

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 691 620**

51 Int. Cl.:

G02B 5/28

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.07.2013 PCT/US2013/050710**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.01.2014 WO14014930**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.07.2013 E 13819621 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.08.2018 EP 2872935**

54 Título: **Filtro óptico y sistema sensor**

30 Prioridad:

16.07.2012 US 201261672164 P

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

28.11.2018

73 Titular/es:

**VIAMI SOLUTIONS INC. (100.0%)
6001 America Center Drive
San Jose, CA 95002, US**

72 Inventor/es:

**HENDRIX, KAREN, DENISE;
BRADLEY, RICHARD, A.;
GRIGONIS, MARIUS y
OCKENFUSS, GEORG**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 691 620 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

Filtro óptico y sistema sensor

Campo técnico de la invención

5 La presente invención se relaciona con los filtros ópticos y los sistemas sensores que comprenden filtros ópticos. Más particularmente, la presente invención se relaciona con los filtros ópticos que incluyen capas de silicio hidrogenado y con los sistemas sensores que comprenden dichos filtros ópticos.

Antecedentes de la invención

10 En un sistema de reconocimiento de gestos típico, una fuente de luz emite una luz cercana al infrarrojo hacia un usuario. Un sensor de imágenes tridimensionales (3D) detecta la luz emitida que es reflejada por el usuario para proporcionar una imagen en 3D del usuario. Un sistema de procesamiento analiza después la imagen en 3D para reconocer el gesto hecho por el usuario.

15 Un filtro óptico, más específicamente, un filtro paso banda, se usa para transmitir la luz emitida al sensor de imágenes en 3D, mientras que sustancialmente bloquea la luz ambiente. En otras palabras, el filtro óptico sirve para eliminar la luz ambiente. Por lo tanto, se requiere un filtro óptico que tenga una banda de paso estrecha en el rango de la longitud de onda cercana al infrarrojo, esto es, de 800 nm a 1100 nm. Además, el filtro óptico debe tener un alto nivel de transmitancia dentro de la banda de paso y un alto nivel de bloqueo fuera de la banda de paso.

20 De manera convencional, el filtro óptico incluye una pila de filtros y una pila de bloqueo, recubiertas en las superficies opuestas de un sustrato. Cada una de las pilas está formada por capas de alto índice de refracción y por capas de bajo índice de refracción apiladas en alternancia. Se usan diferentes óxidos, generalmente, para las capas de alto índice de refracción y las capas de bajo índice de refracción, tales como el TiO_2 , el Nb_2O_5 , el Ta_2O_5 , el SiO_2 , y mezclas de los mismos. Por ejemplo, algunos filtros ópticos convencionales incluyen una pila de filtro de $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ y una pila de bloqueo de $\text{Ta}_2\text{O}_5/\text{SiO}_2$, en las que las capas de alto índice de refracción están compuestas de TiO_2 o Ta_2O_5 , respectivamente, y las capas de bajo índice de refracción están compuestas de SiO_2 .

25 En un primer filtro óptico convencional diseñado para transmitir luz en un rango de longitudes de onda de entre 829 nm y 859 nm sobre un rango de ángulos de incidencia de 0° a 30° , la pila de filtro incluye 71 capas, la pila de bloqueo incluye 140 capas, y el espesor total del recubrimiento es de aproximadamente 24 μm . Los espectros 100 y 101 de transmisión con ángulos de incidencia de 0° y 30° , respectivamente, para este filtro óptico se trazan en la FIG. 1. En un segundo filtro convencional diseñado para transmitir luz con una longitud de onda de 825 nm sobre un rango de ángulos de incidencia de 0° a 20° , la pila de filtro incluye 43 capas, la pila de bloqueo incluye 82 capas, y el espesor total del recubrimiento es de aproximadamente 14 μm . Los espectros 200 y 201 de transmisión con ángulos de incidencia de 0° y 20° , respectivamente, para este filtro óptico se trazan en la FIG. 2. En un tercer filtro convencional diseñado para transmitir luz con un rango de longitud de onda de entre 845 nm y 865 nm sobre un rango de ángulos de incidencia de 0° a 24° , la pila de filtro incluye 77 capas, la pila de bloqueo incluye 148 capas, y el espesor total del recubrimiento es de aproximadamente 26 μm . Los espectros 300 y 301 de transmisión con ángulos de incidencia de 0° y 24° , respectivamente, para este filtro óptico se trazan en la FIG. 3.

35 Con referencia a las FIG. 1-3, el primer, segundo, y tercer filtro óptico convencional, generalmente, tiene un alto nivel de transmitancia dentro de la banda de paso y un alto nivel de bloqueo fuera de la banda de paso. Sin embargo, la longitud de onda central de la banda de paso experimenta un desplazamiento relativamente grande con un cambio en el ángulo de incidencia. Por consiguiente, la banda de paso debe ser relativamente amplia para aceptar luz sobre el rango de ángulos de incidencia requerido, aumentando la cantidad de luz ambiente que se transmite y reduciendo la relación señal a ruido de los sistemas que incorporan estos filtros ópticos convencionales. Además, el gran número de capas en las pilas de filtro y en las pilas de bloqueo aumenta el gasto y el tiempo de recubrimiento involucrado en la fabricación de estos filtros ópticos convencionales. El gran espesor total del recubrimiento hace también estos filtros ópticos convencionales difíciles de modelar, por ejemplo, mediante fotolitografía.

45 Para mejorar el rendimiento del filtro óptico en el sistema de reconocimiento de gestos, sería deseable reducir el número de capas, el espesor total del recubrimiento, y el desplazamiento de la longitud de onda central con el cambio en el ángulo de incidencia. Un enfoque es usar un material que tenga un mayor índice de refracción que los óxidos convencionales sobre el rango de longitudes de onda de 800 nm a 1100 nm para las capas de alto nivel de refracción. Además de un mayor índice de refracción, el material debe tener también un bajo coeficiente de extinción sobre el rango de longitudes de onda de 800 nm a 1100 nm para proporcionar un alto nivel de transmitancia dentro de la banda de paso.

Los documentos US5398133, US2003/087121A, US2009/002830A, US2010/309555A y la 3ª edición de Filtros Ópticos de Película Fina, H.A. Macleod, páginas 283-287, Publicación del Instituto de Física, 31-12-2001 son útiles también para el entendimiento de la invención.

55 El uso de silicio hidrogenado (Si:H) para las capas de alto nivel de refracción en los filtros ópticos es descrito por Lairson, et al. en un artículo titulado "Recubrimientos del Filtro Paso Banda de Infrarrojos de Reducido

Desplazamiento de Ángulo” (Actas del SPIE, 2007, Vol. 6545, pp. 6545C-1-65451C-5), y por Gibbons, et al. en un artículo titulado “Desarrollo e Implementación de un Proceso de Deposición por Pulverización Catódica Reactivo de a-Si Hidrogenado” (actas de la Conferencia Técnica Anual, Sociedad de recubrimientos al vacío, 2007, Vol. 50, pp. 327-330). Lairson, et al. describe un material de silicio hidrogenado que tiene un índice de refracción de 3,2 a una longitud de onda de 1500 nm y un coeficiente de extinción de menos de 0,001 a longitudes de onda mayores que 1000 nm. Gibbons, et al. describe un material de silicio hidrogenado, producido por deposición catódica de corriente alterna (AC), que tiene un índice de refracción de 3,2 a una longitud de onda de 830 nm y un coeficiente de extinción de 0,0005 a una longitud de onda de 830 nm. Desafortunadamente, estos materiales de silicio hidrogenado no tienen un coeficiente de extinción suficientemente bajo sobre el rango de longitudes de onda de 800 nm a 1100 nm.

10 **Compendio de la invención**

Por consiguiente, la presente invención se relaciona con un filtro óptico como se define en la reivindicación 1.

La presente invención también se relaciona con un sistema sensor como se define en la reivindicación 11.

Breve descripción de los dibujos

La presente invención se describirá con un mayor detalle con referencia a los dibujos adjuntos en donde:

15 La FIG. 1 es un gráfico del espectro de transmitancia con ángulos de incidencia de 0° y 30° para un primer filtro óptico convencional.

La FIG. 2 es un gráfico del espectro de transmitancia con ángulos de incidencia de 0° y 20° para un segundo filtro óptico convencional.

20 La FIG. 3 es un gráfico del espectro de transmitancia con ángulos de incidencia de 0° y 24° para un tercer filtro óptico convencional.

La FIG. 4 es una ilustración esquemática de un sistema de deposición por pulverización catódica;

La FIG. 5A es un gráfico del espectro de transmitancia para capas de silicio de 1500 nm de espesor depositadas en presencia y ausencia de hidrógeno;

25 La FIG. 5B es una gráfica de la longitud de onda del límite de absorción con un nivel de transmitancia del 50% contra la tasa de flujo de hidrógeno para las capas de silicio hidrogenado (Si:H) antes y después de un paso de recocido;

La FIG. 5C es una gráfica del índice de refracción a longitudes de onda de entre 800 nm y 1120 nm contra la tasa de flujo de hidrógeno para las capas de silicio hidrogenado;

30 La FIG. 5D es una gráfica del coeficiente de absorción a longitudes de onda de 800 nm a 880 nm contra la tasa de flujo de hidrógeno para las capas de silicio hidrogenado;

La FIG. 6 es una ilustración esquemática de una sección transversal de un filtro óptico según la presente invención:

La FIG. 7A es una tabla que compara las propiedades del primer filtro óptico convencional de la FIG. 1 y el primer filtro óptico ejemplar según la presente invención;

35 La FIG. 7B es una tabla que lista los números de capa, los materiales, y los espesores para el recubrimiento anti reflectante (AR) del primer filtro óptico ejemplar;

La FIG. 7C es una tabla que lista los números de capa, los materiales, y los espesores para la pila de filtro del primer filtro óptico ejemplar;

La FIG. 7D es una gráfica de los espectros de transmitancia con ángulos de incidencia de 0° y 30° para el primer filtro óptico ejemplar;

40 La FIG. 7E es una gráfica de los espectros de transmitancia con ángulos de incidencia de 0° y 30° para un filtro óptico ejemplar análogo al primer filtro óptico ejemplar, pero incluyendo una pila de filtro Si/SiO₂;

La FIG. 8A es una tabla que compara las propiedades del segundo filtro óptico convencional de la FIG. 2 y un segundo filtro óptico ejemplar según la presente invención;

45 La FIG. 8B es una tabla que lista los números de capa, los materiales, y los espesores para la pila de filtro del segundo filtro óptico ejemplar;

La FIG. 8C es una gráfica de los espectros de transmitancia con ángulos de incidencia de 0° y 20° para el segundo filtro óptico ejemplar;

La FIG. 8D es una gráfica de los espectros de transmitancia con ángulos de incidencia de 0° y 20° para un filtro óptico ejemplar análogo al segundo filtro óptico ejemplar, pero incluyendo una pila de filtro Si/SiO₂;

La FIG. 9A es una tabla que lista los números de capa, los materiales, y los espesores para la pila de filtro de un tercer filtro óptico ejemplar según la presente invención;

5 La FIG. 9B es una gráfica de los espectros de transmitancia con ángulos de incidencia de 0° y 40° para el tercer filtro óptico ejemplar; y

La FIG. 10 es un diagrama de bloques de un sistema sensor según la presente realización.

Descripción detallada de la invención

10 La presente invención proporciona un filtro óptico que incluye capas de silicio hidrogenado (Si:H), que es particularmente adecuado para su uso en un sistema sensor, tal como un sistema sensor de proximidad, un sistema de imagen tridimensional (3D), o un sistema de reconocimiento de gestos.

15 El filtro óptico de la presente invención usa un material de silicio hidrogenado, que tiene tanto un alto índice de refracción como un bajo coeficiente de absorción sobre un rango de longitudes de onda de 800 nm a 1100 nm, esto es, en el rango de longitudes de onda cercano al infrarrojo. Normalmente, el material de silicio hidrogenado es amorfo. El material de silicio hidrogenado es, preferiblemente, producido mediante pulverización de corriente continua (DC) pulsada. Un sistema de deposición por pulverización catódica adecuado para producir el material de silicio hidrogenado se describe en la Patente EE.UU. N° 8.163.144, a Tilsch et al., publicada el 24 de Abril de 2012.

20 Con referencia a la FIG. 4, un sistema de deposición por pulverización catódica normal usado para producir el material de silicio hidrogenado incluye una cámara 410 de vacío, un sustrato 420, un cátodo 430, una fuente 440 de alimentación de cátodo, un ánodo 450, una fuente 460 de activación por plasma (PAS), y una fuente 470 de alimentación de la PAS. El cátodo 430 está alimentado por la fuente 440 de alimentación de cátodo, que es una fuente de alimentación de DC pulsada. La PAS 460 está alimentada por la fuente 470 de alimentación de la PAS, que es una fuente de alimentación de radio frecuencia (RF).

25 El cátodo 430 incluye un objetivo 431 de silicio, que es pulverizado en presencia de hidrógeno (H₂), así como un gas inerte tal como el argón, para depositar el material de silicio hidrogenado como una capa sobre el sustrato 420. El gas inerte se introduce dentro de la cámara 410 de vacío mediante el ánodo 450 y la PAS 460. De manera alternativa, las paredes de la cámara 410 de vacío pueden servir como el ánodo, y el gas inerte se puede introducir en una ubicación diferente.

30 El hidrógeno se introduce dentro de la cámara 410 de vacío mediante la PAS 460, que sirve para activar el hidrógeno. El hidrógeno activado es químicamente más reactivo y es, por lo tanto, más probable que cree enlaces de Si-H, que se piensa son los responsables de las propiedades ópticas del material de silicio hidrogenado. La PAS 460 se ubica muy cerca del cátodo 430, permitiendo al plasma de la PAS y al plasma del cátodo solaparse. Se cree que ambas especies atómicas y moleculares de hidrógeno activado están presentes en los plasmas. El uso de la PAS 460 permite a la capa de silicio hidrogenado depositarse a una tasa de deposición relativamente alta con un contenido de hidrógeno relativamente bajo. Normalmente, la capa de silicio hidrogenado se deposita a una tasa de deposición desde 0,05 nm/s a 1,2 nm/s, preferiblemente, a una tasa de deposición de aproximadamente 0,8 nm/s. De manera alternativa, se puede usar sólo el plasma del cátodo para la activación del hidrógeno.

35 Las propiedades ópticas del material de silicio hidrogenado dependen principalmente del contenido de hidrógeno en la cámara 410 de vacío y, por lo tanto, de la tasa de flujo de hidrógeno. Sin embargo, están influenciadas también por otros parámetros, tales como la tasa de flujo de gas inerte, el nivel de alimentación de la PAS, el nivel de alimentación del cátodo, y la tasa de deposición.

40 La FIG. 5A muestra los espectros 500 y 501 de transmisión para las capas de silicio de 1500 nm de espesor depositadas en presencia de hidrógeno, con una tasa de flujo de hidrógeno de 139 sccm, y en ausencia de hidrógeno, respectivamente. La capa de silicio depositada en presencia de hidrógeno, esto es, la capa de silicio hidrogenado tiene un nivel de transmitancia significativamente mayor sobre el rango de longitudes de onda de 800 nm a 1100 nm.

45 La FIG. 5B muestra las curvas 510 y 511 de la longitud de onda del límite de absorción a un nivel de transmitancia del 50 % contra la tasa de flujo de hidrógeno para las capas de silicio hidrogenado antes y después del paso de recocido, respectivamente. Para las capas de silicio hidrogenado depositadas tal cual la longitud de onda del límite de absorción disminuye con el aumento de la tasa de flujo. De manera general, la longitud de onda del límite de absorción varía aproximadamente de manera logarítmica con la tasa de flujo de hidrógeno. La longitud de onda del límite de absorción es disminuida aún más mediante el paso de recocido, que es llevado a cabo a una temperatura de aproximadamente 300 °C durante aproximadamente 60 minutos. Normalmente, cuando se realiza un paso de recocido post recubrimiento opcional, las capas de silicio hidrogenado son recocidas a una temperatura de hasta 50 350 °C durante hasta 120 minutos, preferiblemente, a una temperatura desde 250 °C a 350 °C durante de 30 a 90 minutos. En algunos ejemplos, se puede realizar más de un paso de recocido.

Por tanto, la longitud de onda del límite de absorción del material de silicio hidrogenado se puede sintonizar ajustando la tasa de flujo de hidrógeno, opcionalmente, mediante el recocido. Del mismo modo, el índice de refracción y el coeficiente de absorción del material de silicio hidrogenado pueden ser sintonizados ajustando la tasa de flujo de hidrógeno, opcionalmente, mediante el recocido. Normalmente, las capas de silicio hidrogenado se depositan con una tasa de flujo de hidrógeno de más de 80 sccm, preferiblemente, una tasa de flujo de hidrógeno de aproximadamente 80 sccm. Sin embargo, se debería observar que el contenido de hidrógeno asociado con esta tasa de flujo dependerá de la velocidad de bombeo del sistema de vacío.

La FIG. 5C muestra una gráfica de un índice de refracción a longitudes de onda de 800 nm a 1120 nm contra la tasa de flujo de hidrógeno para las capas de silicio hidrogenado depositadas tal cual. El índice de refracción disminuye con el aumento de la tasa de flujo de hidrógeno. Generalmente, el índice de refracción varía aproximadamente de manera lineal con la tasa de flujo de hidrógeno. En concreto, el índice de refracción de la capa de silicio hidrogenado producida con una tasa de flujo de hidrógeno de 80 sccm es mayor que 3,55 sobre el rango de longitudes de onda de 800 nm a 1120 nm.

La FIG. 5D muestra una gráfica del coeficiente de absorción a longitudes de onda de 800 nm a 880 nm contra la tasa de flujo de hidrógeno para las capas de silicio hidrogenado depositadas tal cual (el coeficiente de absorción es menor que 0,0001 a longitudes de onda desde 920 nm a 1120 nm). El coeficiente de absorción disminuye con el aumento de la tasa del flujo de hidrógeno. De manera general, el coeficiente de absorción varía de manera aproximadamente exponencial con la tasa de flujo de hidrógeno. En concreto, el coeficiente de absorción de la capa de silicio hidrogenado producida a una tasa de flujo de hidrógeno de 80 sccm es menor que 0,0004 sobre el rango de longitudes de onda de 800 nm a 1120 nm.

El material de silicio hidrogenado mejorado, sintonizado para tener propiedades ópticas adecuadas, se usa en el filtro óptico de la presente invención. Con referencia a la FIG. 6, el filtro 600 óptico incluye una pila 610 de filtro, que se dispone en una primera superficie de un sustrato 620. En muchos casos, el sustrato 620 es un sustrato libre, normalmente un sustrato de vidrio, por ejemplo, un sustrato de vidrio borofloat. De manera alternativa, el sustrato 620 puede ser un sensor u otro dispositivo. Cuando el sustrato 620 es un sustrato libre, el recubrimiento 630 anti reflectante (AR) se dispone a menudo en una segunda superficie del sustrato 620 opuesta a la primera superficie. Normalmente, el recubrimiento 630 AR es un recubrimiento de interferencia multicapa, por ejemplo, un recubrimiento Ta_2O_5/SiO_2 . También normalmente, el recubrimiento 630 AR tiene un espesor de entre 0,1 μm a 1 μm .

La pila 610 de filtro incluye una pluralidad de capas 611 de silicio hidrogenado, que sirven como capas de índice de refracción más alto, y una pluralidad de capas 612 de índice de refracción más bajo apiladas en alternancia. Generalmente, la pila 610 de filtro consiste de una pluralidad de capas 611 de silicio hidrogenado y una pluralidad de capas 612 de índice de refracción más bajo apiladas en una secuencia de $(H/L)_n$, $(H/L)_nH$ o $L(H/L)_n$. Normalmente, la pila 610 de filtro incluye un total de 10 a 100 capas, esto es, $5 \leq n \leq 50$. También normalmente, las capas 611 de silicio hidrogenado y las capas 612 de índice de refracción más bajo tienen cada una un espesor de desde 3 nm a 300 nm, y la pila 610 de filtro tiene un espesor desde 1 μm a 10 μm . De manera general, los números de capas y los espesores se seleccionan según un diseño óptico concreto. Preferiblemente, el filtro 600 óptico tiene un espesor total de recubrimiento, esto es, el espesor de la pila 610 de filtro y el recubrimiento 630 AR, de menos de 10 μm .

Las capas 611 de silicio hidrogenado están compuestas de material de silicio hidrogenado mejorado sintonizado para tener un índice de refracción de más de 3 y un coeficiente de extinción de menos de 0,0005 sobre el rango de longitudes de onda de 800 nm a 1100 nm. Preferiblemente, el material de silicio hidrogenado tiene un índice de refracción de más de 3,5 sobre el rango de longitudes de onda de 800 nm a 1100 nm, por ejemplo, un índice de refracción de más de 3,64, esto es, aproximadamente 3,6, a una longitud de onda de 830 nm. Normalmente es deseable un índice de refracción mayor. Sin embargo, de manera general, el material de silicio hidrogenado tiene un índice de refracción de menos de 4,5 sobre el rango de longitudes de onda de 800 nm a 1100 nm.

Preferiblemente, el material de silicio hidrogenado tiene un coeficiente de extinción de menos de 0,0004 sobre el rango de longitudes de onda de 800 nm a 1100 nm, más preferiblemente, un coeficiente de extinción de menos de 0,0003 sobre el rango de longitudes de onda de 800 nm a 1100 nm. Normalmente, el material de silicio hidrogenado tiene un coeficiente de extinción de más de 0,01 a longitudes de onda de menos de 600 nm, preferiblemente, un coeficiente de extinción de más de 0,05 a longitudes de onda de menos de 650 nm. Ya que el material de silicio hidrogenado es relativamente un fuerte absorbente a longitudes de onda de menos de 600 nm, no es necesaria una pila de bloqueo adicional en el filtro 600 óptico.

Las capas 612 de índice de refracción más bajo están compuestas de un material de índice de refracción más bajo que tiene un índice de refracción menor que el de las capas 611 de silicio hidrogenado sobre el rango de longitudes de onda de 800 nm a 1100 nm. Normalmente, el material de índice de refracción más bajo tiene un índice de refracción de menos de 3 sobre el rango de longitudes de onda de 800 nm a 1100 nm. Preferiblemente, el material de índice de refracción más bajo tiene un índice de refracción de menos de 2,5 sobre el rango de longitudes de onda de 800 nm a 1100 nm, más preferiblemente, un índice de refracción de menos de 2 sobre el rango de longitudes de onda de 800 nm a 1100 nm.

Un índice de refracción más bajo es deseable normalmente para las capas 612 de índice de refracción más bajo para aumentar la anchura del rango de longitudes de onda de bloqueo, esto es, la banda de detención, del filtro 600 óptico, permitiendo que se alcance el mismo nivel de bloqueo con menos capas en la pila 610 de filtro. Sin embargo, en algunos casos, puede ser deseable un índice de refracción un poco más alto que sea aún menor que el de las capas 611 de silicio hidrogenado para reducir el desplazamiento de la longitud de onda central con el cambio en el ángulo de incidencia, esto es, el desplazamiento del ángulo, del filtro 600 óptico.

En muchos casos, el material de índice de refracción más bajo es un material dieléctrico, normalmente, un óxido. Los materiales de índice de refracción más bajo adecuados incluyen el dióxido de silicio (SiO_2), el óxido de aluminio (Al_2O_3), el dióxido de titanio (TiO_2), el pentóxido de niobio (Nb_2O_5), el pentóxido de tántalo (Ta_2O_5) y las mezclas de los mismos, esto es, los óxidos mezclados.

El filtro 600 óptico se puede fabricar mediante el uso de un proceso de pulverización. Normalmente, se proporciona el sustrato 620 en la cámara de vacío de un sistema de deposición por pulverización catódica similar al ilustrado en la FIG. 4. Las capas 611 de silicio hidrogenado y las capas 612 de índice de refracción más bajo se depositan después de manera secuencial en la primera superficie del sustrato 620 para formar la pila 610 de filtro como un recubrimiento multicapa. Normalmente, las capas 611 de silicio hidrogenado se depositan mediante pulverización DC pulsada de un objetivo de silicio en presencia de hidrógeno, como se describió anteriormente. También normalmente, las capas 612 de índice de refracción más bajo se depositan mediante pulverización de DC pulsada de uno o más objetivos de metal adecuados, por ejemplo, un objetivo de silicio, un objetivo de aluminio, un objetivo de titanio, un objetivo de niobio, y/o un objetivo de tántalo, en presencia de oxígeno. El recubrimiento 630 AR se deposita en la segunda superficie del sustrato 620 de manera similar. Se debería observar que el orden de formación de la pila 610 de filtro y del recubrimiento 630 AR normalmente no es importante.

El filtro 600 óptico es un filtro de interferencia que tiene una banda de paso que solapa al menos de manera parcial con el rango de longitudes de onda de 800 nm a 1100 nm. La banda de paso puede incluir el rango de longitudes de onda de 800 nm a 1100 nm completo o, más normalmente, sólo una parte del rango de longitudes de onda. La banda de paso se puede restringir a una parte o todo el rango de longitudes de onda de 800 nm a 1100 nm, o puede extenderse más allá del rango de longitudes de onda. Preferiblemente, el filtro 600 óptico tiene un nivel de transmitancia, dentro de la banda de paso, de más del 90% sobre el rango de longitudes de onda de 800 nm a 1100 nm.

El filtro 600 óptico proporciona bloqueo fuera de la banda de paso, esto es, una banda de detención en uno o ambos lados de la banda de paso, normalmente, sobre un rango de longitudes de onda de 400 nm a 1100 nm, preferiblemente, sobre un rango de longitudes de onda de 300 nm a 1100 nm. Preferiblemente, el filtro 600 óptico tiene un nivel de bloqueo, fuera de la banda de paso, de más que el OD2 sobre el rango de longitudes de onda de 400 nm a 1100 nm, más preferiblemente, un nivel de bloqueo de más que el OD3 sobre el rango de longitudes de onda de 300 nm a 1100 nm.

En algunos casos, el filtro 600 óptico es un filtro de límite de paso de longitudes de onda largas, y la banda de paso tiene una longitud de onda de límite en el rango de longitudes de onda de 800 nm a 1100 nm. Sin embargo, en muchos casos, el filtro 600 óptico es un filtro paso banda, preferiblemente un filtro paso banda estrecho. Normalmente, la banda de paso tiene una longitud de onda en el rango de longitudes de onda de 800 nm a 1100 nm. Preferiblemente, la banda de paso tiene una anchura a media altura (FWHM) de menos de 50 nm. A menudo, la banda de paso completa está dentro del rango de longitudes de onda de 800 nm a 1100 nm.

De manera general, el filtro 600 óptico tiene un desplazamiento de longitud de onda central bajo con el cambio en el ángulo de incidencia. Preferiblemente, la longitud de onda central de la banda de paso está desplazada en menos de 20 nm en magnitud con un cambio del ángulo de incidencia de 0° a 30° . Por consiguiente, el filtro 600 óptico tiene un rango de aceptación de ángulos de incidencia amplio.

El filtro 600 óptico puede tener una variedad de diseños ópticos. En general, el diseño óptico del filtro 600 óptico se optimiza para una banda de paso concreta mediante la selección de números de capas, de materiales, y/o de espesores adecuados para la pila 610 de filtro. Algunos filtros ópticos ejemplares, descritos anteriormente, incluyen una pila de filtro de Si:H/ SiO_2 y un recubrimiento AR de $\text{Ta}_2\text{O}_5/\text{SiO}_2$, recubierto en las superficies opuestas de un sustrato de vidrio borofloat.

Con referencia a la FIG. 7, un primer filtro ejemplar es un filtro paso banda estrecha que se diseña para transmitir luz en un rango de longitudes de onda de 829 nm a 859 nm sobre un rango de ángulos de incidencia de 0° a 30° . El primer filtro óptico ejemplar de la FIG. 7 es comparable al primer filtro óptico convencional de la FIG. 1, y algunas de las propiedades ópticas se comparan en la FIG. 7A. Los datos de diseño, esto es, los números de capa (desde el sustrato al aire), los materiales, y los espesores, para el recubrimiento AR y la pila de filtro del primer filtro ejemplar se listan en las FIG. 7B y 7C, respectivamente. La pila de filtro incluye 48 capas, el recubrimiento AR incluye 5 capas, y el espesor total del recubrimiento es de aproximadamente 5,7 μm .

Los espectros 700 y 701 de transmisión con ángulos de incidencia de 0° a 30° , respectivamente, para el primer filtro óptico ejemplar se trazan en la FIG. 7D. El primer filtro óptico ejemplar tiene un nivel de transmitancia, dentro de la

banda de paso, de más del 90% y un nivel de bloqueo, fuera de la banda de paso, de más que el OD3 sobre un rango de longitudes de onda de 450 nm a 1050 nm. La banda de paso tiene una longitud de onda central de aproximadamente 850 nm y una FWHM de aproximadamente 46,5 nm con un ángulo de incidencia de 0°. Con el cambio en el ángulo de incidencia de 0° a 30°, la longitud de onda central de la banda de paso se desplaza en aproximadamente - 12,2 nm.

De manera ventajosa, el primer filtro óptico ejemplar de la FIG. 7 incluye menos capas y tiene un espesor de recubrimiento total menor que el primer filtro óptico convencional de la FIG. 1. En concreto, el espesor de recubrimiento total del primer filtro óptico ejemplar es aproximadamente un cuarto del espesor de recubrimiento total del primer filtro óptico convencional. Por lo tanto, el primer filtro óptico ejemplar es menos caro de fabricar y es más fácil de modelar. También de manera ventajosa, el primer filtro óptico ejemplar tiene un desplazamiento de la longitud de onda central menor con el cambio en el ángulo de incidencia. Por lo tanto, la banda de paso del primer filtro óptico ejemplar puede ser significativamente más estrecha a la vez que acepta luz sobre el mismo rango de ángulos de incidencia, mejorando la relación señal a ruido de los sistemas que incorporan el primer filtro óptico ejemplar.

El filtro óptico ejemplar se puede comparar también con un filtro óptico análogo que incluye una pila de filtro de Si/SiO₂, esto es, una pila de filtro que incluye capas de silicio no hidrogenado, en lugar de una pila de filtro de Si:H/SiO₂. Los espectros 700, 701 de transmisión con ángulos de incidencia de 0° y 30°, respectivamente, para este filtro óptico se trazan en la FIG. 7E. El nivel de transmitancia dentro de la banda de paso de este filtro óptico es muy bajo para ser útil.

Con referencia a la FIG. 8, un segundo filtro óptico ejemplar es un filtro paso banda más estrecho que se diseña para transmitir luz a una longitud de onda de 825 nm sobre un ángulo de incidencia de 0° a 20°. El segundo filtro óptico ejemplar de la FIG. 8 es comparable con el segundo filtro óptico convencional de la FIG. 2, y algunas propiedades de los filtros ópticos se comparan en la FIG. 8A. Los datos de diseño para el recubrimiento AR del segundo filtro óptico ejemplar, que es el mismo que el del primer filtro óptico ejemplar, se listan en la FIG. 7B. Los datos de diseño para la pila de filtro del segundo filtro óptico ejemplar se listan en la FIG. 8B. La pila de filtro incluye 25 capas, el recubrimiento AR incluye 5 capas, y el espesor total del recubrimiento es de aproximadamente 3,3 µm.

Los espectros 800 y 801 de transmisión con ángulos de incidencia de 0° y 20°, respectivamente, para el segundo filtro óptico ejemplar se trazan en la FIG. 8C. El segundo filtro óptico ejemplar tiene un nivel de transmitancia, dentro de la banda de paso, de más del 90%, y un nivel de bloqueo, fuera de la banda de paso, de más que el OD2 sobre un rango de longitudes de onda de 400 nm a 1100 nm. La banda de paso tiene una longitud de onda central de aproximadamente 829 nm y una FWHM de aproximadamente 29,6 nm con un ángulo de incidencia de 0°. Con el cambio en el ángulo de incidencia de 0° a 20°, el centro de la longitud de onda de la banda de paso se desplaza en aproximadamente - 7,8 nm.

De manera similar al primer filtro óptico ejemplar de la FIG. 7, el segundo filtro óptico ejemplar de la FIG. 8, de manera ventajosa, incluye menos capas, tiene un espesor de recubrimiento total menor, y tiene un desplazamiento de la longitud de onda central menor con el cambio en el ángulo de incidencia que el segundo filtro óptico convencional de la FIG. 2.

El segundo filtro óptico ejemplar se puede comparar también como un filtro óptico análogo que incluye una pila de filtro de Si/SiO₂ en lugar de una pila de filtro de Si:H/SiO₂. Los espectros 810 y 811 de transmisión con ángulos de incidencia de 0° y 20°, respectivamente, para este filtro óptico se trazan en la FIG. 8D. El nivel de transmitancia dentro de la banda de paso de este filtro óptico es demasiado bajo para ser útil.

Con referencia a la FIG. 9, un tercer filtro óptico ejemplar es un filtro paso banda estrecho que se diseña para transmitir luz sobre un rango de longitudes de onda de 845 nm a 865 nm sobre un ángulo de incidencia de 0° a 40°. El tercer filtro óptico ejemplar de la FIG. 9 es comparable con el tercer filtro óptico convencional de la FIG. 3. Los datos de diseño para el recubrimiento AR del tercer filtro óptico ejemplar, que es el mismo que el del primer filtro óptico ejemplar, se listan en la FIG. 7B. Los datos de diseño para la pila de filtro del tercer filtro óptico ejemplar se listan en la FIG. 9A. La pila de filtro incluye 29 capas, el recubrimiento AR incluye 5 capas, y el espesor total del recubrimiento es de aproximadamente 4,8 µm.

Los espectros 900 y 901 de transmisión con ángulos de incidencia de 0° y 40°, respectivamente, para el tercer filtro óptico ejemplar se trazan en la FIG. 9B. El tercer filtro óptico ejemplar de la FIG. 9 tiene sustancialmente la misma anchura de banda de paso que el tercer filtro óptico convencional de la FIG. 3, pero tiene un nivel de transmitancia ligeramente inferior dentro de la banda de paso. De manera ventajosa, sin embargo, el tercer filtro óptico ejemplar acepta luz sobre un rango considerablemente mayor de ángulos de incidencia de 0° a 40° que el tercer filtro óptico convencional, que acepta luz sobre un rango de ángulos de incidencia de 0° a 24°. En otras palabras, el tercer filtro óptico ejemplar tiene un rango de aceptación de ángulos de incidencia más amplio. También de manera ventajosa, el tercer filtro óptico ejemplar incluye menos capas y tiene un espesor total de recubrimiento menor, aproximadamente un quinto del espesor de recubrimiento total del tercer filtro óptico convencional.

Como se mencionó anteriormente, el filtro óptico de la presente invención es particularmente útil cuando forma parte de un sistema sensor, tal como un sistema sensor de proximidad, un sistema de imagen en 3D, o un sistema de reconocimiento de gestos. Con referencia a la FIG. 10, un sistema 1000 sensor normal incluye una fuente 1010 de luz, un filtro 1020 óptico según la presente invención, y un sensor 1030. Observe que se omiten otros elementos comúnmente incluidos en un sistema sensor, tales como las ópticas, por la simplicidad de la ilustración.

La fuente 1010 de luz emite luz a una longitud de onda de emisión en un rango de longitudes de onda de emisión de 800 nm a 1100 nm. Normalmente, la fuente 1010 de luz emite luz modulada, por ejemplo, pulsos de luz. Preferiblemente, la fuente 1010 de luz es un diodo emisor de luz (LED), un conjunto de LED, un diodo láser, o un conjunto de diodos láser. La fuente 1010 de luz emite luz hacia un objetivo 1040, que refleja la luz emitida de vuelta hacia el sistema 1000 sensor. Cuando el sistema 1000 sensor es un sistema de reconocimiento de gestos, el objetivo 1040 es un usuario del sistema de reconocimiento de gestos.

El filtro 1020 óptico se dispone para recibir la luz emitida después de su reflexión por parte del objetivo 1040. El filtro 1020 óptico tiene una banda de paso que incluye la longitud de onda de emisión y al menos un solapamiento parcial con el rango de longitudes de onda de 800 nm a 1100 nm. Normalmente, el filtro 1020 óptico es un filtro paso banda, preferiblemente, un filtro paso banda estrecho, como se describió anteriormente. El filtro 1020 óptico transmite la luz emitida desde la fuente 1010 de luz, a la vez que sustancialmente bloquea la luz ambiente. En resumen, el filtro 1020 óptico recibe la luz emitida desde la fuente 1010 de luz, después de su reflexión por parte del objetivo 1040, y transmite la luz emitida hasta el sensor 1030.

El sensor 1030 se dispone para recibir la luz emitida después de su transmisión por el filtro 1020 óptico, esto es, el sensor 1030 se dispone detrás del filtro 1020 óptico. En algunos casos, el filtro 1020 óptico está formado directamente en el sensor 1030 y, así, se dispone en el sensor 1030. Por ejemplo, el filtro 1020 óptico se puede recubrir y modelar, por ejemplo, mediante fotolitografía, en sensores, por ejemplo, los sensores de proximidad, en el procesamiento a nivel de oblea (WLP).

Cuando el sistema 1000 sensor es un sistema sensor de proximidad, el sensor 1030 es un sensor de proximidad, que detecta la luz emitida para detectar la proximidad de un objetivo 1040, según los métodos conocidos en la técnica. Cuando el sistema 1000 sensor es un sistema de imágenes en 3D o un sistema de reconocimiento de gestos, el sensor 1030 es un sensor de imágenes en 3D, por ejemplo, un chip de un dispositivo de carga acoplada (CCD) o un chip de semiconductor complementario de óxido metálico (CMOS), que detecta la luz emitida para proporcionar una imagen en 3D del objetivo 1040, que, en algunos casos, es el usuario. Normalmente, el sensor de imágenes en 3D convierte la información óptica en una señal eléctrica para su procesamiento por un sistema de procesamiento, por ejemplo, un chip de circuito integrado para aplicaciones específicas (ASIC) o un chip de un procesador de señal digital (DSP), según los métodos conocidos en la técnica. Por ejemplo, cuando el sistema 1000 sensor es un sistema de reconocimiento de gestos, el sistema de procesamiento procesa la imagen en 3D del usuario para reconocer un gesto del usuario.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un filtro óptico que tiene una banda de paso que se solapa al menos de manera parcial con un rango de longitudes de onda de 800 nm a 1100 nm y una longitud de onda central en el rango de 800 nm a 1100 nm que se desplaza en menos de 20 nm con un cambio en el ángulo de incidencia de 0° a 30°, que comprende una pila de filtro que incluye una pluralidad de capas de silicio hidrogenado y una pluralidad de capas de índice de refracción más bajo.
- 10 en donde la pluralidad de capas de silicio hidrogenado tiene cada una un índice de refracción de más de 3 sobre el rango de longitudes de onda de 800 nm a 1100 nm y un coeficiente de extinción de menos de 0,0005 sobre el rango de 800 nm a 1100 nm, y la pluralidad de capas de índice de refracción más bajo tiene cada una un índice de refracción de menos de 3 sobre el rango de longitudes de onda de 800 nm a 1100 nm, apiladas en alternancia con la pluralidad de capas de silicio hidrogenado;
- 15 caracterizado por que la pluralidad de capas de silicio hidrogenado se deposita con una tasa de flujo de hidrógeno de más de 80 sccm en un proceso de pulverización de corriente continua pulsada;
- 15 y que las capas de índice de refracción más bajo están compuestas de dióxido de silicio (SiO₂), óxido de aluminio (Al₂O₃), dióxido de titanio (TiO₂), pentóxido de niobio (Nb₂O₅), pentóxido de tántalo (Ta₂O₅) o una mezcla de los mismos.
- 20 2. El filtro óptico de la reivindicación 1, en donde las capas de silicio hidrogenado tienen cada una un índice de refracción de más de 3,6 a una longitud de onda de 830 nm.
- 20 3. El filtro óptico de la reivindicación 1, en donde las capas de silicio hidrogenado tienen cada una un índice de refracción de más de 3,5 sobre el rango de longitudes de onda de 800 nm a 1100 nm.
4. El filtro óptico de la reivindicación 1, en donde las capas de silicio hidrogenado tienen cada una un coeficiente de absorción de menos de 0,0004 sobre el rango de longitudes de onda de 800 a 1100 nm.
5. El filtro óptico de la reivindicación 1, en donde las capas de índice de refracción más bajo tienen cada una un índice de refracción de menos que 2,5 sobre el rango de longitudes de onda de 800 a 1100 nm.
- 25 6. El filtro óptico de la reivindicación 1, en donde el filtro óptico es un filtro de límite de paso de longitud de onda larga, y en donde la banda de paso tiene una longitud de onda de límite en el rango de longitudes de onda de 800 a 1100 nm.
7. El filtro óptico de la reivindicación 1, en donde el filtro óptico es un filtro paso banda, y en donde la banda de paso tiene una longitud de onda central en el rango de longitudes de onda de 800 a 1100 nm.
- 30 8. El filtro óptico de la reivindicación 7, en donde la banda de paso tiene una anchura a media altura (FWHM) de menos de 50 nm.
9. El filtro óptico de la reivindicación 1, que tiene un nivel de transmitancia, dentro de la banda de paso, de más del 90%.
- 35 10. El filtro óptico de la reivindicación 1, en donde la banda de paso tiene una longitud de onda central en el rango de longitudes de onda de 825 nm a 865 nm en donde la longitud de onda central se desplaza en menos de 12,2 nm con un cambio en el ángulo de incidencia de 0° a 30°.
11. Un sistema sensor que comprende:
- 40 una fuente de luz para emitir luz a una longitud de onda de emisión en un rango de longitud de onda de 800 nm a 1100 nm;
- 40 el filtro óptico de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en donde la banda de paso incluye la longitud de onda de emisión, dispuesta para recibir la luz emitida, para transmitir la luz emitida; y
- un sensor, dispuesto para recibir la luz emitida después de su transmisión por el filtro óptico, para detectar la luz emitida.
12. El sistema sensor de la reivindicación 11, en donde el filtro óptico se dispone en el sensor.
- 45 13. El sistema sensor de la reivindicación 11, en donde la fuente de luz es para emitir luz hacia un objetivo, en donde el filtro óptico se dispone para recibir la luz emitida después de la reflexión por el objetivo, y en donde el sensor es un sensor de proximidad para detectar la luz emitida para detectar la proximidad de un objetivo.
14. El sistema sensor de la reivindicación 11, en donde el sistema sensor es un sistema de imágenes tridimensionales (3D), en donde la fuente de luz es para emitir luz hacia un objetivo, en donde el filtro óptico se

dispone para recibir la luz emitida después de su reflexión por el objetivo, y en donde el sensor es un sensor de imágenes en 3D para detectar la luz emitida para proporcionar una imagen en 3D del objetivo.

5 15. El sistema sensor de la reivindicación 14, en donde el sistema de imágenes en 3D es un sistema de reconocimiento de gestos, y en donde el objetivo es un usuario del sistema de reconocimiento de gestos, y en donde el sistema sensor comprende además un sistema de procesamiento para procesar la imagen en 3D del usuario para reconocer un gesto del usuario.

16. El sistema sensor de la reivindicación 11, en donde el filtro óptico se dispone directamente sobre el sensor.

17. El sistema sensor de la reivindicación 11, en donde el filtro óptico comprende más de una cavidad.

10

15

20

25

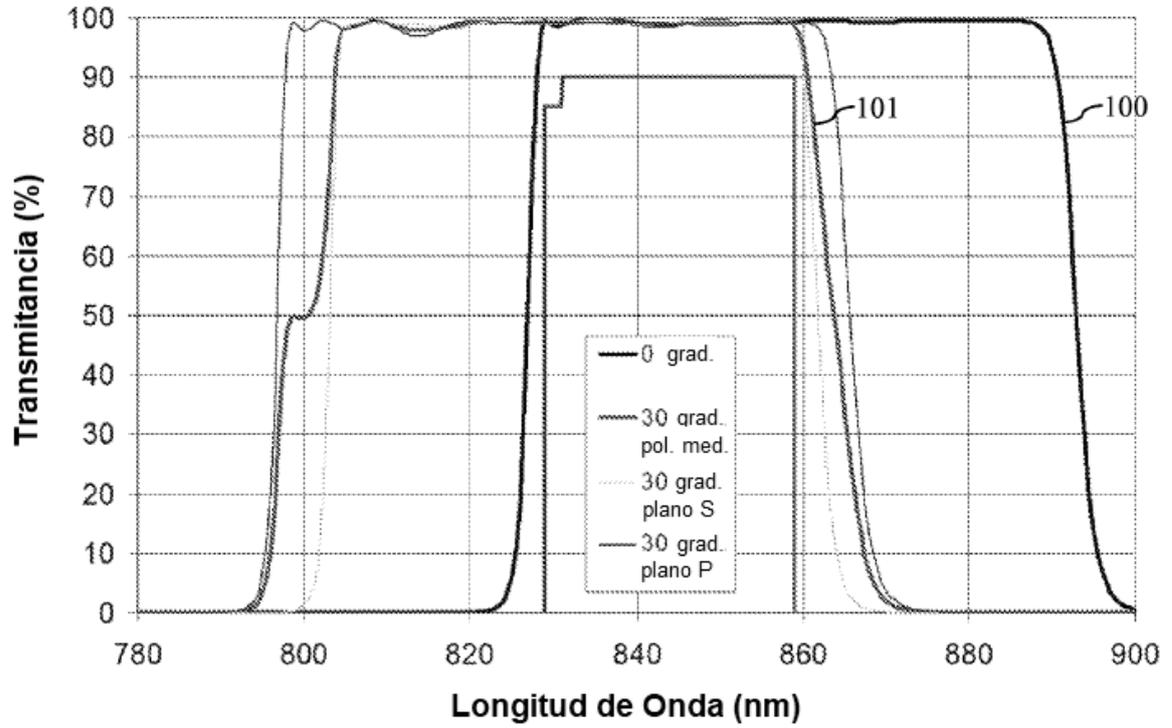


FIG. 1
TÉCNICA ANTERIOR

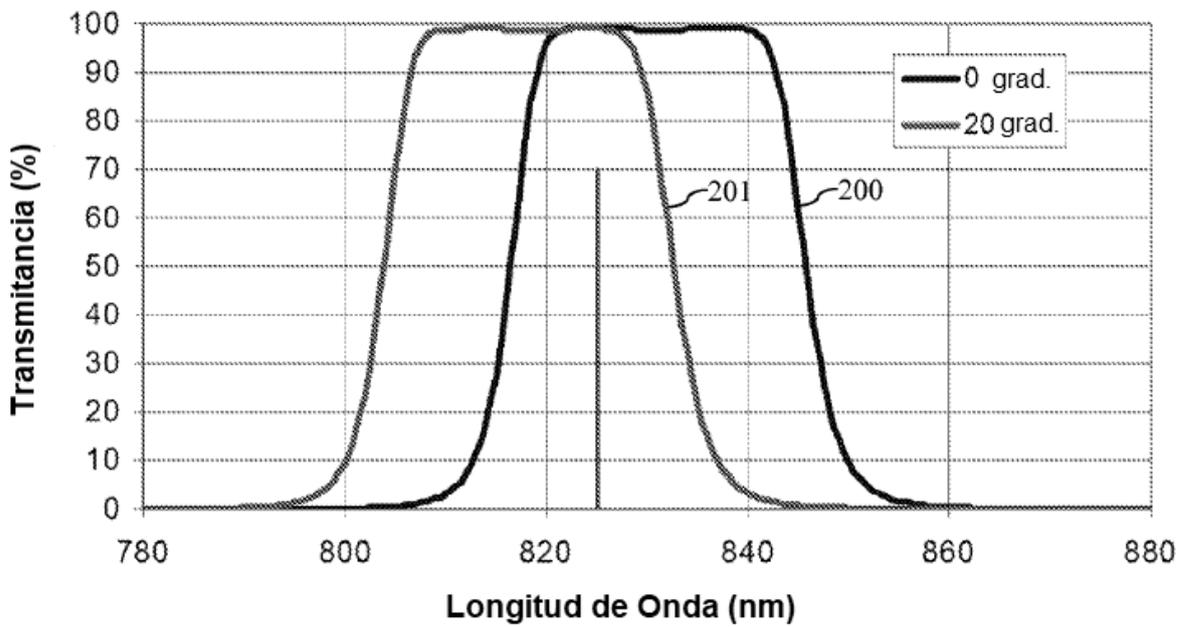


FIG. 2
TÉCNICA ANTERIOR

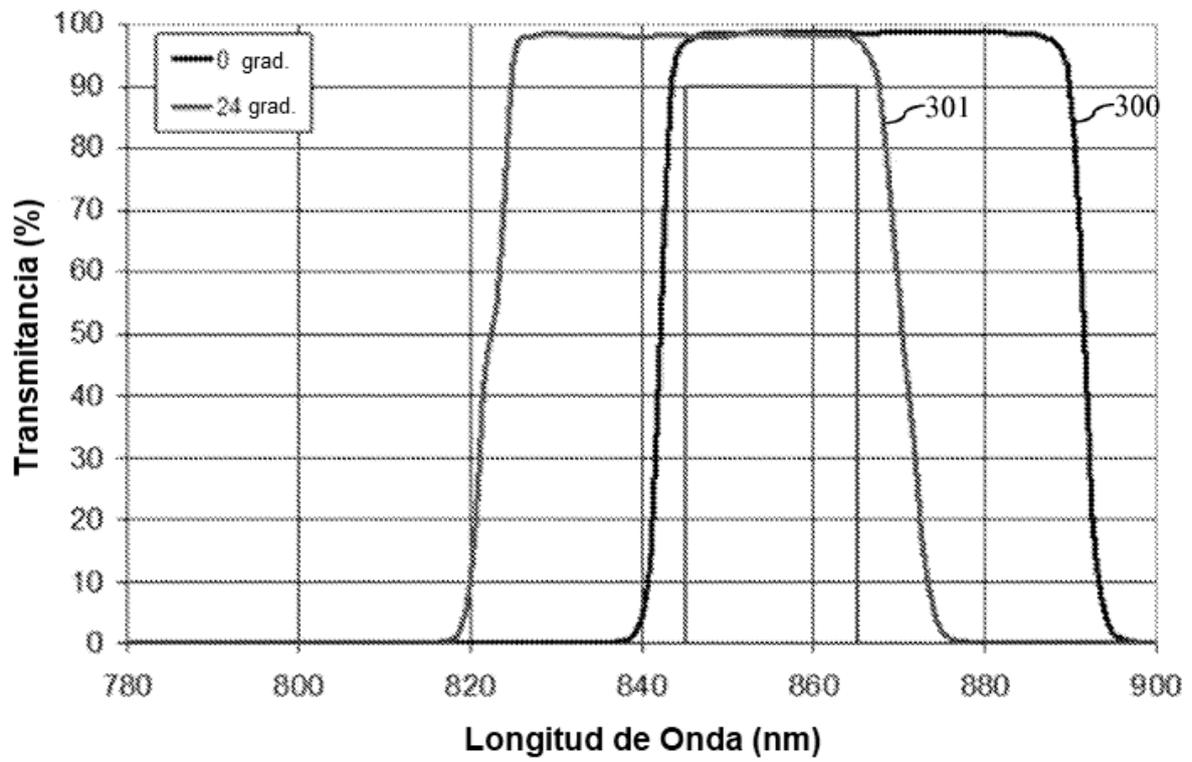


FIG. 3
TÉCNICA ANTERIOR

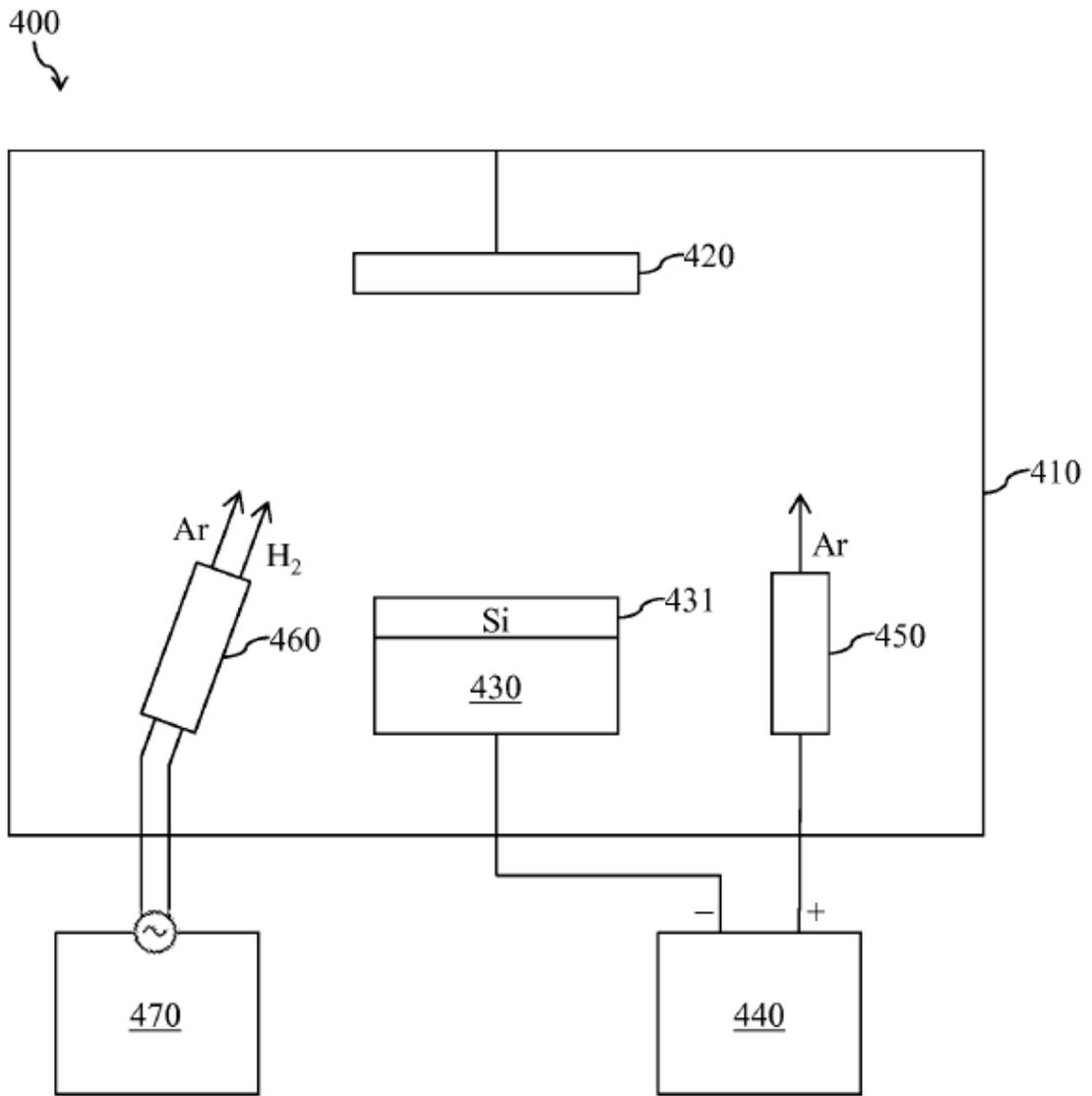


FIG. 4

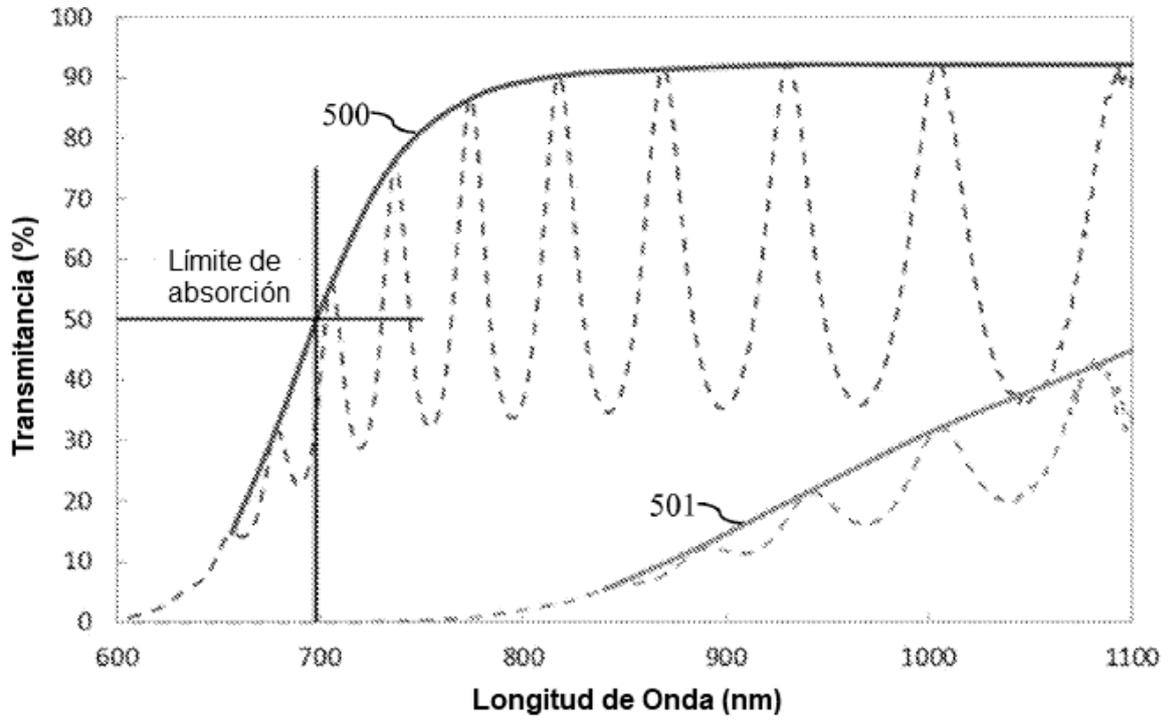


FIG. 5A

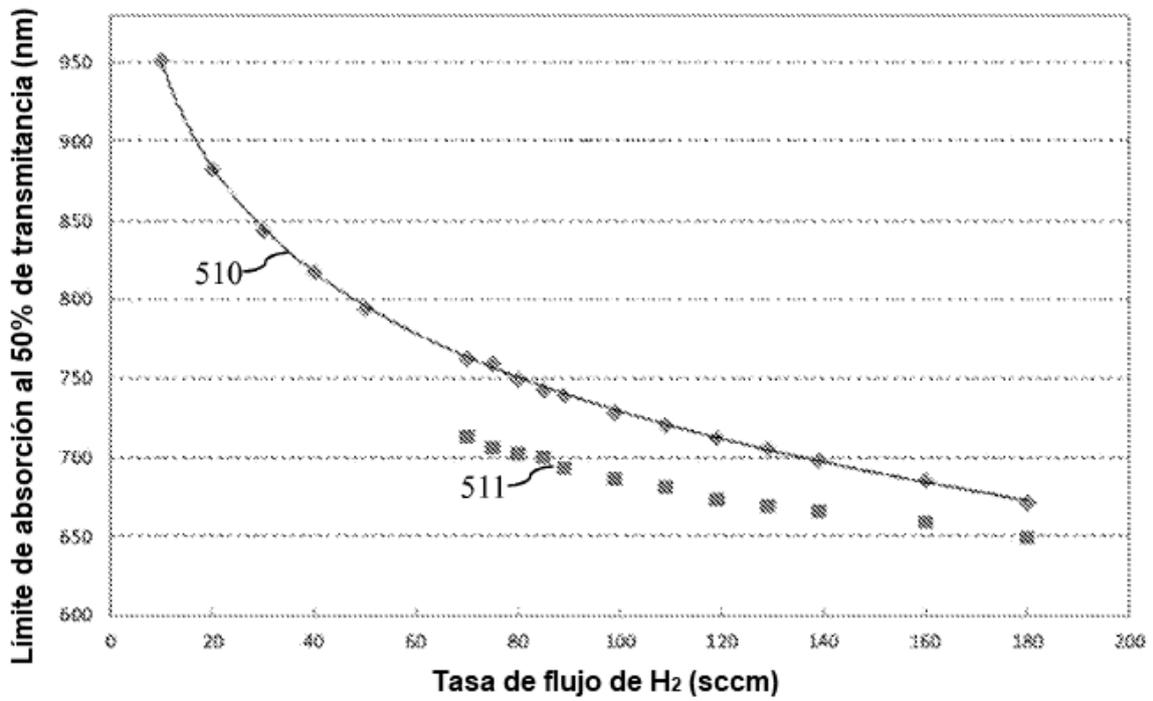


FIG. 5B

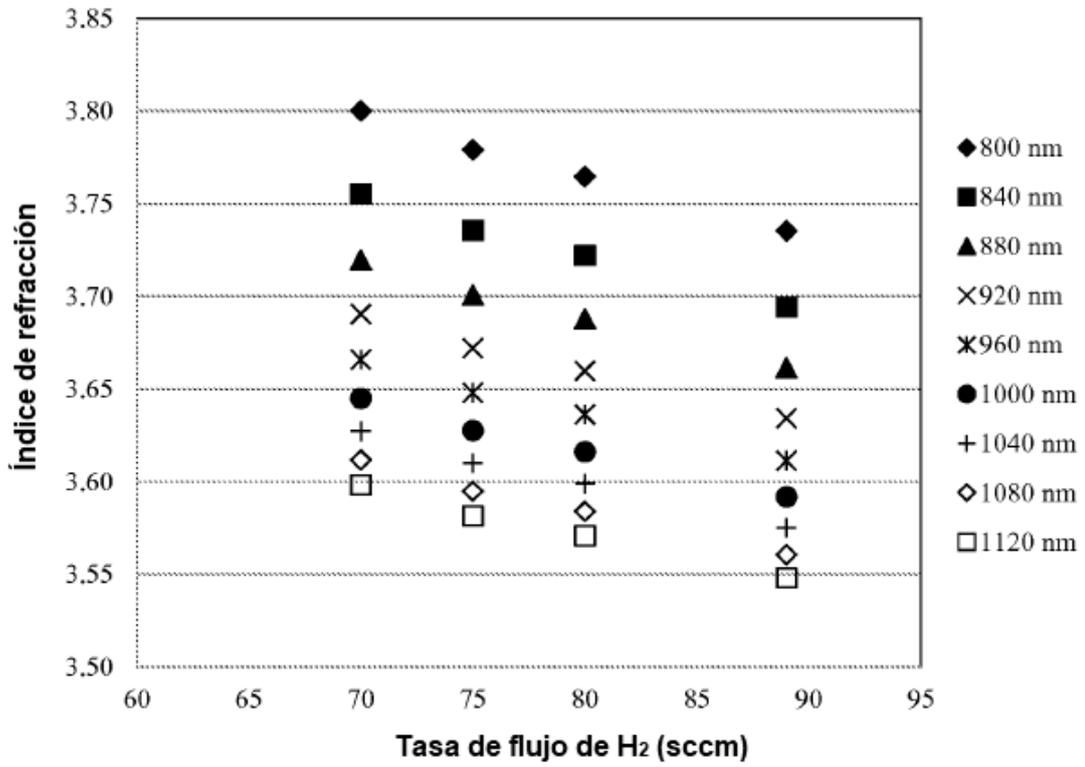


FIG. 5C

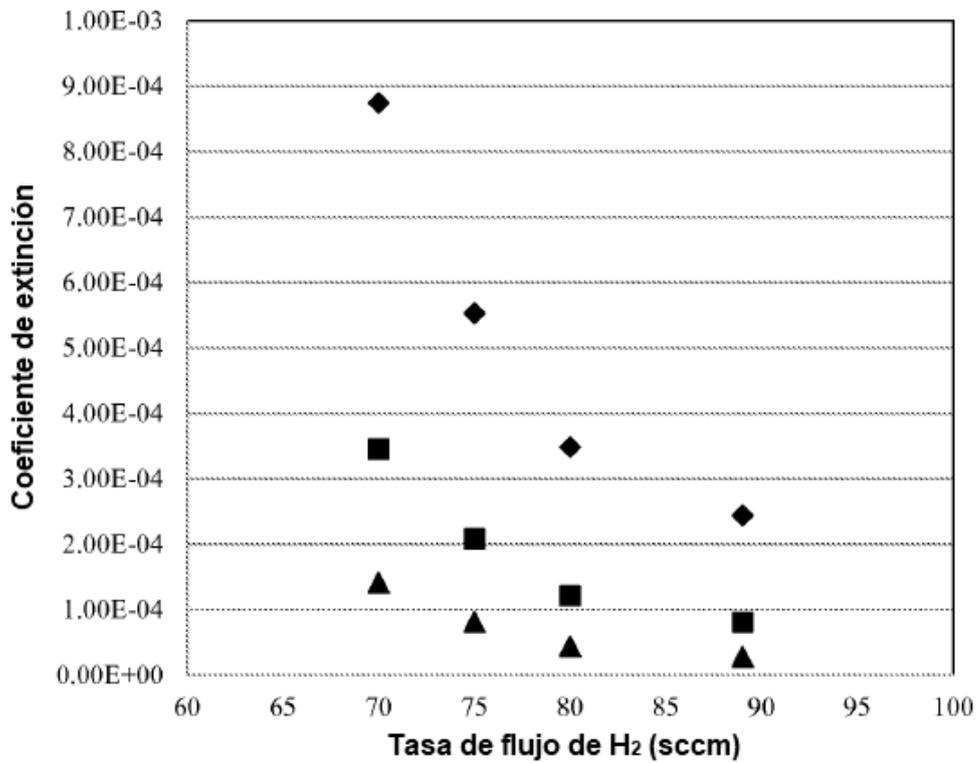


FIG. 5D

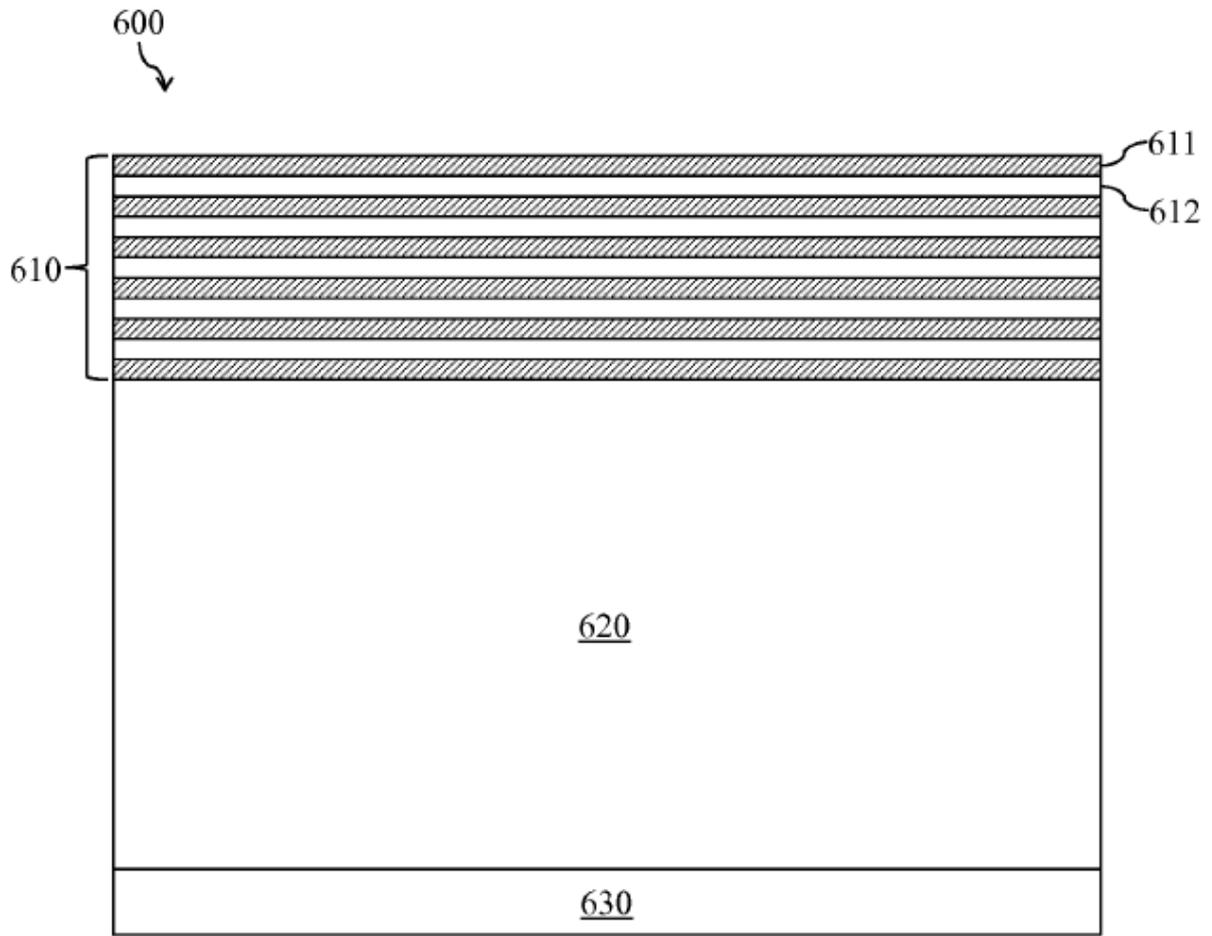


FIG. 6

| Comparación del Primer Filtro Óptico Convencional y el Primer Filtro Óptico Ejemplar | | |
|--|-----------------------------------|-------------------------------|
| Propiedad | Primer Filtro Óptico Convencional | Primer Filtro Óptico Ejemplar |
| FWHM (nm) | 66.0 | 46.5 |
| Desplazamiento de la longitud de onda central, de 0° a 30° (nm) | -29.1 | -12.2 |
| Transmitancia de fondo para cuerpo negro a 2856 k (%) | 14.8 | 9.75 |
| Espesor total del recubrimiento (nm) | 24432 | 5688 |

FIG. 7A

| Recubrimiento AR del Primer Filtro Óptico Ejemplar | | |
|--|--------------------------------|--------------|
| Capa N° | Material | Espesor (nm) |
| 1 | SiO ₂ | 153.5852 |
| 2 | Ta ₂ O ₅ | 32.39649 |
| 3 | SiO ₂ | 47.88567 |
| 4 | Ta ₂ O ₅ | 112.6954 |
| 5 | SiO ₂ | 146.4009 |

FIG. 7B

| Pila de Filtro del Primer Filtro Óptico Ejemplar | | | | | |
|--|------------------|--------------|---------|------------------|--------------|
| Capa Nº | Material | Espesor (nm) | Capa Nº | Material | Espesor (nm) |
| 1 | Si:H | 12.06225 | 25 | Si:H | 123.9279 |
| 2 | SiO ₂ | 207.0239 | 26 | SiO ₂ | 73.3697 |
| 3 | Si:H | 112.2893 | 27 | Si:H | 92.284 |
| 4 | SiO ₂ | 131.3289 | 28 | SiO ₂ | 93.71968 |
| 5 | Si:H | 58.57214 | 29 | Si:H | 57.99244 |
| 6 | SiO ₂ | 123.472 | 30 | SiO ₂ | 129.6102 |
| 7 | Si:H | 121.8488 | 31 | Si:H | 118.8611 |
| 8 | SiO ₂ | 62.37868 | 32 | SiO ₂ | 121.0311 |
| 9 | Si:H | 94.08999 | 33 | Si:H | 58.78395 |
| 10 | SiO ₂ | 91.40882 | 34 | SiO ₂ | 126.8949 |
| 11 | Si:H | 68.58871 | 35 | Si:H | 27.06202 |
| 12 | SiO ₂ | 97.34483 | 36 | SiO ₂ | 265.4308 |
| 13 | Si:H | 126.2579 | 37 | Si:H | 107.9248 |
| 14 | SiO ₂ | 65.22393 | 38 | SiO ₂ | 103.3531 |
| 15 | Si:H | 87.89165 | 39 | Si:H | 33.0597 |
| 16 | SiO ₂ | 95.32283 | 40 | SiO ₂ | 225.0774 |
| 17 | Si:H | 68.92315 | 41 | Si:H | 32.91478 |
| 18 | SiO ₂ | 96.5938 | 42 | SiO ₂ | 284.8275 |
| 19 | Si:H | 126.1687 | 43 | Si:H | 90.36095 |
| 20 | SiO ₂ | 66.16271 | 44 | SiO ₂ | 79.30571 |
| 21 | Si:H | 88.58283 | 45 | Si:H | 55.39493 |
| 22 | SiO ₂ | 96.5938 | 46 | SiO ₂ | 247.4205 |
| 23 | Si:H | 63.19303 | 47 | Si:H | 95.3999 |
| 24 | SiO ₂ | 103.7141 | 48 | SiO ₂ | 285.9541 |

FIG. 7C

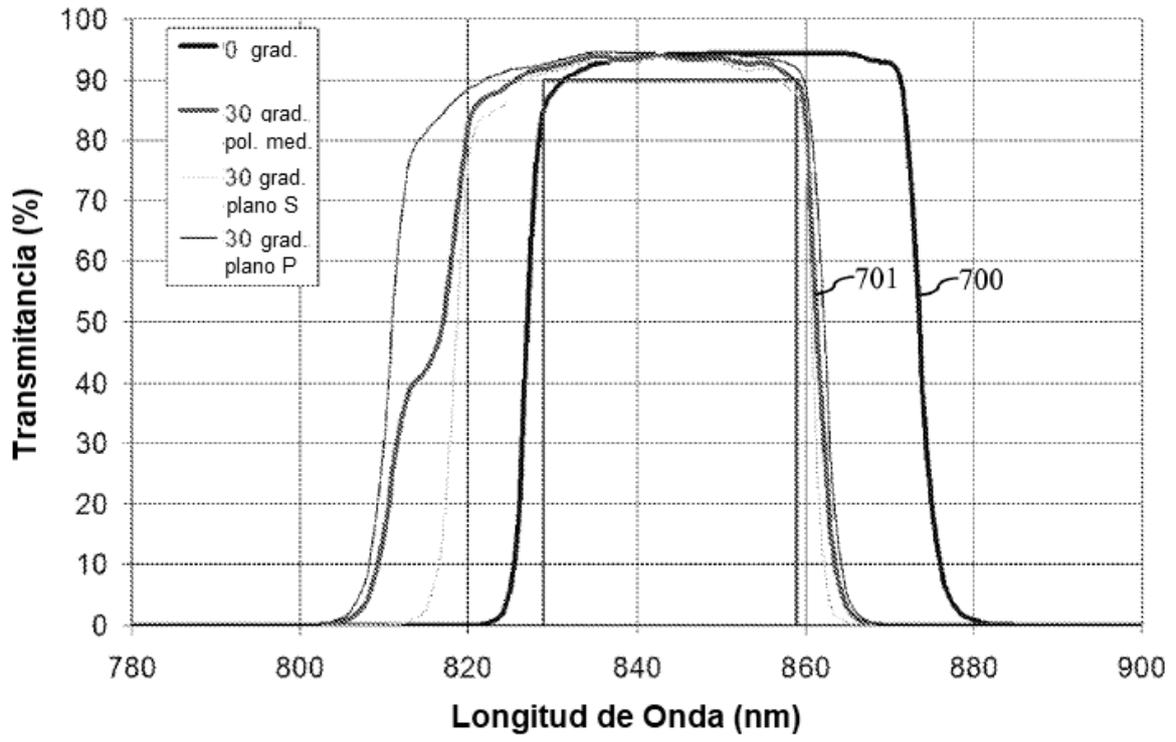


FIG. 7D

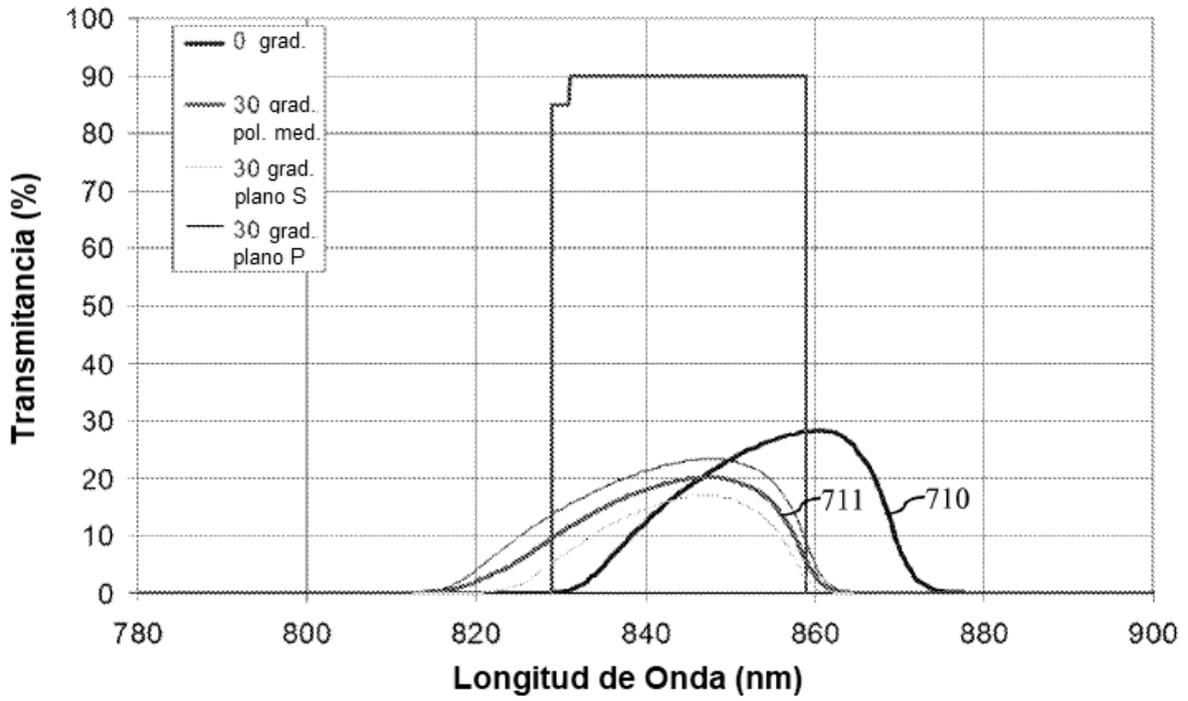


FIG. 7E

| Comparación del Segundo Filtro Óptico Convencional y el Segundo Filtro Óptico Ejemplar | | |
|--|------------------------------------|--------------------------------|
| Propiedad | Segundo Filtro Óptico Convencional | Segundo Filtro Óptico Ejemplar |
| FWHM (nm) | 29.1 | 29.6 |
| Desplazamiento de la longitud de onda central, de 0° a 20° (nm) | -12.7 | -7.8 |
| Transmitancia de fondo para cuerpo negro a 2856 k (%) | 5,84 | 5,54 |
| Espesor total del recubrimiento (nm) | 13780 | 3312 |

FIG. 8A

| Pila de Filtro del Segundo Filtro Óptico Ejemplar | | | | | |
|---|------------------|--------------|-----------|------------------|--------------|
| Capa Nº . | Material | Espesor (nm) | Capa Nº . | Material | Espesor (nm) |
| 1 | SiO ₂ | 169.8593 | 14 | Si:H | 42.95783 |
| 2 | Si:H | 25.36196 | 15 | SiO ₂ | 151.3625 |
| 3 | SiO ₂ | 169.8593 | 16 | Si:H | 108.6165 |
| 4 | Si:H | 108.6165 | 17 | SiO ₂ | 141.1964 |
| 5 | SiO ₂ | 141.1964 | 18 | Si:H | 54.30826 |
| 6 | Si:H | 54.30826 | 19 | SiO ₂ | 173.3892 |
| 7 | SiO ₂ | 173.3892 | 20 | Si:H | 22.70085 |
| 8 | Si:H | 22.70085 | 21 | SiO ₂ | 173.3892 |
| 9 | SiO ₂ | 173.3892 | 22 | Si:H | 108.6165 |
| 10 | Si:H | 108.6165 | 23 | SiO ₂ | 155.1748 |
| 11 | SiO ₂ | 141.1964 | 24 | Si:H | 38.8304 |
| 12 | Si:H | 54.30826 | 25 | SiO ₂ | 155.1748 |
| 13 | SiO ₂ | 151.3625 | | | |

FIG. 8B

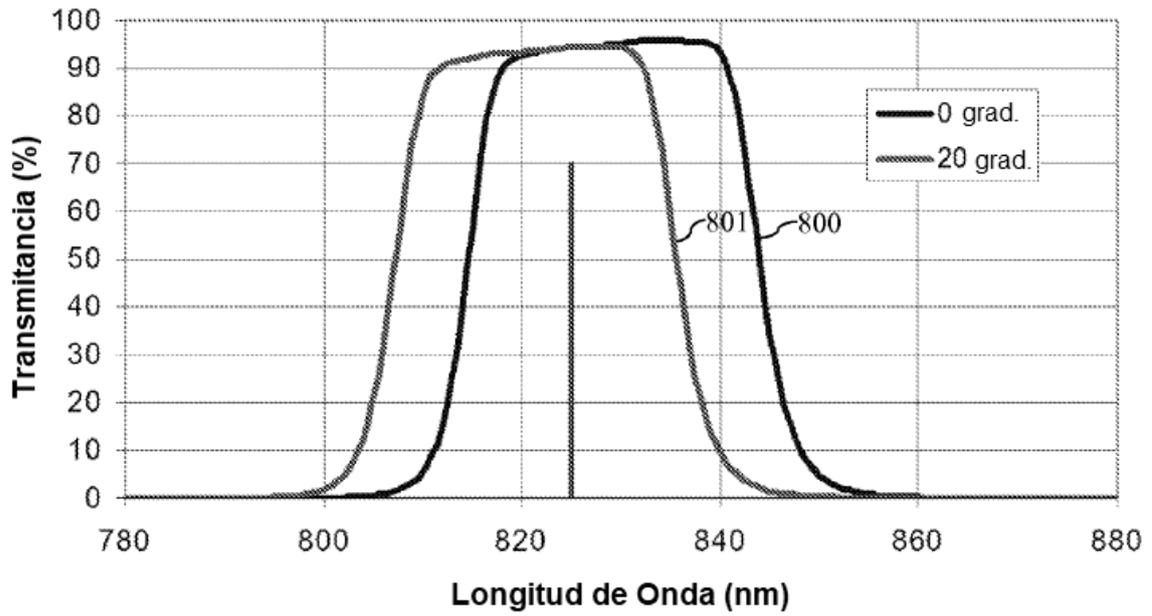


FIG. 8C

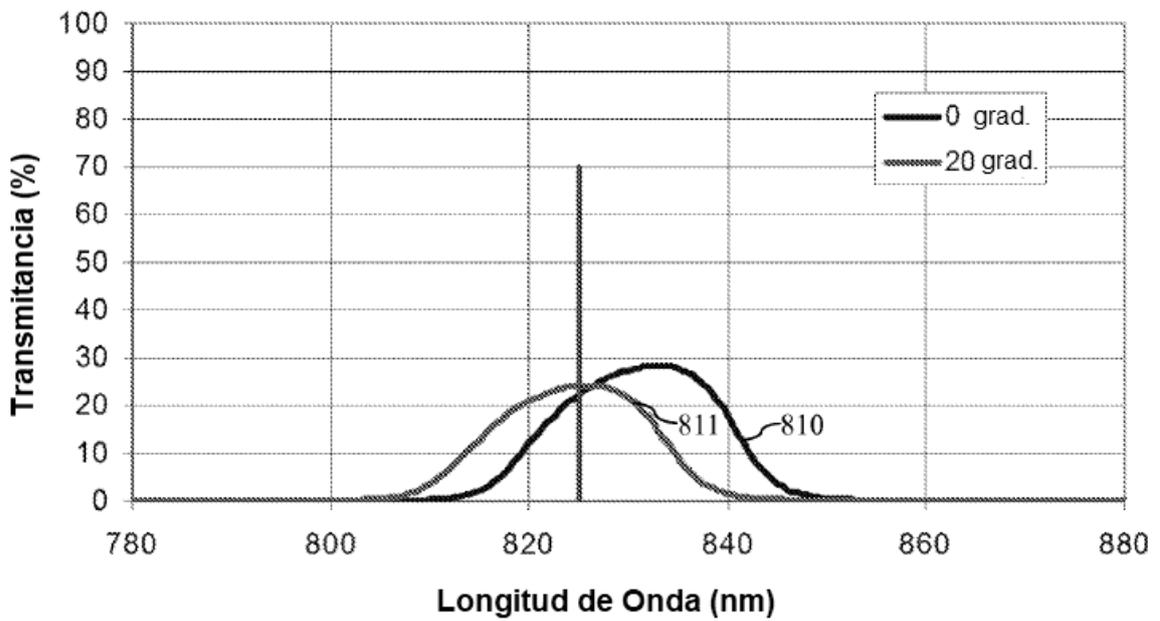


FIG. 8D

| Pila de Filtro del Tercer Filtro Óptico Ejemplar | | | | | |
|--|------------------|--------------|-----------|------------------|--------------|
| Capa N° . | Material | Espesor (nm) | Capa N° . | Material | Espesor (nm) |
| 1 | Si:H | 48.99656 | 16 | SiO ₂ | 144.9036 |
| 2 | SiO ₂ | 27.72806 | 17 | Si:H | 172.5048 |
| 3 | Si:H | 261.865 | 18 | SiO ₂ | 144.8237 |
| 4 | SiO ₂ | 175.7108 | 19 | Si:H | 229.229 |
| 5 | Si:H | 67.55759 | 20 | SiO ₂ | 131.8658 |
| 6 | SiO ₂ | 48.09467 | 21 | Si:H | 77.24942 |
| 7 | Si:H | 245.3538 | 22 | SiO ₂ | 139.1643 |
| 8 | SiO ₂ | 157.5898 | 23 | Si:H | 225.9625 |
| 9 | Si:H | 53.78669 | 24 | SiO ₂ | 115.736 |
| 10 | SiO ₂ | 117.5423 | 25 | Si:H | 97.86642 |
| 11 | Si:H | 234.1488 | 26 | SiO ₂ | 170.7001 |
| 12 | SiO ₂ | 146.2907 | 27 | Si:H | 232.4637 |
| 13 | Si:H | 172.8534 | 28 | SiO ₂ | 168.9233 |
| 14 | SiO ₂ | 143.1595 | 29 | Si:H | 118.3322 |
| 15 | Si:H | 230.0482 | | | |

FIG. 9A

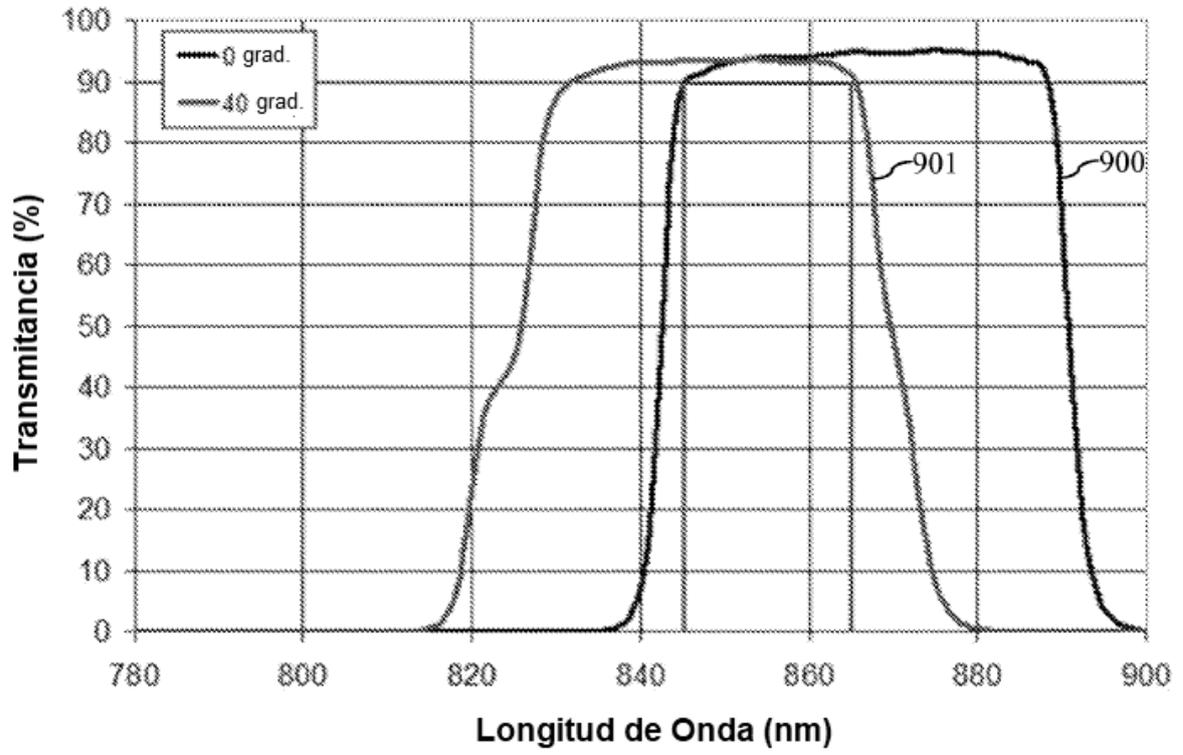


FIG. 9B

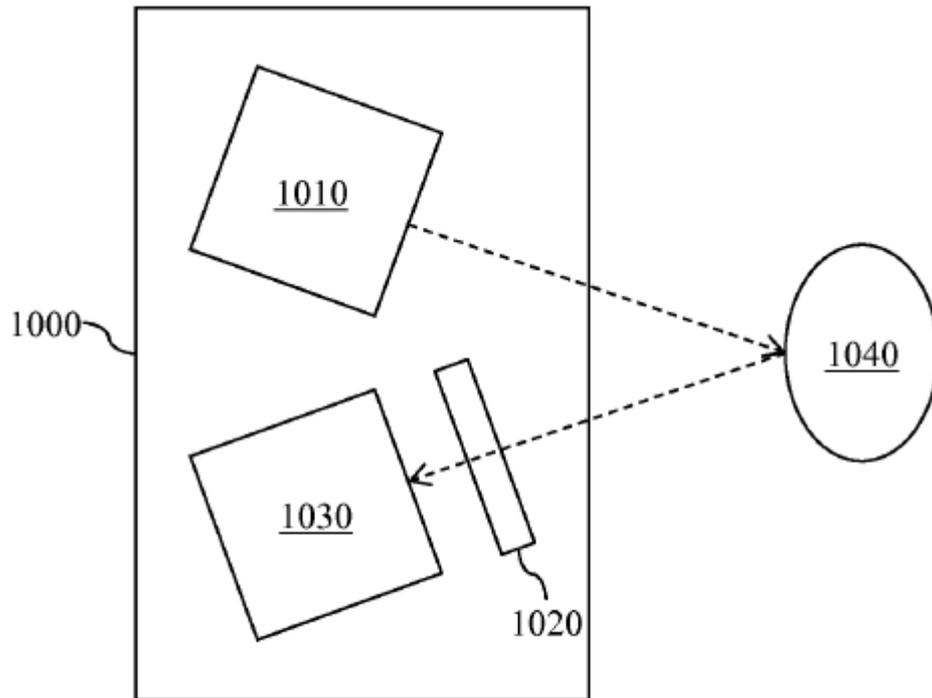


FIG. 10