alrededor de la CNN. Una CNN captura correlaciones espaciales y una RNN captura correlaciones temporales. La RNN-CNN combinada captura información espacial y temporal del objetivo de gas. En otro ejemplo, otros planteamientos estadísticos de aprendizaje por máquina como bosques aleatorios, XGBoost, Máquinas de Vector de Soporte, árboles de decisión y métodos Monte Carlo por nombrar unos pocos, también se pueden usar para capturar estas correlaciones.

El controlador 232 realiza un análisis basado en aprendizaje por máquina (esquemáticamente mostrado como 67) sobre las propiedades determinadas de las distribuciones SPR-MOF 65. El análisis 67 utiliza el conjunto nodal 80 que previamente fue entrenado con entrenamiento histórico de los gases de entrenamiento. El análisis basado en aprendizaje por máquina 67 proporciona una identificación 69 de si cualquiera de esos objetivos de gases está presente en el gas de muestra 20.

La Figura 7A ilustra esquemáticamente una vista en perspectiva parcialmente en despiece ordenado de un ejemplo de distribución SPR-MOF 65. La distribución SPR-MOF 65 incluye una pluralidad de MOF discretos 216 que se cohesionan anódicamente sobre una superficie 214 de un bloque de vidrio 212. Cada MOF 216 tiene un fotodetector 230 asociado configurado para medir una propiedad de reflexión de reflejos de un haz desde una interfaz de su MOF 216 asociado y la superficie 214. Los fotodetectores 230 y el bloque de vidrio 212 se sitúan encima de chip de silicio 64, que actúa como sustrato.

Los fotodetectores 230 pueden usar un índice de refracción de haces reflejados desde la interfaz de un MOF 216 y la superficie 214 como medida de la sensibilidad del MOF a la densidad/masa de los objetivos de gases a los que se expone.

En la distribución SPR-MOF 65, los MOF 216 se disponen en una pluralidad de filas de MOF 70 y una pluralidad de columnas de MOF 71 dispuestas en una distribución M x N. Los fotodetectores 230 se disponen de manera similar en una pluralidad de filas de fotodetectores 72 y una pluralidad de columnas de fotodetectores 73 en una distribución M x N. En un ejemplo no limitativo, hay cinco filas (M = 5) y diez columnas (N = 10) en cada distribución. Las columnas de MOF 71 y las columnas de fotodetectores 73 están desplazadas entre sí para acomodar una distancia recorrida por haces reflejados que se reflejan desde la interfaz de los MOF 216 y la superficie 214 hacia los fotodetectores 230.

Una capa de canalización 75, mostrada como separado del bloque de vidrio 212 para fines ilustrativos en la Figura 7A, topa en la superficie 214 del bloque de vidrio 212. La capa de canalización 75 incluye una pluralidad de microcanales fluidicos 74, uno para cada fila 70. Cada microcanal de fluido 74 corresponde a una de las filas 70 de los MOF 216 y entrega el gas de muestra a los MOF 216 en su fila 70 correspondiente. En un ejemplo la capa de canalización 75 se compone al menos parcialmente de cuarzo o sílice.

Una pluralidad de láseres 222, cada uno correspondiente a una única fila de MOF 70 y una única fila de fotodetectores 72, emiten luz que se entrega en ángulos predefinidos a cada uno de los MOF 216 en su fila a través del bloque de vidrio 212. En un ejemplo no limitativo el láser 222 es un diodo láser. La longitud de onda de salida del diodo láser se puede seleccionar para tener una longitud de onda de salida en el intervalo de 400 nm a 12.000 nm en un ejemplo, en otro ejemplo el intervalo de longitud de onda de salida puede ser de 500 nm a 800 nm. La selección de longitud de onda se relaciona con la interacción de la luz con la superficie de metal para establecer la resonancia de plasmones de superficie o el coeficiente de absorción de la material cerca de la capa de metal, tal como un modo vibratorio resonante del MOF o el objetivo de gas.

En un ejemplo, se usan diferentes tipos de láseres 222 para diferentes fotodetectores de las filas de fotodetectores 72, porque algunos láseres pueden proporcionar mejor resonancia que otros para ciertos objetivos de gases. Como ejemplo, el metano tiene un modo vibratorio alrededor de 3.300 nm. El láser 222 y el detector en una fila de fotodetectores 72 podrían optimizarse para detectar metano al emitir y recibir luz a 3.300 nm. En otro ejemplo, H₂S se cohesionan al oro. Una resonancia de plasmones de superficie podría establecerse con luz láser 658 nm. El láser 222 y los fotodetectores en una fila de fotodetectores 72 podrían ser sensibles a cambios en la luz de longitud de onda 658 nm permitiendo la detección en un cambio en la reflectividad de la capa de metal.

El bloque de vidrio 212 proporciona una pluralidad de guías de ondas tridimensionales en una topología de árbol que ramifica la luz desde los láseres 222 a los MOF 216 en ángulos predefinidos. En un ejemplo, se usa un método de inscripción láser ultrarrápida (ULI) para definir los caminos de propagación de luz de guía de ondas tridimensional dentro del bloque de vidrio 212. En un ejemplo, cada guía de ondas 3D propaga luz desde un único láser 222 a una correspondiente única fila de MOF 70 que se refleja abajo a una única fila de fotodetectores 72.

La Figura 7B ilustra esquemáticamente una vista lateral de una distribución SPR-MOF 65 que representa la guía de ondas 3D 76 para una fila de MOF 70 dada (mostrada en la Figura 7A), representa los haces 224 que son emitidos desde un láser 222 y se propagan por la guía de ondas 76, y representa los haces reflejados 228 que se reflejan desde la interfaz de los MOF 216 y la superficie 214. La guía de ondas 3D 76 para cada fila de

MOF 70 se configura para proporcionar haces individuales 224 desde el láser 222 a los individuales de los MOF 216 en su fila de MOF 70 dada.

5 Como se muestra en la Figura 7B, entre los MOF 216 se dispone una pluralidad de calentadores 236. Los calentadores 236 se configuran para inducir desorción de analitos desde los MOF 216 a través de calentamiento.

10 El controlador 332 puede funcionar para controlar los láseres 222 para pulsar los haces 224 a los MOF 216, para controlar los fotodetectores 230 que reciben el haz reflejado 228, y para controlar los calentadores 236 para inducir desorción. El controlador 332 también se conecta funcionalmente a los MOF 216 para determinar una propiedad eléctrica de los MOF 216 durante la SPR, y a los fotodetectores 230 para medir una propiedad de reflexión de los reflejos de los respectivos haces desde las superficies de metal. En un ejemplo, cada fotodetector tiene un diámetro del orden de 80 micrómetros.

15 La Figura 8 ilustra esquemáticamente un ejemplo de fila 370 de MOF 316A-J cada uno de los cuales tiene un MOF acompañante adyacente 317A-J que tiene la misma composición. Cada MOF acompañante 317 se recubre para impedir la adsorción de analitos al MOF acompañante 317. En el ejemplo de la Figura 8, el controlador 332 se configura para comparar cada propiedad eléctrica y/o propiedad de reflexión individual de la pluralidad de MOF 316 (donde puede ocurrir adsorción de analitos) a la propiedad eléctrica y/o propiedad de reflexión de los MOF acompañantes 317 (donde no puede ocurrir adsorción) para determinar si el gas de muestra incluye uno de la pluralidad de objetivos de gases. En este sentido, los MOF acompañantes 317 sirven como línea de base, y una respuesta similar de un MOF y su acompañante indicaría que el objetivo de analito dado no está presente. En un ejemplo, los MOF 316 y sus capas de metal acompañantes 317 para una distribución dada 65 son coplanarios en un plano definido por la superficie 214.

25 Un planteamiento para identificar un objetivo de gas es el denominado "planteamiento de diccionario" en el que cada objetivo de gas tiene una firma predefinida, y las propiedades medidas de un gas de muestra se comparan con aquellas firmas para determinar si hay presentes objetivos de gases predefinidos. Sin embargo, en muchos ambientes de prueba hay una alta probabilidad de que el objetivo de gas no esté presente por sí mismo, pero en cambio estaría presente con una variedad de gases molestos que pueden reducir la precisión del "planteamiento de diccionario".

30 Haciendo referencia ahora a la Figura 9 continuando con referencia a la Figura 6, la Figura 9 ilustra esquemáticamente un ejemplo del análisis basado en aprendizaje por máquina 67 que mejora sobre el planteamiento de diccionario al utilizar un conjunto nodal 80, que en el ejemplo de la Figura 9 es una red neural 92, que se entrena a partir una gran biblioteca de compuestos (p. ej., biblioteca de compuestos 68 de la Figura 6). En un ejemplo, algunos de los datos de entrenamiento 82 se recopilan de objetivos de gases mezclados con gases molestos, de modo que los objetivos de gases se pueden detectar en pequeñas concentraciones entre los gases molestos. El controlador 232 se configura para realizar el análisis basado en aprendizaje por máquina 67, y puede almacenar la red neural 92 en su memoria.

35 La Figura 9 muestra esquemáticamente cómo se puede usar un conjunto de datos más pequeño para inferencias ("N variado, más pequeño" en la Figura 9) que el conjunto de datos usado para entrenar ("N grande" en la Figura 9). Esto se debe a que un RNN puede sugerir las regiones más relevantes, y no tiene que darse el conjunto de datos N entero a la CNN para tomar una decisión sobre el gas al que se ha expuesto un sensor.

40 Durante una fase de entrenamiento 81, la red neural 92 se entrena a partir de un gran conjunto de datos de entrenamiento (esquemáticamente mostrado como 82) recopilados por una pluralidad de sensores 87 expuestos a una pluralidad de objetivos de gases de la biblioteca de productos químicos 68.

50 Los datos de entrenamiento incluyen características eléctricas y/u ópticas observadas de los sensores 87 cuando se expone a los compuestos químicos de la biblioteca 68. Los sensores 87 podrían incluir cualquiera de los detectores por SPR 11 discutidos en esta memoria, por ejemplo, que incluyen los sensores basados en distribución de las Figuras 7A, 7B, y 8. Las características observadas podrían incluir propiedades eléctricas durante la SPR de una capa de metal 16, tales como cambios de resistencia de una capa de metal durante la SPR, amplitud de una señal eléctrica proporcionada a través de la capa de metal 16 durante la SPR, una frecuencia de una señal eléctrica proporcionada a través de la capa de metal 16 durante la SPR, un dieléctrico constante, una rigidez dieléctrica, resistividad y conductividad eléctricas, permitividad, campo de descomposición, electrones de movilidad, electrones de coeficiente de difusión, orificios de coeficiente de difusión y velocidad térmica electrónica, por ejemplo. Las características observadas también podrían incluir propiedades ópticas tales como un ángulo de intensidad reflejada mínima, absorbancia, índice de refracción, transmitancia, constante dieléctrica, índice de refracción, coeficiente de recombinación radiativa, energía fotónica óptica y coeficiente de adsorción, por ejemplo.

65 Otro tipo de detector que podría usarse para obtener datos de entrenamiento incluye detectores fotoacústicos. Generalmente hablando, los detectores fotoacústicos dependen de la interacción entre la luz y un objetivo de

sustancia para producir una respuesta acústica que puede ser medida y usada para la detección. Un detector fotoacústico puede incluir una cámara, una luz pulsada de una frecuencia preseleccionada y un micrófono. Se hace circular aire ambiente a través de la cámara. La luz se pulsa a través de la cámara y el micrófono escucha una respuesta acústica. La frecuencia preseleccionada coincide con una frecuencia de absorción del objetivo de sustancia. Si el objetivo de sustancia está presente en el aire, la sustancia absorbe una parte de la luz durante los pulsos de luz. Conforme la sustancia absorbe luz se calienta y provoca un aumento de presión local en la aire. Entre pulsos la sustancia se enfría, produciendo de ese modo una disminución de presión local en la aire. La alternancia de aumento y disminución de presión se manifiesta como señal acústica que puede ser oída por el micrófono y usada para identificar que la sustancia está presente en el aire.

La red neural 80 se entrena 81 al asociar sus observaciones de un objetivo de gas dado con la identidad del objetivo de gas de la biblioteca 68. En lugar de simplemente basarse en el planteamiento de diccionario que dictamina que la firma predefinida es para unos compuestos dados, la red neural 80 aprende sus propias firmas en función de los datos de entrenamiento 82.

El ejemplo de red neural simplificada 80 mostrada en la Figura 9 incluye una pluralidad de nodos 83 dispuestos en una fase de entrada 84 (primera columna), una pluralidad de fases intermedias ocultas (columnas medias 85, una de las cuales se muestra ilustrativamente en la Figura 9), y una fase de salida 86 (tercera columna). Las flechas entre nodos 83 en subsiguientes fases representan valores de peso discretos que representan la fortaleza de una correlación entre dos nodos 83, que es indicativo de lo fuerte que puede ser atraída una inferencia entre los dos nodos 83.

En una fase de inferencia 88, la red neural 80, que se ha entrenado sobre los datos de entrenamiento 82 para una muestra de gas, se presenta con un conjunto más pequeño de datos de entrada 89 que también procede de los sensores 87. Los datos de entrada 89 se analizan usando la red neural 80 para identificar un "producto químico Y" correspondiente a lo que la red neural 80 cree que son productos químicos presentes en la muestra de gas.

Los algoritmos de aprendizaje profundo se benefician de grandes cantidades de datos de entrenamiento etiquetados para generar un modelo matemático robusto que se puede usar para inferencia sobre datos de pruebas. Las Redes neurales recurrentes (RNN) son óptimas para explotar las características temporales de características de absorción o desorción del elemento sensitivo para discriminar las especies de compuestos químicos. Se pueden aprovechar correlaciones espaciales usando redes neurales profundas convolutivas (DCNN), especialmente cuando los elementos sensitivos se colocan en una distribución M x N. Las instantáneas de la distribución M x N se toman en intervalos de tiempo específicos correspondientes a propiedades eléctricas, tales como cambios de amplitud o cambios de frecuencia, que influyen en la adsorción o desorción de gas químico.

El ejemplo de red neural 80 funde ambas RNN y CNN, produciendo un método que puede explotar ambas características temporal y espacial en paralelo que ayudan a la identificación de un químico compuesto dado con latencia reducida y bajo consumo de potencia. En un ejemplo, la RNN proporciona un envoltorio encima de la CNN.

En el momento t, los nodos 83 con bordes recurrentes reciben dos entradas, donde $x^h(t)$ son los datos actuales y $h^h(t-1)$ es el estado anterior de la red. La salida $y^h(t)$ se calcula a partir del nodo oculto $h^h(t)$ en el momento t. En un ejemplo, se requieren los siguientes cálculos en cada etapa de tiempo,

$$h^h(t) = \sigma(W^h x^h(t) + W^h h^h(t-1) + b_h)$$

$$y^h(t) = \text{softmax}(W^h h^h(t) + b_y)$$

donde: $W^h x^h$ representa la matriz de pesos entre la entrada 84 y la capa oculta 85;

$W^h h^h$ representa la matriz de pesos entre la capa oculta 85 y sí mismo en etapas de tiempo adyacentes; y

$W^h y^h$ representa la matriz de pesos entre la salida 86 y la capa oculta 85.

Los parámetros de predisposición b_h y b_y permiten a cada nodo 83 aprender un desplazamiento. El método convencional de usar un planteamiento de diccionario y clasificar los resultados puede aumentar en cuanto a latencia y recursos computacionales, mientras que el planteamiento descrito anteriormente puede evitar tales cuestiones.

El modelo entrenado producido por la RNN y la CNN en la secuencia de diferentes longitudes de onda de producto químico puede predecir diferentes puntuaciones de correlación correspondientes a la presencia de los explosivos. Esta etapa de inferencia evoluciona a lo largo del tiempo y reduce la latencia considerablemente, ya que únicamente se necesita un tiempo de muestreo muy pequeño para predecir con precisión la presencia

de gases peligrosos.

Aunque se han descrito ejemplos de realizaciones, un experto en esta técnica reconocerá que ciertas modificaciones se encontrarán dentro del alcance de esta invención, definido por la siguiente reivindicaciones.

5

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de detección (10) por resonancia de plasmones de superficie (SPR), que comprende:
5 un primer prisma (12A) que tiene una primera superficie (14A);
una primera capa de metal (16A) dispuesta sobre la primera superficie y configurada para exponerse a un gas de muestra (20A);
10 un segundo prisma (12B) que tiene una segunda superficie (14B);
una segunda capa de metal (16B) dispuesta sobre la segunda superficie y configurada para exponerse a un gas de referencia (20B);
15 al menos una fuente de luz (22) configurada para proporcionar respectivos haces (24A, 24B) a las superficies primera y segunda, donde cada uno de los haces provoca la resonancia de plasmones de superficie (SPR) de una respectiva de las capas de metal;
al menos un fotodetector (30) configurado para medir una propiedad de reflexión de reflejos (28A, 28B) de los
20 respectivos haces desde las capas de metal durante la SPR; al menos un detector eléctrico configurado para determinar una propiedad eléctrica de las capas de metal primera y segunda (16A, 16B) durante la SPR; y
un controlador (32) configurado para determinar si un objetivo de gas está presente en el gas de muestra en función de una composición conocida del gas de referencia y al menos una de la propiedad eléctrica de las
25 capas de metal primera y segunda durante la SPR y la propiedad de reflexión de las capas de metal primera y segunda;
en donde cada una de las capas de metal primera y segunda comprende una pista eléctrica en serpentín depositada sobre las superficies primera y segunda respectivamente del primer y segundo prisma respectivo,
30 y la propiedad eléctrica de la capa de metal se mide en la pista eléctrica en serpentín.
2. El sistema de detección por SPR de la reivindicación 1, en donde el controlador (32) se configura para determinar que el objetivo de gas está presente en el gas de muestra (20A) en función de al menos uno de un cambio en la propiedad eléctrica de la primera capa de metal (16A) y un cambio en el haz reflejado (28A) desde
35 la primera superficie (14A) que indica adsorción del objetivo de gas a la primera capa de metal.
3. El sistema de detección por SPR de la reivindicación 2, que comprende:
una barreta piezoeléctrica en voladizo (59) que comprende un primer extremo (61A) que se asegura a un
40 soporte y segundo extremo libre (61B) que está opuesto al primer extremo y tiene un recubrimiento de metal (62); y
un dispositivo de vibración (60) configurado para hacer vibrar la barreta piezoeléctrica en voladizo a su
45 frecuencia resonante;
en donde el controlador (32) se configura para basar además su determinación de si el gas de muestra (20A) incluye el objetivo de gas en si un cambio en la frecuencia resonante indica adsorción del objetivo de gas en el recubrimiento de metal.
- 50 4. El sistema de detección por SPR de cualquier reivindicación anterior, en donde la fuente de luz (22) comprende un divisor de haz (26) configurado para dividir un haz (24) de la fuente de luz en un primer haz (24A) dirigido al primer prisma (12A) y un segundo haz (24B) dirigido al segundo prisma (12B).
5. El sistema de detección por SPR de cualquier reivindicación anterior, en donde cada capa de metal
55 (16A, 16B) comprende oro.
6. El sistema de detección por SPR de cualquier reivindicación anterior, en donde el objetivo de gas es ácido sulfhídrico.
- 60 7. El sistema de detección por SPR de cualquier reivindicación anterior, en donde el gas de referencia (20B) es inerte.
8. El sistema de detección por SPR de cualquier reivindicación anterior, en donde la propiedad eléctrica de cada capa de metal (16A, 16B) comprende:
65 una resistencia de la capa de metal;

- una amplitud de una señal eléctrica proporcionada a través de la capa de metal; o
- una frecuencia de una señal eléctrica proporcionada a través de la capa de metal.
- 5 9. El sistema de detección por SPR de cualquier reivindicación anterior, en donde el detector eléctrico comprende:
- 10 un primer circuito puente (38) configurado para medir una resistencia de la primera capa de metal (16A) durante la SPR de la primera capa de metal; y
- un segundo circuito puente (38) configurado para medir una resistencia de la segunda capa de metal (16B) durante la SPR de la segunda capa de metal.
- 15 10. El sistema de detección por SPR de la reivindicación 9, en donde cada circuito puente (38) comprende:
- un primer nodo (N1) acoplado a cada una de una primera parte (37A) de su capa de metal asociada (16), un primer resistor (R1) y un dispositivo de medición de corriente (40);
- 20 un segundo nodo (N2) acoplado a cada una de una segunda parte (37B) de la capa de metal asociada, un segundo resistor (R3) y una fuente de energía (42);
- un tercer nodo (N3) acoplado a cada uno del primer resistor (R1), la fuente de energía (42) y un tercer resistor (R2); y
- 25 un cuarto nodo (N4) acoplado a cada uno del segundo resistor (R3), el tercer resistor (R2) y el dispositivo de medición de corriente (40).
11. El sistema de detección por SPR de cualquier reivindicación anterior, que comprende:
- 30 una pareja de paredes espaciadas (46A, 46B) se miran entre sí, al menos uno del primer prisma (12A) y el segundo prisma (12B) dispuesto entre la pareja de paredes espaciadas; y
- 35 una pluralidad de aletas (48) que se extienden entre la pareja de paredes espaciadas y se disponen alrededor del al menos un prisma, las paredes y la pluralidad de aletas definen una cámara de gas (50) alrededor del al menos un prisma, la pluralidad de aletas espaciadas entre sí para definir canales (52) para que entre y salga gas de la cámara de gas.
12. El sistema de detección por SPR de la reivindicación 11, en donde la pluralidad de aletas (48) se ponen en cascada de manera que una parte de cada aleta se extiende fuera de la cámara (50).
- 40 13. El sistema de detección por SPR de la reivindicación 11, en donde los prismas primero y segundo (12A, 12B) se disponen entre la misma pareja de paredes espaciadas (46A, 46B).
- 45 14. El sistema de detección por SPR de cualquier reivindicación anterior, que comprende al menos un calentador (36A, 36B) configurado para inducir desorción de analitos de las capas de metal primera y segunda (16A, 16B) al calentar las capas de metal primera y segunda.

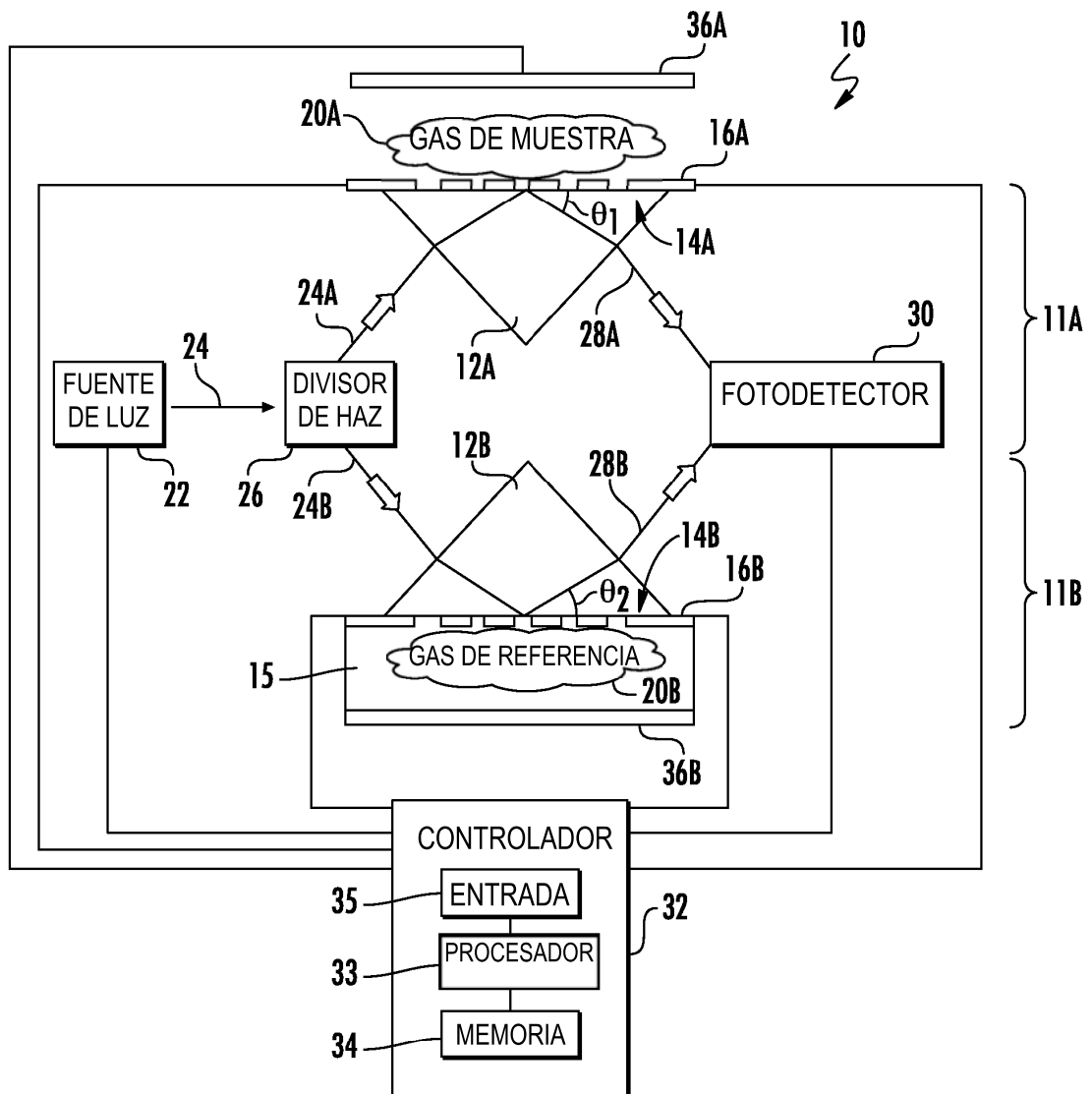


FIG. 1

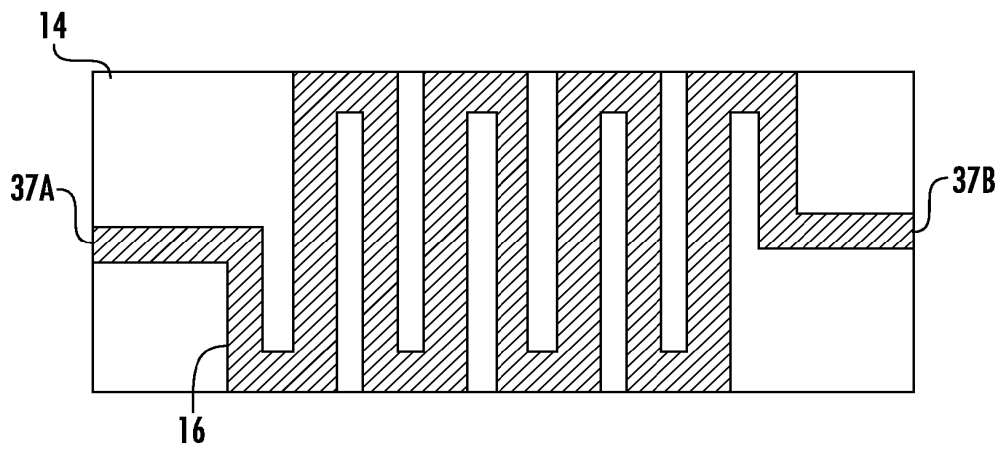


FIG. 2

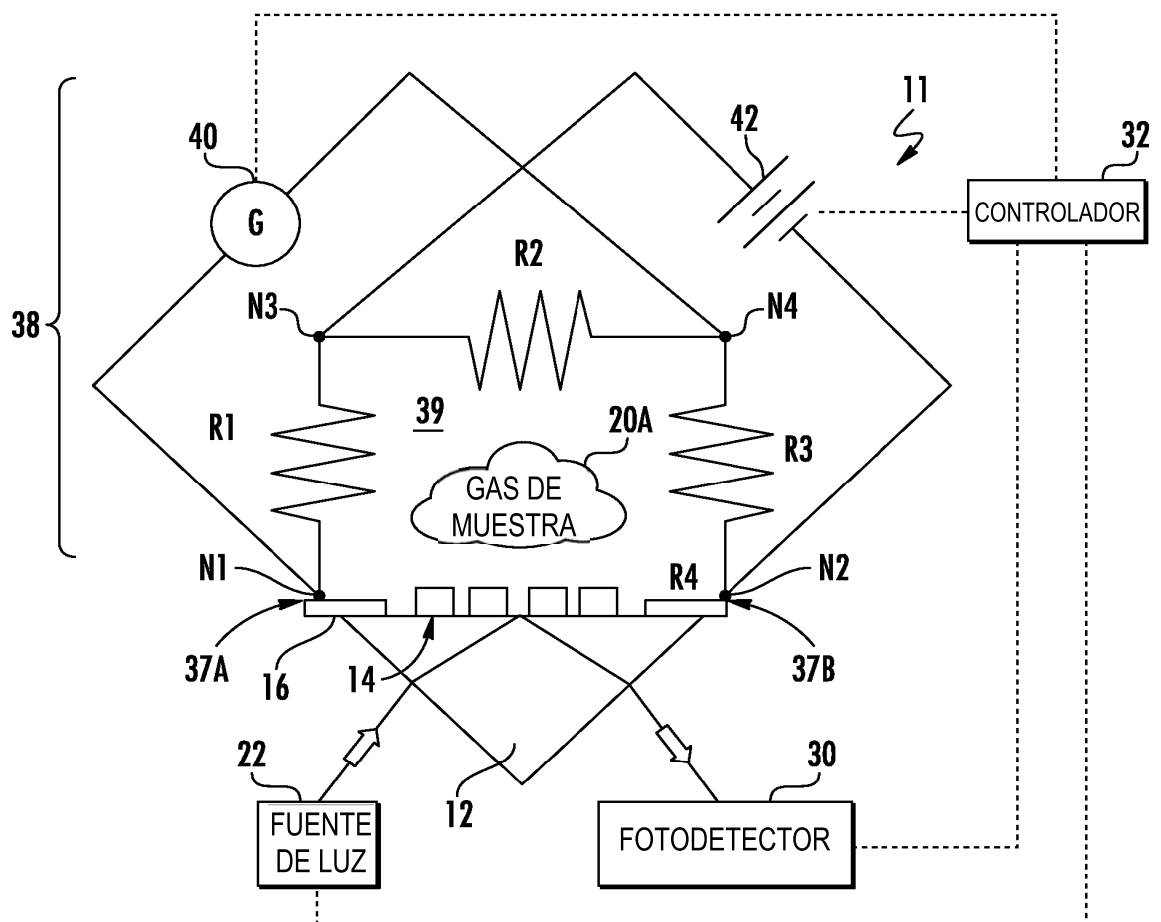


FIG. 3

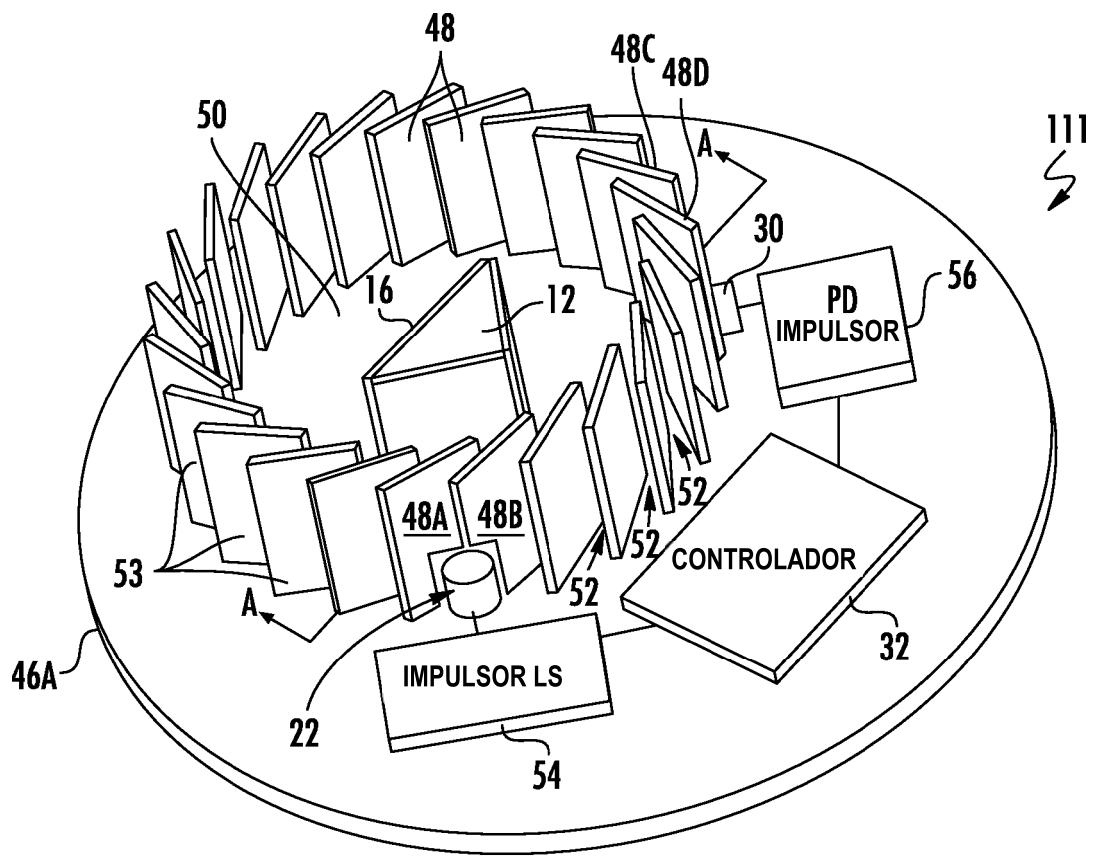


FIG. 4A

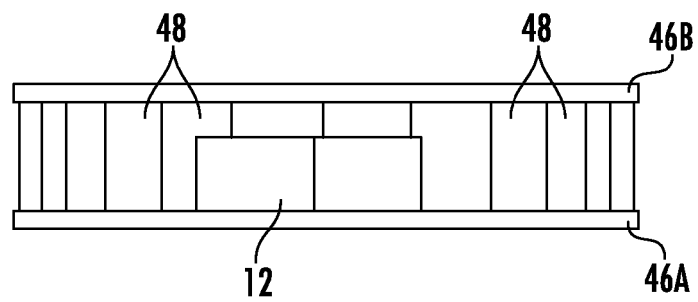


FIG. 4B

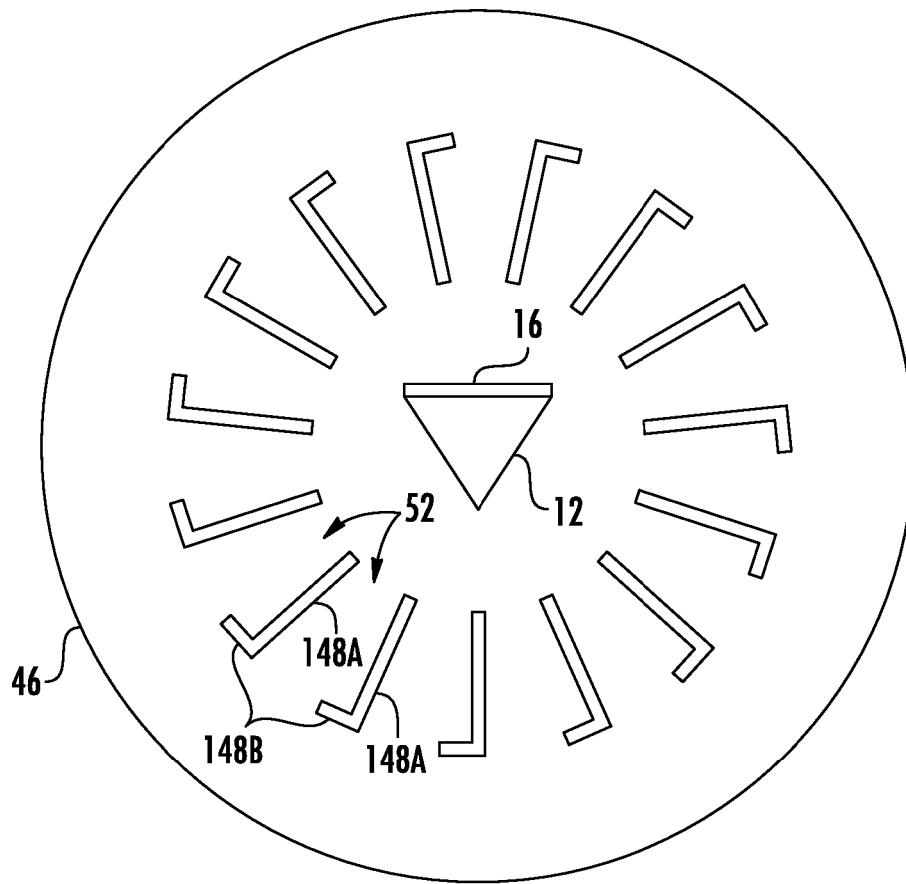


FIG. 4C

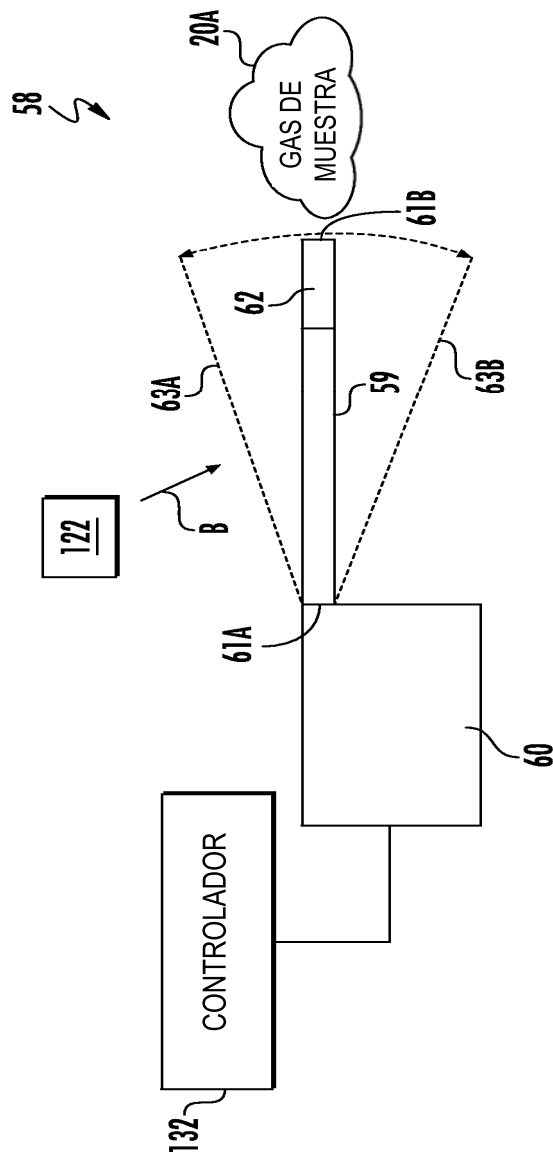


FIG. 5

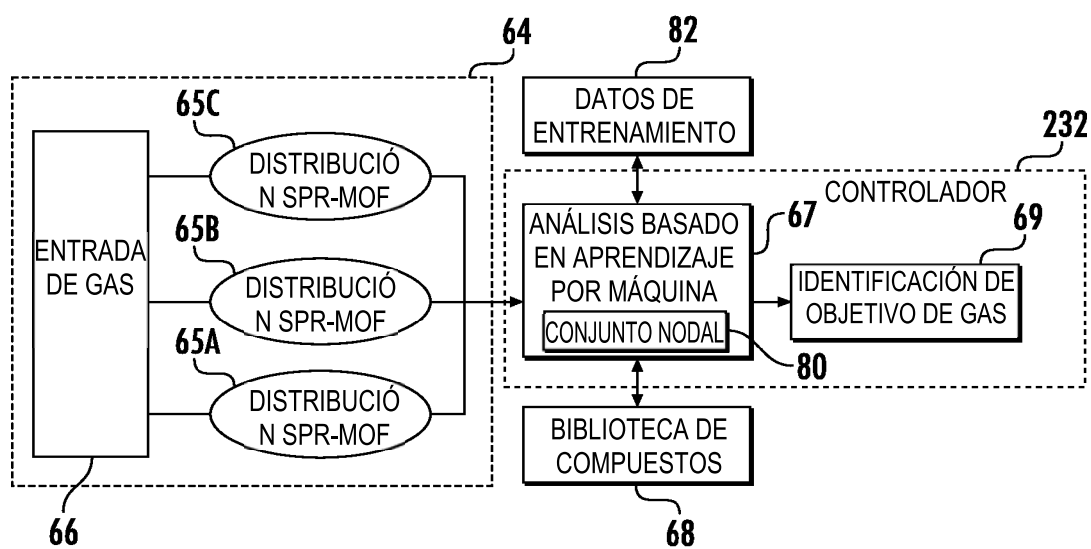


FIG. 6

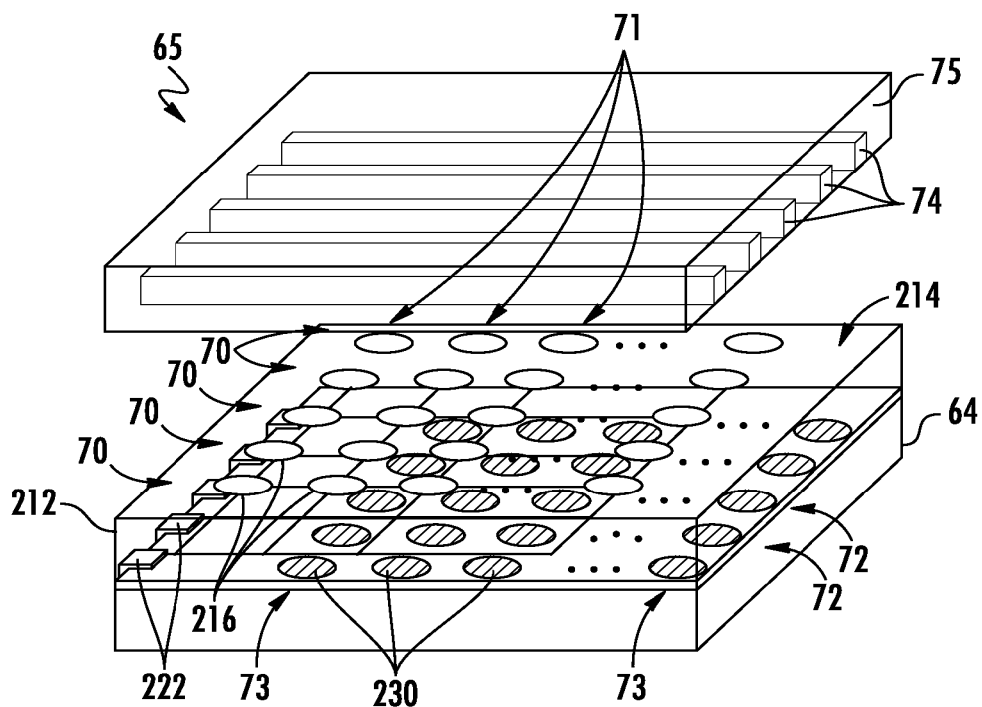


FIG. 7A

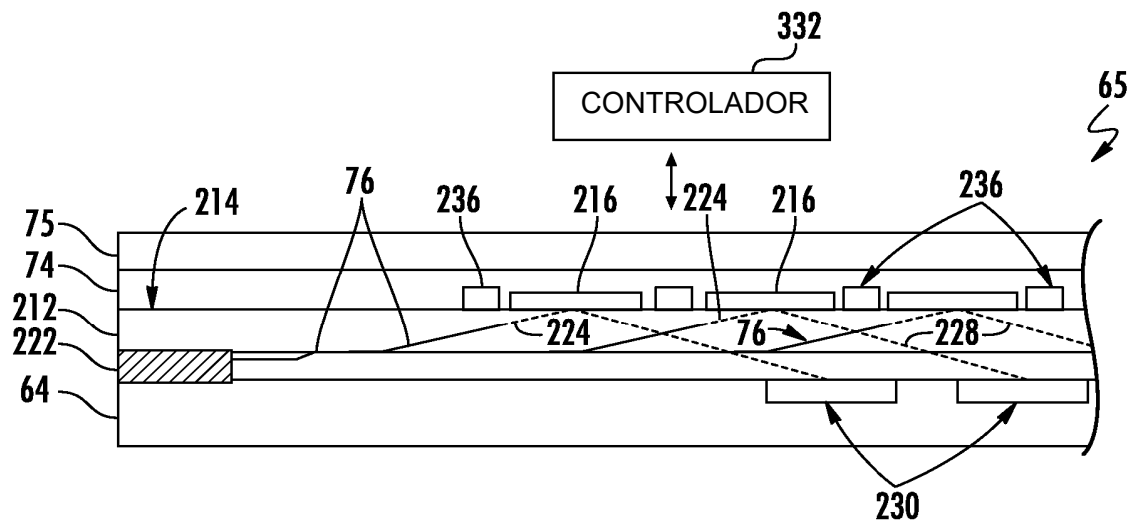


FIG. 7B

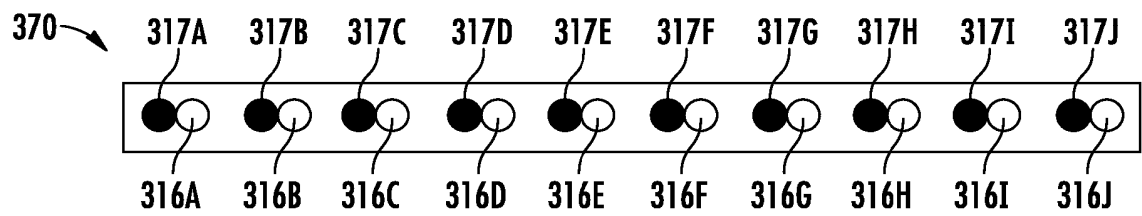


FIG. 8

