



República Federativa do Brasil  
Ministério da Economia  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) BR 112016012473-1 B1



(22) Data do Depósito: 09/12/2014

(45) Data de Concessão: 31/08/2021

(54) Título: PROCESSO E SISTEMA DE FABRICAÇÃO DE UMA LENTE OFTÁLMICA

(51) Int.Cl.: B29C 67/00; B29D 11/00.

(30) Prioridade Unionista: 11/12/2013 FR 1362435.

(73) Titular(es): ESSILOR INTERNATIONAL.

(72) Inventor(es): ALEXANDRE GOURRAUD.

(86) Pedido PCT: PCT FR2014053232 de 09/12/2014

(87) Publicação PCT: WO 2015/086981 de 18/06/2015

(85) Data do Início da Fase Nacional: 01/06/2016

(57) Resumo: PROCESSO E SISTEMA DE FABRICAÇÃO DE UMA LENTE OFTÁLMICA. A invenção se refere a um processo de fabricação de uma lente oftálmica, compreendendo uma etapa de fabricação aditiva (100) de um elemento óptico intermediário por depósito de uma pluralidade de elementos de volume predeterminados de pelo menos um material, o referido elemento compreendendo uma lente oftálmica alvo adjunto de pelo menos uma sobre-espessura, e uma etapa para fabricar por polimento flexível (300) a referida lente a partir do referido elemento pela subtração pelo menos parcial da sobre-espessura de modo a filtrar asperezas formadas sobre o referido elemento durante a referida etapa de fabricação aditiva; a referida etapa de fabricação aditiva compreendendo uma etapa para determinar uma instrução de fabricação do referido elemento onde a referida sobre-espessura é determinada em função de parâmetros predeterminados que a referida etapa de polimento flexível apresenta, a saber uma característica geométrica representativa de uma frequência espacial de corte e uma característica geométrica representativa de uma capacidade de remoção de matéria.

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para  
**"PROCESSO E SISTEMA DE FABRICAÇÃO DE UMA LENTE  
OFTÁLMICA".**

**CAMPO DA INVENÇÃO**

[001] A invenção se refere ao domínio da fabricação das lentes oftálmicas tendo pelo menos uma função óptica, por exemplo, lentes oftálmicas progressivas.

[002] A invenção se refere mais particularmente a um processo de fabricação de tais lentes oftálmicas.

[003] A invenção se refere também a um sistema de fabricação configurado para fabricar uma tal lente oftálmica.

**ANTECEDENTES TECNOLÓGICOS**

[004] Se sabe que as lentes oftálmicas são submetidas a diferentes etapas de fabricação para lhes trazer as propriedades oftálmicas prescritas (também chamadas função óptica).

[005] São conhecidos processos de fabricação de lentes oftálmicas que compreendem uma etapa de fornecimento de um disco em bruto ou semiacabado, isto é um disco não tendo nenhuma ou tendo uma única face dita acabada (ou seja, uma face que define uma superfície óptica simples ou complexa).

[006] Esses processos compreendem em seguida uma ou várias etapas de usinagem de pelo menos uma face do disco dita em bruto, para obter uma face dita acabada, definindo a superfície óptica procurada para fornecer as propriedades oftálmicas (complexas ou não) prescritas para o portador da lente oftálmica.

[007] Se entende por uma ou várias etapas de usinagem as etapas chamadas de desbaste, de acabamento e de polimento (usinagem por surfaçagem).

[008] A função óptica de uma lente oftálmica é fornecida principalmente por duas dioptrias correspondendo às faces dianteira e

traseira da lente oftalmica. A topografia da superfície a ser realizada depende da repartição da função aplicada entre as faces dianteira e traseira da lente.

[009] A etapa de desbaste permite, partindo de um disco em bruto ou semiacabado, lhe dar a espessura e os raios de curvatura da superfície sobre a ou as faces chamadas não acabadas do disco, enquanto a etapa de acabamento (também chamada de amaciamento) consiste em refinar o grão ou a exatidão dos raios de curvatura das faces obtidas anteriormente e permite preparar (amaciаr) a ou as superfícies curvas produzidas para a etapa de polimento. Essa etapa de polimento é uma etapa de surfacagem da ou das superfícies curvas amaciadas ou desbastadas, e permite tornar a lente oftalmica transparente. As etapas de desbaste e de acabamento são etapas que impõem a espessura da lente final e os raios de curvaturas da superfície tratada independentemente da espessura do objeto inicial e dos seus raios de curvaturas iniciais.

[0010] Nota-se que uma tecnologia de fabricação de superfícies ópticas complexas, chamada "free form surfacing" ou "digital surfacing" em inglês, inclui uma usinagem particularmente exata, uma tal superfície combinando por exemplo um núcleo e uma progressão. A usinagem de uma tal superfície óptica complexa é realizada através de pelo menos uma máquina de usinagem de precisão muito alta pelo menos para a etapa de desbaste, ou para a etapa de acabamento e de polimento, e/ou de um polidor capaz de polir a ou as superfícies provenientes das etapas anteriores, sem deformar a lente oftalmica.

[0011] Mais exatamente, se entende aqui por etapa de desbaste, a etapa consistindo em usinar o elemento óptico intermediário, por exemplo, por meio de uma fresa ou de uma ferramenta diamantada, para lhe dar a espessura e os raios de curvatura da lente oftalmica alvo ou perto da lente oftalmica alvo; e por etapa de acabamento, a

etapa consistindo em refinar o grão e/ou em refinar os raios de curvatura da superfície do elemento óptico intermediário, por exemplo por meio de uma ferramenta diamantada ou de uma ferramenta com a superfície abrasiva, para a tornar apta para suportar uma etapa de polimento. As etapas de desbaste e de acabamento são, portanto, etapas que impõem a forma e as curvaturas da superfície tratada independentemente da forma e das curvaturas da superfície inicial.

[0012] Se entende também aqui por etapa de polimento, a etapa consistindo em dar ao elemento óptico intermediário, uma transparência da lente oftalmica alvo eliminando as marcas sobre a ou as superfícies provenientes do desbaste e/ou do acabamento. Essa etapa de polimento é realizada nomeadamente por meio de um polidor flexível e de uma solução abrasiva de grãos finos (mais finos do que os que podem ser implementados no momento da etapa de acabamento). Se chama geralmente a essa etapa uma etapa de polimento flexível. Durante essa etapa de polimento flexível, a curvatura da correção principal (esférica ou tórica ou pseudoesférica ou pseudo-tórica, chamada cobertura de base, e/ou a curvatura de uma adição que pode ser acrescentada em uma zona chamada "de visão de perto"), não são impactadas consideravelmente pela etapa de polimento flexível.

[0013] Nota-se que essa etapa de polimento flexível é distinta de uma outra etapa de usinagem possível geralmente chamada etapa de polimento rígido, durante a qual são utilizados um polidor rígido esférico ou tórico, assim como uma solução abrasiva de grão mais fino do que o das soluções abrasivas utilizadas durante a etapa de acabamento. Esse polidor rígido atua sobre a superfície a ser tratada por rotação e abrasão dessa superfície e lhe confere uma curvatura esférica ou tórica complementar à do polidor rígido. Em outras palavras, a forma da curvatura da superfície tratada por polimento

rígido é, portanto, a imagem espelho da forma da curvatura da superfície do polidor rígido. Essa etapa de polimento rígido é uma variante da etapa de acabamento descrita mais acima.

### OBJETIVO DA INVENÇÃO

[0014] A invenção visa fornecer um processo de fabricação de uma lente oftálmica tendo pelo menos uma função óptica, que seja particularmente simples, cômoda e econômica de implementar, e que seja também capaz de fornecer de modo rápido e flexível lentes tendo uma geometria e características materiais muito diversas, respondendo a uma lógica de personalização de massa.

[0015] A invenção tem assim por objetivo, sob um primeiro aspecto, um processo de fabricação de uma lente oftálmica apresentando pelo menos uma função óptica, caracterizada pelo fato de compreender:

[0016] - uma etapa para fabricar de modo aditivo um elemento óptico intermediário pelo depósito de uma pluralidade de elementos de volume predeterminados de pelo menos um material tendo um índice de refração predeterminado, o referido elemento óptico intermediário compreendendo uma lente oftálmica alvo adjunto de pelo menos uma sobre-espessura constituída por uma parte da referida pluralidade de elementos de volume; e

[0017] - uma etapa para fabricar por polimento flexível a referida lente oftálmica alvo a partir do referido elemento óptico intermediário, pela subtração pelo menos parcial da referida pelo menos uma sobre-espessura de modo a filtrar asperezas formadas em pelo menos uma face do referido elemento óptico intermediário durante a referida etapa de fabricação aditiva;

[0018] com a referida etapa de fabricação aditiva que comprehende uma etapa para determinar uma instrução de fabricação do referido elemento óptico intermediário, onde a referida sobre-espessura é

determinada em função de parâmetros predeterminados que a referida etapa de polimento flexível apresenta, a saber uma característica geométrica representativa de uma frequência espacial de corte e uma característica geométrica representativa de uma capacidade de remoção de matéria.

[0019] O processo de fabricação de acordo com a invenção assenta na combinação de duas etapas de fabricação, a saber a etapa de fabricação aditiva e a etapa de polimento flexível, e na implementação da etapa de fabricação aditiva em função dessa etapa de polimento flexível, essa entrando na determinação da instrução de fabricação da etapa de fabricação aditiva para obter, após a etapa de polimento flexível, uma lente oftálmica com a prescrição desejada e de qualidade óptica, ou oftálmica.

[0020] Em outras palavras, a combinação dessas duas etapas de fabricação forma um processo chamado híbrido que permite obter vantajosamente uma lente oftálmica tendo ao mesmo tempo uma função óptica correta, perfeitamente ajustada às necessidades do portador, assim como uma qualidade de estado de superfície compatível com aplicações oftálmicas.

[0021] Nota-se que a etapa de fabricação aditiva permite fornecer um elemento óptico intermediário tendo uma homogeneidade de volume desejada e pelo menos uma parte da função óptica adaptada ao portador, e a etapa de polimento flexível, que é posterior à etapa de fabricação aditiva, permite finalizar a função óptica desejada e fornecer, a partir do elemento óptico intermediário, uma lente oftálmica que tem uma qualidade de estado de superfície podendo ser caracterizada por parâmetros de rugosidade compatíveis com uma aplicação oftálmica e que tem parâmetros de transparência, de transmissão luminosa e de difusão luminosa compatível com uma aplicação oftálmica.

[0022] Por função óptica correta, se entende uma função óptica tendo uma margem de erro inferior ou igual a +/- 0,12 dioptrias em qualquer ponto da lente oftálmica em relação à função óptica corretiva adaptada ao portador permitindo fornecer a correção óptica prescrita para o portador.

[0023] Por qualidade de superfície compatível com aplicações oftálmicas (ou qualidade óptica ou oftálmica), se entende uma qualidade de superfície permitindo garantir uma taxa de difusão luminosa da lente oftálmica inferior a cerca de 2% preferencialmente inferior a cerca de 1% e preferencialmente ainda inferior a cerca de 0,4%.

[0024] As técnicas de fabricação aditiva são particularmente pertinentes para responder ao objetivo da invenção.

[0025] Por fabricação aditiva se entende de acordo com a norma internacional ASTM 2792-12, técnicas de fabricação compreendendo um processo para juntar volumes unitários de matéria a fim de fabricar objetos a partir de dados de modelização 3D (tipicamente um arquivo de projeto assistido por computador, mais adiante CAO), usualmente camada por camada, em oposição às metodologias de fabricação subtrativa, tal como a usinagem tradicional.

[0026] A fabricação aditiva corresponde aqui, por exemplo, a um processo de impressão tridimensional implementando por exemplo, um jato de matéria de polímero («inkjet printing» em terminologia anglo-saxônica), ou um processo de estereolitografia, ou de estereolitografia por projeção de máscara, ou ainda um processo de sinterização ou de fusão seletiva por laser («Selective Laser Melting», mais adiante SLM, ou «Selective Laser Sintering», mais adiante SLS em terminologia anglo-saxônica), ou ainda um processo de extrusão por fio termoplástico.

[0027] As tecnologias aditivas de fabricação consistem em fabricar

objetos justapondo e sobrepondo elementos de matéria de acordo com uma disposição predefinida sob forma digital em um arquivo de CAO. A matéria constituinte dos elementos de volume na fabricação aditiva pode ser sólida, líquida ou em forma de gel, embora seja usual que a matéria esteja essencialmente sólida no final do processo de fabricação aditiva.

[0028] Esses elementos de volume elementares denominados «voxels» podem ser criados, justapostos e sobrepostos de acordo com uma variedade de princípios técnicos diferentes, por exemplo, por deposição de gotas de monômeros fotopolimerizáveis por meio de pelo menos um bocal de impressão, por fotopolimerização seletiva com uma fonte de raios ultravioleta da superfície de um banho de monômero (técnica de estereolitografia), ou por fusão de pó de polímero (SLM).

[0029] As técnicas de fabricação aditiva permitem uma flexibilidade muito grande de definição geométrica dos objetos, mas criam defeitos de fabricação sobre a superfície do objeto fabricado de modo aditivo, aqui o elemento óptico intermediário.

[0030] Esses defeitos de fabricação formam asperezas que são geralmente produzidas na superfície do volume desejado, devido a uma fabricação por meio de diferentes elementos de matéria discretos, justapostos e/ou sobrepostos tendo uma dimensão mínima limite diferente de zero. Essas asperezas são formadas quando pelo menos uma parte de um elemento de volume de material excede a superfície do volume desejado ou quando falta uma porção de volume no volume desejado. Essas asperezas são significativas de uma diferença de altitude entre pelo menos um elemento de matéria chamado alto e pelo menos um elemento de matéria chamado baixo.

[0031] Por exemplo, no caso de uma fabricação aditiva por camadas sobrepostas de uma pluralidade de elementos de matéria

formando porções, são dispostos degraus na interface entre uma camada inferior e a extremidade da camada imediatamente superior quando a camada inferior se estende mais longe do que a camada imediatamente superior de acordo com um eixo dado. Esses degraus são definidos por um ponto alto chamado pico que excede mais de uma altitude média do volume formado pelas duas camadas e que é formado por pelo menos a extremidade da camada superior, e por um ponto baixo chamado concavidade formado na junção das camadas inferior e superior e que representa uma falta de matéria em relação à altitude média do volume formado pelas duas camadas.

[0032] Se entende no sentido da invenção que uma aspereza (representativa de um «defeito» de fabricação aditiva) é formada por um tal degrau (ou por um defeito equivalente para as tecnologias de fabricação aditiva que não utilizam estritamente uma fabricação por porções) e, portanto, pela matéria que se encontra entre seu pico (ponto alto) e sua concavidade (ponto baixo). Nota-se que a aspereza tem evidentemente uma espessura que depende da estratégia de construção do elemento óptico intermediário.

[0033] Em vez de aspereza, se pode falar de salto de camadas, ou ainda de frente de camadas, representativo da passagem de uma camada chamada  $n$  para uma outra camada imediatamente inferior chamada  $n-1$ . Nota-se que um salto de camadas ilustra uma variação de altitude que não é forçosamente igual ou aproximadamente igual à altura da camada  $n$ , mas que pode ser inferior a essa altura.

[0034] A etapa de fabricação de modo aditivo do processo de acordo com a invenção permite assim fornecer um elemento óptico intermediário compreendendo a lente oftálmica, chamada alvo, e compreendendo, em toda ou parte da sua «futura» superfície externa, uma sobre-espessura, que é definida tendo em conta por um lado, capacidades de eliminação (ou de remoção) de matéria do processo

de polimento para realizar a etapa de polimento flexível e por outro lado, tendo vantajosamente em conta uma característica geométrica representativa de uma frequência espacial de corte do processo de polimento.

[0035] Baseado na capacidade de remoção de matéria e na frequência espacial de corte características da etapa de polimento flexível, a etapa para determinar a instrução de fabricação do elemento óptico intermediário permite ter em consideração a espessura máxima possível para a sobre-espessura e a capacidade de filtragem de que dispõe um sistema de fabricação equipado com uma máquina de polimento flexível. Em outras palavras, essa etapa de determinação tem em conta ao mesmo tempo a espessura e as asperezas que podem ser pelo menos parcialmente removidas no elemento óptico interme-diário, considerando que a capacidade de remoção de matéria é aqui característica de uma espessura compreendida por exemplo, no intervalo predeterminado de valores [1 µm; 150 µm]

[0036] A capacidade de remoção de matéria do processo de polimento é aqui definida como a espessura de matéria que pode ser abrasada sem que uma ferramenta de polimento (o polidor) modifique de modo significativo a curvatura da superfície polida. A capacidade de remoção de matéria depende do material que é polido, da cinemática de acionamento do polidor em relação ao elemento óptico intermediário polido e da estrutura do polidor.

[0037] É aqui possível falar de frequência espacial de corte de polimento flexível, mas também de comprimento de onda espacial de corte de polimento flexível, porque a etapa de polimento flexível é implementada através de uma máquina de polimento equipada com um polidor flexível que é configurado para atuar sobre o elemento óptico intermediário como um filtro de tipo passa-baixo, em um espaço de frequências espaciais, cuja frequência espacial de corte é

determinada pelas propriedades desse polidor e os parâmetros de utilização do polidor, em outras palavras sua cinemática de acionamento.

[0038] Nota-se que um tal polidor combinado com uma tal cinemática de acionamento do polidor forma um binário que confere à máquina de polimento flexível uma pupila de polimento flexível dada. A cinemática de acionamento é função do polidor, da superfície polida, diâmetro, caráter convexo ou côncavo da superfície, gama da curvatura, etc., e compreende parâmetros de processo de polimento tais como pelo menos velocidades de rotação, pressões, movimentos relativos do polidor e do elemento a ser polido, etc. Os parâmetros do processo são geralmente configurados para que a pupila de polimento seja sensivelmente constante para qualquer binário polidor/cinemática utilizado por uma mesma máquina.

[0039] Se entende por pupila de polimento um disco cujo diâmetro corresponde ao diâmetro máximo de expansão de um defeito pontual obtido após a implementação de um processo de polimento dado.

[0040] Em outras palavras, o diâmetro de expansão é o diâmetro de uma zona cuja geometria (curvatura) após polimento é modificada devido à presença inicial do defeito, em relação à geometria (curvatura) obtida após o mesmo polimento se o defeito pontual não tivesse estado presente.

[0041] Aqui, a pupila de polimento é assim característica da expansão de um degrau após polimento. Considerando que esse degrau passa pelo centro de rotação da lente no momento da etapa de polimento, a expansão pode ser medida ao nível do centro de rotação da lente, perpendicularmente ao degrau.

[0042] Graças ao processo de fabricação de acordo com a invenção, os defeitos de fabricação aditiva que são criados na superfície do elemento óptico intermediário e que formam em parte a

sobre-espessura são tidos em conta na determinação da instrução de fabricação aditiva desse elemento óptico para que as asperezas que daí resultam tenham um posicionamento otimizado que permita que essas asperezas possam ser pelo menos parcialmente suprimidas pela etapa de polimento flexível implementada através da pupila de polimento flexível predeterminada. Em outras palavras, a etapa para determinar a instrução de fabricação aditiva do elemento óptico intermediário é configurada de modo que as asperezas criadas no momento da fabricação aditiva são filtradas pela pupila de polimento no momento da etapa de polimento flexível, a fim de obter uma lente oftálmica tendo uma função óptica e uma qualidade de estado de superfície conveniente.

[0043] O processo de fabricação de acordo com a invenção é particularmente simples, cômodo e econômico, sobretudo, em um contexto onde é importante a diversidade das funções ópticas a serem realizadas, em particular devido à personalização dessas funções ópticas, necessitando dos processos de fabricação rápidos e flexíveis.

[0044] Nota-se também que se entende por função óptica de uma lente ou de um elemento óptico intermediário, a resposta óptica dessa lente ou desse elemento, isto é uma função definindo qualquer modificação de propagação e de transmissão de um feixe óptico através da lente ou do elemento óptico referido, qualquer que seja a incidência do feixe óptico entrando e qualquer que seja a extensão geométrica de uma dioptria de entrada iluminada pelo feixe óptico incidente.

[0045] Mais precisamente, no domínio oftálmico, a função óptica pode ser definida como a repartição das características de potência de portador, de astigmatismo, dos desvios prismáticos e das aberrações de ordem superior associadas à lente ou ao elemento óptico para o conjunto das direções do olhar de um portador dessa lente ou desse

elemento. Isso pressupõe naturalmente a predeterminação do posicionamento geométrico da lente ou do elemento óptico em relação ao olho do portador.

[0046] De acordo com características preferidas, simples, cômodas e econômicas do processo de acordo com a invenção:

[0047] - a referida etapa para determinar a referida instrução de fabricação do referido elemento óptico intermediário é configurada para que, pelo menos em uma zona determinada da face do elemento óptico intermediário, as referidas asperezas sejam espaçadas umas das outras por uma distância inferior a uma distância crítica determinada em função de um valor da referida característica geométrica representativa da frequência espacial de corte; e/ou

[0048] - a referida característica geométrica representativa da referida frequência espacial de corte corresponde a um diâmetro de uma pupila de polimento característico da referida etapa de polimento flexível e a distância crítica é inferior ou igual à metade preferencialmente ao quarto, ou ainda ao décimo, do diâmetro da referida pupila de polimento.

[0049] O fato de cada uma das asperezas estar afastada de uma outra aspereza por uma distância inferior à distância crítica determinada significa que por exemplo em pelo menos três direções partindo de uma referida aspereza ou de um ponto correspondente a um voxel posicionado ao longo de uma aspereza ou ainda de um salto de camadas, está presente uma outra aspereza respectiva ou um outro salto de camadas situado em uma zona respectiva de comprimento igual à distância crítica determinada.

[0050] Em outras palavras, se podem definir pelo menos três segmentos cada um com comprimento igual à distância crítica determinada, partindo de uma aspereza determinada (ou de um ponto correspondente a um voxel posicionado ao longo dessa aspereza), em

cada um dos quais se encontra uma outra aspereza.

[0051] Nota-se que as pelo menos três direções podem cada uma ser representadas por um semieixo proveniente da aspereza determinada, com esses semieixos que são deslocados angularmente uns em relação aos outros com um ou vários deslocamentos determinados. O deslocamento entre dois semieixos não deveria ser característico de um ângulo demasiado obtuso, e deveria ser, por exemplo, de preferência inferior a cerca de 160º. Em outras palavras, para cada semieixo dado, há pelo menos um dos outros semieixos com o qual forma um ângulo inferior a 160º no sentido horário partindo do semieixo dado, e pelo menos um outro dos outros semieixos com o qual forma um ângulo inferior a 160º no sentido anti-horário partindo do semieixo dado.

[0052] De acordo com uma modalidade de realização vantajosa do processo de acordo com a invenção, onde a fabricação aditiva é melhorada, a referida etapa para determinar a referida instrução de fabricação do referido elemento óptico intermediário é configurada para que o referido elemento óptico intermediário esteja inclinado em relação a um eixo predeterminado de construção aditiva, chamado eixo de estratificação, de acordo com a qual a referida pluralidade de elementos de volume predeterminados de pelo menos um material é depositada

[0053] Em outras palavras, isso significa que o eixo óptico da lente oftálmica final está inclinado em relação ao eixo de estratificação, por exemplo, com um ângulo compreendido no intervalo [20º; 80º], ou ainda no intervalo [30º; 70º].

[0054] De acordo com uma outra modalidade de realização vantajosa do processo de acordo com a invenção, onde a fabricação aditiva é também melhorada, a referida etapa para determinar a referida instrução de fabricação do referido elemento óptico

intermediário é configurada para que o referido elemento óptico intermediário tenha, em seção, ao nível da sua face pelo menos uma zona de fabricação de um primeiro tipo que está equipada com pelo menos duas primeiras porções e com pelo menos uma segunda porção, formadas em alternância, as referidas primeiras porções estando cada uma equipadas com pelo menos um elemento de volume predeterminado do referido material e a referida pelo menos uma segunda porção estando pelo menos parcialmente desprovida de elementos de volume predeterminados do referido material; pelo que são formadas asperezas nessa zona de fabricação do primeiro tipo.

[0055] Isso significa que há por exemplo, pelo menos três direções partindo de uma referida primeira porção determinada tal que de acordo com cada uma das direções está presente ao mesmo tempo uma segunda porção e uma outra primeira porção respectiva situada em uma zona respectiva de comprimento determinado.

[0056] De preferência, a distância separando as duas primeiras porções é da ordem de grandeza da distância crítica determinada.

[0057] Nota-se que as pelo menos três direções podem cada uma ser representadas por um semieixo proveniente de uma aspereza da referida primeira porção determinada, com esses semieixos que são deslocados angularmente uns em relação aos outros com um ou vários deslocamentos determinados. O deslocamento entre dois semieixos não deveria ser característico de um ângulo demasiado obtuso, e é por exemplo, de preferência inferior a cerca de 160º. Em outras palavras, para cada semieixo, há pelo menos um dos outros semieixos com o qual forma um ângulo inferior a 160º no sentido horário e pelo menos um outro dos outros semieixos com o qual forma um ângulo inferior a 160º no sentido anti-horário.

[0058] De acordo com outras características preferidas, simples, cômodas e econômicas do processo de acordo com a invenção:

[0059] - a referida pelo menos uma zona de fabricação do primeiro tipo está equipada com elementos de volume predeterminados de um material ou de vários materiais distintos;

[0060] - a referida pelo menos uma zona de fabricação do primeiro tipo é definida por um cilindro deslizante de eixo normal na superfície da lente oftalmica alvo, com o volume total da sobre-espessura nesse cilindro deslizante que é sensivelmente constante; e/ou

[0061] - o referido cilindro deslizante tem um diâmetro semelhante ou inferior ao de uma pupila de polimento característica da referida etapa de polimento flexível.

[0062] De acordo com uma outra modalidade de realização vantajosa do processo de acordo com a invenção, onde a fabricação aditiva também é melhorada, a referida etapa para determinar a referida instrução de fabricação do referido elemento óptico intermediário é configurada para que o referido elemento óptico intermediário tenha, em seção, ao nível da sua face pelo menos uma zona de fabricação de um segundo tipo, equipada com uma pluralidade de elementos de volume predeterminados de um ou de vários materiais, com os referidos elementos de volume predeterminados que têm propriedades de abrasabilidade distintas.

[0063] De acordo ainda com outras características preferidas, simples, cômodas e econômicas do processo de acordo com a invenção:

[0064] - a referida etapa de fabricação aditiva é configurada para formar uma pluralidade de camadas sobrepostas de referidos elementos de volume predeterminados, e o referido elemento óptico intermediário assim fabricado tem pelo menos duas referidas zonas de fabricação do primeiro tipo e/ou do segundo tipo, que são formadas sobre camadas distintas; e/ou

[0065] - a referida etapa de fabricação aditiva é configurada para

formar uma pluralidade de camadas sobrepostas de referidos elementos de volume predeterminados, e o referido elemento óptico intermediário assim fabricado tem pelo menos uma referida zona de fabricação do primeiro tipo e/ou do segundo tipo, que é formada sobre pelo menos duas camadas imediatamente sobrepostas.

[0066] A invenção tem também por objetivo, sob um segundo aspecto, um sistema de fabricação de uma lente oftálmica, compreendendo uma máquina de fabricação aditiva para fabricar um elemento óptico intermediário e uma máquina de polimento flexível para fabricar uma lente oftálmica, a partir do referido elemento óptico intermediário, e pelo menos uma unidade de controle e de comando equipada com elementos sistêmicos configurados para executar um programa de computador compreendendo instruções configuradas para implementar cada uma das etapas do processo tal como descrito mais acima.

[0067] De acordo com características preferidas, simples, cômodas e econômicas do sistema de acordo com a invenção:

[0068] - a referida máquina de polimento flexível tem um polidor e uma cinemática de acionamento do referido polidor, que é função do referido polidor, binário polidor e cinemática de acionamento que confere à referida máquina de polimento flexível uma pupila de polimento flexível dada e uma capacidade de remoção de matéria dada;

[0069] - a referida máquina de fabricação aditiva é uma máquina de impressão tridimensional, ou de estereolitografia, ou de estereolitografia por projeção de máscara, ou mesmo de sinterização ou de fusão seletiva por laser, ou de extrusão por fio termoplástico; e/ou

[0070] - a referida máquina de fabricação aditiva comprehende um suporte de fabricação que é amovível e configurado para servir de

suporte de fabricação para a máquina de polimento flexível.

#### BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[0071] Vai agora continuar a exposição da invenção pela descrição de um exemplo de realização, dada mais adiante a título ilustrativo e não limitativo, com referência aos desenhos anexos em que:

[0072] - a figura 1 representa esquematicamente um sistema de fabricação equipado com uma máquina de fabricação aditiva e com uma máquina de polimento flexível configuradas para realizar uma lente oftálmica;

[0073] - a figura 2 representa esquematicamente um elemento óptico intermediário fabricado de modo aditivo com a máquina de fabricação aditiva do sistema ilustrado na figura 1 e uma lente oftálmica fabricada por polimento flexível a partir do elemento óptico intermediário com a máquina de polimento flexível do sistema ilustrado na figura 1;

[0074] - a figura 3 é um croqui ilustrando diferentes etapas de funcionamento de um processo de fabricação de uma lente oftálmica;

[0075] - a figura 4 é um croqui mostrando a etapa de determinação de uma instrução de fabricação aditiva do elemento óptico intermediário; e

[0076] - a figura 5 representa esquemática e parcialmente o elemento óptico intermediário da figura 2 na máquina de polimento flexível do sistema ilustrado na figura 1;

[0077] - a figura 6 representa esquematicamente a ação de uma ferramenta da máquina de polimento flexível do sistema ilustrado na figura 1 sobre o elemento óptico intermediário da figura 2;

[0078] - as figuras 7 e 8 representam esquemática e parcialmente o elemento óptico intermediário da figura 2 de acordo com duas variantes de implementação do processo de acordo com a invenção, respectivamente relativas às primeira e segunda estratégias

melhoradas de fabricação aditiva; e

[0079] - as figuras 9A e 9B, 10A e 10B e 11A até 11C ilustram respectivamente três variantes de realização da segunda estratégia de fabricação aditiva melhorada; e

[0080] - a figura 12 representa esquemática e parcialmente o elemento óptico intermediário da figura 2 de acordo com uma outra variante de implementação do processo de acordo com a invenção, relativa a uma terceira estratégia de fabricação aditiva melhorada.

#### DESCRIÇÃO DETALHADA DE UM EXEMPLO DE REALIZAÇÃO

[0081] A figura 1 ilustra um sistema de fabricação de uma lente oftálmica 30, compreendendo uma máquina de fabricação aditiva 1, aqui uma máquina de impressão tridimensional de comando digital, e uma máquina de polimento flexível 21, também de comando digital.

[0082] O comando digital designa o conjunto dos materiais e softwares tendo nomeadamente por função dar instruções de movimento a todos os órgãos que compreendem as máquinas de fabricação aditiva 1 e de polimento flexível 21.

[0083] A máquina de fabricação aditiva 1 é aqui configurada para depositar, por justaposição, uma pluralidade de elementos de volume predeterminados formando camadas sobrepostas, ou em outras palavras, camada por camada, de pelo menos um material sobre um suporte de fabricação 12 para formar um elemento óptico intermediário 10.

[0084] Esse elemento óptico intermediário 10 é configurado para formar uma lente oftálmica 30.

[0085] Essa lente oftálmica 30 é, por exemplo, progressiva e possui, além disso, componentes tórico e prismático.

[0086] Cada elemento de volume predeterminado é definido por uma composição predeterminada, uma posição predeterminada no espaço e dimensões predeterminadas em um momento t.

[0087] Como se trata aqui de fabricação aditiva e em particular de impressão tridimensional, se fala também de elemento volumétrico, ou de elemento de volume também chamado voxel (representativo de um pixel em três dimensões).

[0088] Esse elemento óptico intermediário 10 é, portanto, trazido pelo suporte de fabricação 12.

[0089] Nota-se que esse suporte de fabricação 12 é um suporte predeterminado da máquina de fabricação aditiva 1 e, portanto, suas características geométricas são conhecidas e reagrupadas em um arquivo que é armazenado ou carregado em uma primeira unidade de controle e de comando 2 da máquina de fabricação aditiva 1.

[0090] O suporte de fabricação 12 da máquina de fabricação aditiva 1 comprehende um corpo equipado com uma superfície de fabricação que tem uma geometria global independente, para toda ou parte, da geometria de pelo menos uma superfície do elemento óptico intermediário a ser realizada por fabricação aditiva.

[0091] O suporte de fabricação 12 pode ser amovível e ser configurado para se adaptar à máquina de polimento flexível 21 utilizada em complemento da máquina de fabricação aditiva 1.

[0092] O conjunto dos materiais e softwares da máquina de fabricação aditiva 1 é além disso configurado para dar instruções de movimento, de manipulação e de controle de materiais e de dispositivos de polimerização que essa máquina 1 comprehende.

[0093] A máquina de fabricação aditiva 1 comprehende um bocal ou uma rampa de bocais 13 assim como a primeira unidade de controle e de comando 2, que está equipada com um sistema de processamento de dados comprendendo um microprocessador 3 munido de uma memória 4, nomeadamente não volátil, lhe permitindo carregar e armazenar um software, ou seja um programa de computador que, quando é executado no microprocessador 3, permite a implementação

de um processo de fabricação aditiva. Essa memória não volátil 4 é por exemplo do tipo ROM («*Read-Only Memory*» em inglês).

[0094] A primeira unidade 2 compreende, além disso, uma memória 5, nomeadamente volátil, permitindo memorizar dados durante a execução do software e a implementação do processo de fabricação aditiva.

[0095] Essa memória volátil 5 é por exemplo do tipo RAM ou EEPROM (respectivamente «*Random Access Memory*» e «*Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory*» em inglês).

[0096] A máquina de fabricação aditiva 1 compreende para além disso uma abertura 6, aqui de vidro, configurada para aceder ao elemento óptico intermediário 10 fabricado de modo aditivo por essa máquina 1 sobre o suporte de fabricação 12 dessa última; essa abertura na máquina é opcional.

[0097] Nota-se que para fabricar de modo aditivo o elemento óptico intermediário 10, é preciso conhecer exatamente alguns parâmetros de fabricação aditiva, tais como a velocidade de avanço do ou dos bocais 13, a energia e a fonte de energia implementadas, aqui uma fonte emitindo em ultravioleta para a máquina de impressão tridimensional mas poderia se tratar de um laser no caso de uma máquina de estereolitografia ou ainda de uma energia de aquecimento no caso de um depósito de fio esticado também chamado extrusão por fio termoplástico.

[0098] É preciso também conhecer exatamente o ou os materiais utilizados e seu estado, aqui sob forma de composição polimerizável, ou de fio, gotas, ou pó de polímero termoplástico.

[0099] É preciso também conhecer exatamente a ou as funções ópticas simples ou complexas prescritas para a lente oftálmica 30, função óptica que é caracterizada por uma geometria definida em um arquivo de fabricação característico das propriedades ópticas simples

ou complexas da lente oftalmica 30.

[00100] De acordo com uma variante, é também preciso conhecer parâmetros de personalização do portador e/ou parâmetros da geometria da armação destinada a receber a lente oftalmica 30, para ajustar a função óptica da lente oftalmica às suas condições de utilização finais.

[00101] Nota-se que é possível definir uma função óptica simples como sendo a função óptica obtida a partir de superfícies esféricas ou tóricas.

[00102] Em contrapartida, é possível definir uma função óptica complexa com sendo a função óptica obtida a partir de pelo menos uma superfície não simples, isto é, por exemplo, de uma superfície asférica, atórica, compreendendo uma função associada ao uso de armação, ou ainda ao rebaixamento («freecurve» em terminologia anglo-saxônica).

[00103] Para além disso, é possível definir uma função óptica adicional como sendo uma função óptica que tem uma variação de potência, percebida por um portador, contínua ou não, de acordo com a posição sobre a lente, e/ou de acordo com o tempo. Isso pode ser por exemplo, uma função óptica progressiva ou multifocal, tal como bifocal ou trifocal, ou com potência comandada ao longo do tempo, como pode ser por exemplo o caso para uma lente fluídica ou uma lente compreendendo uma função ativa ou uma lente informativa.

[00104] O conhecimento da função óptica, do índice óptico do ou dos materiais utilizados para formar a lente final, assim como de alguns parâmetros de personalização e/ou de armação, permite definir um invólucro geométrico necessário para a lente oftalmica 30 (também chamado invólucro externo tridimensional). Esse invólucro geométrico necessário define as características geométricas da lente oftalmica 30. Esse invólucro externo tridimensional engloba um invólucro geométrico

da lente oftálmica e uma ou várias sobre-espessuras Se adjuntas em toda ou parte de pelo menos uma face da lente oftálmica 30.

[00105] Se recorda que por função óptica de uma lente ou de um elemento óptico, se entende a resposta óptica dessa lente ou desse elemento, isto é, uma função definindo qualquer modificação de propagação e de transmissão de um feixe óptico através da lente ou do elemento óptico referido, quaisquer que sejam a incidência do feixe óptico entrando e a extensão geométrica de uma dioptria de entrada iluminada pelo feixe óptico incidente.

[00106] Mais precisamente, no domínio oftálmico, a função óptica é definida como a repartição das características de potência de portador e de astigmatismo, dos desvios prismáticos e das aberrações de ordem superior associadas à lente ou ao elemento óptico para o conjunto das direções do olhar de um portador dessa lente ou desse elemento. Isso pressupõe naturalmente a predeterminação do posicionamento geométrico da lente ou do elemento óptico em relação ao olho do portador.

[00107] É de notar também que a potência de portador é um modo de calcular e de ajustar a potência da lente oftálmica, que se diferencia da potência de frontofocômetro. O cálculo em potência de portador garante que a potência percebida pelo portador (isto é a potência do feixe de luz que entra no olho), uma vez a lente posicionada na armação e trazida pelo portador, corresponde à potência prescrita. Em geral, em qualquer ponto da lente, nomeadamente ao nível dos pontos de controle de visão de longe e de visão de perto, para uma lente progressiva, a potência medida com um frontofocômetro se diferencia da potência de portador. No entanto, a potência de portador ao nível do centro óptico de uma lente unifocal está geralmente perto da potência observada com um frontofocômetro posicionado nesse ponto.

[00108] A máquina de polimento flexível 21 é aqui configurada para

usinar por polimento, pelo menos a totalidade ou parte do elemento óptico intermediário 10 fabricado de modo aditivo, para formar a lente oftálmica alvo 30. O elemento óptico intermediário 10 é trazido e mantido em uma posição de trabalho em um suporte de fabricação 32 da máquina 21. Essa posição de trabalho pode ser predeterminada ou mais geralmente corresponder a uma posição permitindo centrar geometricamente o elemento óptico intermediário em relação às trajetórias da ferramenta de polimento da máquina 21.

[00109] Nota-se que esse suporte de fabricação 32 é um suporte predeterminado da máquina 21 e, portanto, suas características geométricas e de localização na máquina são conhecidas e reagrupadas em um arquivo que é armazenado ou carregado em uma segunda unidade de controle e de comando 22 da máquina de fabricação subtrativa 21.

[00110] Nota-se que os suportes de fabricação 12 e 32 podem só formar um único e mesmo suporte e/ou que o suporte de fabricação 32 pode de modo vantajoso ser ele próprio realizado por fabricação aditiva tal como definida no sentido da invenção.

[00111] A máquina 21 é assim configurada para polir de modo flexível toda ou parte da superfície do elemento óptico intermediário 10, inclusive se o elemento óptico intermediário tem uma superfície de uma lente progressiva, possuindo, além disso, opcionalmente componentes tórico e prismático.

[00112] A máquina de polimento flexível 21 comprehende um fuso que leva uma ferramenta de polimento 33, por exemplo, um polidor tendo um diâmetro predeterminado, para polir e alisar as asperezas presentes na superfície do elemento óptico intermediário proveniente da etapa de fabricação aditiva. Compreende também a segunda unidade de controle e de comando 22 que é semelhante à primeira unidade 2 da máquina de fabricação aditiva 1.

[00113] As trajetórias da ferramenta de polimento da máquina 21 são definidas por uma cinemática de acionamento do polidor, cinemática que corresponde, além disso, às pressões impostas ao polidor e ao elemento óptico intermediário polido no momento da etapa de polimento.

[00114] O binário formado pelo polidor e a cinemática de acionamento do polidor permite definir uma pupila de polimento característica da etapa de polimento flexível (ver mais adiante).

[00115] Essa segunda unidade 22 está assim equipada com um sistema de processamento de dados compreendendo um microprocessador 23 munido de uma memória 24, nomeadamente não volátil, lhe permitindo carregar e armazenar um software, em outras palavras um programa de computador, que, quando é executado no microprocessador 23, permite a implementação de um processo de fabricação substrativa, e mais particularmente aqui uma sequência de pelo menos uma etapa de usinagem entre uma etapa de acabamento e uma etapa de polimento. Essa memória não volátil 24 é, por exemplo, de tipo ROM («*Read-Only Memory*» em inglês).

[00116] O conjunto dos materiais e softwares da máquina de fabricação aditiva 21 é, além disso, configurado para dar instruções de movimento e de manipulação de todos os órgãos que essa máquina comprehende e nomeadamente do seu fuso 33.

[00117] A segunda unidade 22 comprehende, além disso, uma memória 25, nomeadamente volátil, permitindo memorizar dados durante a execução do software e a implementação do processo de polimento flexível.

[00118] Essa memória volátil 25 é, por exemplo, de tipo RAM ou EEPROM (respectivamente «*Random Access Memory*» e *Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory*» em inglês).

[00119] A máquina de polimento flexível 21 comprehende, além

disso, uma abertura 26, opcional, aqui de vidro, configurada para aceder à lente oftálmica 30 fabricada por polimento flexível por essa máquina 21 sobre o suporte de fabricação 32 dessa última.

[00120] Nota-se que para fabricar por polimento flexível a lente oftálmica alvo 30 a partir do elemento óptico intermediário 10, é preciso conhecer exatamente alguns parâmetros de polimento, tais como por exemplo, a velocidade de rotação do elemento óptico intermediário, a velocidade de varredura do polidor, o número de varreduras do polidor, a pressão que exerce o polidor sobre a superfície do elemento óptico, a trajetória e a amplitude de varredura do polidor, o diâmetro do polidor, o tamanho e a concentração das partículas abrasivas que estão presentes no líquido utilizado durante o processo de polimento (chamado "slurry" em língua inglesa).

[00121] Esses parâmetros permitem à etapa de polimento flexível apresentar capacidades de alisamento (ou filtragem) definidas, que são, por exemplo, caracterizadas pela sua frequência espacial de corte e/ou seu comprimento de onda espacial de corte ou pela sua pupila de polimento.

[00122] A figura 2 apresenta, esquematicamente, uma lente oftálmica 30, obtida a partir de um elemento óptico intermediário 10 fabricado de modo aditivo sobre o suporte de fabricação.

[00123] No lado esquerdo da figura 2 está representado o elemento óptico intermediário 10, fabricado de modo aditivo, enquanto do lado direito dessa figura está representada a lente oftálmica alvo 30 fabricada por polimento flexível a partir desse elemento óptico intermediário 10.

[00124] O elemento óptico intermediário 10 tem um corpo equipado com uma primeira face 15 que aqui é convexa assim como uma segunda face 16 que aqui é côncava. Essa segunda face 16 é a que se encontra aqui em frente da superfície do suporte de fabricação em

que é fabricado de modo aditivo o elemento óptico intermediário 10.

[00125] Em variante, uma construção inversa consistindo em ter uma segunda face 16 convexa pode ser realizada, e/ou a primeira face 15 pode ter um perfil côncavo.

[00126] Esse elemento óptico intermediário 10 compreende uma porção periférica ligando a primeira face 15 à segunda face 16.

[00127] Observa-se que o elemento óptico intermediário 10 foi aqui fabricado diretamente com um contorno adaptado a uma forma de armação predeterminada onde a lente oftálmica alvo 30 é configurada para ser montada.

[00128] Em variante, o elemento óptico intermediário pode ter uma porção periférica formando um contorno ligeiramente diferente do desejado para a lente oftálmica, por exemplo, ligeiramente menos significativo ou ligeiramente mais significativo do que um contorno configurado para ser introduzido na armação predeterminada, ou compreendendo extensões para permitir uma preensão ou podendo ter uma outra função.

[00129] Nota-se que se o elemento óptico intermediário tem uma porção periférica formando um contorno mais significativo do que um contorno da porção da lente oftálmica, o contorno complementar pode também compreender uma parte da sobre-espessura realizada no momento da etapa de fabricação aditiva, em particular para facilitar a etapa de polimento e diminuir o aparecimento de eventuais efeitos de bordas.

[00130] Em uma outra variante, o elemento óptico intermediário pode ter pelo menos um meio permitindo manter a lente oftálmica em uma armação predeterminada, esse meio sendo realizado no momento da etapa de fabricação aditiva. Esse meio pode por exemplo ser formado por um ou por vários furos dispostos no elemento óptico intermediário, atravessando pelo menos uma das faces, para fixar

armações que necessitam de lentes perfuradas, e/ou uma ranhura para receber um fio de tipo náilon para uma armação de tipo "náilon", e/ou um bisel para poder se alojar em complementaridade com uma armação de tipo fechada.

[00131] Nota-se que a possibilidade de fabricar uma lente oftalmica já com a forma que convém para ser introduzida em uma armação predeterminada pode permitir a redução dos riscos de desalinhamento das lentes podendo resultar de uma etapa de recorte que pode ser feita em armazém; e/ou essa possibilidade pode, além disso, permitir a redução dos estoques de semiacabadas geralmente necessários.

[00132] O elemento óptico intermediário 10 é aqui formado por uma pluralidade de elementos de volume predeterminados que são justapostos e sobrepostos para formar uma pluralidade de camadas sobrepostas de um material 18. Esses elementos de volume predeterminados podem ter uma geometria diferente e serem diferentes em volume uns em relação aos outros, como o permite de modo usual a implementação de um tal processo de fabricação aditiva. Esses elementos de volume podem também ser constituídos pelo mesmo material ou, em variante, podem ser constituídos por pelo menos dois materiais diferentes tendo por exemplo, índices de refração distintos e/ou propriedades de abrasibilidade distintas.

[00133] Nota-se que a utilização de pelo menos dois materiais tendo índices de refração diferentes pode por exemplo, permitir fornecer propriedades ópticas e funcionais otimizadas à lente oftalmica alvo; enquanto que a utilização de pelo menos dois materiais tendo propriedades de abrasibilidade diferentes é particularmente interessante na determinação da instrução de fabricação aditiva para otimizar a geometria da sobre-espessura e depositar o ou os materiais o ou os mais adequados em função da etapa posterior de polimento flexível.

[00134] Essa pluralidade de camadas sobrepostas forma o corpo em conjunto com a primeira face 15 e a segunda face 16 desse elemento óptico intermediário 10.

[00135] Observa-se que as camadas sobrepostas do primeiro material 18 têm aqui comprimentos diferentes de modo a formar as primeira e segunda faces 15 e 16 desse elemento óptico intermediário 10.

[00136] Observa-se que algumas tecnologias de fabricação aditiva só têm uma noção relativa de "camadas", uma camada sendo apenas um conjunto de voxels artificialmente depositados no momento de uma mesma passagem de bocais ou de um mesmo mascaramento e não formando forçosamente porções de matéria. No entanto, o ensinamento da presente invenção é transcrito facilmente para essas tecnologias.

[00137] Essas camadas têm cada uma aqui uma espessura sensivelmente constante no comprimento e têm todas sensivelmente a mesma espessura. Observa-se que algumas tecnologias de fabricação aditiva podem prever camadas com espessuras variáveis ao longo da camada. Todavia o ensinamento da presente invenção é transcrito facilmente para essas tecnologias.

[00138] Nota-se que essa espessura sensivelmente constante da camada é aqui obtida graças à deposição controlada e comandada, pelo bocal ou pela rampa de bocais 13 da máquina de fabricação aditiva 1, de uma quantidade determinada de elementos de volume predeterminados para cada camada sobreposta do material 18.

[00139] O material 18 é aqui um polímero acrílico, e mais precisamente um fotopolímero, por exemplo, um fotopolímero tal como o produto comercializado pela sociedade OBJET Ld, da marca VeroClear™.

[00140] Nota-se que a fabricação aditiva do elemento óptico

intermediário 10 pode necessitar, além do depósito da pluralidade de camadas sucessivas e sobrepostas, de uma ou de várias etapas de fotopolimerização.

[00141] As etapas de fotopolimerização podem ser implementadas para depósito de cada elemento de volume, de modo global após a passagem do bocal e/ou da rampa de bocal ou após o depósito de cada camada de elementos de volume.

[00142] É de notar por outro lado, como se verá mais adiante mais em detalhe, que a polimerização do elemento óptico intermediário 10 pode não estar completamente terminada no final da etapa de fabricação aditiva desse elemento óptico intermediário 10.

[00143] O corpo do elemento óptico intermediário 10 compreende aqui duas sobre-espessuras 9 dispostas de ambos os lados do corpo ao nível respectivamente da primeira e segunda faces 15 e 16.

[00144] A geometria do elemento óptico intermediário 10 é aqui projetada de modo a ter uma sobre-espessura 9 de espessura marcada Se que cobre pelo menos uma da primeira e segunda faces 15 e 16 em relação ao invólucro geométrico da lente oftálmica alvo 30.

[00145] Nota-se que a espessura Se dessa sobre-espessura 9 é definida na invenção como a distância entre a superfície do invólucro geométrico da lente oftálmica alvo 30 e uma superfície chamada interior do elemento óptico intermediário 10, em outras palavras uma superfície definida pelos pontos de cada camada da superfície do elemento óptico intermediário os mais próximos localmente da superfície da lente oftálmica final (alvo). Em particular a superfície interior corresponde a uma superfície definida pelas concavidades das asperezas tais como definidas acima.

[00146] Assim, localmente, a espessura Se da sobre-espessura 9 é definida de modo a não ter em conta nem variações locais de espessuras devidas aos picos e concavidades das asperezas nem às

variações de altitudes ligadas à junção de voxels próximos, nem aos "saltos de degraus" entre duas superfícies ou camadas sobrepostas.

[00147] Para além disso, a espessura Se da sobre-espessura 9 tem um valor sensivelmente constante em qualquer ponto em relação ao invólucro geométrico da lente oftálmica, módulo de amplitude das asperezas.

[00148] De preferência, no conjunto do elemento óptico intermediário, a espessura Se da sobre-espessura 9 está compreendida no intervalo [1 µm; 150 µm]. A sobre-espessura média no conjunto da lente pode estar compreendida no intervalo [10 µm; 100 µm] e de preferência no intervalo [10 µm, 50 µm].

[00149] Em particular, a espessura Se da sobre-espessura 9 é escolhida para ser superior ou igual a duas vezes uma amplitude máxima das asperezas e inferior à capacidade de remoção de matéria da etapa de polimento flexível. De preferência, a espessura Se da sobre-espessura 9 é escolhida para ser superior ou igual a três vezes uma amplitude máxima das asperezas. A amplitude de uma aspereza pode ser medida avaliando a amplitude pico-concavidade de acordo com um eixo que passa através do local normal para a superfície-alvo da lente oftálmica.

[00150] Nota-se que para simplificar a escolha do valor de espessura Se, em outras palavras para não haver necessidade de calcular a amplitude de cada aspereza, a espessura Se da sobre-espessura 9 pode ser escolhida para ser superior ou igual a duas vezes, preferencialmente três vezes, uma altura de um voxel. A altura de voxel utilizada como referência pode ser escolhida como sendo a altura média dos voxels utilizados próximos da superfície do elemento óptico intermediário, ou a altura máxima dos voxels utilizados próximos da superfície desse elemento óptico intermediário. Ou ainda, pode ser a altura média dos voxel usada para fabricar o elemento óptico

intermediário através de fabricação aditiva. Alternadamente, pode ser ainda uma outra dimensão de um voxel.

[00151] A capacidade de remoção de matéria do processo de polimento é definida como a espessura de matéria que pode ser abrasada sem que a ferramenta de polimento modifique de modo significativo a curvatura da superfície polida. A capacidade de remoção de matéria depende do material que é polido, da cinemática de acionamento do polidor em relação ao elemento óptico intermediário polido e da estrutura do polidor.

[00152] Esse valor pode ser identificado por exemplo, polindo com diferentes tempos de polimento uma amostragem de lentes tendo superfícies representativas da gama de superfícies a serem polidas com essa máquina. Por exemplo, se pode escolher uma série de lentes acabadas de base 2 a 6, compreendendo superfícies tóricas e superfícies esféricas, com e sem adições, quando se avalia um polidor plano. Em seguida a diferença na curvatura ocasionada pelo polimento pode ser medida para cada lente. Quando essa diferença é superior a 0,12 dioptrias, preferencialmente 0.06 dioptrias, para pelo menos uma lente, se pode considerar que a espessura máxima de polimento para esse material obtido pela implementação desse processo de polimento é excedida.

[00153] Observa-se que no corpo do elemento óptico intermediário 10 são representadas duas linhas pontilhadas e duas linhas contínuas que seguem cada uma sensivelmente a forma, em seção, das primeira e segunda faces 15 e 16 do elemento óptico intermediário 10.

[00154] As linhas contínuas e pontilhadas dispostas perto de uma face respectiva estão situadas à distância uma da outra, distância que corresponde à espessura Se da sobre-espessura 9 respectiva.

[00155] Nota-se que as linhas contínuas definem a geometria chamada alvo da lente oftálmica alvo 30 a ser fabricada enquanto as

linhas pontilhadas definem a espessura da geometria do elemento óptico intermediário 10 a ser fabricado.

[00156] A geometria do elemento óptico intermediário 10 a ser fabricado de modo aditivo é determinada em função da etapa de polimento flexível.

[00157] Assim, na figura 2, as sobre-espessuras 9 fornecidas para a primeira e segunda faces 15 e 16, têm espessuras médias referenciadas Se, que são cada uma igual a uma espessura determinada, referenciada e (ver a vista de detalhe na figura 2), espessura que corresponde a uma espessura de matéria retirada durante a etapa de polimento flexível.

[00158] Em outras palavras, o elemento óptico intermediário 10 é aqui fabricado de modo a apresentar uma geometria determinada, com duas sobre-espessuras 9 representativas cada uma por um invólucro geométrico determinado disposto em ambos os lados da lente alvo 30; para em seguida suportar apenas uma e única etapa de remoção de matéria por polimento flexível, implementada pela máquina de polimento flexível 21 e configurada para retirar uma espessura e em cada uma das primeira e segunda faces 15 e 16 do elemento 10.

[00159] Essa espessura e corresponde aqui aproximadamente à espessura Se das sobre-espessuras 9 adicionada com elementos de matéria projetada da «superfície virtual» do elemento óptico intermediário 10 (linha pontilhada).

[00160] As sobre-espessuras 9 e a espessura e (chamada espessura determinada) de remoção de matéria são aqui semelhantes e compreendidas em um intervalo de valores aproximadamente igual a [1 µm; 150 µm]. As sobre-espessuras 9 não são necessariamente idênticas em cada uma das duas faces do elemento óptico intermediário 10.

[00161] Nota-se que essa etapa necessita que a geometria do

elemento óptico intermediário 10 permita a condução por uma única etapa de polimento flexível para a geometria e para a qualidade de estado de superfície desejadas da lente oftalmica alvo 30. Convém, portanto, que o elemento óptico intermediário seja projetado com uma geometria que permita a condução por uma única etapa de polimento flexível para a geometria e para a qualidade de estado de superfícies desejadas da lente oftalmica alvo 30.

[00162] A implementação dessa única etapa de polimento flexível sobre o elemento óptico intermediário 10 permite obter a lente oftalmica alvo 30 ilustrada, em seção, à direita na figura 2, que tem a função óptica, aqui complexa, que lhe é prescrita.

[00163] Essa lente oftalmica alvo 30 assim fabricada comprehende um corpo tendo uma face dianteira 35 e uma face traseira 36 oposta à face dianteira 35, e um contorno aqui idêntico ao do elemento óptico intermediário 10.

[00164] Com efeito, o elemento óptico intermediário 10 foi aqui fabricado diretamente com um contorno adaptado a uma forma de armação predeterminada onde a lente oftalmica alvo 30 é configurada para ser montada.

[00165] A lente oftalmica alvo 30 tem além disso a função óptica, aqui complexa, que lhe é prescrita.

[00166] Se vai agora descrever mais em detalhe com referência às figuras 3 e 4 um processo de fabricação dessa lente oftalmica alvo 30.

[00167] O processo de fabricação comprehende a etapa 100 para fabricar de modo aditivo o elemento óptico intermediário 10 com a máquina de fabricação aditiva 1, de acordo com uma geometria determinada.

[00168] O processo comprehende opcionalmente a etapa 200 para irradiar o elemento óptico intermediário 10 obtido. Essa etapa 200 consiste em terminar a polimerização do elemento óptico intermediário

10.

[00169] O processo compreende, além disso, a etapa 300 para fabricar a lente oftalmica 30 por polimento flexível do elemento óptico intermediário 10, com a máquina de polimento flexível 21.

[00170] O processo compreende opcionalmente a etapa 400 para tratar a face dianteira e/ou a face traseira da lente oftalmica assim obtida por fabricação aditiva depois por polimento flexível, para acrescentar aí um ou vários revestimentos funcionais predeterminados, por exemplo, um antiembaçante e/ou um antirreflexo e/ou uma tinta e/ou um revestimento fotocrômico e/ou antirriscos, etc.

[00171] A figura 4 ilustra etapas do processo de fabricação e mais precisamente etapas para a determinação de uma instrução de fabricação do elemento óptico intermediário 10 para sua fabricação aditiva graças à máquina de fabricação aditiva 1 ilustrada na figura 1; e, portanto, para o fornecimento desse elemento óptico intermediário 10 para uma das etapas 200 e 300 do processo ilustrado na figura 4.

[00172] A unidade de controle e de comando 2 (chamada primeira unidade) da máquina de fabricação aditiva 1 é configurada para receber na etapa 101 um arquivo compreendendo valores de prescrição de um portador da lente oftalmica 30 a ser fabricada.

[00173] Esses valores de prescrição do portador são geralmente expressos em dioptria (D).

[00174] A primeira unidade 2 é, além disso, configurada para receber na etapa 102 dados complementares de porte e de personalização, ligados ao mesmo tempo ao portador, a uma armação prevista para receber a lente oftalmica 30 e à prescrição.

[00175] Nota-se que esses dados complementares de porte e de personalização correspondem por exemplo, a valores geométricos que caracterizam nomeadamente a armação e o comportamento visual do portador. Se pode tratar por exemplo, de uma distância entre o olho e

a lente e/ou de uma posição do centro de rotação do olho, e/ou de um coeficiente olho-cabeça, e/ou de um ângulo pantoscópico e/ou de uma curvatura da armação e/ou do contorno da armação. Se pode tratar somente do posicionamento geométrico da lente oftálmica 30 em relação ao olho do portador.

[00176] A primeira unidade 2 é configurada para determinar na etapa 103 uma função óptica corretiva adaptada ao portador a partir dos valores de prescrição de portador e dos dados complementares de porte e de personalização recebidos nas respectivas etapas 101 e 102, e em função do posicionamento geométrico da lente 30 em relação ao olho do portador.

[00177] Essa função óptica corretiva adaptada ao portador corresponde à função óptica alvo da lente oftálmica 30 a ser fabricada.

[00178] Nota-se que a determinação da função óptica corretiva adaptada ao portador pode ser efetuada por exemplo, através de um software de traçado de raios, que permite determinar a potência de portador e o astigmatismo resultante da lente nas condições de porte dessa última. Uma otimização pode ser efetuada seguindo métodos de otimização óptica bem conhecidos.

[00179] A primeira unidade 2 é configurada para produzir na etapa 104 um arquivo chamado «função óptica» que caracteriza essa função óptica corretiva adaptada ao portador determinada na etapa 103.

[00180] Nota-se que a função óptica corretiva adaptada ao portador pode, em vez de ser determinada pela primeira unidade 2 na etapa 103, ser diretamente recebida por essa primeira unidade 2 sob a forma de um tal arquivo.

[00181] A primeira unidade 2 é configurada para determinar, na etapa 105, características geométricas alvos da lente oftálmica 30 a ser fabricada, a partir de um arquivo «função óptica» produzido na etapa 104 e a partir dos dados complementares de porte e de

personalização recebidos na etapa 102, e em particular os ligados à armação prevista para receber a lente oftálmica 30.

[00182] A primeira unidade 2 é configurada para produzir na etapa 106 um arquivo chamado «geometria-alvo» que marca as características geométricas da lente oftálmica 30 a ser fabricada, determinadas na etapa 105.

[00183] Nota-se que esse arquivo «geometria alvo» é um arquivo chamado de superfície que está equipado por exemplo, com características geométricas sob a forma de coordenadas  $x, y, z, \theta$ , em um número finito de pontos, ou de uma função de superfície  $z = f(x, y)$  definindo cada face, com características ligadas a um índice de refração, com diversas distâncias e ângulos tais como os mencionados acima. O arquivo «geometria-alvo» é na verdade representativo ao mesmo tempo da função óptica e da geometria a ser fornecida à lente oftálmica 30.

[00184] A primeira unidade 2 é, além disso, configurada para receber na etapa 107 um arquivo compreendendo dados de polimento flexível da máquina de polimento flexível 21. Pode se tratar por exemplo, do diâmetro da pupila de polimento e/ou das capacidades de alisamento (ou filtragem) da máquina que são por exemplo caracterizadas pela sua frequência espacial de corte e/ou seu comprimento de onda espacial de corte. Pode se tratar também dos parâmetros técnicos da máquina de polimento flexível tais como a velocidade de rotação do elemento óptico intermediário, a velocidade de varredura, o número de varreduras, a pressão que o polidor exerce sobre a superfície do elemento óptico, a trajetória e a amplitude de varredura do polidor, as propriedades mecânicas do polidor (como suas dimensões e sua estrutura), o tamanho, a concentração e/ou a dureza das partículas abrasivas.

[00185] Para garantir um máximo de eficácia de filtragem do

polimento flexível, o comprimento de onda espacial de corte de polimento flexível é de preferência o mais elevado possível; enquanto que para ser considerada não deformante, uma etapa de polimento flexível tem de preferência um comprimento de onda espacial de corte de polimento flexível o mais fraco possível.

[00186] Para implementar uma etapa de polimento flexível que seja eficaz para uma lente oftalmica, isto é que filtra as asperezas criando defeitos ópticos, sem deformar a curvatura do invólucro geométrico da lente, e que permite obter uma função óptica dada, o comprimento de onda espacial de corte de polimento flexível deve estar de preferência compreendido entre cerca de 0,5 mm e 5 mm, e de preferência entre cerca de 0,5 mm e 2,5 mm.

[00187] A primeira unidade 2 é, além disso, configurada para receber (etapa não representada) um arquivo compreendendo características ligadas ao índice de refração do material 18 utilizado para a fabricação aditiva do elemento óptico intermediário 10.

[00188] A primeira unidade 2 é configurada para determinar, opcionalmente, um encolhimento dimensional assim como uma variação de índice do elemento óptico intermediário 10. Se trata aqui de evoluções possíveis posteriores, por um lado, do índice de refração do material 18 onde é fabricado o elemento óptico intermediário 10 e, por outro lado, da geometria (encolhimento dimensional) do elemento óptico intermediário 10, por exemplo no momento de uma etapa de recozimento.

[00189] A primeira unidade 2 é configurada para determinar na etapa 108 as sobre-espessuras 9 a serem fornecidas ao elemento óptico intermediário 10 a partir das características e valores produzidos ou recebidos nos arquivos pelo menos nas etapas 106 e 107, respectivamente relativos à geometria alvo da lente oftalmica 30 a ser fabricada, aos dados de polimento flexível, e a partir do valor do índice

do material de fabricação do elemento óptico intermediário 10 e das características relativas a um eventual encolhimento dimensional assim como a uma eventual variação de índice do elemento óptico intermediário 10.

[00190] A primeira unidade 2 é configurada para deduzir na etapa 109 características geométricas do elemento óptico intermediário 10 a ser fabricado a partir dos valores de espessura Se das sobre-espessuras 9 determinadas na etapa 108, tomadas em combinação com o arquivo «geometria-alvo» produzido na etapa 106 e dos dados característicos da etapa de polimento flexível predeterminada.

[00191] Nota-se que essas características geométricas do elemento óptico intermediário 10 são assim deduzidas de modo que as sobre-espessuras sejam representativas da diferença de geometria entre a geometria alvo da lente oftálmica 30 e a geometria do elemento óptico intermediário 10.

[00192] A primeira unidade 2 é, além disso, configurada para produzir, na etapa 110, em função da etapa posterior do polimento flexível, um arquivo que marca as características geométricas do elemento óptico intermediário 10 deduzidas na etapa 109 e representativas da geometria desejada.

[00193] Esse arquivo comprehende de preferência características geométricas do elemento óptico intermediário e/ou das sobre-espessuras, e eventualmente da lente oftálmica. Se trata de um arquivo chamado de superfície que está equipado por exemplo, com características geométricas sob a forma de coordenadas x, y, z, θ, ou com uma função de superfície  $z = f(x, y)$  definindo cada face, em um número finito de pontos, com características ligadas a um índice de refração, com diversas distâncias e ângulos tais como os mencionados acima.

[00194] Em outras palavras, esse arquivo chamado de superfície

reflete uma descrição da geometria desejada para o elemento óptico intermediário 10 a ser fabricado, com na prática uma disposição determinada dos elementos de volume predeterminados do ou dos materiais.

[00195] Esse arquivo de superfície pode, por exemplo, ser exibido sob a forma de dados de modelização 3D tipicamente em um arquivo de projeto CAO para representar o elemento óptico intermediário compreendendo a lente oftálmica alvo e as sobre-espessuras, como objeto digital.

[00196] A geometria do elemento óptico intermediário 10 é aqui determinada de modo a ser diretamente adaptada ao contorno da armação onde a lente 30 é configurada para ser montada. Portanto não é necessária uma etapa de recorte. Em variante, o contorno do elemento 10 definido nesse arquivo não corresponde ao contorno da armação e é necessária uma operação de recorte.

[00197] A primeira unidade 2 é, além disso, configurada para determinar na etapa 113 a instrução de fabricação do elemento óptico intermediário 10, a partir das características que compreende o arquivo produzido na etapa 110 em relação à geometria do elemento óptico intermediário 10.

[00198] A primeira unidade 2 é configurada para produzir na etapa 114 o arquivo de fabricação correspondente à instrução de fabricação do elemento óptico intermediário 10 sobre o suporte de fabricação 12 da máquina de fabricação aditiva 1 (em uma marca conhecida dessa máquina).

[00199] Esse arquivo «instrução» é semelhante ao arquivo de geometria do elemento óptico intermediário 10 produzido na etapa 110, se apenas reflete uma descrição transcrita da geometria desejada desse elemento óptico intermediário 10 a ser fabricado, com na prática, uma disposição dos elementos de volume predeterminados do

ou dos materiais, em relação a um referencial da máquina de fabricação aditiva, e uma ordem de depósito dos elementos de volume uns em relação aos outros.

[00200] É de notar aqui que tanto a geometria do elemento óptico intermediário 10 como a disposição e a ordem de depósito dos voxels são determinadas em função de uma ou de várias estratégias de fabricação aditiva de modo a formar no elemento óptico intermediário 10 zonas de fabricação de diferentes tipos.

[00201] Essas estratégias de fabricação aditiva podem, por exemplo, incluir uma inclinação determinada do elemento óptico intermediário 10 sobre o suporte de fabricação 12 para sua fabricação e/ou uma fabricação melhorada em quantidade de material fornecido e/ou em qualidade de material fornecido (ver mais adiante com referência às figuras de 7 a 12).

[00202] Essas diferentes estratégias de fabricação podem, por exemplo, ser tidas em consideração durante a etapa 108 de determinação das sobre-espessuras 9 do elemento óptico intermediário 10, ou no momento da determinação da geometria desse elemento óptico intermediário 10 (etapa 110).

[00203] Nota-se também que os dados desse arquivo são também representativos das modificações ligadas a um eventual encolhimento dimensional assim como a uma eventual variação de índice do elemento óptico intermediário 10.

[00204] A primeira unidade 2 pode também ser configurada para executar a fabricação aditiva do elemento óptico intermediário 10 sobre o suporte de fabricação 12 na máquina de fabricação aditiva 1, sobre a base das características do arquivo de fabricação produzido na etapa 114 (etapa 100 na figura 3).

[00205] Essa primeira unidade de controle e de comando 2 é portanto configurada para executar um software para a implementação

de diferentes etapas do processo de fabricação da lente oftalmica, utilizando os parâmetros recebidos, para determinar a instrução de fabricação do elemento óptico intermediário 10 ou mesmo para a realizar.

[00206] A unidade de controle e de comando 22 (chamada segunda unidade) da máquina de polimento flexível 21 é pelo seu lado configurada para implementar um processo de polimento flexível predeterminado, tendo dados de polimento semelhantes aos recebidos pela primeira unidade 2 na etapa 107, e tidos em conta no momento da determinação das sobre-espessuras 9 e do elemento óptico intermediário 10.

[00207] Esses dados de polimento são idênticos aos mencionados acima, a saber o diâmetro da pupila de polimento e/ou as capacidades de alisamento (ou filtragem) da máquina que são por exemplo caracterizados pela sua frequência espacial de corte e/ou seu comprimento de onda espacial de corte. Pode se tratar também dos parâmetros técnicos da máquina de polimento flexível tais como a velocidade de rotação do elemento óptico intermediário, a velocidade de varredura, o número de varreduras, a pressão que exerce o polidor sobre a superfície do elemento óptico, a trajetória e amplitude de varredura do polidor, as propriedades mecânicas do polidor (como suas dimensões e sua estrutura), o tamanho, a concentração e/ou a dureza das partículas abrasivas.

[00208] A segunda unidade 22 é configurada para executar uma só e única etapa de polimento flexível de pelo menos uma face 15, 16 do elemento óptico intermediário 10 obtido sobre o suporte de fabricação 32 na máquina de polimento flexível, para retirar a espessura de matéria determinada e por meio de uma pupila de polimento semelhante à definida e utilizada para determinar o invólucro geométrico do elemento óptico intermediário 10, e assim produzir a

lente oftálmica 30 com sua função óptica prescrita e tendo faces 35 e 36 que apresentam uma rugosidade de qualidade óptica.

[00209] Em variante, podem ser efetuadas várias etapas sucessivas de polimento flexível de uma mesma face.

[00210] Vão agora ser descritas mais em detalhes variantes de implementações do processo e em particular da etapa de determinação da instrução de fabricação, em função da estratégia de fabricação melhorada escolhida.

[00211] A figura 5 ilustra um detalhe da superfície do elemento óptico intermediário 10 representado na figura 2, ao nível da sua primeira face (não representada) e uma representação da pupila de polimento 33 de diâmetro predeterminado, por exemplo, compreendido entre cerca de 0,5 mm e cerca de 2,5 mm, pupila que é característica da etapa de polimento flexível.

[00212] Sobre esse detalhe, são representadas parcialmente cinco camadas sobrepostas de material 18, camadas em que se veem as extremidades ao nível da primeira face. Na superfície do elemento óptico intermediário 10, ao nível da junção entre duas camadas imediatamente sobrepostas cuja espessura (ou a altura)  $h$  ( $h_1, h_2$ ) é predeterminada, é formado um degrau de comprimento  $\lambda$  ( $\lambda_1, \lambda_2$ ). Aqui a altura e o comprimento de dois degraus são representados, respectivamente  $h_1$  e  $\lambda_1$  e  $h_2$  e  $\lambda_2$ .

[00213] Sobre esse detalhe estão também representadas as asperezas 40 formadas ao nível das camadas sucessivas e em particular na interface de cada par de camadas sobrepostas.

[00214] Cada aspereza está aqui equipada com um pico 41, também chamado ponto alto, que se encontra na extremidade livre na superfície superior 44 de uma camada superior, e uma concavidade 42, também chamada ponto baixo, que se encontra na junção entre a extremidade da camada superior e a camada imediatamente inferior.

[00215] Cada aspereza 40 está além disso equipada com um rebaixo 43 disposto entre o pico 41 e a concavidade 42 e sensivelmente representativo da altura de um voxel situado na extremidade do degrau.

[00216] A figura 6 ilustra de modo muito esquemático, em perspectiva e em seção, uma aspereza 40 isoladamente, aqui do tipo degrau, antes do seu polimento, por uma etapa de polimento flexível, e também em seção, essa aspereza 40 após polimento por meio da máquina de polimento flexível 21.

[00217] A aspereza 40 antes de polimento flexível é idêntica à descrita mais acima com referência à figura 5.

[00218] Após a implementação da etapa de polimento flexível, a aspereza desapareceu ou quase para formar uma superfície sensivelmente curva 46 chamada polida, superfície polida que une ao mesmo tempo a superfície superior 44 da camada superior e a superfície inferior 45 da camada inferior.

[00219] Nota-se que essa superfície 46 corresponde, após polimento flexível, a uma zona da face da lente cujo diâmetro é aqui sensivelmente semelhante ao da pupila de polimento. Se assinala D a largura dessa zona. Essa zona da face da lente é uma zona de ação da pupila de polimento sobre a aspereza isolada presente na face do elemento óptico intermediário 10 antes de polimento flexível. A largura dessa zona corresponde sensivelmente ao comprimento de expansão da aspereza após polimento flexível.

[00220] A figura 7 ilustra uma primeira estratégia de fabricação aditiva melhorada.

[00221] Aqui, o elemento óptico intermediário 10 está inclinado com um ângulo  $\theta$ , determinado no momento das etapas de 108 a 114, em relação a um eixo predeterminado 48 de construção aditiva, chamado eixo de estratificação, de acordo com o qual a pluralidade de

elementos de volume predeterminados de pelo menos um material é depositada.

[00222] A tecnologia de fabricação aditiva funciona por depósito de várias camadas de voxel umas sobre as outras de modo a fabricar um volume formado por várias camadas sobrepostas de acordo com um eixo de estratificação que corresponde aqui a um eixo normal para as camadas.

[00223] Nota-se que o ângulo de inclinação  $\theta$  é determinado de modo que pelo menos em uma zona determinada da face do elemento óptico intermediário 10, as asperezas 40 são espaçadas entre si por uma distância inferior a uma distância crítica determinada em função do diâmetro da pupila de polimento.

[00224] A distância crítica é aqui inferior ou igual à metade ou mesmo ao quarto, preferencialmente ao décimo, do diâmetro da pupila de polimento.

[00225] Nota-se que a instrução de fabricação do elemento óptico intermediário 10 é configurada para que as referidas asperezas estejam concentradas em uma superfície útil do elemento óptico interme-diário 10.

[00226] Por superfície útil, se entende aqui uma superfície do elemento óptico intermediário, cujo contorno corresponde a um contorno adaptado à forma da armação predeterminada onde a lente oftálmica alvo 30 é configurada para ser montada.

[00227] Uma tal estratégia de fabricação permite vantajosamente aumentar o número de saltos de degraus (picos e concavidades) e portanto de asperezas sobre a face do elemento óptico intermediário 10, em comparação com uma fabricação aditiva sem inclinação do elemento 10 durante sua fabricação.

[00228] Assim, no momento da etapa de polimento flexível, a pupila de polimento ataca um maior número de asperezas em uma mesma

zona.

[00229] A figura 8 ilustra uma segunda estratégia de fabricação aditiva melhorada, alternativa ou complementar à primeira estratégia.

[00230] Aqui, a instrução de fabricação do elemento óptico intermediário 10 é determinada de acordo com uma estratégia de fabricação melhorada em quantidade de material fornecido, semelhante a uma estratégia onde se escolhe depositar ou não elementos de volume predeterminados do material e, portanto, introduzir ou não furos que correspondem a interrupções nas camadas de material.

[00231] Mais precisamente, a instrução de fabricação do elemento óptico intermediário 10 é determinada de modo que esse último tem, em seção, ao nível de pelo menos uma das suas faces 15 e 16, zonas de fabricação de um primeiro tipo que estão equipadas cada uma com uma pluralidade de primeiras porções 50 e com segundas porções 51 formadas em alternância.

[00232] As primeiras porções 50 estão cada uma equipadas com elementos de volume predeterminado do material e as segundas porções 51 estão cada uma pelo menos parcialmente desprovidas de elementos do material.

[00233] Assim, essa construção incluindo interrupções de camadas permite formar asperezas sobre essas zonas de fabricação do primeiro tipo, com essas asperezas 40 que são espaçadas entre si por uma distância inferior a uma distância crítica determinada em função do diâmetro da pupila de polimento.

[00234] A distância crítica é aqui inferior ou igual a metade, ou mesmo ao quarto, preferencialmente ao décimo, do diâmetro da pupila de polimento.

[00235] Essa estratégia de otimização permite criar numerosas interrupções de camadas para qualquer par de camadas de elementos

de matéria. Assim, no exemplo da figura 8, enquanto a estrutura só comprehende três camadas de matéria, cada uma tendo uma espessura compreendida entre 5 µm e 50 µm, são formadas cerca de 60 interrupções de camadas, ou cerca de 120 frentes de camada de acordo com o eixo de corte dessa figura. Essa estratégia pode assim ser semelhante a uma interferência de um salto de camadas, permitindo formar, ao nível de uma superfície, uma passagem de uma camada para uma outra, graças a múltiplas interrupções de camadas.

[00236] A instrução de fabricação do elemento óptico intermediário 10 é configurada para que as referidas asperezas estejam concentradas sobre uma superfície útil do elemento óptico intermediário 10.

[00237] Uma tal estratégia de fabricação permite vantajosamente aumentar o número de saltos de degraus (picos e concavidades) e portanto de asperezas sobre a face do elemento óptico intermediário 10, em comparação com uma fabricação aditiva sem fabricação melhorada em quantidade de material.

[00238] Assim, no momento da etapa de polimento flexível, a pupila de polimento ataca um maior número de asperezas em uma mesma zona.

[00239] As zonas de fabricação do primeiro tipo podem estar equipadas com elementos de volume predeterminados de um material ou de vários materiais distintos.

[00240] As zonas de fabricação do primeiro tipo são aqui definidas por um cilindro deslizante de eixo normal na superfície da lente oftálmica alvo 30, com o volume total da sobre-espessura 9 nesse cilindro deslizante que é sensivelmente constante. O cilindro deslizante tem aqui um diâmetro semelhante ao da pupila de polimento característico da etapa de polimento flexível. O elemento óptico intermediário 10 é aqui fabricado de modo que tem várias zonas de

fabricação do primeiro tipo que são formadas sobre camadas distintas, e que não se sobrepõem.

[00241] Em outras palavras, cada zona de fabricação do primeiro tipo é disposta sobre uma camada sem colidir com uma outra camada.

[00242] Em variante, pelo menos uma das zonas de fabricação do primeiro tipo pode ser formada sobre uma camada que se sobrepõe a uma camada imediatamente inferior.

[00243] Em variante ainda, pelo menos uma das zonas de fabricação do primeiro tipo pode ser formada sobre duas camadas distintas imediatamente sobrepostas.

[00244] Nota-se que a quantidade de material no cilindro deslizante, representada pelo perfil 60 na figura 8, é sensivelmente igual à quantidade de material "vista" quando o cilindro deslizante segue o perfil da superfície-alvo correspondente, de modo que a curva 60 e a superfície-alvo sejam sensivelmente iguais.

[00245] Em outras palavras, uma zona de fabricação do primeiro tipo, onde é implementada uma estratégia de otimização, se estende em geral sobre uma porção do perfil da superfície-alvo da lente a ser fabricada. Essa zona do primeiro tipo tem por exemplo, um excedente predeterminado de voxels formando um volume da sobre-espessura. Esse volume visto ao longo da porção do perfil é sensivelmente constante. Isso significa que se é considerado um elemento tendo um volume interno e se movendo ao longo da porção do perfil da lente-alvo, esse elemento compreende no seu volume interno, em qualquer posição sobre a porção do perfil, sensivelmente a mesma quantidade de material que forma a sobre-espessura. Esse elemento é aqui chamado o cilindro deslizante.

[00246] É de notar também que os elementos de volume predeterminados, chamados voxels, podem ter tamanhos diferentes durante a construção nas zonas de fabricação do primeiro tipo; e/ou

que as primeiras porções não têm todas as mesmas dimensões em uma zona do primeiro tipo. Por exemplo, as larguras são diferentes e/ou as alturas são diferentes. Uma primeira porção pode ser a uma distância predeterminada de uma outra porção, separadas por uma segunda porção, distância que pode ser inferior à largura mínima de um voxel.

[00247] Nota-se que essa estratégia de fabricação melhorada em quantidade de material pode não ser unicamente uma dispersão de voxels com o mesmo volume. Com efeito, as primeiras e segundas porções podem incluir um ou vários voxels maiores ou menores, do que os voxels de pelo menos uma porção mediana.

[00248] Assim, é possível introduzir uma variação do volume dos voxels dispersos para obter vários estados de porções, a saber estado vazio onde nenhum voxel é depositado, estado oco onde um voxel de tamanho dito pequeno em relação ao tamanho médio dos voxels é depositado, estado cheio onde um voxel de tamanho médio é depositado, e estado demasiado cheio onde é depositado um voxel de tamanho maior do que o tamanho médio.

[00249] A utilização de voxels de diferentes volumes, quando isso é possível (função da tecnologia usada de fabricação aditiva), permite obter uma grande flexibilidade na fabricação melhorada visto que somente o tamanho mínimo dos voxels é fixado.

[00250] Quando a tecnologia utilizada não permite depositar voxels de volume variável, as concavidades não estão limitadas à dimensão de um voxel. Com efeito, é possível depositar voxels de modo a criar uma concavidade circunscrita entre os referidos voxels, a concavidade sendo ligeiramente menor ou maior do que um voxel ou do que um volume múltiplo da dimensão de um voxel.

[00251] As figuras 9A e 9B, 10A e 10B e 11A até 11C ilustram respectivamente três variantes de realização da segunda estratégia de

fabricação aditiva melhorada.

[00252] As figuras 9A e 9B esquematizam em particular um sistema de interferência de salto de camadas com motivo sensivelmente radial, isto é que se estende de acordo com um eixo maior da referida inclinação aplicado à lente oftálmica.

[00253] Esse sistema de interferência é caracterizado por sucessões de interrupções de camadas que formam uma única transição de uma camada n para uma camada n+1, e que são observáveis, ou em vista de cima (figura 9A), ou graças a uma vista em corte (figura 9B), tomada de acordo com um eixo local da inclinação maior aqui radial para uma lente oftálmica.

[00254] Na figura 9A é assim ilustrado um contorno frontal de camada misturada por uma sucessão de alternâncias de primeiras tiras 90 da camada n+1, a negro, separadas por segundas tiras 91 onde a camada n+1 está ausente e a camada n está na superfície.

[00255] Na figura 9B, se pode observar que as primeiras tiras 90 têm uma largura que, no sentido do corte, aumenta na direção de uma zona de altitude média mais alta (da esquerda para a direita na figura 9B); enquanto que as segundas tiras 91 têm uma largura que, no sentido do corte, aumenta na direção de uma zona de altitude média mais baixa (da direita para a esquerda na figura 9B)

[00256] Essa sucessão de primeiras tiras 90 e de segundas tiras 91 é, portanto, representativa de uma interferência radial da curvatura da lente oftálmica.

[00257] As figuras 10A e 10B, esquematizam parcialmente o elemento óptico intermediário 10, na vista global (figura 10A) e na vista de detalhe (figura 10B), focalizando sobre uma outra variante da interferência de um salto de camadas.

[00258] Aqui, a instrução de fabricação do elemento óptico intermediário 10 também é determinada de acordo com uma estratégia

de fabricação melhorada em quantidade de material fornecido, semelhante a uma estratégia onde se escolhe depositar ou não elementos de volume predeterminados do material e, portanto, por exemplo introduzir ou não furos que correspondem a interrupções nas camadas de material.

[00259] A instrução de fabricação do elemento óptico intermediário 10 é, portanto aqui também determinada de modo que esse último tem, em seção, ao nível de pelo menos uma das suas faces, zonas de fabricação de um primeiro tipo que estão equipadas cada uma com uma pluralidade de primeiras porções 150 e de segundas porções 151 formadas em alternância.

[00260] As primeiras porções 150 estão, cada uma, equipadas com elementos de volume predeterminados do material e as segundas porções 151 estão, cada uma pelo menos, desprovidas de elementos do material.

[00261] Ao contrário da estratégia ilustrada nas figuras 9A e 9B onde a alternância das primeiras e segundas tiras 90 e 91 se estende de modo radial, isto é pelo menos de acordo com uma direção geral globalmente paralela a um eixo de inclinação maior entre as camadas, a alternância das primeiras e segundas porções 150 e 151 se estende aqui principalmente de acordo com uma direção geral globalmente perpendicular ao eixo de inclinação maior entre as camadas. Em particular, em uma lente oftálmica, a alternância das primeiras e segundas porções é feita, portanto de acordo com uma direção globalmente orto-radial em relação ao eixo óptico da lente. Essa direção pode ser um eixo local, ou uma curva, sensivelmente orto-radial em relação à curvatura da lente final.

[00262] Essa sucessão de primeiras porções 150 e de segundas porções 151, portanto, é aqui representativa de uma interferência orto-radial da curvatura da lente oftálmica.

[00263] Sobre esse exemplo, não limitativo, as primeiras porções e as segundas porções, são dispostas da maneira mais simples possível, isto é, de modo a só formar na realidade uma única primeira porção e uma única segunda porção. Assim, nessa modalidade de realização, há uma única frente de camada para cada camada, apesar de uma produção de uma multiplicidade de interrupções de camadas se é colocada de acordo com uma direção ortogonal para um eixo de inclinação maior.

[00264] A estrutura da figura 10B pode aqui ser descrita por meio de uma analogia geográfica, com o eixo da gravidade correspondente ao eixo de estratificação, como uma sucessão de promontórios da primeira zona, ligada com uma sucessão de vales, formando as segundas zonas. Os promontórios e os vales têm extremidades na forma de picos orientados de acordo com uma direção de inclinação maior, as extremidades dos promontórios são dirigidas para uma região de altitude mais baixa e as extremidades dos vales são dirigidas para uma região de altitude mais alta. As extremidades dos promontórios estão separadas por aproximadamente a distância crítica e as extremidades dos vales estão também separadas por aproximadamente a distância crítica.

[00265] Os saltos de camadas 40 ilustrados na figura 10A são representados esquematicamente pelas linhas pontilhadas na vista de cima do elemento óptico intermediário 10, na figura 10B. Nota-se que esses saltos de camadas 40 vão corresponder a frentes de camadas ou asperezas se nenhuma estratégia de fabricação melhorada for aplicada.

[00266] Se observou que os picos de duas primeiras porções 150 consecutivas são aqui espaçados por uma distância inferior ou igual aproximadamente à distância crítica determinada, assinalada dc.

[00267] Se observou aqui também que os picos das primeiras

porções 150 estão aqui afastados de elementos formando o salto adjacente de camadas com uma distância assinalada ds sensivelmente da ordem de grandeza da distância crítica determinada dc.

[00268] Do mesmo modo que a estratégia de fabricação ilustrada na figura 8, as zonas de fabricação do primeiro tipo podem estar equipadas com elementos de volume predeterminados de um material ou de vários materiais distintos.

[00269] As zonas de fabricação do primeiro tipo são também aqui definidas por um cilindro deslizante de eixo normal na superfície da lente oftálmica alvo, não atravessando toda a lente, com o volume total da sobre-espessura nesse cilindro deslizante que é sensivelmente constante. O cilindro deslizante tem aqui um diâmetro semelhante ao da pupila de polimento característico da etapa de polimento flexível.

[00270] Nota-se que a quantidade de material no cilindro deslizante é sensivelmente igual à quantidade de material "vista" quando o cilindro deslizante segue o perfil da superfície-alvo correspondente.

[00271] Como acima mencionado, isso significa que se é considerado um elemento tendo um volume interno e se movendo ao longo da porção do perfil, esse elemento compreende no seu volume interno, em qualquer posição sobre a porção do perfil, a mesma quantidade de material que forma a sobre-espessura. Esse elemento é aqui chamado o cilindro deslizante.

[00272] O perfil das primeiras porções 150 pode ser diferente do ilustrado na figura 10B, a saber um perfil dentado com rampas retas. Por exemplo, o perfil pode ser dentado com rampas curvas, côncavas e/ou convexas.

[00273] Na figura 10B só estão representadas zonas do primeiro tipo que correspondem a um único salto de camadas, mas evidentemente, tais zonas do primeiro tipo poderiam ser formadas

para os outros saltos de camadas ilustrados na figura 10A. Nota-se que os picos das primeiras porções 150 das zonas ilustradas na figura 10B, que correspondem a um salto de camadas, poderiam entrar nas concavidades de outras zonas de fabricação do primeiro tipo que não estão ilustradas e que correspondem ao salto adjacente de camadas, e inversamente. Nesse caso, as distâncias que separam os picos interpenetrantes das zonas do primeiro tipo relativas aos dois saltos de camadas são espaçadas por uma distância inferior à distância crítica determinada.

[00274] As figuras 11A, 11B e 11C esquematizam um outro sistema de interferência de saltos de camadas com motivos dispersos. Aqui, as sucessões de interrupções de camadas que permitem formar uma única transição de uma camada  $n$  para uma camada  $n+1$  são observáveis na vista de cima.

[00275] Essas sucessões de interrupções de camadas são configuradas de modo que as alternâncias das primeiras e segundas porções são ordenadas ao mesmo tempo de acordo com eixos de corte sensivelmente radiais e de acordo com eixos de corte sensivelmente orto-radiais (no sentido explicitado mais acima), respectivamente de acordo com o eixo de maior inclinação ou perpendicularmente a esse eixo.

[00276] A figura 11A mostra esquematicamente uma analogia com a impressão jato de tinta desse sistema de interferência de saltos de camadas representativo de uma estratégia de fabricação aditiva melhorada.

[00277] Uma série de motivos formados pelas primeiras zonas e as segundas zonas está ilustrada e permite baralhar um único salto de camadas entre uma camada  $n$  e uma camada  $n+1$ . Essa série tem um primeiro motivo uniformemente branco, representativo de um nível da camada  $n$ , e um segundo motivo uniformemente negro, representativo

de um nível da camada n+1. Entre esse primeiro e segundo motivos estão presentes outros motivos variados intermediários compreendendo diferentes arranjos de áreas negras e de áreas brancas. Esses motivos intermediários são preparados de modo que os motivos que incluem mais negro, isto é, os compreendendo primeiras zonas que cobrem uma maior parte desses motivos, são os mais próximos do segundo motivo ao nível da camada n+1;

[00278] e os motivos que incluem mais branco, isto é, os compreendendo segundas zonas que cobrem uma maior parte desses motivos, são os mais próximos do primeiro motivo ao nível da camada n.

[00279] Assim, no interior de um mesmo motivo intermediário, as primeiras e segundas zonas têm tamanhos e repartições tais que a matéria é repartida da maneira mais uniforme possível. No entanto, é claro para o perito da técnica que essa variante da invenção não está limitada aos motivos especificamente ilustrados.

[00280] As figuras 11B e 11C ilustram, em vista de cima, dois motivos muito diferentes que têm densidades médias de negro e de branco sensivelmente equivalentes.

[00281] No motivo ilustrado na figura 11B, as primeiras zonas são sensivelmente em forma de cruz de três voxels por três voxels. As cruzes das primeiras zonas estão alinhadas umas em relação às outras, pelo menos com quatro adjacentes e estão separadas umas das outras por segundas zonas formadas cada uma pela falta de um único voxel.

[00282] No motivo ilustrado na figura 11C, as primeiras zonas são sensivelmente na forma de quadrados de cerca de três voxels por três voxels. Os quadrados das primeiras zonas não estão alinhados com os quadrados adjacentes e estão separados uns dos outros por uma única segunda zona, contínua entre todas as primeiras zonas.

[00283] A figura 12 ilustra uma terceira estratégia de fabricação aditiva melhorada, alternativa ou complementar à primeira estratégia e/ou à segunda estratégia.

[00284] Aqui, a instrução de fabricação do elemento óptico intermediário 10 é determinada de acordo com uma estratégia de fabricação melhorada na qualidade de material fornecido semelhante a uma estratégia onde se escolhe depositar elementos de volume predeterminados de um ou de vários materiais, com esses elementos de volume predeterminados que têm propriedades de abrasibilidade distintas.

[00285] Mais precisamente, a instrução de fabricação do elemento óptico intermediário 10 é determinada de modo que esse último tem, em seção, ao nível de pelo menos uma das suas faces 15 e 16, zonas de fabricação de um segundo tipo que estão equipadas cada uma com elementos de volume predeterminados de um ou vários materiais tendo propriedades de abrasibilidade distintas.

[00286] Essa construção incluindo elementos de volume predeterminados de propriedade de abrasibilidade variável permite formar zonas de fabricação particularmente adaptadas ao polimento flexível.

[00287] Cada zona de fabricação do segundo tipo é aqui definida de modo a formar um degrau e assim uma aspereza 40 formada por um pico e por uma concavidade e cuja dificuldade de abrasão é variável.

[00288] Nota-se que o ou os elementos de volume predeterminados que estão na proximidade imediata da aspereza ou que formam o pico ou a concavidade são aqui mais fáceis de abravar do que o ou os elementos de volume predeterminados que estão à distância desse pico ou dessa concavidade. Por exemplo, quanto mais próximo do pico ou da concavidade da aspereza 40, mais o ou os elementos de volume predeterminados são formados por um material friável em relação ao

utilizado para o corpo do elemento óptico intermediário, ou são formados por um material compreendendo um agente de porosidade.

[00289] Os voxels depositados podem assim ter resistências à abrasibilidade que diferem de um voxel para outro. Isso é possível por exemplo, por adição a um material principal, em proporção determinada, ou de um agente porogênico que leva à formação de um voxel de material poroso antes da etapa de polimento, ou de um agente que aumenta a resistência à abrasão tal como nanopartículas de sílica ou de zircônio ou de um outro óxido.

[00290] Em alternativa, os voxels podem ter uma resistência à abrasibilidade diferente entre um voxel e um outro voxel graças à mistura, em proporção variável, de dois materiais de abrasibilidade diferente. Finalmente, os voxels podem ter uma resistência à abrasibilidade diferente entre um voxel e um outro voxel por variação de um grau de polimerização entre eles.

[00291] O elemento óptico intermediário 10 é aqui fabricado de modo que tem várias zonas de fabricação do segundo tipo que são formadas sobre camadas distintas, mas que não se sobrepõem.

[00292] Em outras palavras, cada zona de fabricação do segundo tipo pode ser disposta sobre uma camada sem colidir com uma outra camada.

[00293] Em variante pelo menos uma das zonas de fabricação do segundo tipo pode ser formada sobre uma camada que se sobrepõe a uma camada imediatamente inferior.

[00294] Em variante ainda, pelo menos uma das zonas de fabricação do segundo tipo pode ser formada sobre duas camadas distintas imediatamente sobrepostas.

[00295] Nota-se que a fabricação do elemento óptico intermediário 10 pode ser realizada implementando uma ou várias estratégias de fabricação melhorada ilustradas nas figuras de 7 a 9.

[00296] Em outras palavras, o elemento óptico intermediário 10 pode por exemplo, ter zonas de fabricação do primeiro tipo e do segundo tipo sobre uma mesma camada e/ou sobre camadas distintas.

[00297] Em uma variante não ilustrada, uma interface de comunicação cliente-servidor comprehende um lado chamado fornecedor e um outro lado chamado cliente, esses dois lados comunicando através de uma rede, por exemplo de tipo internet.

[00298] O lado fornecedor comprehende um servidor ligado a unidades de controle e de comando do mesmo tipo que as da figura 1, mas dessa vez não integradas em um sistema de fabricação e em particular às máquinas de fabricação aditiva e de polimento flexível, esse servidor sendo configurado para comunicar com a interface de internet.

[00299] O lado cliente é configurado para comunicar com a interface de internet, e está ligado a uma ou a várias unidades de controle e de comando do mesmo tipo que as do lado fornecedor.

[00300] Além disso, a ou as unidades do lado cliente estão ligadas a uma máquina de fabricação aditiva do mesmo tipo que a da figura 1 para fabricar o elemento óptico intermediário e a pelo menos uma máquina de polimento flexível para fabricar a lente oftálmica a partir do elemento óptico intermediário.

[00301] A ou as unidades do lado cliente são configuradas para receber os arquivos de dados correspondentes às etapas 101, 102 e 107, e os dados característicos do material utilizado.

[00302] A ou as unidades do lado cliente enviam por intermediário da interface de internet e do servidor esses dados para a ou as unidades do lado fornecedor para a determinação da instrução de fabricação da lente oftálmica.

[00303] A ou as unidades do lado fornecedor executam via seu

sistema de processamento de dados o programa de computador que ele contém para implementar o processo de fabricação e assim deduzir por um lado a instrução de fabricação para fabricar o elemento óptico intermediário e por outro lado a instrução de fabricação para fabricar a lente oftálmica.

[00304] A ou as unidades do lado fornecedor enviam, por intermédio do servidor e da rede, um arquivo representativo da instrução de fabricação do elemento óptico intermediário e um arquivo representativo da instrução de fabricação da lente oftálmica determinados, para a ou as unidades de controle e de comando do lado cliente.

[00305] A ou as unidades do lado cliente são configuradas para executar um software para a implementação do processo de fabricação da lente oftálmica, utilizando os parâmetros recebidos, para realizar o elemento óptico intermediário e depois a lente oftálmica.

[00306] Em uma variante não ilustrada, as etapas de fabricação aditiva depois de polimento flexível podem ser seguidas da deposição de uma película de verniz escolhida para compensar irregularidades das restantes superfícies. Em particular é feita aqui referência a camadas de verniz tais como as apresentadas nos pedidos de patentes EP1896878 da requerente, ou JP 2002-182011 que são configuradas para permitir a uma superfície tendo uma certa qualidade muito perto da qualidade oftálmica para alcançar essa qualidade oftálmica. Como o polimento flexível, a aplicação dessa camada de verniz não modifica as curvaturas principais da superfície da lente, tais como a curvatura principal ou um motivo que desenha a ou as adições.

[00307] Em variantes não ilustradas:

[00308] - o sistema de fabricação só comprehende uma única e mesma máquina onde são integrados dispositivos de fabricação

aditiva e de polimento flexível;

[00309] - a pluralidade de elementos de volume predeterminados justapostos e sobrepostos forma camadas sobrepostas que têm cada uma espessura constante ou variável sobre seu comprimento e/ou que têm todas a mesma espessura ou não;

[00310] - o material é por exemplo, um material transparente depositado por estereolitografia, tal como por exemplo um polímero epóxi comercializado pela sociedade 3D SYSTEMS com a marca Accura® ClearVue;

[00311] - o material é uma composição fotopolimerizável compreendendo uma ou várias famílias de moléculas tendo uma ou várias funções acrílicas, metacrílicas, acrilatos, metacrilatos, uma família de moléculas tendo uma ou várias funções epóxi, tio-epóxi, tioleno, uma família de moléculas tendo uma ou várias funções vinil éter, vinilcaprolactama, vinilpirrolidona, uma família de material de tipo hiperconectado, de tipo híbrido orgânico/inorgânico, ou uma combinação dessas funções; as funções químicas mencionadas podendo ser trazidas por monômeros ou oligômeros ou uma combinação de monômeros e de oligômeros;

[00312] - o material pode compreender pelo menos um fotoiniciador;

[00313] - o material pode compreender coloides, em particular, partículas coloidais tendo dimensões por exemplo, inferiores aos comprimentos de onda visíveis, tais como por exemplo partículas coloidais de óxido de Sílica SiO<sub>2</sub> ou partículas coloidais de óxido de Zircônio ZrO<sub>2</sub>;

[00314] - o material pode compreender, em pelo menos alguns dos elementos de volume predeterminados, um pigmento ou um corante, por exemplo, um corante que pertence à famílias dos azo ou rodaminas, ou cianinas, ou polimetinas, ou merocianinas, ou

fluoresceínas, ou pirílio, ou ftalocianinas, ou perilenos, ou benzantronas, ou antrapirimidinas, ou antrapiridonas, ou ainda um corante equipado com complexos metálicos tais como quelatos ou criptatos de terras-raras;

[00315] - o elemento óptico intermediário é realizado noutros materiais tais como o policarbonato, o polimetil(met)acrilato, a poliamida, ou polímeros tiouretanos, alil-carbonatos, acrílicos, uretanos e/ou epissulfetos, esses materiais sendo bem conhecidos do perito na técnica no domínio das lentes oftálmicas;

[00316] - o elemento óptico intermediário pode compreender em pelo menos uma face um ou vários tratamentos entre um tratamento antirreflexos, um tratamento anti-incrustação, um tratamento antirriscos, um tratamento antichoques, um filtro polarizado;

[00317] - os tratamentos mencionados mais acima podem por exemplo, ser realizados por transferência ou por laminação, em outras palavras por colagem, de uma película funcional;

[00318] - o suporte de fabricação aditiva tem uma superfície de fabricação em que é fabricado o elemento óptico intermediário de modo aditivo, superfície de fabricação que é pelo menos parcialmente plana e/ou pelo menos parcialmente esférica;

[00319] - o processo compreende, além disso, uma ou várias outras etapas de fabricação, por exemplo, uma etapa de recorte e/ou uma etapa de marcação para formar marcas chamadas temporárias;

[00320] - o processo de fabricação aditiva compreende uma etapa suplementar de irradiação térmica para polimerizar ou endurecer toda a estrutura fabricada de modo aditivo;

[00321] - o processo de fabricação compreende uma etapa onde a tomada em conta da variação de índice de material do elemento óptico intermediário pode ser feita na forma de um loop de otimização iterativa de acordo com procedimentos de otimização conhecidos;

[00322] - o material do elemento óptico intermediário compreende opcionalmente um ou vários corantes e/ou nanopartículas configuradas para modificar sua transmissão óptica e/ou seu aspecto, e/ou nanopartículas ou aditivos configurados para modificar suas propriedades mecânicas;

[00323] - a máquina de fabricação aditiva não é uma máquina de impressão tridimensional, mas antes uma máquina de estereolitografia, (SLA para «Stereolithography Apparatus» em inglês) ou uma máquina de extrusão por fio termoplástico, também chamada máquina de deposição de fio esticado (FDM para «Fused Deposition Modeling» em inglês);

[00324] - pelo menos uma unidade de controle e de comando compreende um microcontrolador em vez do microprocessador;

[00325] - a interface de comunicação cliente-servidor compreende dispositivos configurados para transferir a instrução de fabricação determinada do elemento óptico intermediário por um programa de computador, que compreende instruções configuradas para implementar cada uma das etapas do processo de fabricação descrito mais acima quando esse programa de computador é executado em pelo menos uma unidade de controle e de comando que compreende elementos sistêmicos configurados para executar o referido programa de computador;

[00326] - a interface de comunicação permite a comunicação através de outros meios que não a rede de internet, por exemplo, através de uma rede de intranet ou uma rede privada segura; e/ou

[00327] - a interface de comunicação permite transferir o conjunto do programa de computador para um sistema de processamento de dados remoto para a implementação do processo de fabricação em um outro sistema de fabricação equipado com uma máquina de fabricação aditiva e com uma máquina de polimento flexível e

opcionalmente em uma ou várias outras máquinas de processamento.

[00328] Se lembra mais em geral que a invenção não está limitada aos exemplos descritos e representados.

## REIVINDICAÇÕES

1. Processo de fabricação de uma lente oftálmica tendo pelo menos uma função óptica, caracterizado pelo fato de compreender:

- uma etapa para fabricar de modo aditivo (100) um elemento óptico intermediário (10) pelo depósito de uma pluralidade de elementos de volume predeterminados de pelo menos um material tendo um índice de refração predeterminado, o referido elemento óptico intermediário compreendendo uma lente oftálmica alvo (30) adjunto de pelo menos uma sobre-espessura (9) constituída por uma parte da referida pluralidade de elementos de volume; e

- uma etapa para fabricar por polimento flexível (300) a referida lente oftálmica alvo (30) a partir do referido elemento óptico intermediário (10), pela subtração pelo menos parcial da referida pelo menos uma sobre-espessura (9) de modo a filtrar asperezas (40) formadas em pelo menos uma face (15, 16) do referido elemento óptico intermediário (10) durante a referida etapa de fabricação aditiva;

com a referida etapa de fabricação aditiva (100) que comprehende uma etapa para determinar uma instrução de fabricação (113) do referido elemento óptico intermediário (10), onde a referida sobre-espessura (9) é determinada em função de parâmetros predeterminados que tem a referida etapa de polimento flexível (300), a saber uma característica geométrica representativa de uma frequência espacial de corte e uma característica geométrica representativa de uma capacidade de remoção de matéria.

2. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de a referida etapa para determinar a referida instrução de fabricação (113) do referido elemento óptico intermediário (10) ser configurada para que, pelo menos em uma zona determinada da face (15, 16) do elemento óptico intermediário (10), as referidas

asperezas (40) sejam espaçadas entre si por uma distância inferior a uma distância crítica determinada em função de um valor da referida característica geométrica representativa da frequência espacial de corte.

3. Processo de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de a referida característica geométrica representativa da referida frequência espacial de corte corresponder a um diâmetro de uma pupila de polimento característico da referida etapa de polimento flexível (300) e a distância crítica ser inferior ou igual a metade, preferencialmente ao quarto, ou ainda ao décimo, do diâmetro da referida pupila de polimento.

4. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizado pelo fato de a referida etapa para determinar a referida instrução de fabricação (113) do referido elemento óptico intermediário (10) ser configurada para que o referido elemento óptico intermediário (10) esteja inclinado em relação a um eixo predeterminado de construção aditiva, chamado eixo de estratificação, de acordo com o qual a referida pluralidade de elementos de volume predeterminados de pelo menos um material é depositada.

5. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, caracterizado pelo fato de a referida etapa para determinar a referida instrução de fabricação (113) do referido elemento óptico intermediário (10) ser configurada para que o referido elemento óptico intermediário (10) tenha, em seção, ao nível da sua face (15, 16) pelo menos uma zona de fabricação de um primeiro tipo que está equipada com pelo menos duas primeiras porções (50) e pelo menos uma segunda porção (51) formadas em alternância, as referidas primeiras porções (50) estando cada uma equipadas com pelo menos um elemento de volume predeterminado do referido

material e a referida pelo menos uma segunda porção (51) estando pelo menos desprovida de elementos de volume predeterminados do referido material; pelo que são formadas asperezas sobre essa zona de fabricação do primeiro tipo.

6. Processo de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelo fato de a referida pelo menos uma zona de fabricação do primeiro tipo estar equipada com elementos de volume predeterminados de um material ou de vários materiais distintos.

7. Processo de acordo com a reivindicação 5 ou 6, caracterizado pelo fato de a referida pelo menos uma zona de fabricação do primeiro tipo ser definida por um cilindro deslizante de eixo normal na superfície da lente oftálmica alvo (30), com o volume total da sobre-espessura (9) nesse cilindro deslizante que é sensivelmente constante.

8. Processo de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de o referido cilindro deslizante ter um diâmetro semelhante ou inferior ao de uma pupila de polimento característica da referida etapa de polimento flexível (300).

9. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 8, caracterizado pelo fato de a referida etapa para determinar a referida instrução de fabricação (113) do referido elemento óptico intermediário (10) ser configurada para que o referido elemento óptico intermediário (10) tenha, em seção, ao nível da sua face (15, 16) pelo menos uma zona de fabricação de um segundo tipo, equipada com uma pluralidade de elementos de volume predeterminados de um ou de vários materiais com os referidos elementos de volume predeterminados que têm propriedades de abrasibilidade distintas.

10. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 5 a 9, caracterizado pelo fato de a referida etapa de

fabricação aditiva (100) ser configurada para formar uma pluralidade de camadas sobrepostas de referidos elementos de volume predeterminados (18), e o referido elemento óptico intermediário (10) assim fabricado ter pelo menos duas referidas zonas de fabricação do primeiro tipo e/ou do segundo tipo, que são formadas sobre camadas distintas.

11. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 5 a 10, caracterizado pelo fato de a referida etapa de fabricação aditiva (100) ser configurada para formar uma pluralidade de camadas sobrepostas de referidos elementos de volume predeterminados (18), e o referido elemento óptico intermediário (10) assim fabricado ter pelo menos uma referida zona de fabricação do primeiro tipo e/ou do segundo tipo, que é formada sobre pelo menos duas camadas imediatamente sobrepostas.

12. Sistema de fabricação de uma lente oftalmica, caracterizado pelo fato de compreender uma máquina de fabricação aditiva (1) para fabricar um elemento óptico intermediário (10) e uma máquina de polimento flexível (21) para fabricar uma lente oftalmica a partir do referido elemento óptico intermediário (10), e pelo menos uma unidade de controle e de comando (2, 22) equipada com elementos sistêmicos (3, 4, 5, 23, 24, 25) configurados para executar um programa de computador compreendendo instruções configuradas para implementar cada uma das etapas do processo como definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 11.

13. Sistema de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de a referida máquina de polimento flexível (21) ter um polidor e uma cinemática de acionamento do referido polidor, que é função do referido polidor, binário polidor e cinemática de acionamento que confere à referida máquina de polimento flexível (20) uma pupila de polimento flexível (33) dada e uma capacidade de

remoção de matéria dada.

14. Sistema de acordo com a reivindicação 12 ou 13, caracterizado pelo fato de a referida máquina de fabricação aditiva ser uma máquina de impressão tridimensional ou de estereolitografia, ou de estereolitografia por projeção de máscara, ou mesmo de sinterização ou de fusão seletiva por laser, ou de extrusão por fio termoplástica.

15. Sistema de fabricação de acordo com qualquer uma das reivindicações 12 a 14, caracterizado pelo fato de a referida máquina de fabricação aditiva (1) compreender um suporte de fabricação (12) que é amovível e configurado para servir de suporte de fabricação para a máquina de polimento flexível (21).

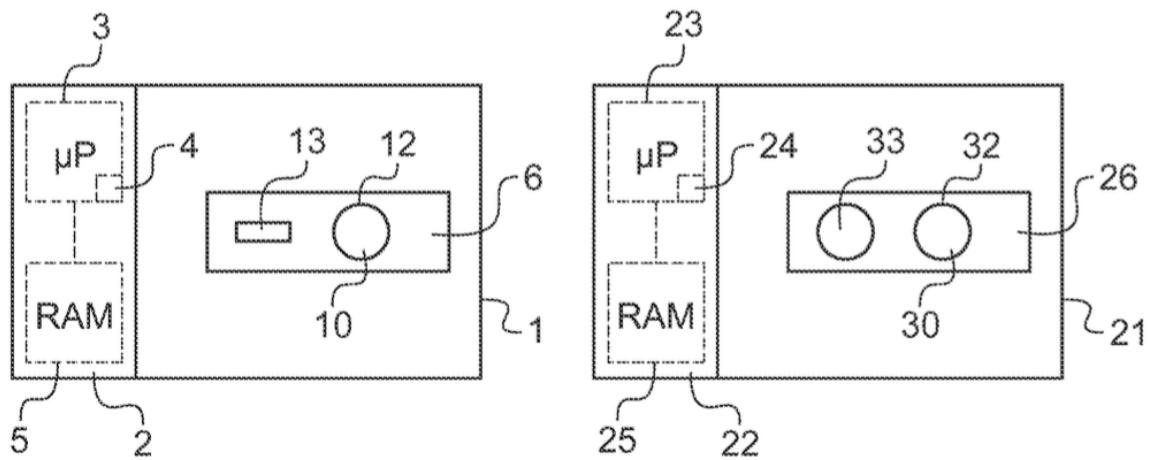


Fig. 1

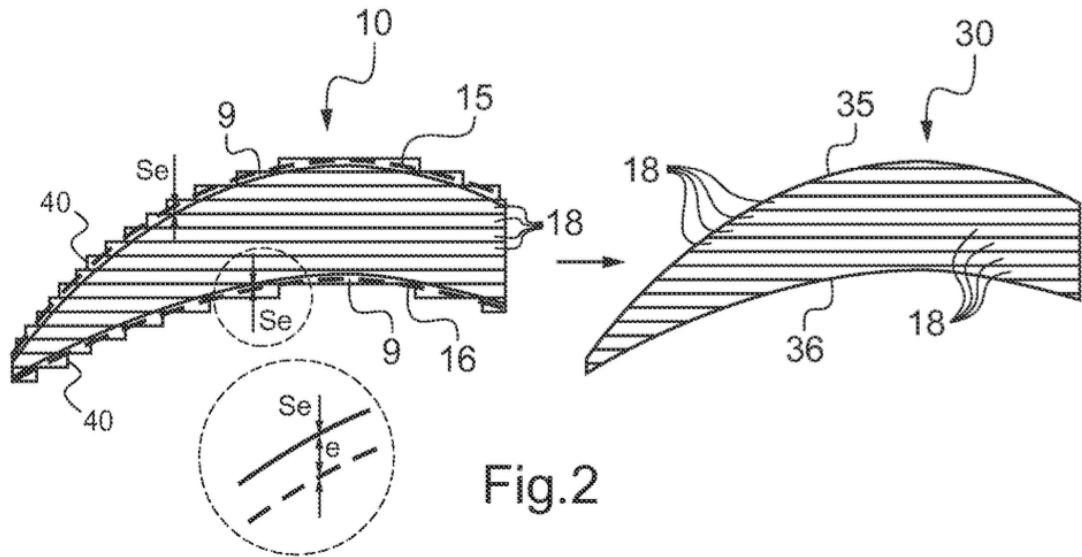


Fig. 2

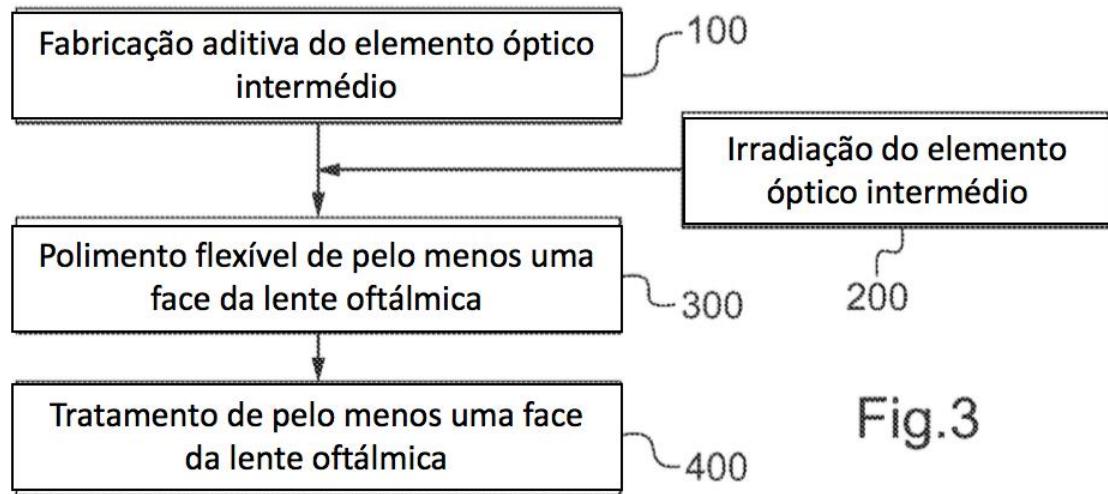
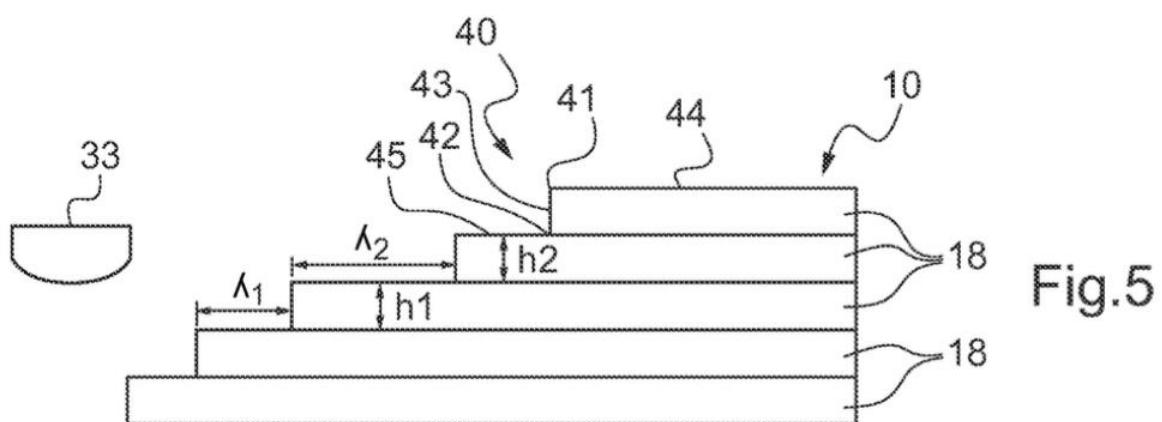


Fig.3



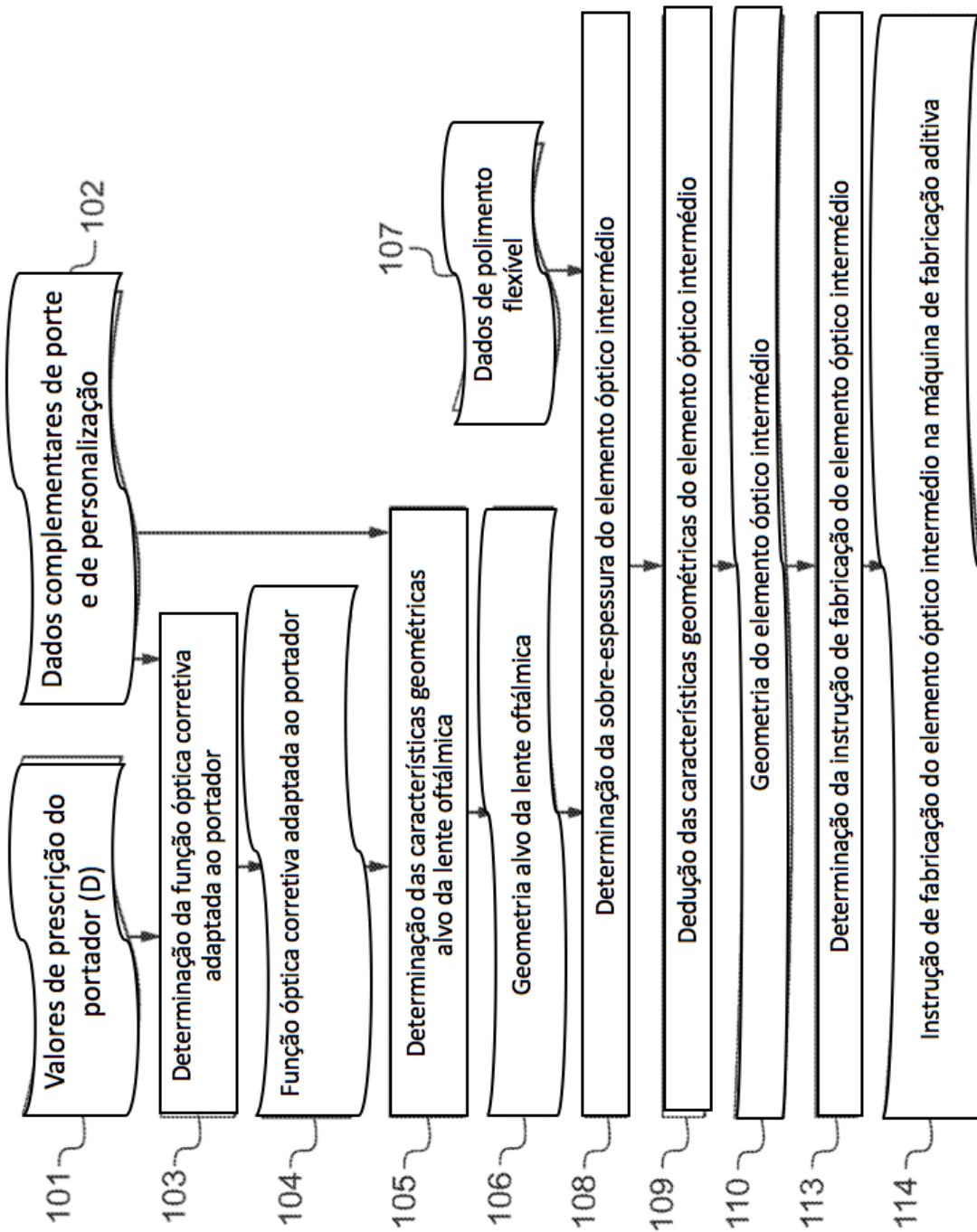


Fig.4

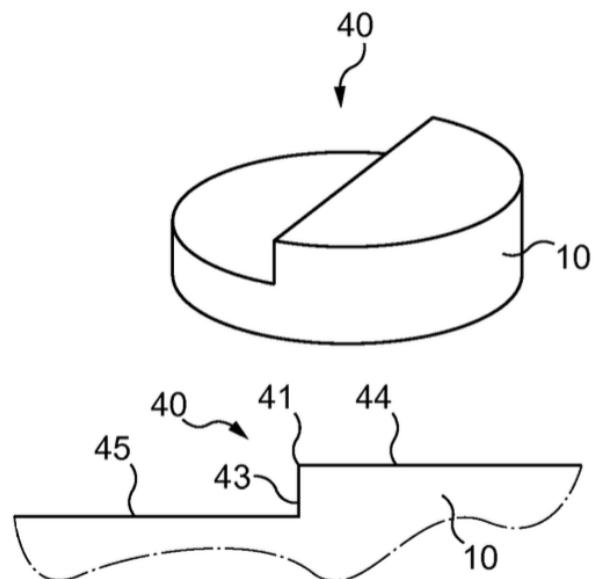


Fig.6

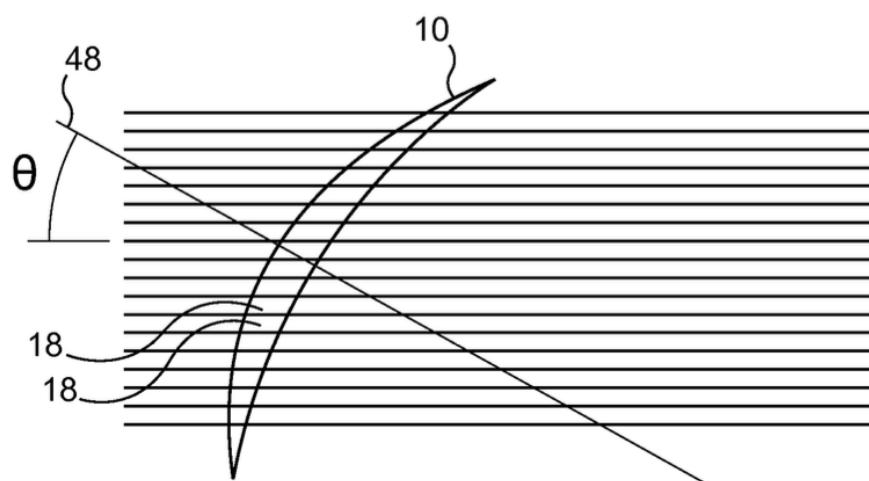
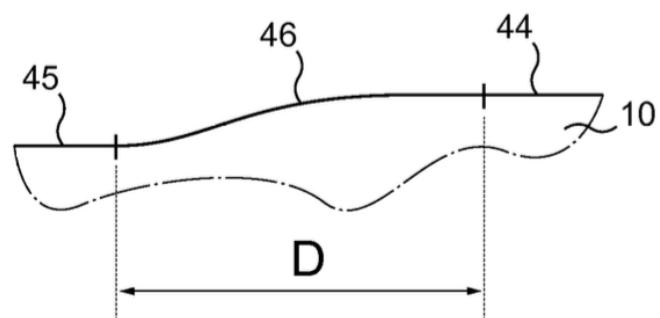


Fig.7

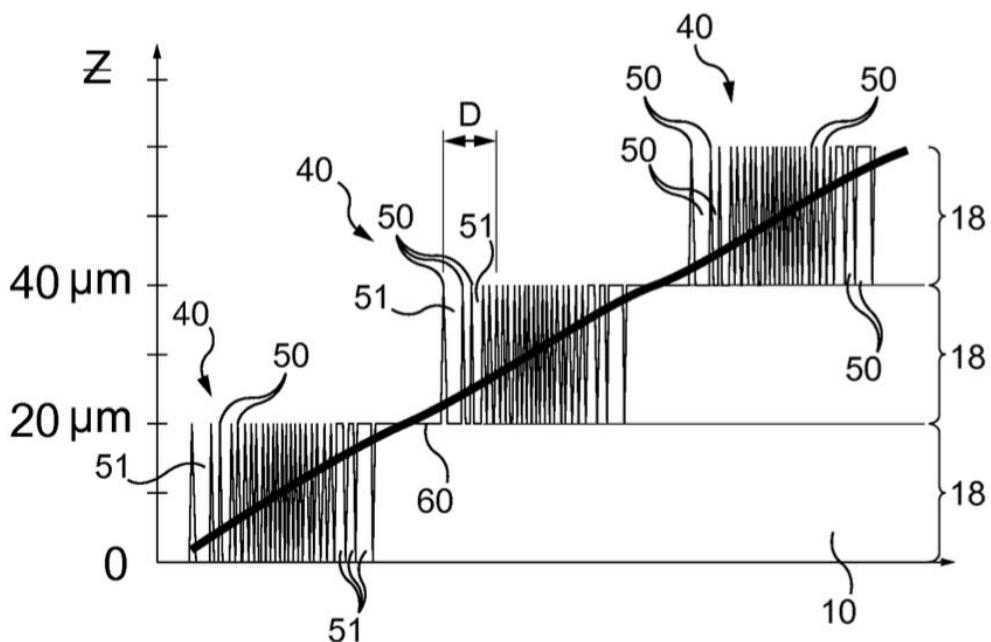


Fig.8

Fig.9A

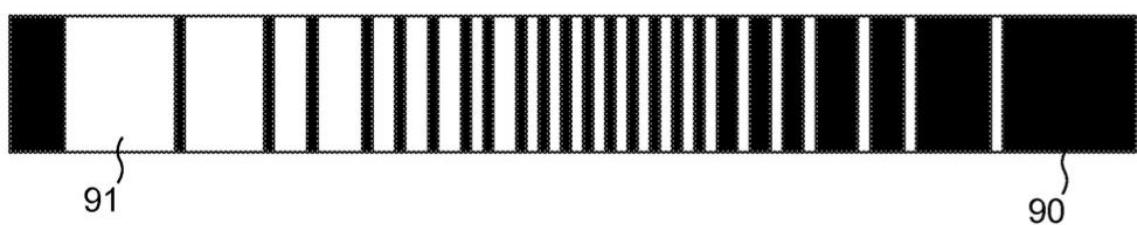


Fig.9B



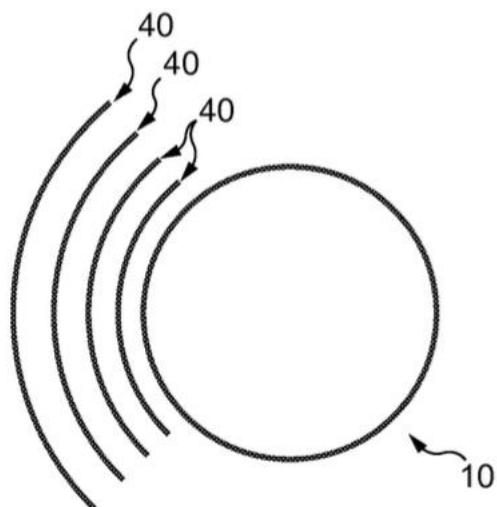


Fig.10A

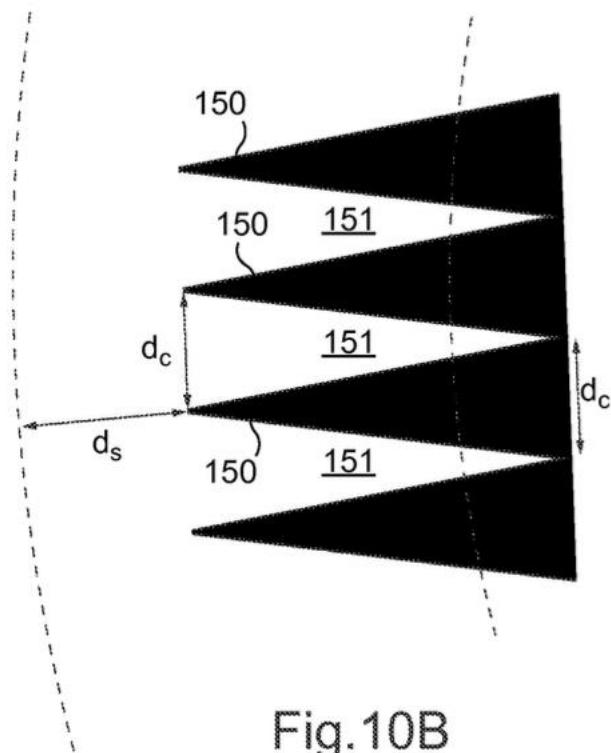


Fig.10B

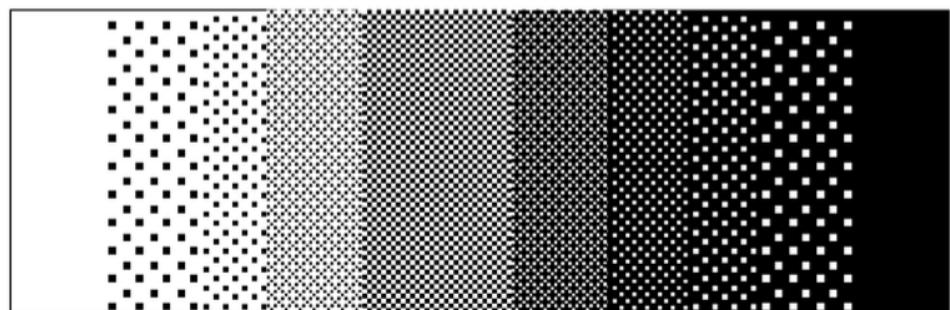


Fig.11A

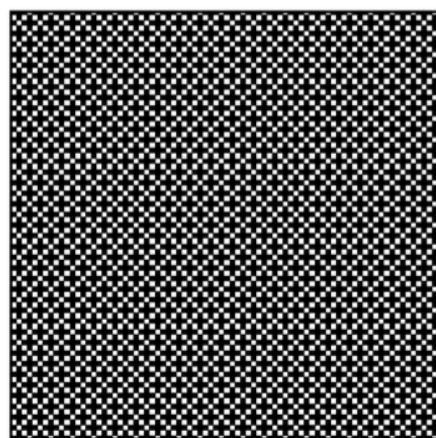


Fig.11B

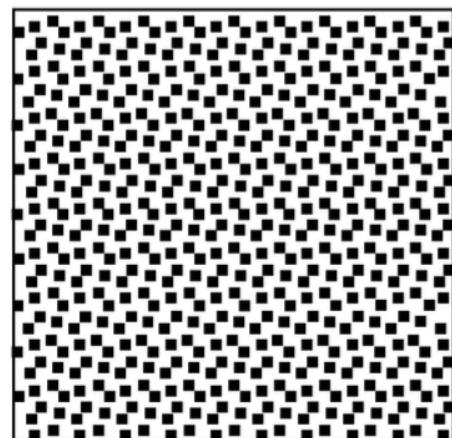


Fig.11C

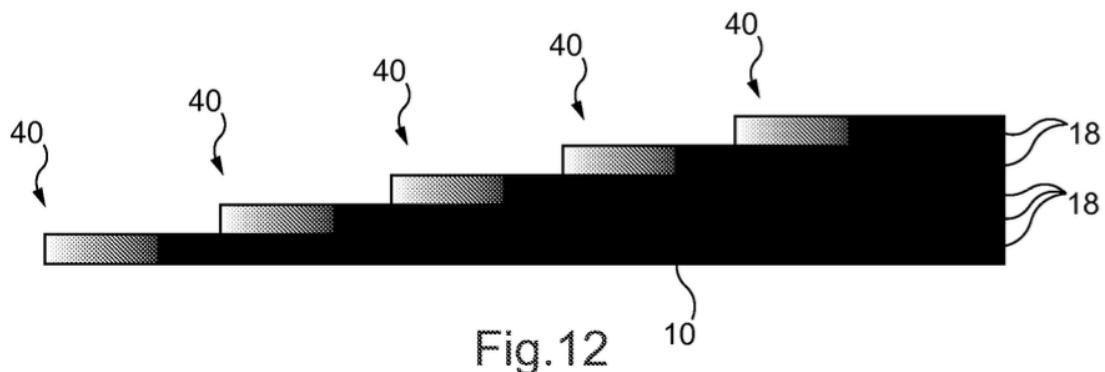


Fig.12