

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 730 053**

51 Int. Cl.:

**B29C 64/135** (2007.01)

**B29D 11/00** (2006.01)

**B33Y 10/00** (2015.01)

**B33Y 80/00** (2015.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.10.2015 PCT/IB2015/057660**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.05.2016 WO16075563**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.10.2015 E 15787677 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.03.2019 EP 3218166**

54 Título: **Producción de lentes para gafas mediante técnicas aditivas**

30 Prioridad:

**11.11.2014 US 201414538242**

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

**07.11.2019**

73 Titular/es:

**INDIZEN OPTICAL TECHNOLOGIES S.L. (100.0%)  
Calle Santa Engracia, 6, Planta 1  
28010 Madrid, ES**

72 Inventor/es:

**VÁZQUEZ, DANIEL CRESPO;  
FÉRNANDEZ, JOSÉ ALONSO;  
QUIROGA, JUAN ANTONIO;  
MCKENZIE, ANDREW JOHN y  
AMBLER, DAVID MARK**

74 Agente/Representante:

**MONZON DE LA FLOR, Luis Miguel**

ES 2 730 053 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**

Producción de lentes para gafas mediante técnicas aditivas

**5 Antecedentes de la invención****Campo de la invención**

10 El campo de la presente invención se refiere en general a los procedimientos de producción de lentes para gafas, particularmente lentes acabadas y lentes en bruto mediante técnicas aditivas en lugar de la eliminación del exceso de material.

**Descripción de la técnica relacionada**

15 Las lentes para gafas de prescripción se usan comúnmente para corregir errores de la visión humana, aberraciones y deficiencias de enfoque causadas por genética, edad, enfermedad u otros factores. Además de corregir los problemas fisiológicos de la visión, las lentes para gafas pueden usarse como accesorio de moda o para proteger los ojos de peligros o molestias.

20 Las lentes para gafas de prescripción deben estar preparadas para cumplir con las necesidades de visión específicas de cada individuo. A lo largo de los años se han desarrollado diversas técnicas para lograr este objetivo. Una técnica común consiste en almacenar u obtener lentes en bruto semiacabadas que forman una serie de bloques iniciales con curvaturas superficiales discretas, de modo que solo es necesario dar forma a un lado del bruto para lograr la prescripción dada. Luego, la lente revestida debe ser pulida hasta obtener un acabado óptico y se le debe recortar el borde según la forma de la montura de las gafas seleccionada individualmente. Este proceso puede llevar mucho tiempo. Más recientemente, otra técnica de revestimiento digital de lentes que usa maquinado controlado por ordenador ha ganado importancia. El revestimiento digital a menudo requiere solo un número limitado de lentes en bruto semiacabadas u otras piezas de lentes de inicio, pero el equipo de revestimiento controlado por ordenador permite preparar prescripciones más complejas (por ejemplo, multifocales) o individualizadas. Este procedimiento puede implicar gastos significativos en equipo y personal capacitado.

35 Cada una de estas técnicas podría describirse como procedimientos de producción sustractiva, en los que se elimina el exceso de material de la lente para crear la prescripción o las propiedades deseadas de la lente. En dichos procedimientos, a menudo hay una cantidad significativa de material de desecho que debe manipularse, almacenarse y eliminarse de manera segura.

40 Otra técnica implica almacenar u obtener lentes acabadas que solo se ajustarán a la montura de las gafas seleccionada por el individuo. Esta técnica genera menos material de desecho en la función de ajuste final. Sin embargo, las lentes acabadas normalmente solo aproximan las prescripciones en incrementos de 0,25 D de las correcciones de esfera y cilindro y, por lo tanto, pueden ser menos exactas para la corrección de la vista. Incluso si se almacenan en dichos incrementos de 0,25 D, el número de unidades almacenadas necesarias para cubrir la amplia gama de prescripciones que un profesional de la salud visual necesitará es enorme. Por lo tanto, o bien se requiere un inventario muy extenso, o bien solo se almacena una pequeña gama de prescripciones, por lo general aquellas que se dispensan con mayor frecuencia. Estos inconvenientes contrarrestan las ventajas de procesamiento que pueden lograrse con lentes acabadas.

50 Sería deseable entonces, si se pudieran idear procedimientos alternativos para la preparación de lentes para gafas. Las técnicas aditivas pueden presentar otra opción. Algunos desarrollos iniciales de técnicas de tipo aditivo han sido descritos en la técnica anterior, pero todavía requieren el uso de al menos una superficie de moldeo adicional. Por ejemplo, las patentes de EE. UU. N.º 4,873,029, 5,178,800 y 7,002,744 B2 describen procedimientos para producir diversas piezas ópticas colocando lentes o formas preexistentes a distancias conocidas y controladas desde una superficie de moldeo para formar una cavidad de formación de lentes, colocando material líquido formador de lentes en la cavidad, y solidificando el material formador de lente sobre la lente o forma preexistente para formar una nueva parte óptica compuesta cuando se retira la superficie de moldeo. Sin embargo, estas técnicas aún requieren al menos una superficie de moldeo de precisión para la fabricación, y esa superficie de moldeo debe prepararse, almacenarse y mantenerse adecuadamente para lograr una producción de calidad óptica consistente y aceptable. El documento WO-A-2014049273 describe un procedimiento para producir una lente mediante la fabricación adicional de un elemento óptico complementario mediante el depósito de una pluralidad de elementos de volumen predeterminados de material sobre un sustrato de fabricación. El elemento óptico complementario se ensambla con un sistema óptico inicial para formar una lente oftálmica.

60 Otras técnicas aditivas como las basadas en estereolitografía, deposición por fusión, chorro de tinta u otros avances de impresión en 3-D pueden ser de interés. Muchas de ellas requieren un soporte sobre el que construir la parte tridimensional deseada. A menudo estos soportes son plataformas planas, que no son intrínsecamente adecuadas para lentes para gafas de prescripción. Además, la mayoría de los soportes se retiran o separan cuidadosamente del objeto impreso final, actuando solo como base sobre la que construir el objeto deseado. Se han producido algunos desarrollos para la producción de lentes de contacto flexibles mediante este tipo de técnicas. Por ejemplo, las

patentes estadounidenses N.º 7,905,594 B2, 8240849 B2, 8,313,828 B2, 8,318,055 B2 y el documento EP 2265430 B1 describen el uso de un molde de precisión o de una óptica formadora como la plataforma removible sobre la que se construyen las lentes de contacto. En estas descripciones, la óptica formadora es una estructura formada con precisión sobre la que se construye la parte tridimensional, y que está diseñada para impartir su forma, mediante replicación, a la parte tridimensional. La energía de irradiación que causa la polimerización de la solución reactiva se dirige a través del molde de precisión u óptica formadora para construir la pieza contra el molde o la superficie óptica de precisión de la óptica formadora. La parte oftálmica o la lente de contacto se retiran luego del molde u óptica formadora, para proporcionar, por replicación, un acabado de superficie óptica y la curvatura de la lente deseada en la superficie de la parte 3D que estaba en contacto con el molde o la óptica formadora. En otra estrategia, la patente de Estados Unidos N.º 7,235,195 B2 describe lentes de contacto producidas por estereolitografía sobre un baño de líquido, específicamente sin el uso de ningún molde o soporte. Todas las características de la lente deseada se crean mediante la polimerización controlada espacialmente de la superficie del baño líquido a través de la exposición a radiación, preferentemente desde dos haces en ángulos diferentes.

Sin embargo, algunas desventajas de la producción de aditivos dificultan la implementación de estas técnicas para las lentes para gafas. Muchas de estas técnicas todavía requieren el uso de al menos un molde de precisión o una óptica formadora costosa y sensible (colectivamente, estructura moldeadora externa) con el fin de obtener la forma o el acabado superficial deseado en la parte aditiva creada. Además, dichas estructuras moldeadoras externas deben ser lo suficientemente robustas como para permitir la eliminación sin daños de la pieza creada, y preferentemente, permitir la reutilización para hacer múltiples piezas con la misma estructura moldeadora externa de precisión. Otras preocupaciones con respecto a la producción de aditivos incluyen los costes, el tiempo y la complejidad de la colocación de precisión y el control de la deposición del material, en particular, para las capas agregadas. Las lentes para gafas requieren mucho más material que las lentes de contacto o los implantes intraoculares y, por lo tanto, agravan estas desventajas. Además, los materiales adecuados para la producción de aditivos de uso general, las piezas de plástico no ópticas, o incluso los materiales adecuados para lentes de contacto pequeñas, finas y flexibles, pueden no combinar las propiedades ópticas y estructurales necesarias para las lentes que se montarán en monturas de gafas. Sin embargo, los esfuerzos hacia mejoras y nuevos inventos en el campo de las técnicas de producción aditiva están justificados dadas las ventajas potenciales de estos procedimientos.

### **Breve resumen de la invención**

La invención está dirigida al uso de un sustrato de lente óptica existente como estructura inicial sobre la cual se construyen características oftálmicas específicas mediante técnicas de producción aditiva. A diferencia de otras estrategias de fabricación aditiva, el sustrato de lente se convierte en una parte integral de la lente para gafas definitiva, y los procesos de producción aditiva se usan para cambiar sus características ópticas y físicas y crear una lente para gafas adaptada a las necesidades específicas del usuario. La invención está definida por un procedimiento según la reivindicación 1.

Preferentemente, el sustrato de lente se selecciona de entre lentes en bruto acabadas, lentes en bruto semiacabadas, lentes en bruto planas, lentes planas con bordes recortados y lentes acabadas con bordes recortados. El sustrato de lente comprende por lo menos una primera y una segunda superficie, una de las cuales se colocará más cercana al ojo y una que se colocará más alejada del ojo cuando se use.

El proceso incluye el cálculo de las modificaciones necesarias para convertir la potencia óptica del sustrato de lente a la potencia óptica deseada para la lente para gafas a medida y luego generar un diseño de material agregado para lograr estas modificaciones mediante la adición selectiva de material al sustrato de lente. En otra realización de la invención, además de modificar la potencia óptica, el diseño de material agregado se calcula y se genera para modificar otras propiedades ópticas del sustrato de lente para lentes para gafas a medida, tales como prisma, aumento, aberración oblicua, distribución de potencia a diferentes ubicaciones en la lente, campo de visión individual, ángulo de visión individual para visión de cerca, descentrado, distancia del vértice posterior, forma de la montura, ángulo de ajuste de la montura de las gafas e inclinación de la montura de las gafas. El diseño de material agregado puede agregar opcionalmente otras características o propiedades a la lente a medida, así como potencia óptica.

Se crearon nuevas técnicas aditivas que emplean material(es) fluido(s) polimerizable(s) por radiación e irradiación selectiva de esos materiales para polimerizar el material solo en áreas seleccionadas de irradiación conforme al diseño calculado y generado del material agregado. De esta manera, se forman nuevas superficies o estructuras en el sustrato de lente para proporcionar las propiedades deseadas de la lente para gafas a medida. En estas técnicas, la irradiación se produce por la radiación de un conjunto de irradiación que comprende al menos un haz de irradiación. El intervalo de longitud de onda, la energía y la distribución espacial del haz de irradiación se controlan de tal manera que el material polimerizable por radiación polimeriza solo en un área seleccionada conforme al diseño de material agregado. En una realización preferida, se controla la posición espacial el área de irradiación con respecto a la superficie del sustrato de lente, y el material agregado se une de manera integral al sustrato de lente. Ventajosamente, estas nuevas técnicas aditivas no requieren ni utilizan estructuras moldeadoras externas, como moldes u ópticas formadoras.

En una realización preferida, se controla la posición espacial del área de irradiación con respecto al sustrato de lente moviendo el sustrato de lente.

5 En una realización, solo una superficie del sustrato entra en contacto con el volumen del material fluido polimerizable por radiación. En otra realización, una superficie del sustrato de lente está cubierta o protegida por un material protector de tal manera que el material fluido polimerizable por radiación solo entra en contacto con la superficie desprotegida del sustrato. En otra realización preferida, la zona de contacto con el material fluido polimerizable por radiación antes de su irradiación está limitada a una zona pequeña de la superficie del sustrato de lente. En otra realización preferida, el material fluido polimerizable por radiación entra en contacto con la primera y la segunda superficie del sustrato, ya sea de manera simultánea o secuencial.

15 Un procedimiento para establecer un contacto entre el sustrato de lente y una fuente a granel del material fluido polimerizable por radiación que no es conforme la invención consiste en sumergir el sustrato en el material. Según la invención, la fuente a granel de material fluido polimerizable por radiación se suministra a través de un tubo de suministro exterior que rodea el conjunto de irradiación para entrar en contacto con el sustrato de lente. En otra realización preferida, el conjunto de irradiación está en contacto con el material fluido polimerizable por radiación durante la irradiación, y el conjunto comprende una carcasa protectora y una placa de cubierta.

20 En una realización preferida, la orientación del sustrato de lente con respecto al material polimerizable por radiación puede controlarse con relación al material fluido polimerizable por radiación. En una realización preferida, el sustrato de lente se monta en un soporte que comprende uno o más controles de posición y movimiento; en una realización preferida adicional, estos controles de posición y movimiento se seleccionan entre el movimiento de traslación a lo largo del eje X, el eje Y y/o el eje Z, y el movimiento rotacional en ángulo  $\alpha$  alrededor del eje X. En otra realización preferida, el sustrato de lente se mueve con respecto al material fluido polimerizable por radiación a medida que el material entra en contacto y/o se irradia. En otra realización preferida, el sustrato de lente se está moviendo en un ángulo no perpendicular con respecto al material fluido polimerizable por radiación mientras se está estableciendo contacto con y/o irradiando el material; esto es particularmente preferido con el procedimiento de inmersión para poner en contacto el sustrato de lente con el material fluido. En otra realización preferida, el ángulo, la velocidad y/o la dirección del movimiento del sustrato de lente varía mientras el material fluido polimerizable por radiación se pone en contacto y/o se irradia. En otra realización preferida, mover el sustrato de lente durante la irradiación comprende además formar el material agregado de manera que se suavicen las características tales como el borde del material agregado, los defectos del material agregado, los defectos en una superficie del sustrato de lente o las discontinuidades en la superficie del sustrato de lente.

35 En otra realización preferida, el sustrato de lente se monta en un soporte con uno o más controles de posición y movimiento. Estos controles se usan para controlar la orientación y/o el movimiento del sustrato de lente con respecto al material fluido polimerizable por radiación mientras entra en contacto con la fuente a granel del material fluido.

40 En una realización preferida, la radiación que se usa para irradiar el material fluido polimerizable por radiación se selecciona a partir de energía térmica, de microondas, de radiofrecuencia, ultravioleta, visible e infrarroja.

45 En una realización preferida, el material agregado tiene propiedades ópticas o físicas muy diferentes de las del sustrato de lente. En una realización preferida de la invención, las propiedades diferentes del material agregado se seleccionan de entre índice de refracción, valor de Abbe, resistencia a la abrasión, resistencia al impacto, resistencia a disolventes orgánicos, resistencia a las bases, Tg, color visible, transmitancia visible, transmitancia UV, conductividad eléctrica, polarización, y propiedades fotocromáticas.

50 En realizaciones preferidas de la invención, el material polimerizable por radiación comprende además componentes para adaptar las propiedades ópticas, mecánicas, químicas o físicas de la lente para gafas. En una realización preferida de la invención, los componentes se seleccionan de entre fotoiniciadores, iniciadores térmicos, absorbentes de UV, reflectores infrarrojos, colores visibles, colorantes, pigmentos, agentes fotocromáticos, agentes, agentes electrocromáticos, estabilizadores térmicos, materiales eléctricamente conductores, materiales de cristal líquido, partículas que absorben la luz, partículas que reflejan la luz, y materiales polarizantes activos o pasivos. En otra realización preferida de la invención, los componentes pueden incluir decoraciones, microópticas, partículas con propiedades que mejoran o modifican las propiedades físicas u ópticas del material polimerizable por radiación, sensores, transmisores o pantallas integrados.

#### 60 **Breve descripción de los dibujos**

Fig. 1 ilustra un ejemplo de un procedimiento de la descripción que incluye un procedimiento para medir las propiedades ópticas del material agregado y/o las propiedades ópticas combinadas del material agregado y el sustrato de lente, durante la producción de la lente para gafas a medida.

65 Fig. 2 ilustra otro procedimiento ejemplar de la descripción para producir una lente para gafas a medida.

Fig. 3 es una vista ampliada del conjunto de irradiación, del haz de irradiación, de la zona de contacto del material fluido polimerizable por radiación y del sustrato de lente, y del material agregado producido por el procedimiento de la Fig. 2.

5 Fig. 4 es otra vista ampliada del conjunto de irradiación, el haz de irradiación, la zona de contacto del material fluido polimerizable por radiación y el sustrato de lente, y el material agregado producido por el procedimiento de la Fig. 2, pero en otro intervalo de tiempo dentro del proceso.

Fig. 5 ilustra un procedimiento conforme a la invención.

10

Fig. 6 ilustra otro procedimiento alternativo de la descripción.

#### Descripción detallada de la invención

15 La presente invención se materializa en procedimientos aditivos para producir una lente para gafas poniendo en contacto un sustrato de lente existente con una fuente a granel de material fluido polimerizable por radiación e irradiando selectivamente el material fluido polimerizable por radiación de manera que se polimerice sobre el sustrato de lente conforme a un diseño específico calculado. De esta manera, la invención permite que se creen lentes para gafas a medida y de manera individual que tengan nuevas propiedades ópticas y físicas, según se  
20 desee, al construir sobre sustratos de lentes estándar.

En la solicitud pendiente con número de serie, 14/226,686, se describen estrategias de múltiples capas para lograr un cambio en las propiedades ópticas. Aquí se describe otra estrategia. Esta segunda estrategia según la invención  
25 agrega material de una manera más continua al poner el sustrato de lente en contacto con el material fluido polimerizable por radiación, y luego irradiar de manera selectiva y secuencial ese material para construir nuevas características en el sustrato de lente conforme al diseño calculado. En esta descripción, el diseño calculado se denominará diseño de material agregado. El material agregado incluye material fluido polimerizable por radiación que ha entrado en contacto con el sustrato de lente y ha sido irradiado selectivamente para polimerizarlo conforme al  
30 diseño de material agregado.

Las lentes para gafas son lentes oftálmicas que se usan delante de los ojos. Pueden ser lentes planas, de prescripción o sin prescripción. Dependiendo de las necesidades y deseos del individuo, pueden servir para uno o más propósitos, que incluyen corregir la visión, proporcionar protección o mejorar la comodidad de los ojos, o ser un accesorio de moda. Las lentes para gafas se montan comúnmente en estructuras diseñadas para sostener las lentes  
35 frente a los ojos del usuario. Dichas estructuras incluyen monturas de gafas, anteojos, cascos, viseras, porta lentes y otros dispositivos de montaje.

La presente invención aborda la necesidad de personalizar una lente para una persona específica. Esto puede proporcionar la prescripción correctiva de la visión del individuo y/o incluir otros atributos de lentes para gafas que la persona haya solicitado. Algunos ejemplos de otros atributos que la persona puede desear incluyen colores de moda o funcionales, respuesta fotocromática a la luz solar o mayor resistencia a la abrasión o al impacto. Además, el diseño óptico de la lente a medida puede seleccionarse u optimizarse para la configuración de la montura específica del individuo, las tareas específicas que realizará el usuario o la forma en que el individuo mueve sus ojos o cabeza para realizar las tareas deseadas. Por ejemplo, si se ha elegido una montura muy estrecha, pero el individuo tiene  
45 necesidad de corrección de la visión de cerca y de lejos, las lentes a medida deben acomodar ambas necesidades de visión dentro de un espacio muy limitado. Como otro ejemplo, si el objetivo de la lente para gafas a medida está diseñado para usarse principalmente mientras se mira un dispositivo de mano, la transmitancia de la lente y su proporción de áreas de prescripción para vista de cerca versus de lejos pueden ser bastante diferentes de las lentes a medida para ver de lejos durante la navegación. La presente invención proporciona procedimientos eficientes y  
50 prácticos para personalizar estas y otras lentes al combinar la fabricación conocida de lentes oftálmicas con técnicas innovadoras de producción de aditivos en 3D.

A diferencia de las técnicas anteriores que requieren el rectificado y el revestimiento de una lente para obtener las propiedades ópticas finales, la presente invención añade material de manera selectiva a un sustrato de lente  
55 suministrado previamente para crear la lente a medida. Esto elimina de manera ventajosa los residuos del material eliminado. A diferencia de otras técnicas aditivas anteriores, las técnicas de la invención para la adición material no requieren estructuras moldeadoras externas de las que se extrae el producto. Esto es ventajoso porque evita los altos costes iniciales de moldes adicionales o superficies de conformación óptica de alta calidad, el temor de dañar estas herramientas esenciales que podrían comprometer el moldeado y la fabricación posterior, y la complicación adicional del procesamiento con estas herramientas adicionales.  
60

Las técnicas aditivas de la invención comprenden al menos un cambio en la potencia óptica del sustrato de lente a una potencia óptica diferente deseada para la lente a medida. La técnica aditiva también puede comprender otros cambios ópticos, químicos o físicos entre el sustrato de lente y la lente a medida.  
65

Como ayuda para la comprensión, las Fig. 1-6 proporcionan ejemplos de realizaciones preferidas para llevar a cabo

la invención. Para facilitar la descripción, cualquier número que identifique un elemento en una figura representará el mismo elemento en cualquier otra figura.

Un sustrato de lente, elemento 11 en la Fig. 1, se obtiene para el uso en la invención. Muchos sustratos de lentes están disponibles en el mercado abierto de los fabricantes de lentes para gafas. Los expertos en la materia entenderán que los sustratos de lentes también pueden obtenerse produciendo los sustratos mediante diversos procedimientos de uno mismo o mediante contratación de la fabricación. Los sustratos de lente pueden fabricarse por muchos procedimientos diferentes, que incluyen procesos de termofijación, moldeo por inyección termoplástica o inyección-compresión, moldeo por inyección reactiva, técnicas controladas de remoción de material para dar forma o pulir una pieza inicial, técnicas aditivas para construir un sustrato, y otros procedimientos.

Los sustratos de lente están diseñados para tener al menos algunas de las propiedades esenciales requeridas para las lentes para gafas, pero pueden no estar completamente configurados con todos los atributos necesarios para el individuo, o pueden no ser del contorno final de la lente que se desea para el montaje. Los sustratos de las lentes pueden ser planos, esféricos curvos o tener una curvatura esférica sencilla o compleja. Sus superficies pueden contener discontinuidades, como secciones multifocales escalonadas, o curvaturas cambiantes, como rasgos progresivos o lenticulares.

Los ejemplos de sustratos para lentes típicos incluyen lentes en bruto que están hechos de materiales y diseños adecuados para lentes oftálmicas, pero que no tienen la forma definitiva para el uso de un usuario. Las lentes en bruto deben ser moldeadas o modificadas aún más para producir una potencia óptica con o sin prescripción, o para que quepan dentro de una montura de gafas. Muchas lentes en bruto para gafas tienen una superficie que está curvada o formada adecuadamente para montarlas en monturas de gafas y suministrar algunos atributos oftálmicos, pero la otra superficie opuesta debe ser pulida para cumplir con la potencia de prescripción requerida por el usuario individual. Dichas lentes en bruto para gafas son conocidas en la técnica como lentes en bruto "semiacabadas". Las lentes en bruto "acabadas" tienen ambas superficies preparadas para proporcionar una potencia óptica correctora de visión esférica y cilíndrica específica, pero estas lentes en bruto tienen diámetros más grandes que la mayoría de las monturas de las gafas, de modo que deben ser personalizadas hasta la forma y el tamaño finales necesarios para adaptarse a una montura elegida por un individuo. Otros sustratos de lentes adecuados para la invención incluyen lentes en bruto planas, que no tienen poder de corrección de la visión, pero pueden incluir otros atributos para gafas tales como color, polarización, resistencia al impacto de respuesta fotocromática u otras características que el individuo desee. Otros sustratos de lentes adecuados para la invención incluyen lentes con bordes recortados o lentes en bruto que se han conformado para adaptarse a la montura de gafas definitiva seleccionada. Dichas lentes con bordes recortados pueden tener una potencia óptica de visión correctiva o no tener potencia (planas).

Preferentemente, el sustrato de lente obtenido tendrá al menos algunos atributos deseados por el individuo para su lente para gafas a medida definitiva. Estos pueden ser tan básicos como los de un material de plástico o vidrio que no se deformará de manera inaceptable en la montura, o que no se degradará con demasiada rapidez en el uso. El sustrato de lente también puede proporcionar parte de la corrección de la visión deseada (por ejemplo, corrección de la distancia, pero sin casi añadir potencia). Como otros ejemplos, las lentes en bruto semiacabadas pueden proporcionar curvatura(s) inicial(es) para preparar la corrección de la visión, o una curvatura de lente adecuada para la configuración de la montura. El sustrato de lente también puede incluir características adicionales deseadas como, por ejemplo, polarización, color, color gradual, propiedades fotocromáticas, bloqueo de luz ultravioleta (UV) o infrarroja, partículas que absorben la luz o propiedades electrocromáticas. El sustrato de lente también puede comprender elementos activos de visualización, sensores, transmisores, decoraciones, microópticas u otras características. El sustrato de lente puede proporcionar algunas propiedades físicas deseadas, tales como resistencia fundamental al impacto, resistencia a la abrasión, estabilidad térmica, índice de refracción deseado u otros atributos. El sustrato de lente también puede comprender otros elementos como películas, discos, insertos, dispositivos integrados u otros objetos. También pueden ser moldeados para formas específicas de monturas, o comprender agujeros, recortes, canales, ranuras u otras características para acomodar varias técnicas de montaje de monturas.

Sin embargo, en todos los casos, el sustrato de lente no contiene todos los atributos deseados para la lente para gafas a medida definitiva. Las técnicas de producción aditiva de la invención se utilizan para proporcionar atributos personalizados adicionales a la lente. Esta estrategia es deseable y conveniente porque significa que se puede almacenar un inventario mucho más limitado de sustratos. Este inventario más pequeño puede comprender sustratos que son menos costosos (por ejemplo, debido a la fabricación rutinaria de gran volumen), y la invención se usa para proporcionar los atributos más complicados, únicos o costosos deseados sobre una base individual para las lentes definitivas. Además, otra ventaja del proceso aditivo según la invención es que puede acomodar sustratos de lentes con un acabado superficial más pobre que el que se requiere normalmente para lentes oftálmicas o planas terminadas para gafas; el proceso aditivo según la invención puede usarse para suavizar algunos defectos en el sustrato de lente mientras imparte las propiedades diseñadas para la lente para gafas a medida.

Algunos sustratos de lentes preferidos para la invención incluyen lentes en bruto acabadas, lentes en bruto semiacabadas, lentes en bruto planas, lentes planas con bordes recortados y lentes acabadas con bordes recortados.

El sustrato de lente comprende por lo menos una primera y una segunda superficie, una de las cuales se colocará más cerca del ojo y una que se colocará alejada del ojo cuando se use en la montura de las gafas. En la Fig. 1, la superficie que se coloca más cerca del ojo es la superficie superior (cóncava) del elemento 11.

El sustrato de lente obtenido puede comprender recubrimientos o tratamientos en sus superficies. Por ejemplo, una o ambas superficies pueden suministrarse con capas duras para mejorar la resistencia a la abrasión y/o la resistencia química. Otros revestimientos posibles incluyen, por ejemplo, filtros conductores, polarizados, fotocromáticos, electrocromáticos, electroactivos, hidrofóbicos, antirreflejos, UV o visibles, o colores. Los tratamientos pueden haberse realizado en los sustratos para proporcionar, mejorar o cambiar las propiedades de la superficie como, por ejemplo, la capacidad de limpieza, la adhesión a capas posteriores, la resistencia al agrietamiento, la resistencia química, la estabilidad térmica u otros atributos. Dichos tratamientos pueden ser aplicados por muchas técnicas conocidas, que incluyen plasma, corona, solución, solvente, vapor y activación de superficie, entre otras. En una realización preferida de la invención, las superficies del sustrato de lente pueden comprender tratamientos o recubrimientos para realzar adhesión de capas posteriores, incluida la adhesión al material(es) agregado(s) de la invención.

Si se desea, una superficie, o una o más partes de la superficie de un sustrato de lente, pueden ser cubiertas con material protector durante una parte o la totalidad del procesamiento del aditivo. Por ejemplo, para el procedimiento que se ilustra en la Fig. 1, se puede elegir proteger la superficie inferior del elemento 11 (la superficie del sustrato de lente que estará más alejada del ojo cuando se usa la lente para gafas a medida) de tal manera que el material fluido polimerizable por radiación entre en contacto con una sola superficie de la lente (en la Fig. 1, la superficie superior de 11). Esta opción se puede elegir cuando se ha optimizado y seleccionado el diseño de material agregado para modificar solo una superficie; esta puede ser una estrategia más sencilla que modificar dos superficies y puede elegirse de manera ventajosa cuando una superficie del sustrato de lente ya incorpora determinadas propiedades ópticas o físicas que deberían transferirse directamente a la lente para gafas a medida. Se pueden usar diversas técnicas para proteger la superficie de la lente. Por ejemplo, se puede aplicar una lámina fina de plástico protector, unida de manera suelta (por ejemplo, mediante adhesivo de contacto o estática) o sostenida mecánicamente contra la otra superficie para protegerla. Como otro ejemplo de materiales protectores, una superficie del sustrato de lente puede comprender una capa protectora o capa que puede ser removida después de que el diseño de material agregado o una parte del diseño esté terminado.

Cuando se ha obtenido, producido o seleccionado el sustrato de lente, se realizan las actividades iniciales de cálculo y diseño para crear un diseño de material agregado para la lente para gafas a medida definitiva. En una realización preferida de la invención, los atributos finales previstos para la lente para gafas a medida, más las características del sustrato de lente 11, se introducen para estos cálculos. De manera alternativa, las propiedades finales de la lente para gafas a medida pueden usarse como entrada para seleccionar un sustrato de lente y luego los cálculos para la lente a medida se completan en base a esa selección. Las modificaciones que deben realizarse en el sustrato de lente para llegar a los atributos de la lente a medida definitiva se calculan y se convierten en información sobre qué material adicional se necesita y cómo debe colocarse en la(s) superficie(s) del sustrato de lente para lograr las modificaciones. La optimización y selección del diseño de material agregado incluye factores tales como qué materiales polimerizables por radiación están disponibles; si los materiales se añadirán a una o ambas superficies del sustrato; y si se usará un material polimerizable por radiación o múltiples materiales polimerizables por radiación diferentes para formar el material agregado. La optimización y la selección del diseño de material agregado también determinarán la posición, el grosor y la pendiente del material agregado en la lente para gafas a medida.

Específicamente, para la invención, se espera que el sustrato de lente no tenga las propiedades de potencia óptica deseadas para la lente para gafas a medida. En una realización preferida, el sustrato de lente tendrá propiedades de potencia óptica discerniblemente diferentes a las de la lente para gafas a medida. Como ejemplo no limitativo, suponga que el sustrato de lente seleccionado es una lente esférica con visión única con una potencia óptica de -2 dioptrías, mientras que la lente a medida requiere una potencia óptica de distancia esférica de -2 dioptrías y un área de lectura de potencia adicional 10 mm por debajo del centro óptico con una potencia óptica de +3 dioptrías. En una realización preferida de la invención, las diferencias de potencia óptica entre el sustrato de lente y la lente para gafas a medida serán discernibles a simple vista. Por ejemplo, en este ejemplo no limitativo, uno vería una marcada diferencia al ver una página impresa a través del sustrato de lente y a través de la lente para gafas a medida.

En una realización preferida de la invención, se genera el diseño de material agregado para convertir la potencia óptica del sustrato de lente en una potencia óptica perceptiblemente diferente según se desee para la lente para gafas a medida. En una realización preferida adicional, este cambio perceptible en la potencia óptica puede convertir la potencia óptica del sustrato de lente en la potencia óptica total requerida para la prescripción definitiva de la lente para gafas a medida. En otra realización preferida de la invención, el diseño de material agregado puede convertir la potencia óptica del sustrato de lente en una potencia óptica perceptiblemente diferente para la lente a medida que no es la prescripción definitiva requerida, pero es intermedia hacia esos valores y, por lo tanto, simplifica el procesamiento adicional de la lente para gafas a medida. Este cambio a la potencia óptica intermedia puede ser de particular preferencia cuando el sustrato de lente es una lente en bruto semiacabada. También se puede desear una conversión de la potencia óptica por el diseño de material agregado a valores de potencia óptica intermedios para la

lente para gafas a medida si se prevé que se realizarán otros recubrimientos especializados o tratamiento de la lente a medida. Por lo tanto, se prevé que el diseño de material agregado de la invención proporcionará un cambio perceptible en la potencia óptica del sustrato de lente, pero puede proporcionar todo o parte de la potencia de prescripción total para la lente para gafas a medida definitiva.

5 En una realización preferida adicional, el diseño de material agregado no solo convertirá la potencia óptica del sustrato de lente a la deseada para la lente para gafas a medida, sino que también proporcionará otras propiedades a medida deseadas para la lente para gafas a medida. Para proporcionar una personalización adicional, el diseño de material agregado se puede calcular y generar para incluir la modificación de las propiedades ópticas, químicas y físicas entre el sustrato de lente y la lente para gafas a medida. Como ejemplos no limitativos, el diseño de material agregado puede modificar las propiedades de la lente para gafas a medida definitiva tales como polarización, fotocromicidad, transmitancia UV, transmitancia visible, reflectancia de la luz, hidrofobicidad, resistencia química, resistencia a la abrasión, resistencia al impacto o conductividad eléctrica. Como otros ejemplos no limitativos, el diseño de material agregado puede modificar u optimizar otras propiedades ópticas como prisma, aumento, aberración oblicua, distribución de potencia en diferentes ubicaciones de la lente, campo de visión individual, ángulo individual o posición de vista para visión de cerca, descentrado, distancia del vértice posterior, forma de la montura, ángulo de ajuste de la montura de las gafas, inclinación de la montura de las gafas u otros parámetros personalizados individualmente. El diseño de material agregado se puede calcular y generar, y el material polimerizable por radiación usado para formar el material agregado se puede seleccionar, para proporcionar una o más de estas u otras propiedades ópticas, químicas y físicas deseadas para la lente para gafas a medida.

En una realización preferida de la invención, los atributos deseados para la lente para gafas a medida, más las características del sustrato de lente, sirven como entradas para el cálculo del diseño de material agregado. Las superficies del sustrato de lente se medirán (por ejemplo, mediante metrología óptica o física) o son conocidas, y se pueden expresar mediante una o más ecuaciones, o se describen mediante un conjunto único de coordenadas xyz. Estas ecuaciones o valores de coordenadas, junto con el cambio deseado en la potencia óptica y cualquier otra característica que el diseño de material agregado pretende abordar, se ingresan en las rutinas de cálculo para optimizar y definir los cambios totales necesarios para pasar de la superficie del sustrato de lente a la lente para gafas a medida. Estos cálculos se pueden realizar mediante muchas técnicas conocidas, que incluyen trazado de rayos, análisis de propagación de frente de onda, cálculo de curvatura, combinaciones de estas técnicas y otras técnicas conocidas por los expertos en la materia.

Como ejemplo, la superficie (o superficies) del sustrato de lente puede modelarse matemáticamente como una suma de polinomios de Zernike múltiples y ortogonales, ordenados según el esquema de Wyant-Creath; los coeficientes de esta representación de superficie se convierten en la entrada para los cálculos de decenas prescritas. Luego, se realizan los cálculos mediante el trazado de rayos exacto para incorporar la información del sustrato de lente con los parámetros personalizados de la lente para gafas, y determinar las características necesarias del diseño de material agregado que satisfará el requisito de potencia óptica deseada para la lente a medida. Como otro ejemplo, la nueva superficie que se creará para la lente para gafas a medida (por el material agregado a través del diseño de material agregado) se puede representar mediante una expansión separada de múltiples polinomios de Zernike. Para lograr la potencia óptica deseada de la lente a medida, los coeficientes del diseño de esta segunda expansión polinómica de Zernike se encuentran por minimización de una función de mérito que compara el mapa de potencia real en cualquier etapa del cálculo con un mapa de potencia teórico. La optimización se puede llevar a cabo usando, por ejemplo, el algoritmo de optimización BFGS (Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno). Otras estrategias de cálculo y optimización serán reconocidas por los expertos en la materia. Dichos cálculos y optimizaciones para generar el diseño de material agregado pueden realizarse utilizando equipos o técnicas tales como sistemas informáticos, bucles de control de procesos, calculadoras digitales, rutinas de diseño óptico, cálculos manuales y similares.

Una vez que se calcula la cantidad total de cambio que se debe realizar en el sustrato de lente para llegar a los atributos deseados de la lente a medida, se convierte en detalles de cómo se colocará el material en la(s) superficie(s) del sustrato de lente para lograr el cambio. El diseño de material agregado se calculará y generará para añadir material de forma selectiva solo en aquellas áreas donde sea necesario. Este proceso aditivo representa una técnica muy diferente para crear una lente de gafas a medida. Las estrategias anteriores aproximarían la potencia óptica necesaria para un diseño de prescripción mediante técnicas sencillas de superficie esférica y toroidal, pero normalmente estaban limitadas por herramientas duras a incrementos discretos y bastante grandes entre los cambios de potencia. Las técnicas más sofisticadas pueden emplear varias etapas de cálculo y optimización, pero luego alimentan esa información a un equipo de superficie controlado por computadora que nuevamente elimina el exceso de material del sustrato de lente o lente en bruto, causando desperdicio en el proceso de eliminación. En cambio, las técnicas de la invención abordan este problema de manera diferente, y agregan material de manera innovadora y selectiva para lograr una lente a medida, en lugar de eliminar material de una lente en bruto o bloque de material existente.

Para generar el diseño de material agregado, se calcula y se optimiza el grosor, la posición y la pendiente (ángulo) del material agregado en relación con la(s) superficie(s) del sustrato de lente para aplicaciones de producción realistas. Esto puede considerar consideraciones de producción tales como la precisión del posicionamiento del material o límites razonables de control de producción para el grosor y la pendiente del material agregado en

relación con la(s) superficie(s) del sustrato de lente. Además, el cálculo y la generación del diseño de material agregado pueden incluir factores tales como: si se agrega material a una o ambas superficies del sustrato; si se utiliza uno o más materiales fluidos polimerizables por radiación; valores discretos de espesor y pendiente del material en varias posiciones en el sustrato de lente; qué posiciones y parámetros de material agregado en esas posiciones son los más críticos para el diseño de material agregado, y los límites máximos/mínimos aceptables para los parámetros de material agregado. Estos factores se pueden determinar y optimizar en múltiples ubicaciones en toda(s) la(s) superficie(s) del sustrato de lente para proporcionar una lente a medida con mayor precisión. Los expertos en la materia reconocerán otros factores de diseño que pueden incorporarse.

Como ejemplo de los cálculos, primero se obtienen por definición y/o mediciones los valores de la superficie final deseada para la lente para gafas a medida,  $ZF(x, y)$  y la superficie inicial del sustrato,  $ZS(x, y)$ , donde  $z$  designó la altura de la superficie con respecto a un plano de coordenadas  $X, Y$  ortogonal. Luego, en cada posición del diseño  $(x, y)$  en el sustrato de lente, se necesita construir material entre  $ZS(x, y)$  y  $ZF(x, y)$  para lograr la lente a medida. La altura total (grosor) del material a construir en cada posición del diseño es  $\Delta Z(x, y) = ZF(x, y) - ZS(x, y)$ . Estos cálculos permiten generar los detalles del diseño de posición, grosor y, si es necesario, de la pendiente del material polimerizado a agregar al sustrato de lente.

En la invención, la irradiación controlada y selectiva del material fluido polimerizable por radiación conforme al diseño de material agregado forma el material agregado sobre el sustrato de lente para convertirlo en la lente de gafas a medida. Basándose en el diseño de material agregado, se pone al menos una parte de una superficie del sustrato de lente en contacto con una fuente a granel de material fluido polimerizable por radiación. Tal como se describe con más detalle a continuación, el material fluido polimerizable por radiación se irradiará selectivamente conforme al diseño de material agregado para convertirlo en el material polimerizado deseado sobre el sustrato de lente y lograr de esa manera la potencia óptica deseada para la lente para gafas a medida (y, opcionalmente, proporcionar otras propiedades deseadas a la lente a medida definitiva).

El material fluido polimerizable por radiación se muestra en la Fig. 1 mediante el elemento 21 y las líneas horizontales discontinuas. Un material fluido polimerizable por radiación formará un sistema polimérico sólido cuando se somete a radiación con un intervalo específico de propiedades que incluyen longitud de onda y densidad de energía. Por ejemplo, el material puede diseñarse y formularse para responder a la polimerización por radiación ultravioleta, pero no a la radiación infrarroja. En otro ejemplo, el material polimerizable por radiación puede responder selectivamente a la polimerización cuando se irradia a una radiación UV más corta pero no a longitudes de onda UV más largas (por ejemplo, 320 nm, pero no 365 nm). Esta selectividad de respuesta a la longitud de onda permite un mayor control del proceso de reacción y hace que el material fluido sea menos difícil de manejar. Al controlar el intervalo de longitud de onda, la densidad de energía y la distribución espacial de la radiación, se puede lograr el efecto deseado de polimerizar el material solo en el área irradiada; por diseño, fuera del área irradiada, no hay energía suficiente para hacer que el material reaccione. La densidad de energía también puede contribuir al control de la profundidad (espesor) de la reacción y el tiempo requerido para la polimerización del material.

Se conocen diversos materiales fluidos polimerizables por radiación diferentes en la técnica del procesamiento de aditivos. Muchos están basados en la química orgánica, pero también pueden incluir especies inorgánicas y metalo-orgánicas. Los materiales polimerizables por radiación adecuados para el procedimiento según la invención se describen como fluidos porque pueden exhibir un amplio intervalo de viscosidades en su estado inicial, que van desde líquidos menos viscosos que el agua a materiales más de tipo gel. Los materiales fluidos polimerizables por radiación pueden comprender monómeros, oligómeros, prepolímeros y otros componentes que pueden afectar la viscosidad del material, así como sus propiedades ópticas, químicas y físicas.

Una ventaja distintiva del procedimiento según la invención es que el sustrato de lente puede tener determinadas propiedades físicas y ópticas necesarias para una lente oftálmica que no se puede lograr sencillamente con materiales de procesamiento de aditivos estándar. De manera similar, el material agregado según la invención por sí mismo puede no comprender todos los atributos necesarios para la lente para gafas a medida deseada. Por ejemplo, el sustrato de lente puede proporcionar toda o la mayor parte de la estabilidad estructural necesaria para mantener la potencia y la integridad de la lente en la montura de las gafas, mientras que el material agregado polimerizado por radiación puede aplicarse en cantidades lo suficientemente finas como para que la integridad estructural del sustrato de lente no se degrade, pero se agregan características adicionales a la lente a medida definitiva. Como otro ejemplo, el material agregado que resulta de la polimerización del material fluido polimerizable por radiación puede tener un ligero color residual o puede carecer de un bloqueo UV que lo haría inaceptable como un material de lente grueso, pero no compromete el rendimiento en una capa fina. Por lo tanto, el material agregado puede no tener las mismas restricciones en las propiedades ópticas o físicas que el sustrato de lente, pero puede combinarse con el sustrato para formar una lente para gafas a medida y viable.

En una realización de la invención, el material agregado formado por polimerización del material fluido polimerizable por radiación puede tener las mismas propiedades ópticas y/o físicas que el sustrato de lente. En otro ejemplo, el material agregado puede usarse para refinar el rendimiento óptico o físico del sustrato de lente. Por ejemplo, el material agregado puede crear determinadas áreas seleccionadas de mayor grosor o mayor curvatura, correspondientes a la potencia óptica adicional en aquellas zonas de la lente para gafas definitiva. En otro ejemplo,

el material agregado puede usarse para alisar defectos, discontinuidades o irregularidades en el sustrato de lente.

En otra realización preferida de la invención, el material fluido polimerizable por radiación tiene propiedades ópticas o físicas mensurablemente diferentes del sustrato de lente, o después de la polimerización, forma material agregado con propiedades mensurablemente diferentes del sustrato de lente. Por ejemplo, debe considerarse la situación mencionada anteriormente del individuo que tiene necesidad de corrección de la visión de cerca y de lejos pero que selecciona una montura muy estrecha. La invención podría usar un sustrato para lentes que satisfaga la prescripción para la vista de lejos, y un material fluido polimerizable por radiación que produzca un material agregado con un índice de refracción significativamente mayor, de modo que el material agregado proporcione la potencia casi añadida con una estructura más fina que una lente hecha con solo un índice de refracción. Además, el material agregado se puede colocar específicamente para proporcionar potencia adicional solo en las áreas de la lente que se necesitan en la montura pequeña. Como otro ejemplo, para la lente mencionada anteriormente que está a medida para la vista de lejos durante la navegación, el material agregado podría proporcionar polarización para bloquear el deslumbramiento del agua, asegurando de esa manera una mayor comodidad y claridad de visión.

En una realización preferida de la invención, las propiedades mensurablemente diferentes para el material agregado formado a partir del material polimerizable por radiación se seleccionan de entre índice de refracción, valor de Abbe, resistencia a la abrasión, resistencia al impacto, resistencia a disolventes orgánicos, resistencia a las bases, Tg, color visible, transmitancia visible, transmitancia UV, transmitancia IR, reflectancia de la luz, hidrofobicidad, conductividad eléctrica, polarización, y propiedades fotocromáticas.

Además del material polimerizable por radiación que tiene propiedades diferentes a las del sustrato de lente, el material fluido polimerizable por radiación puede comprender componentes para adaptar las propiedades físicas u ópticas de la lente para gafas a medida. Por ejemplo, los componentes pueden comprender fotoiniciadores, iniciadores térmicos, absorbentes de UV, reflectores de UV, reflectores de infrarrojos, absorbentes de infrarrojos, colores visibles, colorantes, pigmentos, agentes fotocromáticos, agentes termocromáticos, agentes electrocromáticos, polarizadores, estabilizadores térmicos, materiales eléctricamente conductores, materiales de cristal líquido, partículas que absorben la luz, partículas que reflejan la luz, agentes que afectan la tensión superficial y partículas o materiales que aumentan la resistencia al impacto o la resistencia a la abrasión del material polimerizable por radiación. Además, al material polimerizable por radiación se le pueden añadir componentes como decoraciones, microópticas, sensores, transmisores, pantallas y otros dispositivos pequeños. Uno o más de estos componentes se pueden combinar dentro del material polimerizable por radiación. Dichos componentes, dependiendo de su naturaleza, pueden disolverse, dispersarse, suspenderse, incrustarse, encapsularse o llevarse de otro modo dentro o asociado con el material fluido polimerizable por radiación.

Para formar el diseño de material agregado en el sustrato de lente, una o más superficies del sustrato de lente se ponen en contacto con una fuente a granel del material fluido polimerizable por radiación. El material fluido polimerizable por radiación puede entrar en contacto con una superficie completa o solo se puede agregar a una parte de una superficie. Por ejemplo, tal como se mencionó en la ilustración del individuo que tiene necesidad de corrección de la visión de cerca y de lejos, pero selecciona una montura muy estrecha, el material fluido polimerizable por radiación podría entrar en contacto solo con el área de la superficie de la lente usada para la visión de cerca, y el material agregado resultante solo proporciona una potencia adicional en esa zona. El material agregado también puede ser impreso o discontinuo. Estos podrían ser convenientes, por ejemplo, si se está creando una pantalla activa o un diseño decorativo en la lente para gafas a medida.

Algunos procedimientos ejemplares para poner el sustrato de lente en contacto con el material fluido polimerizable por radiación son conocidos en la industria de recubrimientos. Los procedimientos pueden seleccionarse por su facilidad de aplicación, utilidad de producción, versatilidad, coste, disponibilidad y otras consideraciones de fabricación. En una realización preferida de la invención, solo una superficie del sustrato de lente entra en contacto con el material fluido polimerizable por radiación. Los procedimientos de contacto con una sola superficie pueden incluir recubrimiento por giro, rociado, rodillo, cuchilla y cortina. Si se desea, la otra superficie del sustrato de lente puede cubrirse o protegerse con un material protector para evitar que el material polimerizable por radiación entre en contacto de manera involuntaria. Por ejemplo, se puede aplicar una lámina fina de plástico protector, sostener mediante un adhesivo estático o de contacto o sostener mecánicamente contra la otra superficie para protegerla. Como otro ejemplo de materiales protectores, una superficie del sustrato de lente puede comprender una capa protectora o capa que puede ser removida después de que el diseño de material agregado esté terminado.

En muchos casos, el sustrato de lente puede tener una configuración tal que una superficie sea cóncava y la otra convexa. En teoría, cualquiera de las dos superficies puede entrar en contacto con el material fluido polimerizable por radiación. La decisión práctica sobre qué superficie utilizar se puede basar en muchos factores y se puede proporcionar como entrada u optimizar aún más en el programa de diseño. Los ejemplos de algunos de los factores a considerar incluyen las capacidades y limitaciones del equipo de recubrimiento o procesamiento de aditivos; viscosidad, homogeneidad y uniformidad del material fluido polimerizable por radiación; espesor de capa deseado; curvatura, contornos, características escalonadas o discontinuas del sustrato de lente y del diseño de material agregado; y requisitos cosméticos, ópticos y estructurales de la lente para gafas a medida definitiva.

En una realización preferida, tanto la primera como la segunda superficie del sustrato de lente entran en contacto con el material fluido polimerizable por radiación, ya sea de manera simultánea o secuencial.

5 Una realización preferida de la invención no conforme a la invención para poner ambas superficies del sustrato de lente simultáneamente en contacto con el material fluido polimerizable por radiación es recubrir por inmersión o sumergir el sustrato en una fuente a granel del material fluido de modo que esté parcial o totalmente sumergido. También se puede usar un equipo de recubrimiento por inmersión para aplicar el material polimerizable por radiación a solo una superficie del sustrato de lente si la otra superficie está cubierta o protegida.

10 En una realización de la descripción del proceso de inmersión, el ángulo y la posición del sustrato de lente se controlan con relación al material fluido polimerizable por radiación mientras el sustrato entra en contacto y se mueve mientras está en contacto con el material fluido. Un procedimiento preferido para controlar el ángulo y/o la posición del sustrato de lente es usar un soporte del sustrato de lente, como se indica mediante el elemento 70 en la Fig. 1. Este control de orientación ayudará a controlar la posición y el grosor del material agregado, particularmente en una  
15 superficie de sustrato de lente curvada.

El sustrato de lente puede sujetarse por el soporte 70 en una posición estacionaria durante el contacto con el material fluido polimerizable por radiación. En otra realización preferida de la invención, el soporte del sustrato de lente 70 mueve el sustrato de lente de una manera controlada con respecto al material fluido polimerizable por radiación mientras se está estableciendo el contacto. Este movimiento puede limitarse a un eje o permitir la variación en múltiples ejes. Además, el movimiento puede incluir tanto la traslación como la rotación del sustrato de lente en relación con uno o más ejes.

Una orientación y dirección de movimiento preferida del sustrato de lente con una disposición de recubrimiento por inmersión se ilustra en la Fig. 1. El procedimiento típico para sumergir una pieza es hacer que entre en un plano perpendicular al nivel de líquido. En cambio, una realización descrita es hacer que el sustrato de lente 11 entre en el baño de material fluido polimerizable por radiación 21 y que se mueva en un ángulo menor para obtener más control y más área de contacto entre la superficie de la lente y el menisco del líquido. Como se indica en esta realización preferida, el sustrato 11 montado en su soporte 70 se puede mover con los siguientes controles direccionales:  
25 rotación de la lente alrededor del eje X (un movimiento angular, designado por conveniencia como ángulo  $\alpha$ , alrededor del eje perpendicular al plano de la figura, es decir, saliendo hacia el espectador), movimiento en la dirección Y (la dirección horizontal en la Fig. 1), movimiento en la dirección Z (la dirección vertical en la Fig. 1) y cambio simultáneo de cualquier combinación de estos factores. Una o más combinaciones de estos controles direccionales de la posición y el movimiento del sustrato de lente son preferibles cuando se usan otros procedimientos además de la inmersión. Además, en una realización de la descripción, la velocidad de movimiento en cualquier eje o combinación de ejes (incluido el ángulo de contacto con el líquido) se puede cambiar o invertir durante el tiempo en que el material fluido polimerizable por radiación está en contacto con el sustrato de lente. Además de cambiar la velocidad de movimiento, el movimiento en sí puede ser continuo o escalonado, o alternar entre continuo o escalonado en diferentes momentos durante el proceso de agregar material al sustrato de lente. El control del ángulo, la velocidad y/o la dirección del movimiento del sustrato de lente, además de la capacidad de variar estos parámetros mientras se establece contacto con el material polimerizable por radiación, proporciona ventajas adicionales para cambiar el grosor del material agregado resultante, corregir errores o acomodar características anteriores en la superficie. Un beneficio adicional es que dicho movimiento controlado del sustrato de lente también se puede usar para suavizar defectos o bordes del material agregado a medida que se forma el sustrato de lente.  
30  
35  
40  
45

Un sustrato de lente 70 ejemplar se muestra en la Fig. 1, pero diversos mecanismos de apoyo son conocidos por los expertos en la materia. Por ejemplo, el sustrato de lente puede estar sostenido o apoyado en sus bordes por un soporte continuo, por un agarre de borde discreto o por uno o más soportes puntuales. La Fig. 1 ilustra un soporte del sustrato de lente 70 con agarres de borde en al menos una parte de lados opuestos del sustrato de lente. Como otro ejemplo, si se desea que solo una superficie del sustrato de lente se ponga en contacto con el material polimerizable por radiación para la formación del diseño de material agregado, el sustrato de lente puede apoyarse en al menos una parte de su otra superficie mediante vacío, adhesivo u otras técnicas físicas de montaje. Como se mencionó anteriormente, la otra superficie del sustrato de lente también se puede cubrir con material protector para mantener sus características de superficie originales.  
50  
55

En la Fig. 1, el control de traslación y rotación y el movimiento del sustrato de lente a través de un soporte del sustrato de lente 70 ejemplar se ilustra con respecto a un procedimiento de recubrimiento por inmersión o proceso de inmersión, pero el movimiento de rotación y/o traslación y el control del sustrato de lente también son aplicables a otros procedimientos de suministro del material agregado. Por ejemplo, el mismo tipo de movimiento del sustrato de lente puede ser adecuado para sistemas de recubrimiento por rociado o cortina. Además, otras combinaciones de movimiento(s) de rotación/traslación pueden ser adecuadas en combinación con diversos procedimientos para poner en contacto una o más superficies del sustrato de lente con una fuente a granel de material(es) fluido(s) polimerizable(s) por radiación mientras se forma el diseño de material agregado.  
60  
65

De manera alternativa, o además del movimiento del sustrato de lente, el material fluido polimerizable por radiación

5 puede estar en movimiento mientras entra en contacto con el sustrato de lente. Como ejemplos no limitativos, cuando se usa un baño de líquido, el líquido puede agitarse mecánicamente o someterse a energía ultrasónica o flujos de gas para causar movimiento en el volumen del material líquido, o en la superficie del líquido. Dicho movimiento puede preferirse para disminuir los bordes afilados o escalonados cuando el líquido se aplica y se polimeriza.

10 En una realización preferida de la invención, el entorno alrededor del sustrato de lente y el material fluido polimerizable por radiación se controla durante la aplicación de la capa líquida. En una realización preferida de la invención, se usa una atmósfera inerte o sin oxígeno (por ejemplo, argón o nitrógeno) en las proximidades del equipo de recubrimiento. Como ejemplo, la atmósfera puede controlarse sobre el tanque o el volumen expuesto de material fluido que se usa durante el recubrimiento por inmersión. En otra realización preferida de la invención, se controla la humedad relativa de la atmósfera para disminuir la condensación de agua no deseada, las reacciones secundarias o la turbidez del material polimerizable por radiación. En otra realización preferida de la invención, se regula la temperatura en la vecindad del equipo de recubrimiento y/o la temperatura del material fluido polimerizable por radiación para prevenir o disminuir los cambios en la viscosidad o las velocidades de reacción de control. En otra realización preferida, la atmósfera está controlada o filtrada para reducir particulados o contaminantes.

20 En otra realización preferida de la invención, el material fluido polimerizable por radiación puede mantenerse en un tanque o depósito de retención antes y durante la aplicación del material líquido. El material fluido polimerizable por radiación puede filtrarse para reducir la formación de partículas no deseadas. En otra realización preferida de la invención, se hace circular o se agita el material fluido polimerizado por radiación para ayudar a mantener la consistencia, especialmente cuando hay aditivos sólidos o partículas presentes en el material. En otra realización preferida de la invención, se monitoriza y se controla el contenido de sólidos, la viscosidad, el color u otras propiedades físicas del material fluido polimerizable por radiación. En otras realizaciones preferidas de la invención, se puede controlar la temperatura, humedad y exposición a la atmósfera u otros gases del material fluido polimerizado por radiación y/o su contenedor.

30 Excepcionalmente, la invención construye una lente para gafas a medida comenzando con un sustrato de lente, poniéndola en contacto con una fuente a granel de material fluido polimerizable por radiación, y mediante irradiación selectiva, produciendo material polimerizado solo en posiciones, espesores y pendientes diseñados para crear propiedades de potencia óptica deseadas y diferentes. Esto contrasta con un enfoque de múltiples capas de procesamiento aditivo, donde las capas sucesivas de material se aplican discretamente y se polimerizan antes de aplicar la siguiente capa. También es diferente de la impresión 3D estándar, en la cual pequeñas cantidades de material se imprimen selectivamente en pequeñas áreas de una superficie (o en un soporte temporal removible o una óptica de moldeo); se polimerizan y, a continuación, se deposita una cantidad adicional de material (impreso en otra área pequeña para seguir ampliando una característica. Estas técnicas de impresión en 3D minimizan la cantidad de material nuevo en contacto con la superficie o el soporte durante la formación de la característica y, por lo general, intentan convertir todo el material aplicado presente en una característica impresa. En cambio, la técnica de la descripción proporciona un depósito o volumen relativamente grande de material polimerizable por radiación, pero solo permite la polimerización de una parte seleccionada y controlada del volumen mediante irradiación selectiva conforme al diseño de material agregado. La técnica de la descripción también es distinta de los procedimientos anteriores en los que se usó un molde separado para definir un nuevo perfil con respecto a la superficie de una lente, lleno de material de fase líquida y luego curado contra la lente para crear una nueva característica en esa superficie. La invención concretamente no requiere ningún molde para definir o construir la(s) nueva(s) característica(s). Tampoco requiere ninguna plataforma temporal, soporte o estructuras moldeadoras externas sobre las cuales construir una parte que se quitará posteriormente de esa plataforma, soporte o estructura de conformación. En su lugar, los procedimientos de la invención crean las nuevas características de la lente para gafas a medida directamente en un sustrato de lente, al poner el sustrato de lente en contacto con una fuente a granel de material fluido polimerizable por radiación, y luego usar irradiación controlada para convertir (polimerizar) una parte de una fuente a granel de material fluido solo en áreas seleccionadas con respecto al sustrato de lente.

La Fig. 1 muestra un ejemplo de un procedimiento para esta irradiación selectiva del material polimerizable por radiación para formar el diseño de material agregado. Un conjunto de irradiación 30 emite un haz de irradiación 31 que se dirige a través del material fluido polimerizable por radiación 21 para formar el material agregado 51 deseado para la lente para gafas a medida. Como ejemplo de un haz de irradiación, la Fig. 1 ilustra un haz de luz colimado para el elemento 31; se entenderá que otras configuraciones de irradiación están dentro del alcance de la invención. Por ejemplo, otros haces de irradiación 31 pueden ser enfocados, divergentes, pulsados, cortados, oscilantes o comprender otras configuraciones ópticas. Uno o más haces de irradiación pueden dirigirse al material polimerizable por radiación y/o al sustrato de lente de forma simultánea, y los haces de irradiación múltiples pueden ser coincidentes, coaxiales, superpuestos parcial o totalmente, o dirigirse a diferentes ubicaciones con respecto a la(s) superficie(s) del sustrato de lente. Los haces de irradiación también pueden dirigirse hacia el material fluido polimerizable por radiación de manera secuencial en la misma posición, o diferentes posiciones espaciales en relación con el sustrato de lente para lograr el diseño de material agregado.

65 En una realización descrita, el conjunto de irradiación 30 puede montarse en un dispositivo de soporte de irradiación 60 que permite el movimiento o mantiene el conjunto de irradiación (y su haz de irradiación) en una posición fija con

respecto a otros elementos del equipo de procesamiento aditivo. Como ejemplo, en la Fig. 1, el dispositivo de apoyo de irradiación 60 permite el movimiento en las direcciones X, Y, y, Z. En una realización descrita, el movimiento del elemento 60 a lo largo de los ejes X e Y puede ser oscilatorio, con una amplitud pequeña y una frecuencia suficientemente alta para filtrar cualquier posible estructura no deseada en el patrón de radiación resultante del haz de radiación emitido desde el conjunto de irradiación. Este tipo de dispositivo de soporte de irradiación 60 es una realización cuando el conjunto de irradiación usa un proyector de procesamiento digital de luz (DLP) para hacer brillar el haz de irradiación requerido en el material fluido polimerizable por radiación 21. Esta vibración en 2D incluso podría optimizarse para suavizar no solo los espacios entre los píxeles, sino también la superficie final.

En otras realizaciones, los dispositivos de soporte de irradiación pueden comprender sistemas de montaje fijos en relación con el sustrato de lente, el material fluido polimerizable por radiación u otros elementos del aparato usados para efectuar este procesamiento aditivo selectivo. Otros dispositivos de soporte de irradiación ejemplares pueden comprender controles para permitir movimientos de rotación, traslación u otros, ya sea secuencialmente o en combinación. Los dispositivos de soporte de irradiación pueden operar independientemente de cualquier sistema de soporte del sustrato de lente. En otras realizaciones, el dispositivo de soporte de irradiación 60 y el soporte del sustrato de lente 70 pueden estar enlazados o coordinados, ya sea para moverse como una unidad, o para moverse de forma controlada uno respecto al otro.

En otro ejemplo más de control y movimiento del haz de irradiación, el conjunto de irradiación puede incorporar espejos giratorios para dirigir el haz de irradiación 31 para escanear el área seleccionada que debe ser irradiada para la polimerización del material fluido 21 sobre la superficie del sustrato de lente. En una realización, el movimiento oscilatorio del haz de irradiación se puede lograr con espejos móviles o prismas asociados con el conjunto de irradiación que vibra a una frecuencia mucho mayor que la inversa del tiempo de curado por polimerización característico para el material fluido polimerizable por radiación. Esto puede ser particularmente preferido cuando el conjunto de irradiación comprende un proyector DLP o una matriz de píxeles, de modo que uno puede combinar las imágenes de píxeles individuales y suavizar la estructura del haz de irradiación. En otra realización, el conjunto de irradiación 30 comprende otras ópticas ajustables en posición que pueden controlarse o moverse durante el proceso aditivo según la invención para mover el haz de irradiación o cambiar su energía o propiedades espaciales.

En el ejemplo de la Fig. 1, el sustrato de lente 11 se mueve hacia abajo al volumen del material fluido polimerizable por radiación, y hacia la derecha en el dibujo, como lo indican las flechas direccionales abiertas cerca de la superficie del sustrato de lente. La parte del material agregado 51 a la derecha del haz de irradiación 31 se muestra con marcas de trama horizontales para indicar que este volumen de material se ha polimerizado selectivamente sobre la superficie cóncava del sustrato de lente 11. El patrón de sombreado en el área del haz 51a identifica el material fluido polimerizable por radiación que está siendo sometido a irradiación selectiva por la fuente 31, para convertirlo en material agregado. Tenga en cuenta que una gran profundidad y volumen de material está siendo sometido a esta polimerización selectiva. Otra característica y beneficio de la descripción se ilustra en la Fig. 1: la forma contorneada del material agregado 51 muestra un ejemplo de cómo se controla la irradiación y la polimerización en la descripción para proporcionar material agregado solo en áreas seleccionadas y con pendiente y espesor seleccionados, según lo dictado por el diseño de material agregado.

En la invención, la irradiación controlada y selectiva del material fluido polimerizable por radiación conforme al diseño de material agregado forma el material agregado sobre el sustrato de lente para convertir el sustrato de lente en la lente para gafas a medida. El material agregado de manera selectiva está diseñado para crear al menos la conversión deseada de las propiedades de potencia óptica del sustrato de lente en las propiedades de potencia óptica de la lente para gafas a medida y también puede convertir o agregar otras propiedades físicas o químicas a la lente a medida.

Las condiciones de irradiación se seleccionan e implementan con referencia específica al diseño de material agregado, el material fluido polimerizable por radiación usado, el sustrato de lente, la posición, la orientación y cualquier movimiento planificado del sustrato de lente, y la posición, pendiente y grosor del material fluido polimerizable por radiación a polimerizar sobre el sustrato de lente. De manera importante para la invención, las condiciones de irradiación se controlarán en áreas seleccionadas del material fluido polimerizable por radiación. Si bien esto puede abarcar áreas o volúmenes extendidos dentro del volumen del material fluido, se prefiere que se irradien y se polimericen selectivamente solo áreas discretas del material 21 por esa irradiación. Como ejemplo, toda la superficie de la lente puede estar en contacto o sumergida en un depósito de material fluido polimerizable por radiación, pero la irradiación se puede controlar selectivamente para formar el material agregado polimerizado sobre el sustrato de lente solo en una línea de puntos, patrón de marcado de alineación de puntos de 2 mm con un espaciado de 5 mm a lo largo del diámetro de las lentes a medida. Como otro ejemplo no limitativo, el haz de irradiación puede dirigirse selectivamente a través del volumen del material fluido polimerizable por radiación con un intervalo de longitud de onda y densidad de energía suficiente para formar el material agregado polimerizado solo en una sección oblonga de 10 mm de ancho y 20 mm de largo en la superficie del sustrato de lente, para crear una zona de lectura de material agregado en la lente para gafas a medida.

El haz de irradiación 31 se dirige al volumen del material fluido polimerizable por radiación con un control suficiente

de la posición y las condiciones de irradiación, de modo que el proceso de polimerización se limita solo a las áreas irradiadas de forma directa y selectiva. Esto puede incluir condiciones de control tales como el tiempo de exposición, secuencia de exposición, número de exposiciones, profundidad de enfoque, grado de enfoque o colimación, densidad de energía, intervalo de longitud de onda y penetración de la irradiación en el volumen del material. Esto es lo que significa irradiar selectivamente. Dichos controles se usan para definir mejor el área específica o el volumen de polimerización. Estos controles permiten claras ventajas sobre los procedimientos anteriores que resultaron en la polimerización general de una capa líquida completa o de la masa de material polimerizable por radiación por transferencia de energía fuera del área irradiada.

En una realización de la descripción, la posición del sustrato, el ángulo y el movimiento se controlan durante la irradiación para proporcionar un control adicional de la polimerización selectiva del material fluido polimerizable por radiación. Dicho control puede efectuarse mediante el uso de los controles de orientación, posición y movimiento del soporte del sustrato de lente, manteniendo el sustrato de lente en una posición montada fija mientras se mueve el conjunto de irradiación y/o el haz de irradiación, o mediante combinaciones de movimiento del sustrato de lente y el conjunto de irradiación y/o el haz de irradiación.

Otra consideración importante para la invención es que el material agregado debe adherirse bien al sustrato de lente y a otras áreas del material agregado (si existen), y no degradar el rendimiento óptico de la lente. Esto es importante para mantener la utilidad de la lente a medida y no acortar su vida útil. La delaminación, la descamación y el agrietamiento de recubrimientos o capas en lentes oftálmicas a menudo han sido problemas históricos, especialmente cuando se introducen nuevas tecnologías. El estrés y la amplia variabilidad de las exposiciones térmicas, físicas y químicas a las que se someten las lentes (durante el procesamiento inicial de los componentes, el montaje de las gafas o en uso por parte del usuario) pueden plantear exigencias inesperadas y severas sobre la adhesión y la integridad de una estructura de lente en capas. Por lo tanto, el material agregado polimerizado debe estar unido integralmente a la superficie de la lente. Integralmente unido significa que el material agregado está unido químicamente o físicamente de manera fuerte a la superficie y/o áreas del material agregado de manera tal que la estructura combinada permanece intacta y sin daño perceptible a simple vista, tanto durante el procesamiento normal de la lente como en su uso normal como una lente para gafas. Las condiciones de irradiación se seleccionan y administran para asegurar que el procedimiento según la invención logre dicha unión integral.

En una realización preferida de la invención, se controla o elige una combinación de propiedades de irradiación seleccionadas de entre la longitud de onda de radiación o intervalo de longitud de onda, densidad de energía de radiación y distribución espacial del haz de irradiación para adaptarse a las propiedades físicas y químicas del material polimerizable por radiación particular, y la profundidad o el volumen del material agregado que se debe formar en una ubicación específica en el sustrato de lente. Diversos parámetros de irradiación ejemplares que pueden ser controlados se han descrito anteriormente, y son conocidos por los expertos en la materia. Además, la forma en que se somete el material fluido polimerizable por radiación a la irradiación puede controlarse selectivamente cambiando las propiedades de irradiación del elemento 31, moviendo el sustrato de lente, moviendo el conjunto de irradiación y/o el haz de irradiación, o mediante combinaciones de estas técnicas. Los ejemplos que ilustran dichos mecanismos de control y movimiento se describieron anteriormente, y los expertos en la materia reconocerán otras técnicas dentro del alcance de la invención.

Dependiendo del diseño de material agregado y los requisitos de polimerización, se pueden seleccionar diferentes tipos de fuentes de radiación, incluidas fuentes monocromáticas, láseres, fuentes filtradas de longitud de onda activa o pasivamente, LED, fuentes de cuerpo negro, lámparas de emisión atómica, lámparas fluorescentes y otras fuentes conocidas la técnica. La frecuencia de la energía de irradiación puede estar en el intervalo UV, visible o infrarrojo, o en otros intervalos de energía que incluyen microondas, radiofrecuencia, radiación gamma y rayos X. Incluso puede usarse la energía térmica si se controla adecuadamente para la irradiación selectiva.

En una realización preferida de la invención, la radiación utilizada para irradiar el material fluido polimerizable por radiación se selecciona de entre energía de microondas, de radiofrecuencia o visible. En otra realización preferida, se usa un intervalo de longitud de onda más limitado dentro del espectro de energía visible o UV para irradiar el material fluido polimerizable por radiación. En una realización preferida de la invención, se usa la energía en el intervalo de longitud de onda azul del espectro visible para la irradiación. En otra realización preferida de la invención, se usa energía UV en el intervalo de 350-380 nm para irradiar el material fluido polimerizable por radiación.

En otra realización preferida de la invención, se usa la polimerización de dos fotones en el haz o los haces de irradiación. Por ejemplo, una longitud de onda de la luz puede estabilizar el material fluido polimerizable por radiación, pero hasta que no se someta a un segundo fotón de diferente longitud de onda (o energía) no se polimeriza el material para crear material agregado en el sustrato de lente. En otro ejemplo, un primer fotón puede comenzar la polimerización, pero hasta que no se someta el material fluido polimerizable por radiación un segundo fotón no se produce suficiente energía para completar la polimerización. En otra realización preferida de la invención, un fotón podría activar una reacción inicial, mientras que el segundo fotón permite una vía de reacción secundaria para un resultado de polimerización preferido.

La polimerización de dos fotones también se puede usar con un haz de irradiación enfocado a la resina, como se

ilustra, por ejemplo, en las Fig. 3 y 4. A menudo, con la polimerización de dos fotones, la reacción completa solo ocurrirá cuando la intensidad de la radiación entrante esté por encima de algún umbral. En una realización preferida de la invención, uno puede crear una región exacta cerca del foco del haz de irradiación donde la irradiación está por encima del umbral, y solo en esta área seleccionada se logra la polimerización. Fuera de esta región, cerca del foco, el material fluido polimerizable por radiación permanece fluido.

En otra realización preferida de la invención, se usa la energía del canal azul (B) de un proyector (R, G, B) (rojo-verde-azul) para irradiar selectivamente el material fluido polimerizable por radiación.

También se pueden utilizar otros proyectores de luz. Estos pueden incluir proyectores con luz UV y visible, o proyectores que usan varios intervalos de longitud de onda visibles o diferentes canales de color. Las fuentes de luz de los proyectores pueden incluir diodos láser, múltiples fuentes discretas en diferentes intervalos de longitud de onda, ruedas de filtro en fuentes individuales y otras técnicas conocidas en la técnica. Típicamente, tres o más intervalos de longitud de onda están disponibles en la mayoría de los proyectores y uno o más de estos intervalos de longitud de onda pueden usarse para la irradiación selectiva en la presente invención.

En otra realización preferida de la invención, se puede usar un proyector de procesamiento digital de luz (DLP) que usa una fuente de luz UV para la irradiación de un material adecuado polimerizable por radiación. En otra realización preferida de la invención, se puede usar un DLP con una o más fuentes de luz visible, o con fuentes de luz UV y visible.

En otra realización preferida de la invención, el proyector DLP podría reemplazarse por un haz de láser de exploración, usando una fuente de láser visible o UV y un espejo orientado usando actuadores piezoeléctricos. En otra realización preferida de la invención, se usan uno o más láseres para la irradiación; en otra realización preferida de la invención, se usan uno o más diodos emisores de luz para la irradiación.

El material fluido polimerizable por radiación puede ser directamente irradiado por la fuente, o la energía puede ser filtrada, pulsada, cortada, secuenciada por tiempo, o reflejada o transmitida a través de otras ópticas de control antes de alcanzar el material polimerizable por radiación. La energía de irradiación puede concentrarse en un haz estrecho, colimado, enfocado o expandido por la óptica para crear una energía de haz, perfil espacial, profundidad de enfoque u otros atributos de irradiación controlados para el procedimiento según la invención. También se puede presentar en un patrón de irradiación más difuso, o en un patrón estructurado para controlar aún más la selectividad del posicionamiento del material agregado para la lente para gafas a medida. Por ejemplo, con un DLP o una variedad de fuentes de luz, los píxeles o las fuentes pueden controlarse individualmente para iluminar áreas específicas y discretas en el sustrato de lente, o para controlar la irradiancia.

En una realización preferida de la invención, el área de irradiación del material fluido polimerizable por radiación se controla para distancia con respecto al sustrato de lente, y la superficie o superficies del sustrato a las que se agrega material. Esto se puede lograr moviendo el sustrato de lente en relación con la irradiación, cambiando el área de irradiación (por ejemplo, mediante el enfoque del haz o el movimiento físico del haz de irradiación) o mediante una combinación de dichas técnicas. En otra realización preferida de la invención, el ángulo en el cual la irradiación polimeriza el material polimerizable por radiación y/o el ángulo de la irradiación frente a la superficie del sustrato de lente se controla y se puede ajustar para facilitar el diseño de material agregado. Dicho ajuste y control del ángulo se puede lograr mediante diversos procedimientos, que incluyen cambios en el ángulo  $\alpha$  del sustrato de lente como se describe en la realización ejemplar de la Figura 1, cambios en la posición XZ del sustrato de lente, otros cambios posicionales del sustrato de lente durante la irradiación que proporciona el diseño de material agregado, cambios en el enfoque o dirección de la óptica asociada con el conjunto de irradiación o el haz de irradiación, movimiento físico del conjunto de irradiación o haz de irradiación, cambios en la energía emitida del haz de irradiación y otras técnicas.

En una realización preferida de la invención, el haz de irradiación y/o el sustrato de lente pueden moverse uno respecto al otro. Dicho movimiento y el control de estos movimientos pueden ser factores adicionales utilizados en el diseño de material agregado y en el control del proceso de irradiación selectiva. El control y/o movimiento del haz de irradiación puede lograrse ajustando la longitud de onda, la energía, el enfoque u otros factores de radiación. En otra realización, cualquiera o ambos del conjunto de irradiación y el haz de irradiación se pueden posicionar, mover u orientar físicamente con respecto al material fluido polimerizable por radiación o al sustrato de lente durante el procedimiento del material agregado.

Un uso preferido de dicho control y/o movimiento del haz de irradiación, ya sea solo o en combinación con el posicionamiento y movimiento controlados del sustrato de lente, es suavizar defectos o bordes a medida que el material fluido se irradia y se forma el material agregado. Como ejemplo, un área seleccionada del material fluido polimerizable por radiación puede irradiarse para formar material agregado polimerizado sobre el sustrato de lente en el área irradiada. Luego, los bordes de esa área, y opcionalmente, algún material adicional más allá del área originalmente irradiada, pueden ser irradiados nuevamente, pero con una distribución espacial o de energía diferente para suavizar el borde o crear una pendiente gradual hacia el sustrato de lente en el borde de la superficie del material agregado. Como otro ejemplo, se podrían usar exposiciones múltiples para permitir que transcurra el tiempo de la reacción de polimerización por radiación, para asegurar que se absorba suficiente energía para completar la

reacción, o para fortalecer el enlace integral del material agregado polimerizado al sustrato de lente.

Los procedimientos de irradiación selectiva de la invención pueden proporcionar material agregado a una o ambas superficies del sustrato de lente, y esta es otra opción que puede seleccionarse durante el cálculo del diseño de material agregado. Se pueden usar diversos procedimientos para controlar la exposición de una o más superficies de sustrato de lente al material fluido polimerizable por radiación y para controlar el proceso de irradiación selectiva. Como se mencionó anteriormente, se puede aplicar material protector para evitar que una superficie o un área de una superficie entre en contacto con el material fluido polimerizable por radiación; los materiales protectores también pueden funcionar como absorbentes o reflectores de la irradiación, para limitar o mejorar los procesos de polimerización, respectivamente. Otro procedimiento preferido es controlar cuidadosamente las propiedades del haz de irradiación, como el enfoque, la distribución de energía en el área de irradiación, la dosis de energía y las longitudes de onda efectivas (aquellas capaces de causar polimerización) para mejorar el proceso de irradiación selectiva. El propio sustrato puede participar en el control de la irradiación. Por ejemplo, el material del sustrato de lente puede absorber la energía de irradiación lo suficiente como para que no se produzca una polimerización por radiación, incluso si el material fluido está en contacto con la superficie opuesta del sustrato. En otro ejemplo, el sustrato de lente puede comprender reflectores o absorbentes que limitan la exposición de la superficie opuesta a una irradiación efectiva para la polimerización; esto podría incluir, por ejemplo, recubrimientos reflectantes de espejo, o capas reflectantes o absorbentes incorporadas. También se pueden emplear sistemas de soporte que solo exponen una superficie del sustrato de lente al volumen del material fluido polimerizable por radiación, como sistemas en los que el sustrato de lente comprende parte de una pared del contenedor para el material fluido, o cuando el material fluido solo se introduce contra una superficie del sustrato de lente.

Opcionalmente, se puede medir o detectar el sustrato de lente, para confirmar sus propiedades de superficie, orientación, montaje u otras características. En una realización preferida de la invención, las propiedades de sustrato de lente y su posición o movimiento durante la deposición del material agregado serán factores en el diseño de material agregado. Las superficies del sustrato de lente se medirán (por ejemplo, mediante metrología óptica o física) o conocerán, y se pueden expresar mediante una o más ecuaciones, o se describen mediante un conjunto único de coordenadas XYZ.

Durante el procesamiento conforme al diseño de material agregado, puede desearse consultar las propiedades localizadas del material agregado para determinar si las modificaciones medidas están dentro de las tolerancias esperadas, o si se deben hacer ajustes o revisiones al diseño de material agregado. En una realización alternativa, esto puede incluir consultar las propiedades localizadas del material fluido polimerizable por radiación que está en contacto con el sustrato de lente para determinar si es necesario realizar modificaciones, por ejemplo, en el diseño de material agregado o en la irradiación selectiva del material polimerizable por radiación. Dicho monitoreo puede ocurrir periódicamente, continuamente o en momentos discretos durante el procesamiento conforme al diseño de material agregado.

La Fig. 1 muestra un elemento sensor 41 que puede usarse para monitorear la posición del sustrato de lente, el área de irradiación y/o el material agregado que se está formando. Los elementos de detección ejemplares incluyen cámaras CCD, detectores interferométricos, detectores de luz transmitida o reflejada y otros dispositivos de medición. El elemento sensor también puede configurarse para usar deflectometría, comparación de patrones de Moiré, técnicas de sensores de frente de onda tipo Shack-Hartmann, o técnicas de triangulación para monitorear y medir el proceso según la invención.

En una realización preferida de la invención, el elemento sensor opcional se puede usar para evaluar el procesamiento adecuado conforme al diseño de material agregado, determinar errores en el procesamiento y refinar u optimizar el diseño (si es necesario, en función de los errores detectados) para lograr la potencia óptica (y, opcionalmente, otros cambios de propiedades) deseados para la lente para gafas a medida. Las medidas del elemento sensor se pueden usar para verificar que el material fluido se comporta como se espera, que el sustrato de lente está en la posición y orientación esperadas para el diseño de material agregado, y que el material agregado se forma como se espera y se necesita para el diseño de material agregado. Por ejemplo, se puede esperar que el material fluido crea un ligero menisco en el sustrato de lente. Estas mediciones opcionales pueden verificar si el menisco se está presentando como se espera, o si las interacciones del líquido con la superficie están creando un perfil diferente.

En realizaciones preferidas de la invención, el material agregado, el sustrato de lente y el material fluido polimerizable por radiación pueden medirse durante el proceso de diseño de material agregado, y la información de dichas mediciones puede usarse para confirmar o revisar el diseño de material agregado para lograr los cambios deseados para la lente para gafas a medida.

Los elementos sensores o dispositivos de medición preferidos pueden suministrar información o datos directos sobre uno o más de los siguientes parámetros: posición y orientación del sustrato; posición, pendiente local y altura local (espesor) del material agregado; posición, pendiente, grosor del material fluido polimerizable por radiación con respecto al sustrato de lente; potencia óptica del sustrato de lente; potencia óptica del material agregado; potencia óptica de la combinación de material polimerizado agregado y sustrato de lente; y características o impurezas en el

material fluido o en el material polimerizado agregado. Estas mediciones, o los valores derivados de las mediciones se pueden comparar con el diseño de material agregado, o se pueden usar como entradas para calcular qué potencia óptica u otro cambio óptico (por ejemplo, transmisión, polarización) se logró con el material agregado en el sustrato de lente. Preferentemente, las mediciones se realizan en varios puntos discretos, o en un área de interés extendida respecto al sustrato de lente. De manera alternativa, los datos se pueden obtener a lo largo de una línea o múltiples líneas medidas a través del sustrato de lente o del material polimerizado agregado.

Si se usan estas medidas opcionales y se miden errores mayores de lo esperado, se compara la información con el diseño de material agregado y se realizan cálculos para corregir los errores o las diferencias. El diseño de material agregado, o su procedimiento de ejecución, se revisa en función de estos cálculos para alterar dónde o cómo se polimeriza el material, de modo que aún se puedan lograr las modificaciones deseadas del sustrato de lente a las propiedades de la lente para gafas a medida. Por ejemplo, los cálculos pueden dirigir el ajuste a las condiciones de irradiación que se aplicarán posteriormente al material fluido polimerizable por radiación. Por ejemplo, si el material agregado medido fue más grueso de lo esperado, puede requerirse más energía o más tiempo de exposición para polimerizar todo el espesor del material. Además, si el material agregado es más grueso de lo esperado en una posición dada, se puede ajustar la pendiente relativa, el grosor y/o la posición del material agregado adyacente para continuar con los cambios deseados para la lente para gafas a medida, sin generar un defecto cosmético u óptico inaceptable debido a diferencias de altura en el material agregado. Por el contrario, si las mediciones indican que el material agregado polimerizado es más fino de lo esperado, el sustrato de lente se puede someter a un contacto adicional con el material fluido polimerizable por radiación e irradiación adicional) en esa misma posición, para permitir que se agregue más material. En otro ejemplo, si las mediciones mostraran que el material se agregó inadvertidamente en posiciones que no fueron especificadas por el diseño original, los cálculos basados en las propiedades ópticas medidas del material agregado o su combinación con el sustrato de lente indicarían si se deben realizar las acciones correctivas y cuáles.

En una realización preferida de la invención, se monta una cámara en una posición fija conocida, diferente con respecto a la fuente de luz de irradiación, y se usa como elemento sensor para proporcionar mediciones en diversos momentos durante el diseño de material agregado, como se muestra en la Fig. 1 por la cámara 41. En este ejemplo, la cámara puede ver el material polimerizado agregado 51 a través del material fluido, el material que reacciona en el área del haz de irradiación 31 (el área de la trama cruzada 51a) y/o el material fluido polimerizable por radiación 21 en contacto con el sustrato de lente.

En otra realización preferida de la invención, se usa un proyector (R, G, B) en el conjunto de irradiación 30, y la luz azul del proyector funciona como el haz de irradiación. En esta realización, el material fluido polimerizable por radiación no se ve afectado por la luz roja o verde del proyector. En su lugar, una cámara que actúa como elemento sensor utiliza los canales rojo y verde del proyector como fuentes de luz para medir las propiedades ópticas del material agregado y su forma tridimensional en relación con la superficie de la lente.

Otros ejemplos e información sobre técnicas de detección se describen en la solicitud pendiente de los inventores relacionada con número de serie 14/226,686.

Las mediciones de los elementos sensores se pueden comparar con los resultados calculados que se esperaría para la ubicación y el tiempo particulares de la medición con respecto al sustrato de lente y la etapa de finalización del diseño de material agregado. Si el material fluido polimerizable por radiación se está sondeando (ya sea en forma adicional o adyacente al material polimerizado agregado), conviene asegurarse de tener en cuenta las diferencias en las propiedades del material fluido 21 frente al material polimerizado agregado; estos pueden tener diferentes índices, espesores y pendientes, por ejemplo. Se pueden incluir correcciones o adaptaciones que ayudarán a determinar, por ejemplo, si el material polimerizado agregado se formó en la posición esperada en la superficie del sustrato de lente y con un espesor suficiente.

En una realización preferida de la invención, el elemento de detección mide el material agregado polimerizado para determinar su posición localizada, grosor, pendiente y/o potencia óptica en relación con la superficie del sustrato de lente. En otra realización preferida, se pueden medir las propiedades ópticas de transmisión de luz u otras propiedades de luz (por ejemplo, transmitancia de luz, polarización, fotocromicidad, absorbancia UV, etc.) para determinar cómo el material agregado ha cambiado las propiedades ópticas del sustrato de lente. En una realización preferida de la invención, se usan las mediciones de la(s) superficie(s) del sustrato de lente en combinación con mediciones en el material agregado como referencia y para comparaciones localizadas.

La(s) misma(s) técnica(s) de medición puede(n) usarse para evaluar el material fluido polimerizable por radiación y el material agregado polimerizado. Se pueden usar las mismas o diferentes técnicas de medición en diferentes momentos durante el diseño de material agregado, o en diferentes ubicaciones en relación con la superficie del sustrato de lente. En una realización preferida, se pueden usar múltiples técnicas para la medición a medida que avanza el diseño de material agregado. Como ejemplo no limitativo, las técnicas de reflectancia de superficie pueden usarse para medir y calcular el error durante el procesamiento aditivo inicial, pero las técnicas de medición de transmitancia pueden usarse cuando se está a punto de completar el diseño de material agregado para comprobar la potencia óptica de transmisión de luz (es decir, el cambio combinado de potencia óptica que se produce cuando

la luz se dirige a través del sustrato de lente y el material agregado que se forma sobre el sustrato de lente).

Las Fig. 2, 3 y 4 muestran vistas adicionales de otra realización ejemplar de la descripción. En la Fig.2, el sustrato de lente 11 se muestra colocado sobre un soporte del sustrato de lente 70 dentro del contenedor 80 que contiene material fluido polimerizable por radiación 21. El sustrato de lente se muestra con la superficie convexa hacia arriba para ilustrar otra opción de posicionamiento. El sustrato de lente 11 también se puede posicionar con la superficie cóncava hacia arriba, como en la Fig. 1, o en diversas posiciones angulares, en función de dónde se desee añadir material mediante el procedimiento según la invención.

El soporte del sustrato de lente 70 puede ser fijo o móvil dentro del contenedor. Se pueden usar diversos procedimientos para fijar el sustrato de lente 11 al soporte 70, que incluyen apoyo estacionario, adhesivo, vacío, sujeción mecánica, puntos de apoyo, carga estática u otras técnicas de fijación. En una opción preferida, el soporte puede entrar en contacto o mantener los bordes del sustrato de lente que no se verán afectados por el proceso aditivo; en otra realización, el soporte puede entrar en contacto con materiales protectores, recubrimientos o capas que se hayan aplicado al sustrato de lente (en lugar de o además de entrar en contacto con el sustrato de lente en sí). En otras opciones, el soporte 70 (o al menos la superficie del soporte en contacto con el sustrato de lente) puede incluir material que asegura el sustrato de lente, como, por ejemplo, cera deformable, soldadura, aleación o plastilina. En otras realizaciones preferidas de la invención, el soporte 70 puede comprender abrazaderas, agarres, puntos de tensión, accesorios, plataformas, pequeños accesorios, áreas de adhesivo y otros mecanismos conocidos en la técnica para sujetar, soportar o guiar el sustrato de lente 11 a una posición o posiciones conocidas. En otra realización preferida de la invención, el soporte 70 puede comprender características para controlar la posición del sustrato de lente, como sensores activos o pasivos de posición y transductores; brazos pivotantes o de trinquete con topes o topes ajustables; etapas de traslación y/o inclinación de x, y, z; y otros mecanismos conocidos por los expertos en la materia.

El conjunto de irradiación 30 en la Fig. 2 comprende irradiación controlada dirigida a través de un sistema de suministro de radiación 32 y emitida desde una carcasa exterior para proporcionar el haz de irradiación para el material fluido polimerizable por radiación. El haz de irradiación se describirá con mayor detalle con referencia a las Fig. 3 y 4. El material agregado 51, formado por la irradiación selectiva del material fluido polimerizable por radiación en contacto con el sustrato de lente 11, se muestra a la izquierda del conjunto de irradiación en la Fig. 2.

Preferentemente, el conjunto de irradiación 30 se monta en un dispositivo de soporte de irradiación 60 que permite el movimiento controlado del elemento de irradiación con respecto al sustrato de lente 11. En la Fig. 2, el dispositivo de soporte de irradiación permite que el conjunto de irradiación 30 (y su haz de irradiación asociado) se mueva al menos de izquierda a derecha a través del sustrato de lente como se ve. En una realización preferida de la invención, el dispositivo de soporte de irradiación 60 permite al menos el movimiento del eje Y y el eje Z (ejes como se definieron anteriormente para la Fig. 1); en otra realización preferida de la invención, el dispositivo de soporte de irradiación 60 permite el movimiento de traslación y rotación del conjunto de irradiación 30, de modo que su distancia a la superficie del sustrato de lente y/o su ángulo con respecto a la superficie del sustrato de lente se puede controlar o cambiar durante la irradiación del volumen del material fluido 21 con el haz de irradiación que se dirige o emite desde 30. Estos movimientos controlados pueden efectuarse, por ejemplo, mediante el uso de una etapa de traslación para el dispositivo de soporte de irradiación 60. En otra realización preferida de la invención, la etapa o el dispositivo de soporte de irradiación puede ser alimentado por una bobina de voz, accionado eléctricamente, o controlado con un PLC para el posicionamiento reproducible del conjunto de irradiación y su haz de irradiación dirigido.

Para otras realizaciones del procedimiento, el dispositivo de soporte de irradiación 60 puede permitir el movimiento controlado del conjunto de irradiación y/o el haz de irradiación con respecto a la superficie del material fluido polimerizable por radiación. En otras realizaciones, el dispositivo de soporte de irradiación 60 puede configurarse para mantener una posición fija del haz de irradiación emitido por el conjunto de irradiación con respecto a la superficie del material fluido polimerizable por radiación, el recipiente 80, o el sustrato de lente.

La Fig. 3 muestra un mayor detalle del conjunto de irradiación 30 para la incorporación descrita en la Fig. 2. En este ejemplo, el conjunto de irradiación 30 comprende una fuente de radiación remota (no se muestra) con un sistema de suministro de radiación 32, como un tubo guía o un cable de fibra óptica. En este ejemplo, el conjunto de irradiación comprende además una carcasa protectora que puede proporcionar, por ejemplo, resistencia mecánica, facilidad de manejo o blindaje químico, óptico, eléctrico o físico para la energía irradiada, su fuente de alimentación o partes de este conjunto. En el ejemplo de la Fig. 3, el conjunto de irradiación 30 comprende además una óptica de control 34 para conformar y/o modificar la distribución de energía del haz de irradiación 31. En este caso, la óptica de control 34 es una lente de enfoque; un experto en la materia reconocerá que la óptica de control 34 también puede construirse con una o más partes ópticas, y su funcionamiento puede comprender filtros de longitud de onda, reflectores, absorbentes, polarizadores, óptica de colimación, óptica expansiva, óptica de direccionamiento de haz, espejos, divisores de haz y similares.

Un elemento opcional preferido adicional para el conjunto de irradiación 30 se muestra en la Fig. 3 como placa de cubierta 36, que protege la óptica y el sistema de suministro de radiación del elemento 30 de un contacto con el material fluido polimerizable por radiación. La placa de cubierta 36 puede ser particularmente conveniente si se

desea enfocar bruscamente la luz del conjunto de irradiación 30 en la superficie de, o preferentemente, dentro del volumen del material fluido polimerizable por radiación. La placa de cubierta 36 está hecha preferentemente de material con alta transmisión en la longitud de onda o longitudes de onda elegidas para la polimerización selectiva; por ejemplo, si se emplea luz UV en el intervalo de 280-320 nm, puede preferirse una placa de cubierta de sílice o cuarzo fundida frente a una placa de cubierta de vidrio, debido a una mayor transmisión de luz UV. En otra realización preferida de la invención, la placa de cubierta comprende además recubrimientos, tratamientos o propiedades intrínsecas del material que reducen o inhiben la adhesión del material fluido polimerizable por radiación a su superficie exterior; esto puede ser importante para mantener las propiedades de irradiación deseadas, particularmente si la placa de cubierta puede estar en contacto con el material 21. Dichos recubrimientos, tratamientos o materiales se seleccionarán en función de la naturaleza y la química del material fluido polimerizable por radiación a utilizar, y podrían comprender propiedades hidrófobas, oleóforas, oleófilas, hidrófilas, fluoradas, silanadas, texturizadas u otras según sea necesario. Para obtener el mejor rendimiento, puede ser necesario limpiar, acondicionar o volver a tratar periódicamente la placa de cubierta 36 para mantener una buena transmisión de la luz del conjunto de irradiación y las características de radiación deseadas del haz de radiación. En otra realización, la placa de cubierta 36 puede tener un recubrimiento o protector removible que puede renovarse o reemplazarse para mantener una buena transmisión. Dichos protectores o recubrimientos removibles también pueden aplicarse a la carcasa protectora 38 del elemento 30 para prevenir o reducir la acumulación no deseada de material, si es necesario. En otra realización preferida de la invención, la óptica de control 34 puede incluir enfocar o compensar las partes ópticas para corregir las aberraciones esféricas introducidas por la presencia de la placa de cubierta en el haz de irradiación.

En la Fig. 3, el haz de irradiación altamente enfocado 31 proporcionado por el conjunto de irradiación 30 se muestra con el mismo patrón de trama que se usa en la Fig. 1. El material fluido polimerizable por radiación 21 se muestra alrededor y en contacto con el conjunto de irradiación 30 y en contacto con la superficie convexa del sustrato de lente 11. El haz de irradiación 31 se ilustra convirtiendo el material fluido 21 en material agregado polimerizado en la zona de la trama cruzada 51a directamente debajo del haz enfocado, y a la izquierda del haz de irradiación se muestra el material agregado 51 que se ha polimerizado de manera previa y selectiva mediante irradiación sobre el sustrato de lente. Para efectuar una polimerización selectiva adicional en esta u otras áreas en el sustrato de lente, el sustrato de lente, el elemento de irradiación, o ambos, se pueden mover uno respecto al otro. Dicho movimiento puede incluir movimientos de traslación y/o rotación en uno o más ejes.

La Fig. 4 es otra vista ampliada de la realización según la invención ilustrada en la Fig. 2. La Fig. 4 ilustra un haz de irradiación ejemplar 31 en un punto diferente en el tiempo durante el procesamiento de aditivos según la invención. En este punto del diseño de material agregado, se desea formar una capa más gruesa de material agregado polimerizado en el sustrato de lente 11. La Fig. 4 ilustra un procedimiento para lograr esto. En este caso, las propiedades de enfoque y densidad de energía del haz de irradiación 31 han cambiado dinámicamente con respecto a las de la Fig. 3 para crear un área seleccionada más grande (51a) para la conversión de material fluido polimerizable por radiación. Se pueden emplear diversas técnicas para efectuar este ajuste activo del haz de irradiación, como cambios en la óptica de control 34, la posición del haz de irradiación con respecto al sustrato de lente, la posición del conjunto de irradiación con respecto al sustrato de lente, o un control activo de la fuente de radiación y/o elementos en el conjunto de irradiación. La Fig. 4 muestra un área seleccionada más grande (una zona focal expandida) con suficiente energía para formar el material agregado conforme al diseño de material agregado. Tal como se muestra, se puede usar el control activo o pasivo de la zona focal del haz de irradiación (su intervalo de Rayleigh) para expandir o contraer el área seleccionada que se irradiará con suficiente energía y la distribución espacial adecuada para polimerizar el material fluido polimerizable por radiación conforme al diseño de material agregado.

Las Fig. 3 y 4 proporcionan una descripción e ilustración adicional de la etapa de irradiación selectiva de la invención, en la cual se controla la posición espacial de la zona de irradiación con respecto al sustrato de lente.

La Fig. 5 ilustra una realización preferida según la invención. En este ejemplo, un tubo de entrega de material 300 proporciona un canal y una zona de transporte para el material fluido polimerizable por radiación 21. El tubo de entrega de material 300 exterior rodea un conjunto de irradiación 30 que es similar al que se muestra en la Fig. 3. El conjunto de irradiación 30 comprende una fuente de radiación remota (no se muestra) dirigida a través de un sistema de suministro de radiación 32 para formar un haz de irradiación 31 mediante un sistema óptico de control de enfoque nítido 34. El conjunto de irradiación está rodeado por una carcasa de protección 38 y una placa de cubierta 36. El tubo de entrega de material 300 puede ser una característica añadida combinada con el equipo de irradiación 30, una estructura separada del equipo de irradiación o una estructura que pueda separarse del equipo de irradiación. De manera alternativa, el tubo 300 puede colocarse a una distancia y orientación fijas con respecto al elemento 30.

En estas y otras realizaciones de la invención, el propósito del tubo de entrega de material 300 es presentar el material 21 en posiciones controladas en y alrededor del haz de irradiación para el procesamiento de aditivos. Ventajosamente, esto describe otra realización para proporcionar una fuente a granel de material fluido polimerizable por radiación para el contacto con la(s) superficie(s) y para la irradiación, pero permite usar una cantidad mucho más limitada de material. Además, en esta realización, el material fluido polimerizable por radiación se proporciona con

mayor exactitud a la zona específica necesaria para el diseño de material agregado. También puede limitar el exceso de humedad del sustrato de lente y, por lo tanto, eliminar las etapas adicionales para secar o limpiar la lente después de procesarla. Esta estrategia puede ser particularmente conveniente si el material fluido polimerizable por radiación es muy caro, altamente reactivo o sensible a la degradación debido a la exposición a la humedad, la atmósfera, la luz extraña u otros factores.

Si bien las figuras detallan la polimerización selectiva en una superficie del sustrato de lente, está claro que estas u otras técnicas pueden usarse para formar material agregado en ambas superficies del sustrato de lente para la lente para gafas a medida. Por ejemplo, se pueden usar múltiples haces de irradiación y dirigirlos hacia cada una de las superficies. Como otro ejemplo, se puede usar un solo haz de irradiación, pero dividido y dirigido por la óptica para irradiar ambas superficies del sustrato de lente. En otro ejemplo, un solo haz de irradiación puede ser dirigido de tal manera que ilumine una superficie del sustrato de lente, pero también penetra a través del sustrato con suficiente energía controlada para polimerizar selectivamente el material fluido en ambas superficies. Con sustratos de lente transparentes, esto puede ser una realización preferida de la invención para la velocidad y comodidad de fabricación.

En una realización preferida, las mediciones del sensor opcional se comparan con los valores o resultados esperados para el diseño de material agregado y los ajustes realizados en función de estos resultados. Estos ajustes pueden incluir modificaciones en el diseño de material agregado, en la irradiación selectiva o en la forma en que el material fluido polimerizable por radiación establece contacto con la(s) superficie(s) del sustrato de lente.

Una ventaja del procedimiento de la presente invención es que uno no es tan dependiente de la precisión dimensional global, sino de la curvatura y grosor localizados del material agregado. Esto permite una mayor adaptación de la varianza y límites de error más grandes durante el procesamiento del diseño de material agregado. Ventajosamente, las técnicas de detección opcionales permiten usar el procedimiento según la invención para monitorear el procedimiento y evitar la acumulación de errores a medida que se construye la lente.

Por ejemplo, si el error demostró que el material agregado polimerizado se depositó con demasiado espesor en un lugar determinado, se puede añadir (y polimerizar) material fluido y polimerizable por radiación adicional adyacente a esa ubicación para disminuir el efecto. En otro ejemplo, si el material agregado polimerizado está presente en una zona que no fue originalmente diseñada para dicho material agregado (por ejemplo, si unas pocas gotas salpicaron otra zona del sustrato de lente), es posible corregir este error poniendo en contacto la parte del sustrato de lente con un material fluido polimerizable por radiación con un índice de refracción diferente o propiedades ópticas de mejora para ocultar este error. En otra realización, se puede ajustar la posición y/o el ángulo del sustrato de lente de manera que el material agregado posteriormente se agregará en posiciones o cantidades revisadas para corregir los errores detectados por los valores medidos. En una realización adicional, el área de irradiación en el volumen del material fluido polimerizable por radiación puede alterarse en términos de su posición, distancia o ángulo con respecto a la(s) superficie(s) del sustrato de lente para proporcionar el material agregado en las posiciones necesarias para efectuar la conversión de las propiedades de potencia óptica del sustrato de lente (y, opcionalmente, otras propiedades de lente seleccionadas) a las propiedades de potencia óptica de la lente para gafas a medida. Otras condiciones de irradiación controlada, como la distribución espacial y de energía, pueden recalcularse y ajustarse para corregir las diferencias detectadas. De manera alternativa, dependiendo del material fluido polimerizable por radiación usado, puede ser posible eliminar parte del material agregado previamente para corregir o disminuir el error. Otras correcciones abarcadas por la invención serían reconocidas a partir de estos ejemplos por los expertos en la materia.

En otra realización preferida de la invención, se usan dos o más materiales fluidos polimerizables por radiación diferentes para formar el material agregado para convertir el sustrato de lente en la lente para gafas a medida. Los materiales fluidos polimerizables por radiación pueden mezclarse (si son compatibles) en proporciones fijas o variables durante el proceso aditivo para crear propiedades intermedias o graduadas, o el sustrato de lente puede ponerse en contacto con diferentes materiales fluidos polimerizables por radiación de manera individual y secuencial durante el diseño de material agregado para efectuar el cambio de potencia óptica deseado y, opcionalmente, otros cambios de propiedades. La radiación selectiva puede diseñarse o elegirse de manera similar para que cambie durante estos cambios del material fluido polimerizable por radiación, para una polimerización optimizada de los diferentes materiales.

En otra realización, se puede usar el mismo material fluido polimerizable por radiación en todo el diseño de material agregado, pero se pueden incluir diferentes componentes en diferentes etapas o para diferentes posiciones del material agregado en el sustrato de lente. Por ejemplo, si el material agregado está diseñado para proporcionar una respuesta fotocromática y el cambio de potencia óptica, se puede elegir (dado el alto coste de los colorantes fotocromáticos) concentrar los colorantes solo en los últimos micrómetros del espesor del material agregado. Esto podría lograrse, por ejemplo, usando un material fluido polimerizable por radiación que sea compatible con los colorantes fotocromáticos deseados, pero solo añadiendo esos colorantes a la última parte del material fluido polimerizable por radiación que se forme conforme al diseño de material agregado. Como otro ejemplo, se pueden añadir pigmentos, partículas reflectantes o conductoras para depositarlas en posiciones definidas y discretas de la lente para proporcionar marcas o circuitos eléctricos. El procedimiento descrito en la Fig. 5 puede ser

particularmente adecuado para modificaciones del material fluido polimerizable por radiación como éstas, ya que la entrega del material se controla más de cerca y puede secuenciarse más fácilmente en su contenido que con un gran tanque de retención de líquido.

5 En otra realización preferida, se puede incluir una capa que comprende un foto-iniciador con el diseño de material agregado. En una realización, el sustrato de lente comprende una capa de fotoiniciador, que puede recubrirse, por ejemplo, en una o en ambas superficies del sustrato de lente; en otra realización, una capa fina de fotoiniciador puede recubrirse sobre el material fluido polimerizable por radiación. La capa del fotoiniciador puede comprender material compatible con el (los) material(es) polimerizable(s) a usar en el proceso, y ser capaz de unirse de forma integral a ellos. En otra realización preferida de la invención, la capa del fotoiniciador puede comprender además un iniciador o iniciadores térmicos que pueden ayudar a acelerar o adaptar la reacción de polimerización. En una realización, la capa que comprende fotoiniciador puede ser muy fina, de manera que no afecte a la potencia óptica global del diseño de material agregado. Estas capas opcionales de fotoiniciador son una adición preferida por los inventores para controlar y mejorar la profundidad y el alcance del curado de los materiales polimerizables por radiación adyacentes.

En otra realización de la invención, se puede aplicar una capa de imprimación al sustrato de lente antes de que entre en contacto con el material fluido polimerizable por radiación. Estas capas de imprimación pueden mejorar la adhesión, o mejorar la tensión o el desajuste de la expansión térmica, entre el sustrato de lente y el material agregado.

Una vez que el diseño de material agregado está completo, el material fluido polimerizable por radiación sin reaccionar puede ser removido de la lente para gafas a medida retirando el sustrato de lente del contacto con el material fluido o alejando el material fluido del sustrato de lente. El material sin reaccionar también puede retirarse de la superficie por procedimientos químicos, como enjuague con solvente, remojo de solución, limpieza con vapor, tratamiento con plasma u otras técnicas conocidas en la técnica. Como otra opción, el material sin reaccionar puede eliminarse mediante procedimientos físicos, como grabado químico, lavado, abrasivo suave, contacto con la cuchilla dosificadora, mecha u otras técnicas conocidas en la técnica.

30 Opcionalmente, se pueden añadir otros recubrimientos a la lente a medida después de completar el diseño de material agregado. Algunos ejemplos de otros recubrimientos incluyen: recubrimientos duros o resistentes a la abrasión, recubrimientos alisadores, fotocromáticos, electrocromáticos, termocromáticos, recubrimientos para mejorar la limpieza, recubrimientos polarizados, recubrimientos antirreflejos, recubrimientos de filtros y recubrimientos conductores o recubrimientos activos para aplicaciones de visualización. Estos pueden ser aplicados por varias técnicas conocidas que incluyen la deposición en fase líquida o gaseosa. Los recubrimientos adicionales ejemplares que son particularmente adecuados para las técnicas de deposición en fase gaseosa (como la deposición al vacío por vapor, atmosférica, corona, plasma y física o química) incluyen recubrimientos antirreflejos, recubrimientos filtrantes y recubrimientos conductores. Estos y otros recubrimientos se pueden aplicar solos o en combinación para proporcionar características adicionales opcionales de la lente.

Además, los recubrimientos opcionales pueden incluir otras características añadidas a la lente en, con, sobre o dentro de los recubrimientos. Los ejemplos de algunas de estas características incluyen impresiones decorativas; calcomanías; joyas; chips, pantallas, transmisores o sensores integrados; microóptica; y marcas semivisibles para la identificación de la lente.

Otra etapa opcional después de completar el diseño de material agregado es el postcurado de la lente. El postcurado se puede usar para diversos fines, que incluyen, por ejemplo, para templar, estabilizar, aliviar la carga o densidad del material o para mejorar las propiedades finales del material agregado y de la lente a medida resultante. En una realización preferida, una exposición al calor y a la luz posterior al curado puede reducir la amarillez de algunos materiales agregados polimerizados. Una etapa posterior al curado puede implicar la exposición general de la lente a un amplio espectro de energía térmica, infrarroja u otras formas de energía, o exposición controlada a un intervalo de longitud de onda específico. Esto se utiliza a veces como una etapa final en la producción de lentes para gafas.

55 Cuando el diseño de material agregado se ha formado e irradiado completamente, y se han realizado etapas opcionales, se completa la producción de la lente a medida según la invención.

60 Cuando la lente a medida está terminada, se puede colocar en la montura de las gafas elegida individualmente. Puede ser necesario recortar el borde la lente a medida hasta su tamaño final para realizar esta etapa. De manera alternativa, en una realización preferida de la invención, se recorta el borde del sustrato de lente para ajustarse a la montura antes de realizar el proceso de material agregado; esto simplifica el montaje de las gafas definitivas. En otra realización preferida de la invención, el sustrato de lente y la montura de las gafas se encajan antes del procedimiento de la invención, y todo el conjunto de gafas avanza en el procedimiento del material agregado. En esta realización, si se desea, se puede formar material agregado en la montura de las gafas, así como en el sustrato de lente para características nuevas o mejoradas. En otra realización preferida de la invención, el proceso de material agregado puede crear la montura de las gafas que se utilizará con la lente a medida.

La descripción se describirá ahora con más detalle con referencia a los siguientes Ejemplos no limitantes.

**Ejemplo 1**

5 Tal como se ilustra en la Fig. 6, un sustrato de lente 11 está montado en el soporte del sustrato de lente 70 que permite un posicionamiento controlado y fijo del sustrato de lente. En este Ejemplo, el soporte 70 del sustrato de lente comprende múltiples puntos que hacen contacto, sostienen y posicionan de manera fija el sustrato de lente. La superficie convexa del sustrato de lente está protegida por un elemento de protección 90, y el soporte 70 hace contacto con el elemento de protección 90 mientras soporta el sustrato.

10 El sustrato de lente 11 es una lente plana acabada que comprende superficies cóncavas y convexas pulidas y acabadas. El sustrato de lente está hecho de un material de lente con un índice de refracción de 1,5, con radios de curvatura en sus superficies convexas y cóncavas de 125 mm, y un espesor mínimo de 1,0 mm. El sustrato de lente tiene una forma rectangular de 50 mm de ancho (a lo largo del eje horizontal de la lente, ya que se montará en la montura y se usará) y 30 mm de altura. La superficie cóncava estará expuesta al material fluido polimerizable por radiación 21.

20 Se genera un diseño de material agregado para convertir el sustrato de lente 11 plana en una lente negativa con una potencia óptica directa de -2D. Usando un material fluido polimerizable por radiación que proporciona un material polimerizado con un índice de refracción de 1.5, el diseño de material agregado se construirá sobre el sustrato de lente de tal manera que se crea una nueva superficie  $Z_1$  (indicada por líneas punteadas en la Fig. 6) en la superficie cóncava (designado como  $Z_0$  en el sustrato de lente 11). El volumen que hay que construir con material agregado es el volumen comprendido entre  $Z_1$  y  $Z_0$ . La superficie resultante  $Z_1$  creada por el diseño de material agregado tiene un radio de curvatura de 83,3 mm, un espesor de 1 mm en su espesor mínimo cerca del centro de la lente y de 2,3 mm en el lado temporal de la lente rectangular.

25 El sistema de coordenadas X, Y, Z se define como en la Fig. 1, y se muestra de nuevo en la Fig. 6. El sustrato es inclinado por el soporte del sustrato de lente 70 de tal manera que se mantiene a una inclinación de 45° alrededor del eje X en el sistema de coordenadas X, Y, Z. El mecanismo de sujeción mantiene el sustrato de lente 11 en una posición fija y estacionaria durante todo el proceso de diseño de material agregado.

30 Un tanque de aluminio funciona como contenedor 80 y contiene el material fluido polimerizable por radiación con una profundidad máxima de 50 mm para este ejemplo. El tanque puede moverse hacia arriba y hacia abajo a lo largo del eje Z, de forma escalonada o continua, proporcionando señales de codificador que permite la determinación de la posición a lo largo del eje Z con una precisión de 0,001 mm. Para el Ejemplo 1, el tanque se eleva verticalmente a una velocidad uniforme de 0,1 mm/s durante el proceso de construcción.

35 El nivel del material fluido polimerizable por radiación en el tanque, y su posición con respecto al sustrato de lente 11 que se mantiene en el soporte fijo 70, se mide de forma continua. Esto se logra mediante una cámara CCD 41 que mide la posición del centro de la imagen de una fuente de LED roja reflejada desde la superficie superior del material fluido polimerizable por radiación 21. La cámara tiene un amplio campo de visión, de manera que puede ver simultáneamente la superficie  $Z_0$  del sustrato de lente 11, la superficie del material que se añade mediante el proceso al sustrato de lente 11 y la superficie del material fluido 21. En el Ejemplo 1, esta señal de la cámara es una referencia cruzada adicional a las señales del codificador del tanque para confirmar las posiciones del tanque y del material fluido.

45 El dispositivo de soporte de irradiación 60 comprende vigas fijas que montan de forma segura el conjunto de irradiación 30 y que también se fijan al contenedor 80. Por lo tanto, en este Ejemplo, el soporte de irradiación 60 no solo mantiene la posición del conjunto de irradiación 30, sino que también proporciona una característica adicional de mantener una distancia fija conocida entre el contenedor para el material fluido y el conjunto de irradiación. De esta manera, cuando el tanque se eleva verticalmente, el conjunto de irradiación se mueve con el tanque en relación con la posición fija del sustrato de lente. En este ejemplo, la cámara 41 también está montada en el dispositivo de soporte de irradiación 60, para mantener una relación fija entre la vista de la cámara y la posición del conjunto de irradiación.

50 El conjunto de irradiación 30 es un proyector DLP UV/visible montado sobre el contenedor 80. El proyector emite luz en el intervalo de 405 nm, con una energía total de 20 W y una matriz de 1024x768 píxeles. El proyector está equipado con ópticas de control de modo que el tamaño proyectado de un píxel en la superficie del material 21 es de aproximadamente un círculo de 50 micras. Esto significa que, si todos los píxeles están iluminados, la matriz total proporciona un área iluminada de aproximadamente 38 mm a lo largo del eje X y 51 mm a lo largo del eje Y. La óptica del proyector también incluye un difusor de luz para proporcionar un determinado grado de fusión y superposición entre píxeles y evitar espacios sin curar entre píxeles.

55 La proyección de luz de cada píxel de la matriz se calibra en función de la distancia vertical  $Z_1$  desde el conjunto de irradiación. Para cualquier  $Z_1$  dado, las posiciones  $x_i$  y  $y_i$  de cada píxel están bien establecidas con una precisión de 0,001 mm.

A medida que se levanta el contenedor 80, se usa un sistema informático para realizar el cálculo de la intersección entre el volumen que debe construirse y el plano horizontal definido por  $Z = Z_1$ , que corresponde al nivel medido de material fluido polimerizable por radiación en relación con la posición fija del sustrato de lente en ese instante. Este cálculo incorpora el diseño de material agregado y produce el área en la superficie o profundidad del material 21 que necesita ser irradiada en cada instante en el tiempo. Luego, el cálculo proporciona señales de control a cada píxel, de manera que los píxeles individuales se activan o desactivan para formar uno o más haces de irradiación para iluminar el área  $x_i y_i$  deseada para la formación de material agregado. El control de los píxeles se realiza de una manera continua que permite una actualización del estado de cada píxel en unos pocos milisegundos.

Para realizar la deposición del material de acuerdo con el diseño de material agregado, el tanque se mueve hacia arriba de una manera continua, y luego el sustrato de lente se sumerge en el material fluido polimerizable por radiación de una manera controlada continua. Como se muestra en la Fig. 6, el sustrato de lente 11 primero entrará en contacto con el material fluido 21 en su borde a mano derecha, y luego, cuando el tanque se mueve hacia arriba, el sustrato en ángulo continuará sumergiéndose hacia el lado izquierdo del sustrato. Al mismo tiempo, el volumen que debe construirse en la lente sobre el sustrato se está curando al proporcionar el patrón de irradiación correcto a través de haces de irradiación formados por píxeles controlados individualmente del DLP visible/UV en cada instante. Primero, los píxeles se iluminarán en el borde derecho de la matriz para comenzar y continuar la polimerización del material 21 a medida que entra en contacto con el borde derecho del sustrato. A medida que el tanque se mueve hacia arriba, el material 21 entrará en contacto con más superficie superior del sustrato 11 y se activarán píxeles adicionales o diferentes para continuar la polimerización del material según el diseño de material agregado. Con el movimiento del tanque y la señalización de encendido/apagado programada de los píxeles en la irradiación, el conjunto 30 continúa hasta que el diseño de material agregado logre la adición de todo el material necesario para crear el nuevo espesor identificado por la línea punteada  $Z_1$ . Las señales de la cámara 41 se usan para confirmar que se está agregando material según sea necesario para conseguir el diseño de material agregado  $Z_1$ .

Después de depositar todo el material agregado, se retira el material no polimerizado del sustrato.

### Ejemplo 2

En otra realización, un sustrato de lente 11 de resina dura redonda de  $\sim 2D$  65 mm ( $n = 1,50$ ) está montado en una configuración como se ilustra en Fig. 1. En este Ejemplo, el material está destinado a ser polimerizado en la superficie cóncava (más alta como se ve en la Fig. 1) del sustrato de la lente para crear una potencia de adición de +2,00 D en un área redonda de 25 mm en la parte inferior de la superficie interior de la lente resultante, ya que se usará en una montura de gafas. Esta área de 25 mm corresponde a una región cercana al borde de la parte inferior derecha de la superficie superior de la lente en la Fig. 1.

Se utiliza una lámpara de emisión atómica de mercurio de 365 nm con óptica de colimación para el haz de irradiación 31 para proporcionar un haz de irradiación de diámetro circular de 5 mm. Se utiliza una cámara CCD 41 para ver la superficie del sustrato de lente, el material fluido polimerizable por radiación y el material agregado sobre el sustrato de lente creado por el proceso. El material fluido polimerizable por radiación proporcionará material polimerizado agregado con un índice de refracción de 1,60.

El volumen y la posición (en relación con la superficie del sustrato de lente) del material agregado de índice de refracción de 1,60 necesario para crear un área de adición de +2.00 dioptrías en la lente para gafas a medida se calcula y se guarda como el diseño de material agregado.

Antes de que el material fluido polimerizable por radiación se introduzca en el área cerca del sustrato de lente, la posición del haz de irradiación 31 con respecto al sustrato de lente 11 se calibra moviendo el sustrato con su soporte X, Y, Z y los controles rotacionales a las posiciones extremas del sustrato y registrando estas coordenadas. Una vez que se completa la calibración, el sustrato de lente se mueve a su posición inicial y se inclina (orientación de rotación) justo a la izquierda del haz de irradiación. El material fluido polimerizable por radiación 21 se coloca en un recipiente de tamaño y profundidad suficientes para acomodar el sustrato de lente de 65 mm. El sustrato de lente se mueve luego a través de los controles de posición y orientación de su soporte 70 para entrar en contacto con la superficie del volumen del material 21 en un ángulo de aproximadamente 45 grados. El sustrato de lente se inclina luego en ángulo hacia el material fluido polimerizable por radiación, mientras que el haz de irradiación 31 se controla para polimerizar selectivamente el material fluido, conforme al diseño de material agregado, solo en la superficie superior del sustrato de lente. El elemento de detección de la cámara 41 proporciona un vídeo del material polimerizado agregado y el movimiento del sustrato de lente para que se pueda monitorear el proceso y ajustar y la velocidad o la posición del sustrato de lente si es necesario para crear la lente a medida con las propiedades ópticas correctas.

Una vez que el material agregado es irradiado por completo y formado conforme al diseño de material agregado, la lente para gafas a medida se retira completamente del material fluido polimerizado por radiación y se lava para eliminar cualquier material fluido residual.

La invención se identifica por las siguientes reivindicaciones.

**REIVINDICACIONES**

1. Un procedimiento para producir una lente para gafas a medida que comprende:
  - 5 a) obtener un sustrato de lente (11) que comprende una primera superficie que estará más cerca del ojo cuando se use y una segunda superficie que estará más alejada del ojo cuando se use;
  - b) calcular y generar un diseño de material agregado para convertir la potencia óptica del sustrato de lente en una potencia óptica deseada para la lente para gafas a medida, en el que la potencia óptica deseada de la lente para gafas a medida es perceptiblemente diferente de la potencia óptica del sustrato de lente para el ojo sin ayuda;
  - 10 c) montar el sustrato de lente (11) en un soporte del sustrato de lente (70) que comprende uno o más controles de posición y movimiento;
  - d) poner en contacto al menos una parte de al menos una de las superficies primera y segunda del sustrato de lente (11) con una fuente a granel de un material fluido polimerizable por radiación (21); y controlar la orientación del sustrato de lente con respecto a la fuente a granel del material fluido polimerizable por radiación durante el contacto mediante el uso de los controles de posición y movimiento del soporte del sustrato de lente (70);
  - 15 e) irradiar el material fluido polimerizable por radiación con radiación desde un conjunto de irradiación (30) que comprende al menos un haz de irradiación (31) del que se controla el intervalo de longitud de onda, la energía y la distribución espacial para polimerizar el material fluido polimerizable por radiación solo en un área seleccionada de irradiación, en el que se controla la posición espacial del área seleccionada de irradiación con respecto a la superficie del sustrato de lente, en el que el material fluido polimerizable por radiación se irradia según el diseño de material agregado para formar material agregado (51) sobre el sustrato de lente mediante polimerización, en el que el material está unido integralmente al sustrato de lente; y
  - 20 en el que las estructuras moldeadoras externas no se usan durante el contacto e irradiación del material fluido polimerizable por radiación, y
  - 25 en el que la fuente a granel del material fluido polimerizable por radiación (21) se suministra a través de un tubo de entrega exterior (300) que rodea el conjunto de irradiación (30).
2. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende, además, cubrir una de las superficies primera y segunda del sustrato de lente (11) con un material protector.
- 30 3. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que calcular y generar el diseño de material agregado comprende, además, calcular y generar modificaciones de las propiedades ópticas del sustrato de lente (11) seleccionado del grupo de prisma, aumento, aberración oblicua, distribución de potencia en diferentes ubicaciones de la lente, campo de visión individual, ángulo de visión para visión de cerca, descentrado, distancia del vértice posterior, forma de la montura, ángulo de ajuste de la montura de las gafas e inclinación de la montura de las gafas.
- 35 4. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el sustrato de lente se selecciona de entre el grupo de lentes en bruto acabadas, lentes en bruto semiacabadas, lentes en bruto planas, lentes planas con bordes recortados y lentes acabadas con bordes recortados.
- 40 5. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el material agregado (51) tiene propiedades mensurablemente diferentes del sustrato de lente (11), y las propiedades mensurablemente diferentes del material agregado se seleccionan de entre el grupo de índice de refracción, valor de Abbe, resistencia a la abrasión, resistencia al impacto, resistencia a disolventes orgánicos, resistencia a las bases, Tg, color visible, transmitancia visible, transmitancia UV, conductividad eléctrica, polarización, y propiedades fotocromáticas.
- 45 6. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el soporte del sustrato de lente (70) comprende uno o más controles de posición y movimiento seleccionados de entre el grupo de movimiento de traslación a lo largo del eje X, eje Y y/o eje Z, y el movimiento rotacional en ángulo  $\alpha$  alrededor del eje X.
- 50 7. El procedimiento de la reivindicación 6, que comprende, además, mover el sustrato de lente (11) con al menos uno o más de los controles de posición y movimiento del soporte del sustrato de lente (70) durante al menos una de las etapas de contacto e irradiación.
- 55 8. El procedimiento de la reivindicación 7, en el que mover el sustrato de lente (11) durante la etapa de irradiación comprende, además, formar el material agregado (51) para igualar características seleccionadas de entre al menos un borde del material agregado, al menos un defecto del material agregado, al menos un defecto en al menos una superficie del sustrato de lente, y discontinuidades en una parte de al menos una superficie del sustrato de lente.
- 60 9. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el intervalo de longitud de onda del haz de irradiación (31) se selecciona de entre radiación térmica, de microondas, radiofrecuencia, ultravioleta, visible e infrarroja.
- 65 10. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el material fluido polimerizable por radiación (21) comprende componentes seleccionados de entre el grupo de fotoiniciadores, absorbentes de UV, reflectores

infrarrojos, colores visibles, colorantes, pigmentos, agentes fotocromáticos, agentes electrocromáticos, materiales polarizadores, estabilizadores térmicos, materiales eléctricamente conductores, materiales de cristal líquido, partículas que absorben la luz, partículas que reflejan la luz, sensores, transmisores y pantallas.

- 5 11. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la etapa de irradiación comprende, además, poner en contacto el conjunto de irradiación (30) con el material fluido polimerizable por radiación (21) y en el que el conjunto de irradiación comprende además una carcasa protectora (38) y una placa de cubierta (36).
- 10 12. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el material fluido polimerizable por radiación (21) comprende una mezcla de dos o más materiales fluidos polimerizables por radiación.

FIG. 1

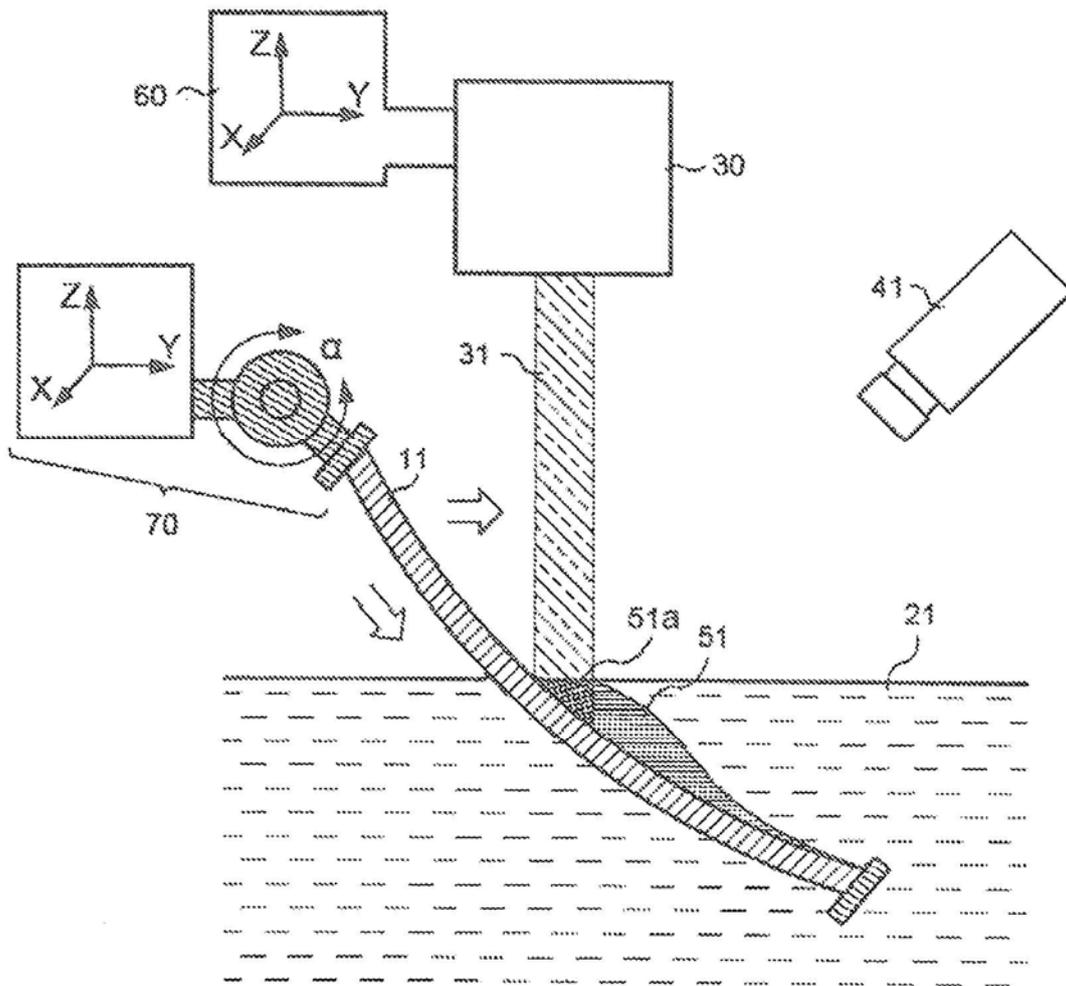


FIG. 2

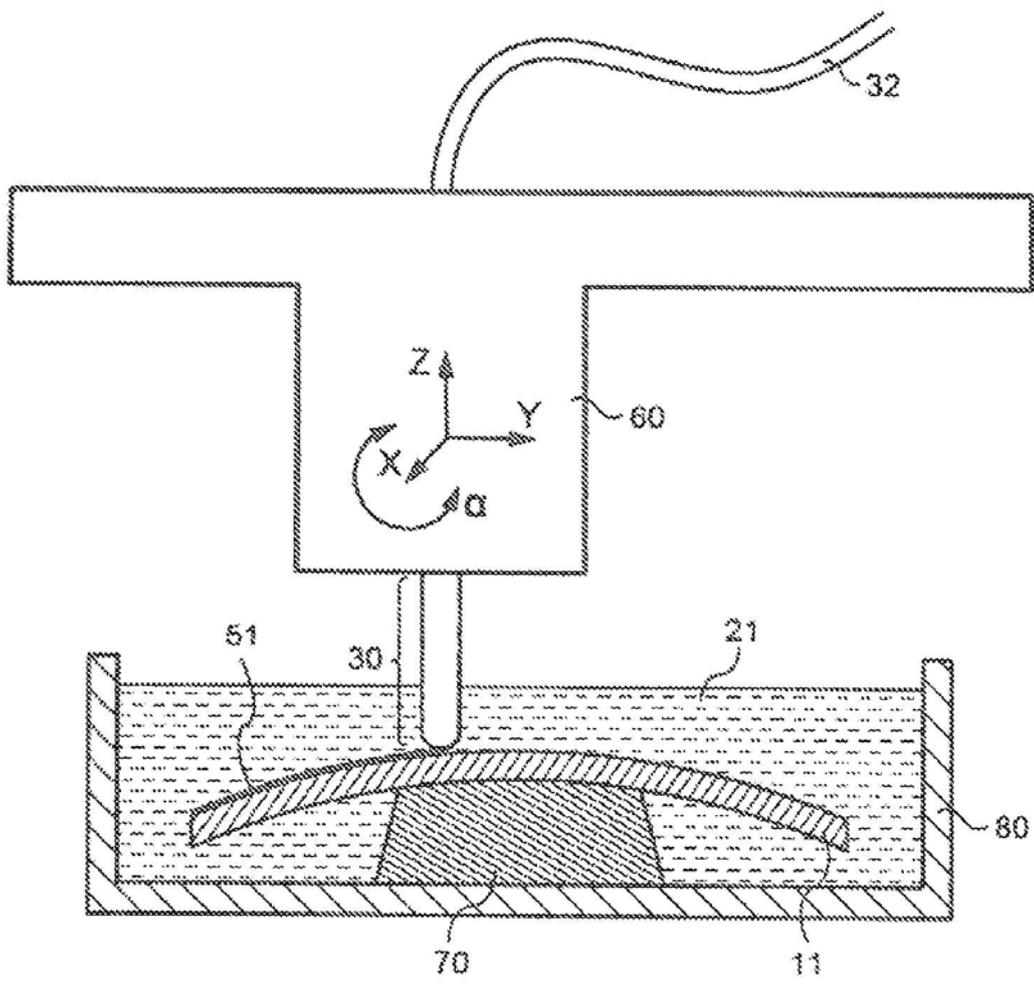


FIG. 3

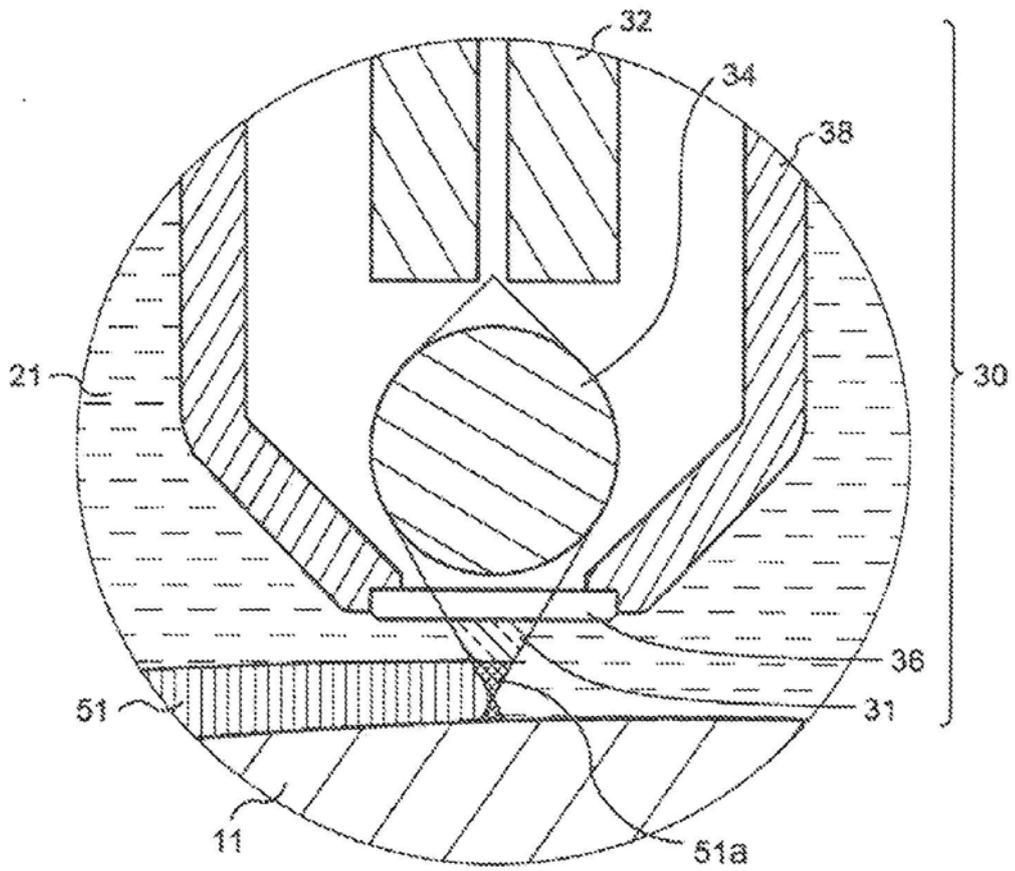


FIG. 4

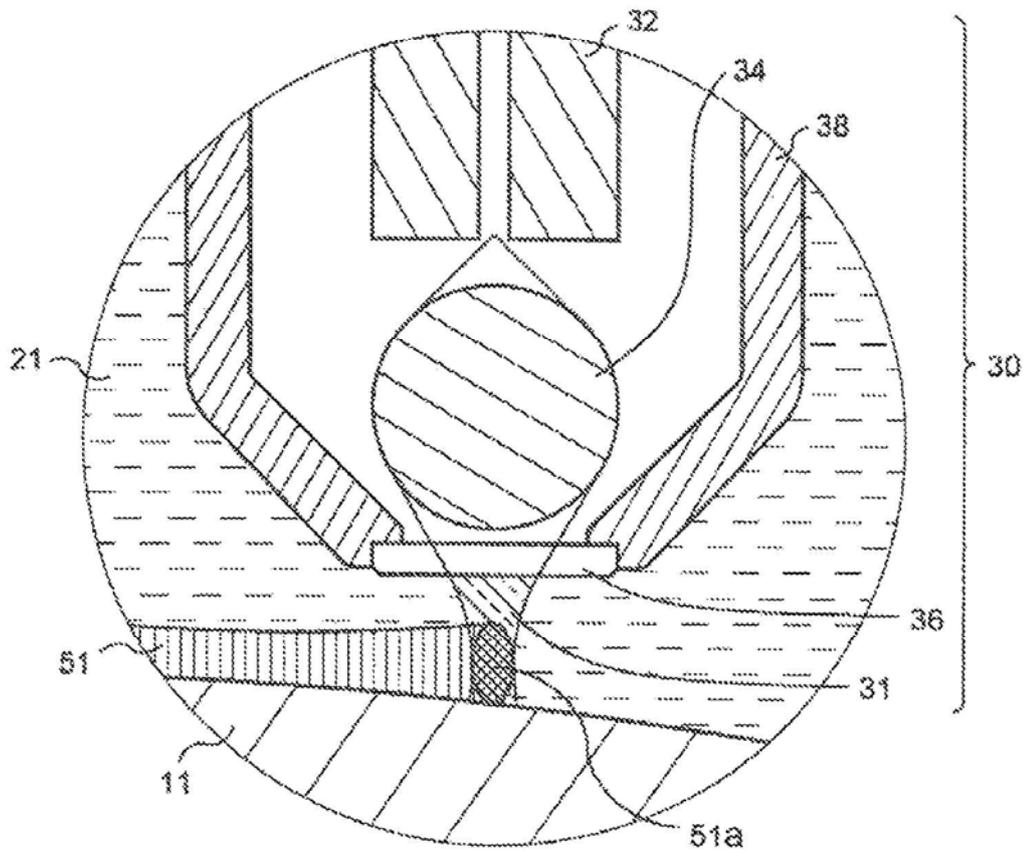


FIG. 5

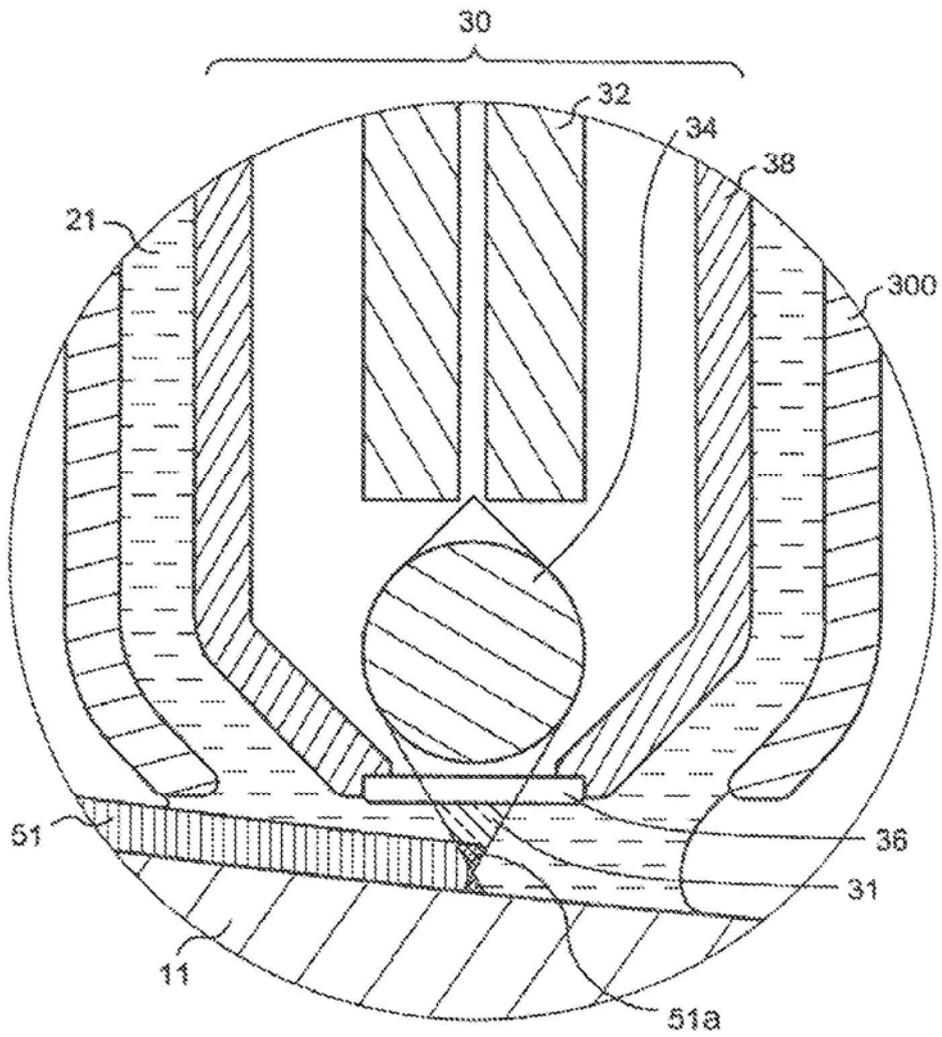


FIG. 6

