

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 998 190**

51 Int. Cl.:

A61B 5/024 (2006.01)

A61B 5/026 (2006.01)

A61B 5/1455 (2006.01)

A61B 5/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.03.2019 PCT/IB2019/052552**

87 Fecha y número de publicación internacional: **01.10.2020 WO20194036**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.03.2019 E 19724906 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.08.2024 EP 3946028**

54 Título: **Sensor de PPG que presenta una elevada relación señal-ruido**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
19.02.2025

73 Titular/es:

**AKTIA SA (100.00%)
Rue du Bassin 8a
2000 Neuchâtel, CH**

72 Inventor/es:

**DE MARCO, BASTIEN;
CHAPUIS, VALENTIN;
VYBORNOVA, ANNA;
FALLET, SIBYLLE;
GROSSENBACHER, OLIVIER;
SIUTRYK, NADÈGE;
OLIVERO, ELISA;
BERTSCHI, MATTIA y
SOLÀ I CARÓS, JOSEP MARIA**

74 Agente/Representante:

CURELL SUÑOL, S.L.P.

ES 2 998 190 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

Sensor de PPG que presenta una elevada relación señal-ruido

5 Campo

La presente invención se refiere a un sensor de fotoplethysmografía (PPG) para llevarse puesto en el cuerpo de un usuario para medir una señal de PPG que presenta una elevada relación señal-ruido. Más particularmente, la invención se refiere a un sensor de PPG que comprende una parte de detección que incluye un emisor óptico y un detector óptico, en el que la parte de detección está protegida frente al entorno externo y en el que el sensor de PPG puede fabricarse fácilmente con buenas tolerancias de ensamblaje.

Antecedentes

Según la Organización Mundial de la Salud, uno de cada tres adultos padece hipertensión a nivel mundial. La hipertensión puede conducir a complicaciones graves, tales como, accidente cerebrovascular e insuficiencia cardíaca. Cada año, esta enfermedad da como resultado 7.5 millones de muertes prematuras a nivel mundial. La paradoja de la hipertensión es que la mayoría de las personas que padecen esta condición no son conscientes de ello.

Además, el "tratamiento de referencia" actual para la medición de tensión arterial (TA) no invasiva se realiza con un manguito colocado alrededor del brazo. Esta tecnología de hace 110 años es molesta y conduce a un bajo cumplimiento para pacientes a los que se les recomienda monitorizarse por sí mismos. Por consiguiente, los profesionales de la atención sanitaria carecen de acceso a datos completos y de alta calidad para su diagnóstico y el tratamiento de esta enfermedad.

Una tecnología óptima para monitorizar la TA debe ser no invasiva (no requiere penetración en el cuerpo humano), no oclusiva (no requiere aplicar presión alrededor de una parte del cuerpo humano), para cada latido (permite medir valores de tensión arterial en cada latido del corazón), utilizable en cualquier momento, cada día (24/7) en entorno domiciliario (permite medir la tensión arterial no solo en entornos clínicos supervisados sino también en entornos de la vida real fuera de la clínica) y cómoda (no genera ninguna perturbación para su usuario).

En la búsqueda de una tecnología de TA óptima de este tipo, las técnicas de PPG en combinación con análisis de ondas de pulso (PWA) han atraído recientemente el interés de institutos de investigación y de la industria. Mientras que la fotoplethysmografía (PPG) es una tecnología de sensor que proporciona medidas utilizables 24/7 en entorno domiciliario y cómodas de la pulsatilidad arterial (el cambio de diámetro de una arteria creado por la llegada de un pulso de presión arterial), PWA es una herramienta de procesamiento de señales que permite extraer información cardiovascular a partir de patrones de pulsatilidad arterial (tales como, frecuencia cardíaca y tensión arterial). La combinación de estas dos tecnologías se conoce como monitorización óptica de la tensión arterial (OBPM). Véase, por ejemplo, la referencia: "DOI: 10.1109/MPUL.2018.2856960".

Entre las diferentes implementaciones posibles de soluciones de OBPM, una configuración presenta interés particular: OBPM en la muñeca. Incorporando un sensor de PPG en un dispositivo de muñeca (por ejemplo en una pulsera, un monitor de actividad o un reloj), y aplicando técnicas de análisis de PWA sobre las señales medidas, puede construirse un monitor de TA que se integra fácilmente en la vida del usuario. Por tanto, una solución de este tipo abre la puerta a una primera monitorización de la TA sin manguito y para cada latido en condiciones ambulatorias y clínicas, ofreciendo a los médicos información novedosa sobre la regulación de la TA, y permitiendo estrategias de prevención y terapéuticas revolucionarias. Véase, por ejemplo, el documento US20170360314A1.

La utilización de una solución de OBPM en la muñeca requiere la utilización de una modalidad especial de fotoplethysmografía, concretamente fotoplethysmografía de reflexión (en contraposición a fotoplethysmografía de transmisión). Véase, por ejemplo, la referencia: ISBN-13: 978-0750304672.

Un sensor de PPG de reflexión ilumina una parte de la piel, por ejemplo utilizando un LED comercial, y recupera una parte de la luz que se ha propagado a través del tejido, por ejemplo utilizando un fotodiodo comercial. Debido a la presencia de arteriolas y otras estructuras profundas en la piel, la amplitud de la parte de luz recuperada se modula por el flujo sanguíneo y los cambios estructurales que se producen localmente cada vez que un pulso de presión alcanza la parte iluminada de la piel. Se sabe que el análisis de las modulaciones de luz recuperadas es relevante para identificar información cardiovascular del usuario tal como la frecuencia cardíaca, variabilidad de la frecuencia cardíaca, constituyentes sanguíneos, tensión arterial y otros parámetros cardiovasculares. Véase, por ejemplo, la referencia: doi:10.1088/0967-3334/28/3/R01.

El documento EP3057138 divulga un módulo de sensor óptico de reflexión, un accesorio de detección óptico y un dispositivo de detección óptico. El módulo de sensor óptico de reflexión comprende una fuente de luz y un primer encapsulante, un fotodetector y un segundo encapsulante, y un sustrato. La fuente de luz está configurada para convertir potencia eléctrica en energía radiante y para emitir luz hacia una superficie de un objeto. El fotodetector

está configurado para recibir la luz a partir de una superficie de un objeto y para convertir energía radiante en corriente o tensión eléctrica. Una división está ubicada entre la fuente de luz y el fotodetector. Por lo menos una superficie central de los encapsulantes forma un componente direccional óptico que puede ser un plano inclinado o una lente. Los componentes direccionales ópticos facilitan la eficiencia de extracción de luz y la eficiencia de recepción de luz, respectivamente.

El documento US2017311856 divulga un aparato y un método para detectar luz reflejada a partir de un objeto. El aparato incluye un elemento de guiado de luz que incluye una estructura de difracción configurada para dirigir luz incidente hacia un objeto; y un elemento de detección óptico configurado para detectar luz reflejada a partir de dicho objeto.

Desafortunadamente, los sensores de PPG del estado de la técnica actuales están asociados con varios inconvenientes. Con el fin de proteger los componentes eléctricos y optoelectrónicos frente a agresiones externas (humedad, polvo,...), los sensores de PPG de reflexión integran una "interfaz de capa transparente" entre el sensor de PPG y el cuerpo. Esta capa genera pérdidas importantes sobre la cantidad de energía luminosa que se inyecta y se recoge realmente a partir del cuerpo, reduciendo los rendimientos globales del sensor.

Con el fin de evitar la integración de una "interfaz de capa transparente" de este tipo, algunos fabricantes han proporcionado medios para crear directamente un contacto entre el sensor de PPG y el cuerpo. Este enfoque está relacionado con seguridad (biocompatibilidad, seguridad eléctrica, ...), problemas de facilidad de utilización (limpieza y desinfección) y problemas de ensamblaje de dispositivo.

Finalmente, grandes volúmenes de fabricación de sensores de PPG de reflexión (por ejemplo para productos orientados al consumidor) están asociados con problemas de tolerancia de ensamblaje a partir de los elementos ópticos y mecánicos.

Sumario

La presente divulgación se refiere a un sensor de PPG según la reivindicación independiente 1.

En una forma de realización, el sensor de PPG está configurado para llevarse puesto en una muñeca y para determinar la tensión arterial.

El sensor de PPG divulgado en la presente memoria presenta una transmisión aumentada de la luz emitida dando como resultado una elevada relación señal-ruido de la señal de PPG y un consumo de potencia reducido. Además, la parte de detección está protegida frente al entorno externo. El sensor de PPG puede fabricarse fácilmente con buenas tolerancias de ensamblaje. Estas y otras ventajas resultarán evidentes a partir de la siguiente descripción.

La invención se define mediante las reivindicaciones adjuntas.

Breve descripción de los dibujos

La invención se entenderá mejor con la ayuda de la descripción de una forma de realización facilitada a título de ejemplo e ilustrada en las figuras, en las que

la figura 1 ilustra una PPG de reflexión que comprende un emisor óptico, un elemento de interfaz transparente y una interfaz antirreflectante, según una forma de realización;

la figura 2 representa la transmisión a través del elemento de interfaz transparente y una interfaz antirreflectante de la luz emitida, emitida por el emisor óptico, según una forma de realización;

la figura 3 ilustra el sensor de PPG, en el que la interfaz óptica no comprende la interfaz antirreflectante;

la figura 4 ilustra el sensor de PPG, en el que la interfaz óptica comprende la interfaz antirreflectante;

la figura 5 muestra el sensor de PPG que comprende una estructura de interfaz flexible, según una forma de realización;

la figura 6 muestra el sensor de PPG con una configuración de la estructura de interfaz; y

la figura 7 ilustra un sensor de PPG con otra configuración de la estructura de interfaz.

Descripción detallada de posibles formas de realización

La figura 1 ilustra un sensor de PPG de reflexión 100 destinado a llevarse puesto sobre el cuerpo de un usuario 300, según una forma de realización. El sensor de PPG 100 comprende una parte de detección 110 que comprende

un emisor óptico 101 configurado para emitir una luz emitida 201 hacia un tejido del cuerpo del usuario 300, y un detector óptico 102 para detectar una luz de detector 202 reflejada o dispersada desde el tejido, tal como para proporcionar una señal de PPG. El sensor de PPG 100 comprende además una parte de interfaz 120 comprendida entre la parte de detección 110 y el cuerpo del usuario 300 cuando se lleva puesto el sensor de PPG 100. La parte de interfaz 120 comprende un elemento de interfaz transparente 104 a través del cual se transmite la luz emitida 201 cuando se desplaza desde el emisor óptico 101 hacia el tejido, y a través del cual se transmite la luz de detector 202 cuando se desplaza desde el tejido hasta el detector óptico 102.

La parte de interfaz 120 comprende un hueco 150 entre la parte de detección 110 y el elemento de interfaz transparente 104. El hueco 150 está relleno con un medio. Preferentemente, el medio es aire.

En una forma de realización, el elemento de interfaz transparente 104 comprende una interfaz antirreflectante 106.

El elemento de interfaz transparente 104 puede fabricarse a partir de un material transparente, tal como, policarbonato, material acrílico, silicona, vidrio, óxidos de metal, cerámicas y cualquier otro material transparente adecuado con bajo coeficiente de absorción en la longitud de onda emitida y un índice de refracción próximo al índice de refracción de la piel humana. El bajo coeficiente de absorción puede estar en el intervalo de longitud de onda verde (entre 500 y 575 nm), en el intervalo de longitud de onda infrarrojo (por encima de 750 nm), en el intervalo de longitud de onda rojo (entre 650 y 750 nm), en la longitud de onda amarilla (entre 575 y 650), en la longitud de onda azul (420 y 500 nm) o cualquier otra longitud de onda que puede penetrar en el cuerpo del usuario 300 (entre 400 y 1500 nm). El material transparente puede ser biocompatible con tejidos humanos o animales (piel). El elemento de interfaz transparente 104 (con o sin la interfaz antirreflectante 106) puede estar configurado para mostrar transmisión de luz de más del 70% o el 80%, pero preferiblemente más del 90%.

La interfaz antirreflectante 106 puede comprender cualquier medio antirreflectante o recubrimiento antirreflectante adecuado. Por ejemplo, la interfaz antirreflectante 106 puede comprender uno cualquiera, solos o en combinación, de un recubrimiento de índice coincidente, un recubrimiento de interferencia de una única capa, un recubrimiento de interferencia de múltiples capas, una capa texturizada o cualquier otro tipo de recubrimiento antirreflectante.

Tal como se representa en la figura 2, la luz emitida 201 se emite por el emisor óptico 101 con una intensidad emitida 11. La luz emitida 201 incide sobre la superficie del elemento de interfaz transparente 104. Se refleja una parte reflejada 203 de la luz emitida 201 de intensidad reflejada I3, y se transmite una parte transmitida 207 de la luz emitida 201 con una intensidad transmitida I2 a través del elemento de interfaz transparente 104 (al interior del cuerpo del usuario 300).

Cuando la luz emitida 201 se encuentra con la interfaz del elemento de interfaz transparente 104 a una incidencia normal (en perpendicular a la superficie), la intensidad reflejada I3 de la luz reflejada viene dada por el coeficiente de reflexión, o reflectancia R:

$$R = \left(\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right)^2 \quad (1).$$

donde n_1 y n_2 son los índices de refracción del primer y segundo medios, respectivamente, es decir, del elemento de interfaz transparente 104 y el hueco 150.

Si se desprecia la absorción, la transmitancia (o coeficiente de transmisión) T corresponde a $1 - R$. En el caso de la luz emitida 201 que se desplaza desde el hueco 150 que está relleno con aire y que presenta un segundo índice de refracción $n_2 \approx 1.0$, al interior del elemento de interfaz transparente 104 que presenta un primer índice de refracción $n_1 \approx 1.5$, el valor de R es de 0.04, o el 4%, en una única reflexión. Por tanto, el elemento de interfaz transparente 104 presenta una transmitancia de interfaz T1 del 96%, es decir, como máximo el 96% de la luz ($T = 1 - R = 0.96$) entra realmente en el elemento de interfaz transparente 104, y el resto se refleja a partir de su superficie.

La transmitancia de interfaz T1 corresponde a la razón de la intensidad transmitida I2 con respecto a la intensidad emitida I1:

$$T1 = I2/I1 = 96\% \quad (2).$$

Dicho de otro modo, si la luz emitida 201 con la intensidad emitida I1 incide sobre la superficie del elemento de interfaz transparente 104 (sin la interfaz antirreflectante 106), la parte reflejada 203 de intensidad reflejada I3 se refleja, y la parte transmitida 207 con intensidad transmitida I2 se transmite al interior del cuerpo del usuario 300.

En el caso en el que el elemento de interfaz transparente 104 comprende la interfaz antirreflectante 106, esta última puede estar configurada de tal manera que una transmitancia de interfaz antirreflectante T2, es decir, la

razón de la intensidad transmitida I_2 con respecto a la intensidad emitida I_1 , es de por lo menos el 99%:

$$T_2 = I_2/I_1 = 99\% \quad (3).$$

5 Aunque no se muestra en la figura 2, la luz de detector 202 también puede reflejarse en la superficie del elemento de interfaz transparente 104 que comprende la interfaz antirreflectante 106, de tal manera que la transmitancia de interfaz antirreflectante de la parte transmitida de la luz de detector 202 también será mayor que sin la interfaz antirreflectante 106.

10 Más generalmente, la interfaz antirreflectante 106 puede estar configurada de tal manera que el elemento de interfaz transparente 104 que comprende la interfaz antirreflectante 106 presenta una transmitancia de interfaz antirreflectante T_2 de por lo menos el 99%.

15 En una forma de realización, la interfaz antirreflectante 106 está configurada de tal manera que, para el elemento de interfaz transparente 104 que presenta el primer índice de refracción n_1 que es mayor que el segundo índice de refracción n_2 del hueco 150, el elemento de interfaz transparente 104 que comprende la interfaz antirreflectante 106 presenta una transmitancia de interfaz antirreflectante T_2 de por lo menos el 99%.

20 Dicho de otro modo, la interfaz antirreflectante 106 está configurada de tal manera que la transmitancia de interfaz antirreflectante T_2 del elemento de interfaz transparente 104 que comprende la interfaz antirreflectante 106 es mayor que la transmitancia de interfaz T_1 del elemento de interfaz transparente 104 en por lo menos el 4%, o:

$$T_2 \geq 1.04 T_1 \quad (4).$$

25 La interfaz antirreflectante 106 está configurada de tal manera que la transmitancia de interfaz antirreflectante T_2 de por lo menos el 99% para el segundo índice de refracción n_2 que es mayor que el primer índice de refracción n_1 en por lo menos el 10%, por ejemplo aproximadamente el 20% o aproximadamente el 30%. El segundo índice de refracción n_2 depende del medio que rellena el hueco 150. Tal como se menciona, el medio puede comprender aire y cualquier otro material de bajo índice de refracción tal como SiO_2 especular altamente poroso, que presenta un valor de índice de refracción de tan solo 1.05, o polímeros de bajo índice de refracción, que presentan un valor de índice de refracción de, por ejemplo, entre 1.2 y 1.4.

35 La figura 3 ilustra el sensor de PPG 100, en el que la interfaz óptica 104 no comprende la interfaz antirreflectante 106. En esta configuración, una parte reflejada 203 de la luz emitida 201 se refleja en el elemento de interfaz transparente 104 de vuelta hacia la parte de detección 110, reduciendo la intensidad transmitida I_2 de la parte transmitida 207 de la luz emitida 201 que alcanza el cuerpo del usuario 300 así como la intensidad de la luz de detector 202 que alcanza el detector óptico 102. Aunque la figura 3 representa la parte reflejada 203 de la luz emitida 201 como un único trayecto de reflexión, son posibles varios trayectos de reflexión y ángulos de reflexión.

40 La figura 4 ilustra cómo la adición de la interfaz antirreflectante 106 a la interfaz óptica 104 reduce la parte reflejada 203 de la luz emitida 201 y aumenta la intensidad transmitida I_2 de la parte transmitida 207 de la luz emitida 201 que alcanza el cuerpo del usuario 300 y la intensidad de la luz de detector 202 que alcanza el detector óptico 102.

45 La transmisión aumentada de la luz emitida 201 da como resultado una relación señal-ruido aumentada de la señal de PPG. Por tanto, el sensor de PPG 100 puede presentar un consumo de potencia reducido (por tanto, una vida útil de batería más prolongada) reduciendo la intensidad de la luz emitida 201 y obteniendo una amplitud similar de la señal de PPG medida.

50 Por los mismos motivos que anteriormente, el elemento de interfaz transparente 104 que comprende la interfaz antirreflectante 106 también presenta una transmitancia de interfaz antirreflectante T_2 aumentada para la luz de detector 202 procedente del cuerpo del usuario 300 y que se desplaza hacia el detector óptico 102. Debido a la transmitancia de interfaz antirreflectante T_2 aumentada tanto para la luz emitida 201 como para la luz de detector 202 cuando pasa a través del elemento de interfaz transparente 104 que comprende la interfaz antirreflectante 106, la intensidad emitida I_1 de la luz emitida 201 generada por el emisor óptico 101 y la intensidad de la luz de detector puede ser menor de lo que es posible con un sensor de PPG convencional para obtener la misma relación señal-ruido de la señal de PPG.

60 Tal como se muestra en el ejemplo de la figura 1, la parte de detección 110 comprende una base 105 en la que se proporcionan el emisor óptico 101 y el detector óptico 102. La base 105 puede comprender una placa de circuito, una PCB, un soporte electrónico, un parche adhesivo, un material textil, la propia piel o cualquier otro soporte. La base 105 puede estar configurada para ser flexible o rígida o en parte flexible y rígida. La base 105 puede estar configurada para soportar y/o conectarse a diversos componentes electrónicos tales como un frontal analógico (AFE), un microcontrolador (MCU), una unidad de procesamiento central (CPU), una memoria, un módulo inalámbrico, una fuente de potencia y/o cualquier otro componente eléctrico.

65

En una configuración posible, la parte de detección 110 puede estar integrada en un único chip, tal como el sensor Biofy® fabricado por OSRAM. La parte de detección 110 puede proporcionarse como un módulo completo con características y/o procesamiento adicionales, tal como los productos MAX30100/1/2 o MAX86160 fabricados por Maxim Integrated, ADPD142/4RI, ADPD174/5GGI o ADPD188BI fabricados por Analog Devices, BW1/2/4 o BE2/4 fabricados por Valencell, AS7000 o AS7024 fabricados por AMS, y Si1143/4 o Si1172/3 fabricados por SiLabs. La base 105, el emisor óptico 101 y el detector óptico 102 también pueden proporcionarse o montarse como componentes independientes.

El emisor óptico 101 puede comprender un único LED (tal como SFH 4043, LT PWSG, CT DELSS1.12 o CH DELSS 1.22 de OSRAM) o múltiples LED (por ejemplo SFH 7013 de OSRAM, VSMD66694 de Vishay y DLED-xxx/xxx-CSL-2/3 de OSI optoelectronics), o cualquier otra fuente óptica tal como diodos, diodos orgánicos, diodos de polímero, diodos de láser o cualquier otra fuente de este tipo. La longitud de onda de la luz emitida por el emisor óptico 101 puede estar en el intervalo de longitud de onda verde (entre 500 y 575 nm), en el intervalo de longitud de onda infrarrojo (por encima de 750 nm), en el intervalo de longitud de onda rojo (entre 650 y 750 nm), en la longitud de onda amarilla (entre 575 y 650), en la longitud de onda azul (420 y 500 nm) o cualquier otra longitud de onda que puede penetrar en el cuerpo de un usuario (entre 400 y 1500 nm).

El detector óptico 102 puede comprender un fotodiodo, un fotodetector, un fototransistor, un conjunto de chips óptico, un dispositivo de obtención de imágenes de tipo cámara, un dispositivo de carga acoplada o cualquier otro receptor de este tipo (por ejemplo, D5140 SFH 2200, SFH 2440, BPW 34 5 SFH2201 o SFH 2704 de OSRAM, VCNL3036 o VEMD5010X01 de Vishay, BH179XGLC de ROHM, ADPD221X de Analog Devices, Si1181/2 de SiLabs y PIN-0.81-LLS, PIN-4.0-LLS o PIN-8.0-LLS de OSI optoelectronics). Es posible que el detector óptico 102 pueda recopilar luz en un espectro óptico grande o en un intervalo de espectro con muescas que coincide con la longitud de onda de emisión del emisor óptico 101.

El emisor óptico 101 y el detector óptico 102 pueden estar separados a diferentes distancias uno de otro (1.33, 1.45, 2.18, 2.12, 2.32, 2.4, 2.51, 2.71, 2.72, 2.8, 2.83, 2.94, 2.95, 3.11, 3.5 y 5.3 mm) y pueden estar configurados para estar a diferentes distancias desde el cuerpo del usuario 300 (en contacto directo con el cuerpo o sin contacto). Se sabe que diferentes distancias entre el emisor óptico 101 y el detector óptico 102 y diferentes distancias desde el cuerpo 300 conducen a diferentes profundidades de penetración de la luz emitida 201 y la luz de detector 202 reflejada o dispersada al interior del cuerpo 300.

En otras variantes, el elemento de interfaz transparente 104 que comprende la interfaz antirreflectante 106 puede ser plano o presentar un radio de curvatura no nulo. Por ejemplo, el elemento de interfaz transparente 104 que comprende la interfaz antirreflectante 106 puede presentar un radio de curvatura de entre 10 y 100 mm.

La forma del elemento de interfaz transparente 104 que comprende la interfaz antirreflectante 106 puede estar configurada tal como para optimizar la presión de contacto con el cuerpo del usuario 300 cuando se lleva puesto el sensor de PPG 100, con el fin de reducir los posibles movimientos entre el sensor de PPG 100 y el cuerpo 300. La forma y rugosidad del elemento de interfaz transparente 104 que comprende la interfaz antirreflectante 106 pueden estar configuradas además para optimizar el contacto entre el elemento de interfaz transparente 104 y el cuerpo 300 con el fin de maximizar la intensidad transmitida I2 de la parte transmitida 207 de la luz emitida 201 y la intensidad de la luz de detector 202.

Según una forma de realización, la interfaz antirreflectante 106 comprende una superficie texturizada. Preferiblemente, la interfaz antirreflectante 106 comprende una superficie texturizada que presenta una rugosidad Ra de entre 0.025 y 0.40 µm. Dicha rugosidad corresponde a los acabados de SPI de A-2 a C-2, según las normas de Finlandia sobre superficies de moldes de SPI, o según las normas VDI. La superficie texturizada puede producirse mediante moldeo, conformación, mecanizado o cualquier otra técnica adecuada.

En la configuración mostrada en la figura 1, la interfaz antirreflectante 106 está comprendida sobre un lado del elemento de interfaz transparente 104. En el ejemplo específico de la figura 1, la interfaz antirreflectante 106 está comprendida sobre el lado del elemento de interfaz transparente 104 que está más cerca de la parte de detección 110. Además, en el ejemplo específico de la figura 1, el lado del elemento de interfaz transparente 104 desprovisto de la interfaz antirreflectante 106 puede estar en contacto directo con un tejido (tal como la piel) del cuerpo del usuario 300. Esta última configuración permite aumentar la transmisión de la luz emitida 201 reduciendo la parte reflejada de la luz emitida 203 provocada por el cambio de índice de refracción del aire y el elemento de interfaz transparente 104 que comprende la interfaz antirreflectante 106 (es decir, la superficie del elemento de interfaz transparente 104 más alejada de la parte de detección 110).

Sin embargo, se contemplan otras disposiciones (no ilustradas) de la parte de interfaz 120, siempre que se encuentren dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas. Por ejemplo, la interfaz antirreflectante 106 puede estar comprendida sobre el lado del elemento de interfaz transparente 104 que está más lejos de la parte de detección 110 y, por tanto, destinado a estar más cerca del cuerpo del usuario 300 cuando se lleva puesto el sensor de PPG 100. Una configuración de este tipo permite aumentar adicionalmente la transmitancia de interfaz antirreflectante T2 del elemento de interfaz transparente 104.

En otra disposición posible, la interfaz antirreflectante 106 puede estar en contacto directo con un tejido (tal como la piel) del cuerpo del usuario 300. En aún otra disposición posible, la parte de interfaz 120 puede estar configurada de tal manera que la interfaz antirreflectante 106 no entra en contacto con el cuerpo del usuario 300 cuando se lleva puesto el sensor de PPG.

Todavía en otra disposición, la interfaz antirreflectante 106 puede estar comprendida sobre ambos lados del elemento de interfaz transparente 104. Esta configuración permite aumentar la transmisión de la luz emitida 201 reduciendo la parte reflejada de la luz emitida 203 provocada por el cambio de índice de refracción del aire y el elemento de interfaz transparente 104 que comprende la interfaz antirreflectante 106. La interfaz antirreflectante 106 sobre el lado del elemento de interfaz transparente 104 más alejado de la parte de detección 110 aumenta la transmisión de la luz emitida 201 reduciendo la parte reflejada de la luz emitida 203 provocada por el cambio de índice de refracción del tejido del cuerpo del usuario 300 y el elemento de interfaz transparente 104 que comprende la interfaz antirreflectante 106.

El sensor de PPG 100 puede comprender un sensor de PPG por contacto, en el que el elemento de interfaz transparente 104, que comprende la interfaz antirreflectante 106 sobre uno cualquiera de entre los lados del elemento de interfaz transparente 104 o sobre ambos lados del elemento de interfaz transparente 104, está en contacto (posiblemente en contacto directo) con el cuerpo del usuario 300. Alternativamente, el sensor de PPG 100 puede comprender un sensor de PPG sin contacto, en el que el elemento de interfaz transparente 104, que comprende la interfaz antirreflectante 106 sobre uno cualquiera de entre los lados del elemento de interfaz transparente 104 o sobre ambos lados del elemento de interfaz transparente 104, no está en contacto con el cuerpo del usuario 300. Un ejemplo de un sensor de PPG sin contacto 100 puede incluir un láser de emisión como fuente de luz y un fotodiodo de PiN de alta velocidad como fotodetector (véase, por ejemplo, la referencia: oai:dspace.lboro.ac.uk:2134/22188).

En una forma de realización, la parte de interfaz 120 comprende una estructura de interfaz 103, que se extiende entre la base 105 y el elemento de interfaz transparente 104 tal como para definir el hueco 150 entre la parte de detección 110 y el elemento de interfaz transparente 104. En el ejemplo mostrado en las figuras 1 a 3, la estructura de interfaz 103 comprende una pared central 130, entre el emisor óptico 101 y el detector óptico 102, y paredes laterales 131 que rodean el emisor óptico 101 y el detector óptico 102.

La estructura de interfaz 103 puede estar configurada de tal manera que el hueco 150 está completamente encerrado entre la base 105, las paredes 130, 131 y el elemento de interfaz transparente 104. La estructura de interfaz 103 puede estar configurada de tal manera que el hueco 150 está herméticamente sellado con respecto al entorno exterior. En otras variantes, la estructura de interfaz 103 puede estar configurada de tal manera que el hueco 150 está abierto al entorno exterior. En este caso, la pared central 130 y las paredes laterales 131 pueden comprender una abertura o pueden comprender pilares o cualquier otra estructura abierta.

En una forma de realización preferida, la estructura de interfaz 103 es flexible de tal manera que la distancia entre la base 105 y el elemento de interfaz transparente 104, y la altura (o volumen) del hueco 150, puede hacerse variar cuando se aplica una presión o bien sobre la base 105 o bien sobre el elemento de interfaz transparente 104 o bien sobre ambos (véase la figura 5).

La estructura de interfaz flexible 103 permite además compensar tolerancias de ensamblaje de la parte de detección 110 corrigiendo las imperfecciones de ensamblaje de los diferentes elementos ópticos y mecánicos que forman la parte de detección 110.

La estructura de interfaz flexible 103 facilita la integración de una parte de detección 110 comercialmente disponible (tal como, el sensor Biofy® y otros sensores comercialmente disponibles anteriormente descritos) con una gran flexibilidad de diseño. Por tanto, se facilita la fabricación del sensor de PPG 100.

El elemento de interfaz transparente 104 en combinación con la estructura de interfaz 103 permite proteger la parte de detección 110 frente al entorno exterior (tal como proteger la parte de detección 110 frente a polvo, agua y humedad). El elemento de interfaz transparente 104, que comprende posiblemente la interfaz antirreflectante 106, puede limpiarse. El elemento de interfaz transparente 104 permite además aislar la parte de detección 110 frente al tejido del cuerpo del usuario 300 y proporcionar biocompatibilidad cuando el sensor de PPG 100 está en contacto con el tejido del cuerpo del usuario 300.

En configuraciones de sensor de PPG conocidas, el emisor óptico 101 y el detector óptico 102 están en contacto directo con el cuerpo del usuario 300 (tal como la piel) o están en contacto a través de un material de medio, en el que el material de medio puede ser el elemento de interfaz transparente 104 o cualquier otro material que presenta un índice de refracción que es próximo al índice de refracción del cuerpo del usuario 300 (típicamente, alrededor de 1.4 - 1.5).

En cambio, el sensor de PPG 100 descrito en la presente memoria comprende el hueco 150 entre el emisor óptico

101 y el detector óptico 102 y el elemento de interfaz transparente 104. Tal como se mencionó anteriormente, el hueco 150 puede estar relleno con aire u otro medio. En el caso de aire, y posiblemente para otro medio, el índice de refracción puede ser próximo a 1 dando como resultado una gran parte reflejada 203 de la luz emitida 201 en la interfaz entre el hueco 150 y el elemento de interfaz transparente 104 y, por tanto, una baja transmitancia de interfaz T1.

El elemento de interfaz transparente 104 que comprende la interfaz antirreflectante 106 permite obtener una razón de la intensidad transmitida I2 con respecto a la intensidad emitida I1 del, o mayor del, 99%, en el caso en el que el hueco 150 que presenta un índice de refracción que puede ser próximo a 1 está comprendido entre el emisor óptico 101 y el detector óptico 102 y el elemento de interfaz transparente 104. Dicho de otro modo, la interfaz antirreflectante 106 puede estar configurada de tal manera que la transmitancia de interfaz antirreflectante T2 del elemento de interfaz transparente 104 que comprende la interfaz antirreflectante 106 es mayor que la transmitancia de interfaz T1 del elemento de interfaz transparente 104 (sin la interfaz antirreflectante 106) en por lo menos el 4%.

La estructura de interfaz 103 puede estar configurada además para evitar la desviación óptica, es decir, evitar que la luz emitida 201 alcance el detector óptico 102 sin desplazarse a través del elemento de interfaz transparente 104 y el tejido del cuerpo del usuario 300, y/o evitar que la luz ambiental 206 alcance el detector óptico 102. Dicho de otro modo, la estructura de interfaz 103 puede utilizarse como máscara óptica. En este caso, la luz ambiental 206 es la luz procedente del entorno, externa al sensor de PPG 100.

Tal como se muestra en las figuras 1 a 3, la pared central 130 protege ópticamente el emisor óptico 101 frente al detector óptico 102, previniendo que la luz emitida 201 alcance el detector óptico 102 sin desplazarse a través del elemento de interfaz transparente 104 y el tejido del cuerpo del usuario 300. Las paredes laterales 131 pueden estar configuradas para evitar que luz ambiental 206 alcance el detector óptico 102.

Para ello, la estructura de interfaz 103 puede estar realizada en un material bloqueante de la luz y/o reflectante de la luz. La estructura de interfaz 103 puede comprender un acabado de color y/o superficie que es oscuro o claro. La estructura de interfaz 103 puede estar realizada en un material que no absorbe luz.

La figura 6 muestra una variante del sensor de PPG 100, en el que la estructura de interfaz 103 no comprende la pared central y en el que una parte desviada 204 de la luz emitida 201 se desplaza hacia el detector óptico 102 sin pasar a través del elemento de interfaz transparente 104 y el cuerpo del usuario 300.

La figura 7 ilustra un dimensionamiento óptimo de la estructura de interfaz 103, en el que la pared central 130 se extiende entre la base 105 y el elemento de interfaz transparente 104 y reduce la parte reflejada por la interfaz 205, evitando que se desplace desde el detector óptico 102 hasta el detector óptico 102 sin penetrar en el cuerpo del usuario 300. El dimensionamiento la estructura de interfaz 103 también está configurado para evitar que la luz emitida 201 se refleje en la superficie del elemento de interfaz transparente 104 más lejos de la parte de detección 110 y no se desplace adicionalmente, es decir, no penetre en el cuerpo del usuario 300. El dimensionamiento de la estructura de interfaz 103 se basa en ángulos de reflexión y refracción de la luz emitida 201 y la luz de detector 202.

El sensor de PPG 100 que presenta rendimientos ópticos mejorados permite explorar configuraciones novedosas adaptadas a diferentes aplicaciones. Por ejemplo, el sensor de PPG 100 puede ser de pequeño tamaño (tal como un sensor de PPG 100 que presenta el emisor óptico 101 y el detector óptico 102 espacialmente separados de 4 a 10 mm) o de gran tamaño (tal como un sensor de PPG 100 que presenta el emisor óptico 101 y el detector óptico 102 separados más de 10 mm). Alternativamente o en combinación, puede seleccionarse la longitud de onda o el intervalo de longitud de onda del emisor óptico 101, así como unas configuraciones de filtrado del detector óptico 102 con el fin de permitir profundidades de penetración o bien superficiales o bien profundas de la luz emitida 201 en el tejido del cuerpo del usuario 300 y medir pulsatilidades arteriales para diferentes capas del tejido del cuerpo del usuario 300.

El sensor de PPG 100 puede estar configurado para llevarse puesto en una ubicación del cuerpo del usuario 300, incluyendo uno cualquiera de entre: brazalete, muñeca, punta de dedo u oreja.

El sensor de PPG 100 puede estar configurado para integrarse en un dispositivo llevable (del inglés, "wearable") que incluye uno cualquiera de entre: una cinta para la cabeza, una tobillera, una gargantilla, un anillo, un casco, un tapón para los oídos, un audífono, un auricular, unas gafas, una falda, un sujetador, una prenda de vestir, un guante, unos calzoncillos, un calcetín, un zapato, un sensor llevable, un parche que se adhiere a la piel del usuario, un sensor de señal pulsátil.

El sensor de PPG 100 puede estar configurado además como para integrarse en un dispositivo destinado a estar en contacto con el cuerpo del usuario 300, incluyendo uno cualquiera de entre: un sensor de cama, un sensor de silla, un sensor de aseo, un sensor de mesa, un sensor de coche, un sensor de ratón de ordenador o cualquier otra disposición destinada a medir una señal de pulsatilidad.

Debido a la transmisión aumentada de la luz emitida 201 y la relación señal-ruido aumentada de la señal de PPG, el sensor de PPG 100 facilita la medición de pulsatilidad arterial local. De hecho, una relación señal-ruido aumentada de la señal de PPG mejora los rendimientos de los algoritmos de procesamiento de señales, tales como análisis de serie temporal de pulsatilidad arterial local, utilizado para determinar parámetros cardiovasculares tales como tensión arterial.

El sensor de PPG 100 puede utilizarse para determinar la tensión arterial, la presión del pulso, la velocidad de onda de pulso central, la velocidad de onda de pulso periférico, la rigidez arterial, el tiempo de tránsito de pulso aórtico, el índice de aumento, el volumen sistólico, las variaciones de volumen sistólico, las variaciones de presión de pulso, el gasto cardíaco, la resistencia vascular sistémica, la presión venosa, los parámetros hemodinámicos sistémicos, los parámetros hemodinámicos pulmonares, los parámetros hemodinámicos cerebrales, la frecuencia cardíaca, la variabilidad de la frecuencia cardíaca, los intervalos entre latidos, la detección de arritmias, la duración de eyección, SpO₂, SpHb, SpMet, SpCO, la frecuencia respiratoria, el volumen corriente, la detección de apneas, la calidad del sueño, la puntuación del sueño, el análisis del sueño, el tiempo en la cama, la duración del sueño, el tiempo de sueño REM, el tiempo de sueño ligero, el tiempo de sueño profundo, la hora de levantarse, la hora de ir a dormir, la eficiencia del sueño, los minutos despierto tras el inicio del sueño, la duración de los ronquidos, los índices de estrés y los índices de salud y cardiovasculares generales.

La invención se define mediante las reivindicaciones adjuntas.

Números de referencia

100	sensor de PPG
101	emisor óptico
102	detector óptico
103	estructura de interfaz
104	elemento de interfaz transparente
105	base
106	interfaz antirreflectante
110	parte de detección
120	parte de interfaz
130	pared central
131	pared lateral
150	hueco
201	luz emitida
202	luz de detector
203	parte reflejada de luz emitida
204	parte desviada de luz emitida
205	parte reflejada por la interfaz de luz emitida
206	luz ambiental
207	parte transmitida de luz emitida
300	cuerpo de usuario
I1	intensidad emitida
I2	intensidad transmitida
I3	intensidad reflejada
n, n ₁ , n ₂	índice de refracción
T1	transmitancia de interfaz
T2	transmitancia de interfaz antirreflectante

REIVINDICACIONES

1. Sensor de fotoplethysmografía (PPG) (100) configurado para llevarse puesto sobre o para estar en contacto con el cuerpo de un usuario (300), comprendiendo el sensor de PPG (100):

una parte de detección (110) que comprende un emisor óptico (101) configurado para emitir una luz emitida (201) hacia el cuerpo del usuario (300), y un detector óptico (102) para detectar una luz de detector (202) reflejada o dispersada desde el tejido, tal como para proporcionar una señal de PPG; y

una parte de interfaz (120) comprendida entre la parte de detección (110) y el cuerpo del usuario (300), comprendiendo la parte de interfaz (120) un elemento de interfaz transparente (104) a través del cual se transmite la luz emitida (201) cuando se desplaza desde el emisor óptico (101) hacia el cuerpo (300), y a través del cual se transmite la luz de detector (202) cuando se desplaza desde el cuerpo (300) hasta el detector óptico (102), en el que el elemento de interfaz transparente (104) presenta una transmitancia de interfaz (T_1);

la parte de interfaz (120) comprende un hueco (150) entre la parte de detección (110) y el elemento de interfaz transparente (104), presentando el elemento de interfaz transparente (104) un primer índice de refracción (n_1) y presentando el hueco (150) un segundo índice de refracción (n_2);

caracterizado por que

el elemento de interfaz transparente (104) comprende una interfaz antirreflectante (106) que está configurada de tal manera que, cuando el segundo índice de refracción (n_2) es mayor que el primer índice de refracción (n_1) en por lo menos el 10%, una transmitancia de interfaz antirreflectante (T_2) del elemento de interfaz transparente (104) que comprende la interfaz antirreflectante (106) es de por lo menos el 99%.

2. Sensor de PPG según la reivindicación 1,

en el que el segundo índice de refracción (n_2) es mayor que el primer índice de refracción (n_1) en aproximadamente el 20% o aproximadamente el 30%.

3. Sensor de PPG según la reivindicación 1 o 2,

en el que la interfaz antirreflectante (106) comprende una superficie texturizada que presenta una rugosidad Ra comprendida entre 0.025 y 0.40 μm .

4. Sensor de PPG según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3,

en el que la interfaz antirreflectante (106) comprende uno cualquiera de entre un recubrimiento de índice coincidente, un recubrimiento de interferencia de una única capa, un recubrimiento de interferencia de múltiples capas o cualquier otro tipo de recubrimiento antirreflectante.

5. Sensor de PPG según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4,

en el que la interfaz antirreflectante (106) está comprendida sobre uno de los lados del elemento de interfaz transparente (104).

6. Sensor de PPG según la reivindicación 5,

en el que la interfaz antirreflectante (106) está comprendida sobre el lado del elemento de interfaz transparente (104) que está más cerca de la parte de detección.

7. Sensor de PPG según la reivindicación 5,

en el que la interfaz antirreflectante (106) está comprendida sobre el lado del elemento de interfaz transparente (104) que está más lejos de la parte de detección.

8. Sensor de PPG según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4,

en el que la interfaz antirreflectante (106) está comprendida sobre ambos lados del elemento de interfaz transparente (104).

9. Sensor de PPG según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, que comprende un sensor de PPG por contacto (100) o un sensor de PPG sin contacto (100).

10. Sensor de PPG según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9,

en el que la parte de detección comprende una base (105) sobre la cual están previstos el emisor óptico (101) y el detector óptico (102), y

5 en el que la parte de interfaz comprende una estructura de interfaz (103) que se extiende entre la placa de base (105) y el elemento de interfaz transparente (104), tal como, para definir el hueco (150) entre la parte de detección (110) y el elemento de interfaz transparente (104).

10 11. Sensor de PPG según la reivindicación 10,

en el que la estructura de interfaz (103) comprende una pared central (130), entre el emisor óptico (101) y el detector óptico (102), y unas paredes laterales (131) que rodean el emisor óptico (101) y el detector óptico (102).

15 12. Sensor de PPG según la reivindicación 10 u 11,

en el que la estructura de interfaz (103) está configurada de tal manera que el hueco (150) está herméticamente sellado con respecto al entorno exterior.

20 13. Sensor de PPG según una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12,

en el que la estructura de interfaz (103) es flexible de tal manera que la distancia entre la base (105) y el elemento de interfaz transparente (104) puede variarse cuando se aplica una presión o bien sobre la base (105) o bien sobre el elemento de interfaz transparente (104) o bien sobre ambos.

25 14. Sensor de PPG según una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 13,

en el que la estructura de interfaz (103) está configurada asimismo para evitar que la luz emitida (201) alcance el detector óptico (102) sin desplazarse a través del elemento de interfaz transparente (104) y el cuerpo del usuario (300).

30 15. Sensor de PPG según la reivindicación 14,

en el que la estructura de interfaz (103) está configurada asimismo para evitar que luz ambiental (206) alcance el detector óptico (102).

35 16. Sensor de PPG según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 15, configurado para llevarse puesto sobre una ubicación del cuerpo de un usuario (300) que incluye uno cualquiera de entre:

40 un brazalete, una muñeca, una punta de dedo o una oreja; o

45 configurado para integrarse en un dispositivo llevable incluyendo uno cualquiera de entre: una cinta para la cabeza, una tobillera, una gargantilla, un anillo, un casco, un tapón para los oídos, un audífono, un auricular, unas gafas, una falda, un sujetador, una prenda de vestir, un guante, unos calzoncillos, un calcetín, un zapato, un sensor llevable, un parche que se adhiere a la piel del usuario, un sensor de señal pulsátil; o

configurado para integrarse en un dispositivo destinado a estar en contacto con el cuerpo del usuario (300), incluyendo uno cualquiera de entre: un sensor de cama, un sensor de silla, un sensor de aseo, un sensor de mesa, un sensor de coche, un sensor de ratón de ordenador.

50 17. Sensor de PPG según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 16, configurado para llevarse puesto en una muñeca y para determinar la tensión arterial a partir de la señal de PPG.

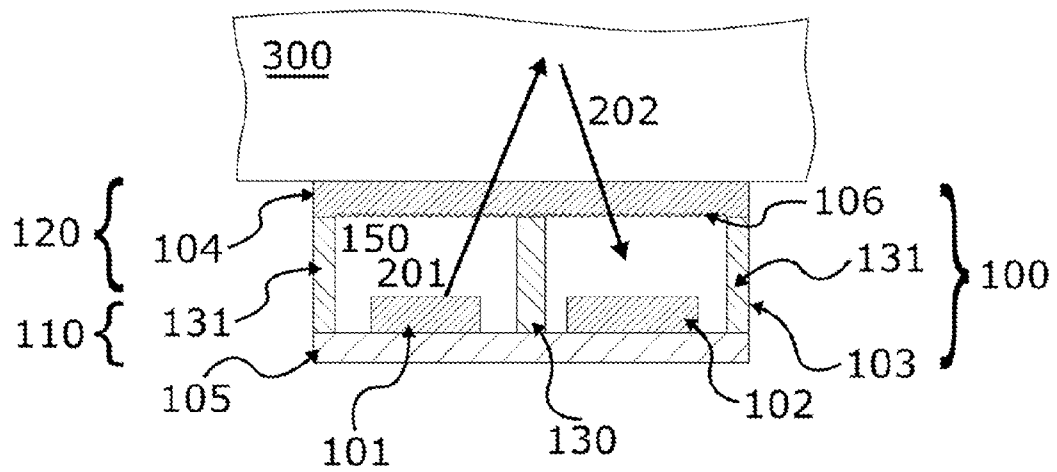


Fig. 1

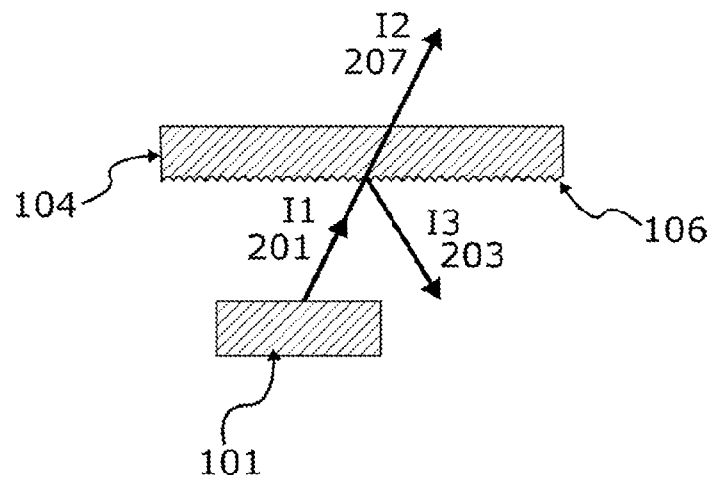


Fig. 2

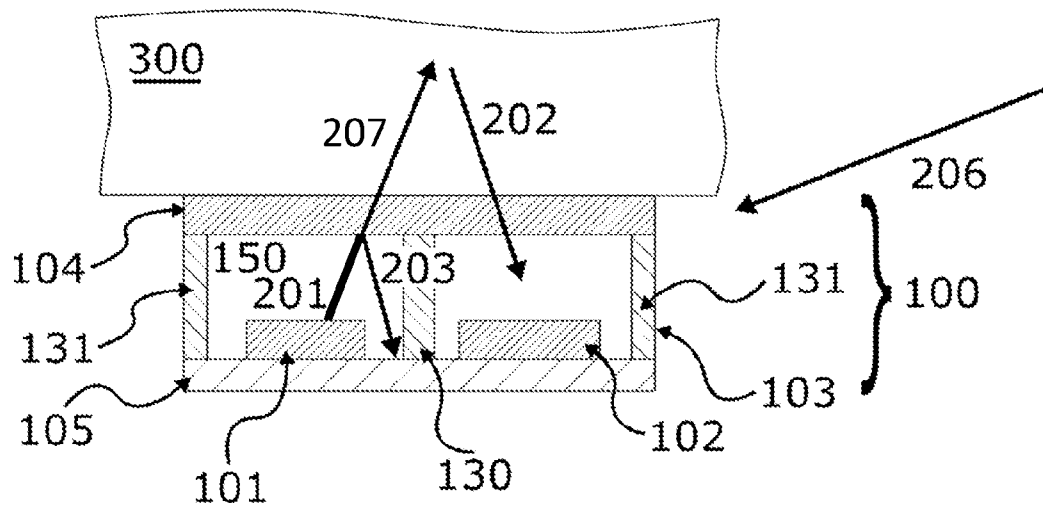


Fig. 3

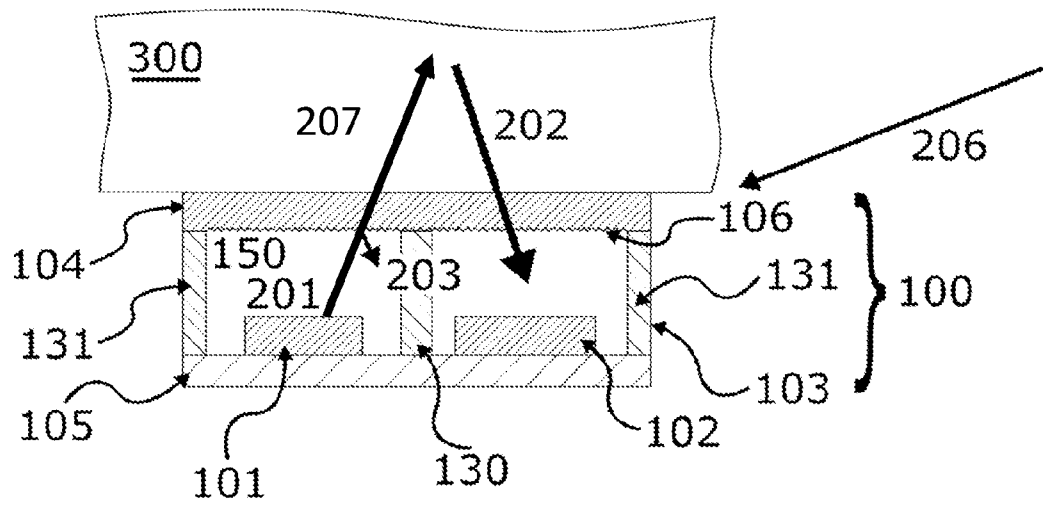


Fig. 4

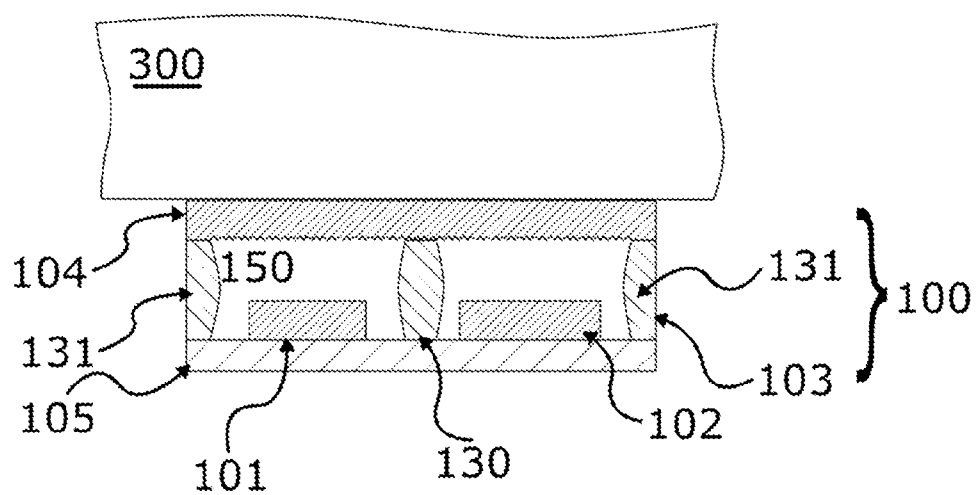


Fig. 5

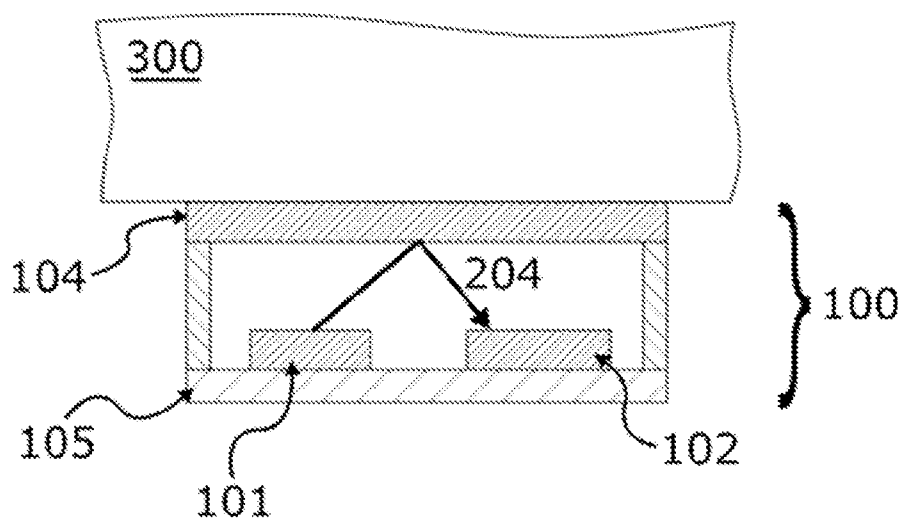


Fig. 6

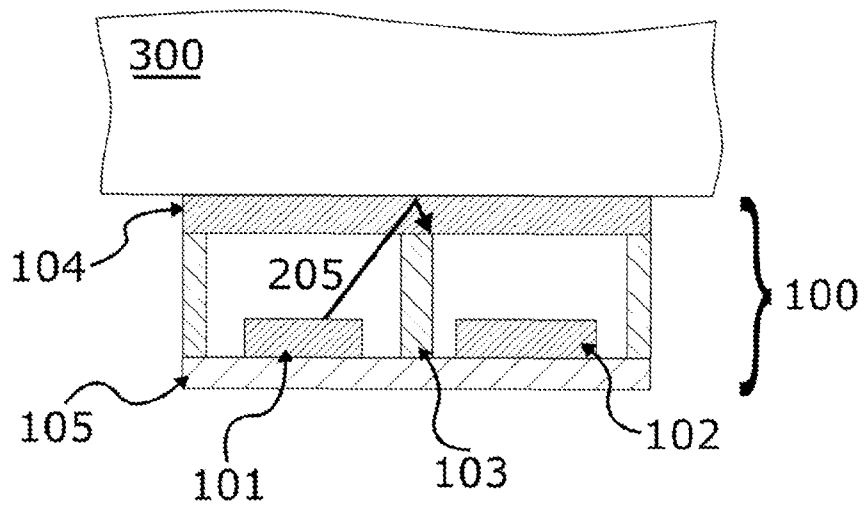


Fig. 7