



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

(11) BR 112014022264-9 B1



(22) Data do Depósito: 08/03/2013

(45) Data de Concessão: 10/11/2020

(54) Título: MÉTODO E SISTEMA PARA MEDIR A ESTRUTURA GEOMÉTRICA DE UM COMPONENTE ÓPTICO

(51) Int.Cl.: G01M 11/02; G01B 11/24.

(30) Prioridade Unionista: 09/03/2012 EP 12290084.8.

(73) Titular(es): ESSILOR INTERNATIONAL.

(72) Inventor(es): STÉPHANE GUEU; NICOLAS LAVILLONNIERE; FABIEN MURADORE; ASMA LAKHOUA.

(86) Pedido PCT: PCT EP2013054751 de 08/03/2013

(87) Publicação PCT: WO 2013/132072 de 12/09/2013

(85) Data do Início da Fase Nacional: 09/09/2014

(57) Resumo: MÉTODO E FERRAMENTA PARA MEDIR A ESTRUTURA GEOMÉTRICA DE UM COMPONENTE ÓPTICO. A presente invenção refere-se a um método e a um sistema para medir a estrutura geométrica ou óptica de um componente óptico. Em particular, a invenção refere-se a um método para medir a estrutura geométrica de um componente unido por um primeiro lado (10) e um segundo lado (20), sendo que o dito método compreende as etapas de: (S1) medir um primeiro sinal (MS1) que resulta de uma primeira conversão de um primeiro sinal de sonda (PS1), pelo menos por meio do dito primeiro lado (10); (S2) medir um segundo sinal (MS2) que resulta de uma segunda conversão de um segundo sinal de sonda (PS2), pelo menos por meio do dito segundo lado (20); (S3) determinar uma terceira conversão que torna possível converter um primeiro conjunto de coordenadas (R1) associado à medição do primeiro sinal (MS1) em um segundo conjunto de coordenadas (R2) associado à medição do segundo sinal (MS2); (S10) estimar o dito primeiro lado (10) com o uso do primeiro sinal (MS1), sendo que a dita primeira simulação e um primeiro critério de custo (V1) quantificam uma diferença entre a estimativa (ES1) e o primeiro sinal (MS1); e (S2(...)).

## "MÉTODO E SISTEMA PARA MEDIR A ESTRUTURA GEOMÉTRICA DE UM COMPONENTE ÓPTICO".

### CAMPO DA INVENÇÃO

[001] O objeto da presente invenção consiste em um método e um sistema para medir a estrutura geométrica ou óptica de um componente óptico.

[002] O método de acordo com a invenção torna possível medir de uma maneira absoluta as duas faces de um componente óptico. A medição absoluta destina-se a significar uma medição que não requer nenhum conhecimento anterior do componente, exceto de seu índice refrativo. A medição de faces é suscetível a numerosas aplicações industriais. Isso é útil, em particular, no campo oftalmico para a verificação ou a medição de lentes oftálmicas; nesse caso, a produção de faces complexas requer a determinação simultânea de centenas de coeficientes.

### ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

[003] Essa seção destina-se a apresentar ao leitor os diversos aspectos da técnica, que pode ser relacionada a diversos aspectos da presente invenção que são descritos e/ou reivindicados abaixo no presente documento. Essa discussão é considerada útil para dotar o leitor de informações de base, a fim de facilitar um melhor entendimento dos diversos aspectos da presente invenção. Consequentemente, deve-se entender que essas declarações devem ser lidas sob essa luz, e não como uma exposição da técnica anterior.

[004] O documento EP-A-0 644 411 em nome do requerente descreve uma ferramenta de deflectometria de reflexão ou transmissão. Essa ferramenta permite a medição por reflexão ou transmissão da estrutura geométrica de um componente óptico. O princípio de tal ferramenta de medição consiste em iluminar o componente óptico a ser medido por uma radiação de frente de onda

conhecida – no caso mais simples, uma onda plana – e medir a frente de onda após a reflexão ou transmissão no componente óptico a ser medido. A medição da frente de onda após a reflexão ou transmissão torna possível derivar as características geométricas do componente a ser medido.

[005] Desse modo, sabe-se determinar a geometria de uma face do componente; sendo que se supõe que a geometria da outra face do componente seja conhecida para os cálculos. Portanto, existe uma ferramenta de medição que torna possível determinar as diversas características de um componente óptico e, em particular, de suas duas faces. Tal ferramenta torna possível, em particular, medir de maneira eficazmente progressiva as lentes oftálmicas, determinando-se de uma maneira exata o formato de cada uma de suas duas faces e posicionando-se perfeitamente uma face em relação à outra sem precisar formular nenhuma suposição sobre uma dessas faces.

[006] O documento FR-2 813 391 A1, também, em nome do requerente, descreve um método para medir a estrutura geométrica de um componente óptico que implanta um par de medições na transmissão de um componente óptico. Porém, a precisão da estrutura geométrica reconstruída nem sempre é satisfatória porque cada uma das duas medições combina os efeitos das duas faces transversais.

[007] O documento DE102004047531 também é conhecido, onde duas medições interferométricas são implantadas, uma na reflexão, a outra na transmissão, para determinar uma topografia de superfície e uma distribuição interna do índice refrativo de um organismo vivo (célula ou grupo de células). Porém, de uma maneira implícita, para atingir um resultado absoluto, que torna possível traduzir a medição da variação de fase de uma onda óptica refletida ou transmitida, em um mapa de alturas ou de variações de índice refrativo, a medição descrita por esse documento requer um conhecimento *a priori* da

topografia ou da distribuição de índice refrativo do organismo.

[008] Além disso, sabe-se medir as faces de um componente óptico com o auxílio de um calibre com sonda mecânica ou óptica que opera ponto a ponto, face a face ou de maneira simultânea em um ponto de cada uma das duas faces. Porém, a duração de uma medição de uma face é significativa e ainda é sempre difícil posicionar a medição da primeira face em relação à segunda face. Além disso, uma calibração ponto a ponto, em geral, requer meios extremamente precisos para deslocar uma sonda (mecânica ou óptica) o que torna a mesma relativamente dispendiosa em relação à aquisição e manutenção e difícil de implantar em um local industrial.

#### SUMÁRIO DA INVENÇÃO

[009] O objetivo da presente invenção consiste em solucionar as desvantagens mencionadas acima e propõe determinar a estrutura geométrica de um componente óptico com base em duas medições não destrutivas. Pelo menos uma dessas medições opera em modo zonal ou modo multiponto (em oposição ao modo "ponto a ponto" introduzido acima) e pelo menos uma dessas medições é executada em um sinal de um MS1 que resulta de uma transformação de um sinal de sonda por meio de uma das faces, e onde cada uma dessas faces é desconhecida *a priori*. Essa determinação, além disso, se baseia em uma reconstrução numérica de cada uma das faces do componente com base nas ditas medições.

[010] A invenção alcança esse objetivo em virtude das características da reivindicação 1, de acordo com um primeiro aspecto, e em virtude das características da reivindicação 14, de acordo com um segundo aspecto.

[011] As reivindicações secundárias apresentam conceitos e aprimoramentos vantajosos da invenção.

[012] De acordo com o primeiro aspecto, a invenção refere-se a

um método para medir a estrutura geométrica de um componente delimitado por uma primeira face 10 e uma segunda face 20, sendo que o dito método compreende as etapas de:

[013] medição S1 de um primeiro sinal MS1 que resulta de uma primeira transformação de um primeiro sinal de sonda PS1 por meio da dita primeira face 10, uma primeira simulação da dita primeira transformação que torna possível obter uma primeira estimativa ES1 do sinal que resulta da dita primeira transformação do primeiro sinal de sonda PS1 pelo menos por meio de uma primeira face virtual 11 que é conhecida e posicionada em um primeiro quadro de referência de medição R1 de maneira idêntica à dita primeira face 10 durante a medição do primeiro sinal MS1;

[014] medição S2 de um segundo sinal MS2 que resulta de uma segunda transformação de um segundo sinal de sonda PS2 pelo menos por meio da dita segunda face 20, uma segunda simulação da dita segunda transformação que torna possível obter uma segunda estimativa ES2 do sinal que resulta da dita segunda transformação do segundo sinal de sonda PS2 pelo menos por meio de uma segunda face virtual 21 que é conhecida e posicionada em um segundo quadro de referência de medição R2 de maneira idêntica à dita segunda face 20 durante a medição do segundo sinal MS2;

[015] em que pelo menos uma das medições entre a medição do primeiro sinal MS1 e a medição do segundo sinal MS2 é uma medição zonal;

[016] determinação S3 de uma terceira transformação que torna possível passar do primeiro quadro de referência R1 para o segundo quadro de referência R2;

[017] estimação S10 da dita primeira face 10 executada com base no primeiro sinal MS1 da dita primeira simulação e de uma primeira função de custo V1 que quantifica uma discrepância entre a

estimativa ES1 e o primeiro sinal MS1;

[018] estimação S20 da dita segunda face 20 executada com base no segundo sinal MS2 da dita segunda simulação da dita terceira transformação e de uma segunda função de custo V2 que quantifica uma discrepância entre a estimativa ES2 e o segundo sinal MS2.

[019] De acordo com o segundo aspecto, a invenção refere-se a um sistema para medir a estrutura geométrica de um componente delimitado por uma primeira face 10 e uma segunda face 20; o dito sistema que compreende:

[020] - um primeiro meio de medição MM1 para medir um primeiro sinal MS1 que resulta de uma primeira transformação de um primeiro sinal de sonda PS1 pelo menos por meio da dita primeira face 10, uma primeira simulação da dita primeira transformação que torna possível obter a primeira estimativa ES1 do sinal que resulta da dita primeira transformação do primeiro sinal de sonda PS1 pelo menos por meio de uma primeira face virtual 11 que é conhecida e posicionada em um primeiro quadro de referência de medição R1 de maneira idêntica à dita primeira face 10 durante a medição do primeiro sinal MS1;

[021] - um segundo meio de medição MM2 para medir um segundo sinal MS2 que resulta de uma segunda transformação de um segundo sinal de sonda PS2 pelo menos por meio da dita segunda face 20, uma segunda simulação da dita segunda transformação que torna possível obter uma segunda estimativa ES2 do sinal que resulta da dita segunda transformação do segundo sinal de sonda PS2 pelo menos por meio de uma segunda face virtual 21 que é conhecida e posicionada em um primeiro quadro de referência de medição R2 de maneira idêntica à dita segunda face 20 durante a medição do segundo sinal MS2;

[022] em que pelo menos um dos ditos meios de medição MM1,

MM2 realiza uma medição zonal;

[023] - uma média MD para determinar uma terceira transformação que torna possível passar do primeiro quadro de referência R1 para o segundo quadro de referência R2

[024] - um primeiro meio de cálculo CM1 configurado para estimar a dita primeira face 10 com base no primeiro sinal MS1 da dita primeira simulação de uma primeira face virtual 11 e de uma primeira função de custo V1 que quantifica uma discrepância entre a primeira estimativa ES1 e o primeiro sinal MS1;

[025] - um segundo meio de cálculo CM2 configurado para estimar a dita segunda face 20 com base no segundo sinal MS2, da dita segunda simulação de uma segunda face virtual 21 da dita terceira transformação de uma segunda função de custo V2 que quantifica uma discrepância entre a segunda estimativa ES2 e o segundo sinal MS2.

[026] O procedimento, de acordo com a invenção, apresenta a vantagem de realizar uma determinação da estrutura de um componente que é muito rápido em relação às técnicas de calibração mecânicas ou ópticas diretas existentes (calibração ponto a ponto com uma sonda mecânica ou óptica, por exemplo, etc.).

[027] De maneira vantajosa, pelo menos uma medição zonal ou "multiponto" (por exemplo, a medição do primeiro sinal), pode resultar de uma coleta de um número restrito de medições zonais elementares. Essas medições zonais elementares medem um primeiro sinal elementar que resulta de uma primeira transformação do primeiro sinal de sonda PS1 em uma zona da primeira face 10. Todo o conjunto de zonas cobre a primeira face. Nesse caso, uma etapa de união das medições zonais elementares é necessária. Isso torna possível que um e o mesmo meio de medição MM1 obtenham uma estimativa da primeira face que seja mais precisa que quando a medição zonal for

executada em uma única captura, a medição zonal executada pela coleta de um número restrito de medições zonais elementares que permanecem mais rápidas e simples de implantar que uma calibração ponto a ponto.

[028] Além disso, é possível implantar o procedimento, de acordo com a invenção, empregando-se duas medições executadas em cada uma das faces que são de natureza muito diferente. A primeira medição é, por exemplo, uma medição em reflexão e a segunda medição é executada, por exemplo, em transmissão. Porém, outras geometrias são possíveis, tais como, reflexão/reflexão. Igualmente, a primeira medição é uma medição de deflectometria baseada na reflexão de franjas e a segunda medição é uma medição do tipo Hartmann, porém, de maneira alternativa, a primeira medição pode ser igualmente bem uma medição de deformação de um sinal óptico refletido pela primeira face e a segunda medição é uma medição de aumento ou ampliação de um sinal óptico transmitido pela primeira e pela segunda face.

[029] Desse modo, o procedimento, de acordo com a invenção, também apresenta a vantagem de ser capaz de ser implantado com base nos aparelhos existentes configurados para realizar as medições de faces, porém, que não compreendem nenhum meio de cálculo para reconstruir essas faces em um dado que não é vinculado aos mesmos.

[030] Uma terceira vantagem do procedimento, de acordo com a invenção, se refere à forma na qual a determinação da estrutura é produzida: as etapas de reconstrução das faces apresentadas abaixo empregam uma representação das faces em uma forma analítica. Além disso, a estrutura do componente, tal como, é entregue pelo procedimento, de acordo com a invenção, possui uma forma analítica: isso é particularmente adequado para o emprego subsequente da estrutura estimada em meio de simulação numérica.

[031] Uma quarta vantagem do procedimento, de acordo com a invenção, consiste na precisão excelente que torna possível a realização da avaliação de alturas das faces do componente óptico, considerando que a amplitude da variação de altura seja significativa e nenhum conhecimento de qualquer uma dessas faces seja requerido *a priori*.

[032] As diversas modalidades da invenção encontram aplicações na medição ou na verificação de peças usinadas: por exemplo, lentes oftálmicas. Nesse caso, a formação de faces complexas requer a determinação simultânea de centenas de coeficientes.

#### BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[033] A invenção será mais bem entendida e ilustrada por meio das modalidades e dos exemplos de execução a seguir, totalmente sem limitação, com referência às Figuras anexas, em que:

[034] A Figura 1 mostra o fluxograma de um procedimento de medição, de acordo com uma modalidade da invenção;

[035] A Figura 2 apresenta uma medição exemplificativa de um primeiro sinal MS1, implantado no dito procedimento, de acordo com uma modalidade da invenção;

[036] A Figura 3 apresenta uma etapa exemplificativa da medição de um segundo sinal MS2, implantado no dito procedimento, de acordo com uma modalidade da invenção;

[037] A Figura 4 apresenta uma etapa exemplificativa da determinação de uma terceira transformação implantada no dito procedimento, de acordo com uma modalidade da invenção;

[038] A Figura 5 apresenta esquematicamente uma modalidade de um sistema para medir a estrutura de um componente, de acordo com uma modalidade da invenção.

#### DESCRIÇÃO DETALHADA DAS MODALIDADES PREFERIDAS

[039] Entende-se que os valores numéricos e as descrições da presente invenção foram simplificados para ilustrar os elementos que são relevantes para um entendimento claro da presente invenção, eliminando, por uma questão de clareza, inúmeros outros elementos encontrados nos métodos de medição baseados na reconstrução das faces de um componente óptico. Entretanto, devido ao fato de que esses elementos são bem conhecidos na técnica anterior, uma discussão detalhada desses elementos não é prevista aqui. A presente descrição é voltada em direção a essas variações e às modificações conhecidas pelo elemento versado na técnica.

[040] A Figura 1 representa um fluxograma que comprehende 5 etapas de um procedimento para medir a estrutura geométrica de um componente, de acordo com uma modalidade da invenção. A seguir, essas cinco etapas são explicadas e detalhadas em relação à medição da estrutura geométrica de uma lente oftálmica que comprehende uma primeira face 10, por exemplo, convexa, e uma segunda face 20, por exemplo, côncava.

[041] De maneira vantajosa, o componente óptico é uma lente oftálmica. De maneira vantajosa, o componente óptico é uma lente oftálmica progressiva.

#### **ETAPA S1: MEDAÇÃO DA PRIMEIRA FACE 10 POR UM PROCEDIMENTO DE REFLEXÃO DE FRANJA;**

[042] Conforme representado na Figura 2, uma grade de franjas periódica PS1, que consiste, por exemplo, em faixas luminosas de largura L uniformemente iluminadas por luz branca e separadas por faixas não iluminadas de largura L, se projeta sobre a primeira face 10 do componente. A grade de franjas é refletida pela face 10 e forma uma imagem deformada da grade. Essa imagem é capturada por um dispositivo de captura de imagem, por exemplo, uma câmera digital sensível à luz no espectro visível. Essa imagem (ou conjunto de

diversas imagens) é usada para calcular um mapa MS1 das direções normais em relação à face 10 em um número escolhido de seus pontos. Desse modo, a transformação T1 torna possível passar do sinal PS1 para um mapa MS1 das normais "medidas" da face 10. Uma simulação torna possível a obtenção de uma primeira estimativa absoluta ES1 das normais para uma face inicial conhecida. O emprego do qualificador "absoluto" destina-se a indicar que a estimativa torna possível acessar um resultado sem ambiguidade. Esse não é caso, por exemplo, em relação a uma medição interferométrica em termos de geometria de reflexão na primeira face, executada em um comprimento de onda  $\lambda$ . Uma vez que esse tipo de medição se baseia em uma medição de variação de fase, sua simulação torna possível acessar apenas um mapa das alturas da primeira face que é ambíguo, módulo  $\lambda$ : a estimativa, nesse caso, não é absoluta. O mapa MS1 das normais medidas constitui o alvo de um problema de reconstrução que é solucionado pela otimização na etapa subsequente S10 com base no conhecimento da simulação que torna possível obter a primeira estimativa absoluta.

[043] Certamente, a presente invenção não se limita à modalidade descrita a título de exemplo; desse modo, para medir o primeiro sinal MS1 é possível usar procedimentos diferentes da deflectometria de reflexão como, por exemplo, um procedimento de deflectometria de franja de projeção ou usando-se uma grade de Ronchi.

[044] De maneira vantajosa, a medição do primeiro sinal MS1 é uma medição zonal ou multiponto. De maneira mais precisa, uma medição de um sinal MS1 que resulta de uma primeira transformação de um sinal de sonda, de maneira simultânea, em uma pluralidade de pontos da primeira face do componente óptico é chamada aqui de "zonal" ou "multiponto".

[045] Em uma primeira modalidade, a primeira face 10 é iluminada por uma grade de franjas e a extensão dessa grade é maior que o tamanho da primeira face 10. Desse modo, a medição zonal torna possível medir a totalidade da face 10 em uma única etapa rápida e simples.

[046] De maneira vantajosa, a medição zonal pode ser obtida por uma coleta de medições zonais elementares executadas, por exemplo, por uma grade de franjas, conforme descrito acima, que ilumina apenas uma fração da primeira superfície que será chamada de "zona elementar". A medição zonal elementar mede o sinal que se origina da reflexão da grade de franjas através da zona elementar. As medições zonais elementares são repetidas até as zonas elementares cobrirem toda a primeira face. A medição zonal é obtida unindo-se diversas medições zonais elementares.

[047] Um exemplo dessa segunda modalidade para uma medição zonal executada com base em duas medições zonais elementares pode ser descrito da seguinte maneira: a primeira face 10 é iluminada por uma grade de franjas cuja extensão é menor que a superfície total da primeira face 10. Considera-se, por exemplo, que a grade de franjas cubra 60% da superfície da primeira face 10. Uma primeira medição zonal elementar é executada, conforme indicado acima no presente documento por uma primeira zona elementar Z1 que corresponde à 60% da primeira face coberta pela grade para uma primeira posição da primeira face em relação à grade. Para medir toda a primeira face 10, a dita primeira face 10 é, posteriormente, deslocada em relação à grade, de modo que a última seja projetada sobre outra porção da face 10 e cubra uma segunda zona elementar Z2, por exemplo, uma zona que ainda cobre 60% da superfície da primeira face, porém, onde as zonas elementares Z1 e Z2 se sobrepõem ao longo de uma área que corresponde a 20% da área

total da primeira face. Para realizar essas duas medições zonais elementares, também é possível deslocar uma cabeça de medição que projeta o sinal de sonda sobre a segunda zona elementar após ter se projetado sobre a primeira zona Z1. Finalmente, uma união das duas medições zonais elementares é executada, a fim de constituir a medição do primeiro sinal SM1 com base no sinal de sonda constituído pela grade de franjas. A união é numericamente realizada buscando maximizar a função de autocorrelação do sinal SM1 ao longo da zona de sobreposição entre as duas zonas elementares Z1 e Z2. Nesse caso, há uma única restrição: é necessário que a zona de sobreposição entre as zonas elementares contenha informações suficientes para obter uma boa função de autocorrelação.

[048] Essa sobreposição entre as zonas elementares não é indispensável no caso em que a primeira face 10 é dotada do quadro de referência, óptico ou mecânico, que torna possível posicionar facilmente uma das medições zonais elementares em relação à outra, tal como, por exemplo, para uma lente unifocal.

[049] De preferência, o número das medições zonais elementares que torna possível realizar uma medição zonal de uma das faces do componente não excede 10.

[050] Essa segunda modalidade, que não se limita ao tipo de medição de reflexão de grade de franjas, apresenta a vantagem de tornar possível a realização de uma medição zonal em diversas capturas, para determinadas aplicações de permissão de medição de uma face de área superficial grande com um e o mesmo sinal de sonda, ou, então, de obter uma precisão ainda maior na medição zonal.

**ETAPA S2: MEDAÇÃO EM TRANSMISSÃO, ATRAVÉS DA PRIMEIRA E DA SEGUNDA FACE POR UM PROCEDIMENTO DO TIPO HARTMANN:**

[051] Conforme representado na Figura 3, um feixe óptico com raios paralelos PS2 é enviado através das faces 10 e 20 do componente a ser medido. Os raios que constituem o feixe sofrem um desvio relacionado à refração nas duas interfaces 10, 20 do componente. Uma porção dos raios desviados, desse modo, passa posteriormente através de uma matriz de aberturas para formar feixes secundários que são finalmente interceptados por uma tela. Uma imagem da tela é capturada por um dispositivo de captura de imagem, por exemplo, uma câmera digital sensível à luz no espectro visível; os deslocamentos dos feixes secundários traduzidos em desvios dos raios de luz incidente característicos do efeito óptico do componente medido são adquiridos. Através de um processamento conhecido executado na imagem capturada, esses deslocamentos são traduzidos em um mapa MS2 das normais até a frente de onda transmitida pelo componente. Desse modo a transformação T2 torna possível passar do sinal PS2 para um mapa MS2 de desvios medidos.

[052] O conhecimento do desvio dos raios é associado a uma modelagem do comportamento do sistema de medição do tipo Hartmann. Com base nessa modelagem, uma simulação do desvio dos raios de luz por um componente que possui duas faces conhecidas torna possível a obtenção de uma estimativa absoluta dos desvios que é obtida para esse componente. A segunda medição implantada é singular pelo fato de que uma simulação de sua operação torna possível acessar uma estimativa absoluta das faces do componente. O mapa MS2 dos desvios medidos constitui o alvo de um problema de reconstrução que é solucionado por otimização na etapa subsequente S20.

[053] Certamente, a presente invenção não se limita à modalidade descrita a título de exemplo; desse modo, para medir o segundo sinal MS2 é possível usar procedimentos diferentes da

deflectometria de Hartmann de transmissão, tal como, por exemplo, um procedimento de deflectometria de Shack-Hartmann baseado em Schlieren ou baseado em franja de transmissão.

[054] Em uma primeira modalidade, o primeiro sinal MS1 resulta da primeira transformação do primeiro sinal de sonda PS1 por meio da dita primeira face 10; e o segundo sinal MS2 resulta da segunda transformação do segundo sinal de sonda PS2 por meio da dita primeira face 10 e na dita segunda face 20.

[055] Em uma segunda modalidade, o primeiro sinal MS1 resulta da primeira transformação do primeiro sinal de sonda PS1 por meio da dita primeira face 10; e o segundo sinal MS2 resulta da segunda transformação do segundo sinal de sonda PS2 por meio da dita segunda face 20.

[056] De maneira vantajosa, o primeiro e/ou o segundo sinal de sonda PS1, PS2 é um sinal óptico.

[057] De maneira vantajosa, o primeiro sinal MS1 é um mapa de normais à primeira face primeira face 10 obtido pela medição de deflectometria de um sinal óptico que consiste em uma grade periódica refletida pela primeira face 10 e a etapa S2 de medição do segundo sinal MS2 é uma medição de deflectometria de um sinal óptico transmitido pela primeira e pela segunda face 10, 20.

[058] De maneira vantajosa: a etapa S1 de medição do primeiro sinal MS1 é uma medição de deformação de um sinal óptico refletido pela primeira face 10 e a etapa S2 de medição do segundo sinal MS2 é uma medição de aumento ou ampliação de um sinal óptico transmitido pela primeira e pela segunda face 10, 20.

[059] De maneira vantajosa, a medição do segundo sinal MS2 é uma medição zonal.

[060] De maneira vantajosa, a medição do primeiro sinal MS1 e a medição do segundo sinal MS2 são medições zonais.

[061] De maneira vantajosa, a dita medição zonal é executada por meio de uma coleta de medições zonais elementares, onde as ditas medições zonais elementares medem um sinal elementar que resulta de uma transformação de um sinal de sonda através de uma zona elementar da face (ou das faces), de modo que as ditas zonas elementares cubram a totalidade da dita face (ou das ditas faces).

[062] De maneira vantajosa, as etapas de medição S1, S2 são implantadas por um único aparelho.

**ETAPA S3: DETERMINAÇÃO DE UMA TERCEIRA TRANSFORMAÇÃO QUE Torna POSSÍVEL PASSAR DO PRIMEIRO QUADRO DE REFERÊNCIA R1 PARA O SEGUNDO QUADRO DE REFERÊNCIA R2**

[063] Quando a medição do primeiro sinal MS1 em um quadro de referência R1 for executada por reflexão na primeira face 10, apenas uma reconstrução da primeira face 10 é realizável com base nessa primeira medição SM1. A medição MS2 da segunda face é executada em um quadro de referência R2. É necessário conhecer uma transformação para passar do quadro de referência R1 para o quadro de referência R2. A etapa de reconstrução da segunda face 20 com base em uma segunda medição MS2 executada em transmissão, em geral, na torna possível posicionar e orientar a segunda face estimada (ou reconstruída) em relação à primeira face estimada. O conhecimento de uma terceira transformação que torna possível passar de um primeiro quadro de referência R1 ligado à medição do primeiro sinal MS1 para um segundo quadro de referência R2 ligado à medição do segundo sinal MS2 é necessário para realizar isso.

[064] Aqui, entende-se que o quadro de referência R1, R2 signifique o quadro de referência de um espaço afim, definido por uma origem e 3 direções independentes. A terceira transformação, portanto, é uma transformação afim que, portanto, pode ser definida

por meio de um vetor que separa a origem de R1 e a origem de R2 e uma matriz de rotação de ordem 3 para expressar as rotações necessárias para passar dos eixos do quadro de referência R1 para os eixos do quadro de referência R2.

[065] Para a presente modalidade, o conhecimento da terceira transformação envolve uma determinação que é independente da medição do primeiro e do segundo sinal MS2.

[066] Conforme representado na Figura 4, a terceira transformação pode ser determinada em um ponto de referência: a espessura no centro do componente é medida, por exemplo, com o auxílio de um sistema com calibração mecânica ou óptica. Isso torna possível determinar a distância entre as faces 10 e 20 do componente nesse ponto de referência.

[067] A etapa S3 depende do tipo de medição realizada nas etapas S1 e S2.

[068] Na verdade, se a medição das etapas S1 e S2 se referir às altitudes (por exemplo, em calibração mecânica), as informações disponíveis são suficientes para reconstruir a totalidade da face.

[069] Se a medição se referir aos dados de ordem um (por exemplo, normais ou desvios ópticos), existe uma indeterminação e a reconstrução pode não ocorrer sem fornecer a altitude de um ponto da face (o problema de reconstrução tem uma infinidade de soluções). Para solucionar esse problema, uma medição da espessura no centro do componente torna possível posicionar no espaço a face a ser reconstruída.

[070] No caso de uma medição de ordem 2 (por exemplo, uma medição de curvatura ou de ampliação) existem duas indeterminações. É necessário fornecer uma altitude em um ponto da face e uma normal em um ponto da face para garantir a unicidade da solução. Desse modo, é possível medir a espessura no centro do

componente para determinar a altitude da segunda face, assim como, o prisma do componente que irá indicar uma normal à segunda face.

[071] Se o prisma for medido por um meio óptico com o auxílio de um raio incidente normal à primeira face, então, a medição de prisma pode ser diretamente traduzida como a transformação entre a primeira face e a segunda face. Se a medição de prisma for realizada por um raio incidente que não é normal à primeira face, então, o prisma depende da segunda face. Portanto, é necessário reconstruir de maneira simultânea a segunda face e a orientação da segunda face no espaço (sendo que a altitude é fornecida pela medição da espessura central). Na última situação, a etapa S20 descrita abaixo leva a uma determinação simultânea da terceira transformação e da segunda face 20.

[072] Certamente, a presente invenção não se limita à modalidade descrita a título de exemplo; desse modo, para determinar a terceira transformação é possível usar procedimentos diferentes dos procedimentos ópticos de transmissão mencionados, tal como, por exemplo, um procedimento óptico de reflexão baseado em calibração mecânica ou, então, baseado em calibração óptica.

[073] As etapas de medição S1, S2 são executadas em diferentes aparelhos de medição. Esses necessitam de um dado de medição comum para posicionar o componente no espaço de uma maneira absoluta. Para a presente modalidade, a primeira e a segunda medição podem ser executadas com o auxílio de um sistema de tag de microcírculos que é realizado em uma das faces do componente ou, de maneira alternativa, em virtude de um dado mecânico comum entre os sistemas de medição que, então, garante um posicionamento em um quadro de referência equivalente em cada um desses. Consequentemente, faz-se uso, por exemplo, de: uma garra mecânica autocentrada referenciada no espaço.

[074] De acordo com uma modalidade, a etapa (S3) de determinação da terceira transformação compreende uma medição da espessura do componente.

[075] De acordo com uma modalidade, a etapa (S3) de determinação da terceira transformação, além disso, compreende uma medição do prisma do componente.

**ETAPA S10: ESTIMAÇÃO DA PRIMEIRA FACE 10 REALIZADA, EM PARTICULAR, COM BASE NO PRIMEIRO SINAL MS1.**

[076] Uma primeira reconstrução destina-se a estimar a primeira face 10 do componente. Considera-se uma primeira face virtual 11, posicionada no espaço sob as mesmas condições (posição e orientação) que a primeira face 10 do componente físico durante a medição de deformação de grade de franjas. O quadro de referência no qual a medição MS1 é executada e em que a posição da primeira face 10 e a posição da primeira face virtual 11 são conhecidas é chamado de R1.

[077] O princípio da reconstrução por otimização é conhecido por si só.

[078] Os valores iniciais são definidos para a primeira face virtual 11, por exemplo, um formato esférico. A simulação da transformação do sinal PS1 na face virtual 11 torna possível calcular uma estimativa ES1 das normais da face virtual 11.

[079] Define-se, então, uma função de custo V1, capaz de ser calculada para os valores atuais da face virtual 11 do componente; essa função de custo V1 é concebida a fim de exibir um valor mínimo ou máximo quando os valores da estimativa ES1 da medição executada com a face virtual 11 forem iguais aos valores da medição MS1.

[080] O valor da função de custo torna possível quantificar a discrepância entre a simulação da medição ES1 e da medição MS1.

Para cada ponto de medição, é possível considerar a norma do vetor igual à diferença entre o vetor que indica a normal que surge da medição e o vetor que indica a normal que surge da simulação. Uma função de custo pode ser a soma quadrática das normas dos vetores para todos os pontos de medição.

[081] Posteriormente, um algoritmo de otimização iterativo modifica a face virtual 11 a fim de diminuir a função de custo V1. Por exemplo, um algoritmo dos mínimos quadrados, tal como, Gauss-Newton ou Levenberg-Marquardt, descrito em "Numerical Optimization", Bonnas et al., Springer 2003, é empregado. Em cada iteração, o algoritmo propõe uma nova face virtual 11; a simulação da transformação T1 através dessa nova face virtual 11 torna possível calcular um novo valor V1 da função de custo.

[082] O processo iterativo é interrompido, por exemplo, quando um critério de parada for satisfeito, por exemplo, quando o valor adotado pela função de custo V1 não puder mais ser diminuído ou, então, quando o valor da função de custo V1 for menor que um determinado limiar. Tem-se, então, uma face virtual 11 que é uma estimativa correta da face medida 10, uma vez que a discrepância entre a medição e a simulação dessa medição através da transformação T1 é reduzida.

#### **ETAPA S20: ESTIMAÇÃO DA SEGUNDA FACE 20 REALIZADA, EM PARTICULAR, COM BASE NO PRIMEIRO SINAL MS2.**

[083] Um componente virtual é construído, cuja primeira face é o resultado da reconstrução da primeira face 10 estimado com base na medição MS1, e cuja segunda face é uma segunda face virtual 21. A terceira transformação determinada na etapa S3 é a lei para a passagem do quadro de referência R1 em que a primeira face estimada é expressa para o quadro de referência R2 em que a posição da segunda face 20 é referenciada no curso da medição executada na

etapa 2. Essa terceira transformação torna possível construir o componente virtual no espaço e colocá-lo virtualmente sob as condições que o componente (a parte física) no curso da medição executada na etapa S2.

[084] A simulação da transformação T2 do sinal PS2 através desse componente virtual inicial calcula uma estimativa de um segundo sinal, isto é, alguém sabe como obter através do cálculo um mapa de desvio (dos feixes secundários do sinal de sonda PS2) que é produzido pelo componente virtual.

[085] Para cada ponto desse mapa de desvio, é possível considerar uma norma do vetor igual à diferença entre o vetor desviado medido e o vetor desviado simulado. Uma função de custo pode ser a soma quadrática dessas normas.

[086] Posteriormente, um algoritmo de otimização iterativo modifica a face virtual 21 do componente, a fim de diminuir o valor da função de custo V2. Um algoritmo dos mínimos quadrados, tal como, Gauss-Newton ou Levenberg-Marquardt ("Numerical Optimization", Bonnas et al., Springer, 2003) pode ser usado para esse propósito. Em cada iteração, o algoritmo propõe uma nova face virtual 21; a simulação da transformação T2 através dessa nova face 21 torna possível calcular um novo valor V2 da função de custo. O processo iterativo para, por exemplo, quando o valor da função de custo não puder mais ser diminuído ou, então, quando o valor da função de custo for menor que um determinado limiar. Tem-se, então, uma face virtual 21 que é uma estimativa E2 da face medida 20, uma vez que a discrepância entre a medição e a simulação dessa medição através da transformação T2 é pequena.

[087] De maneira vantajosa, cada etapa de estimativa S10, S20 é iterativa, cada iteração consiste em:

[088] Executar a simulação SIM1, SIM2 com base pelo menos

em uma face virtual 11, 21 e no sinal de sonda PS1; PS2 para obter uma estimativa ES1, ES2 do sinal medido;

[089] Medir a discrepância entre a estimativa ES1, ES2 calculada na etapa a e o sinal medido MS1; MS2 por meio da função de custo V1, V2;

[090] Se um critério de parada da discrepância medida na etapa b não for satisfeito, modificar a face virtual 11; 21 de modo a reduzir a dita discrepância e retornar para a etapa a;

[091] Estimar a face 10, 20 como o valor da face virtual 11; 21 levado em consideração na etapa a da presente iteração.

[092] De maneira vantajosa, a estimativa 21 da dita segunda face 20 é obtida, além disso, com base na estimativa 11 da dita primeira face 10.

[093] De maneira vantajosa, as etapas de estimativa S10, S20 compreendem uma etapa onde a face virtual 11, 21 é expressa em uma forma analítica. A vantagem constituída por essa etapa consiste em acelerar os cálculos e, finalmente, proporcionar uma estimativa da estrutura geométrica do componente em uma forma que seja prontamente manipulável durante os cálculos numéricos subsequentes.

[094] A Figura 5 representa de uma maneira esquemática um sistema para medir a estrutura geométrica de um componente delimitado por uma primeira face 10 e uma segunda face 20, sendo que o dito sistema comprehende

[095] - um primeiro meio de medição MM1 para medir um primeiro sinal MS1 que resulta de uma primeira transformação de um primeiro sinal de sonda PS1 pelo menos por meio da dita primeira face 10, uma primeira simulação da dita primeira transformação que torna possível obter uma primeira estimativa ES1 do sinal que resulta da dita primeira transformação do primeiro sinal de sonda PS1 pelo menos

por meio de uma primeira face virtual 11 que é conhecida e posicionada em um primeiro quadro de referência de medição R1 de maneira idêntica à dita primeira face 10 durante a medição do primeiro sinal MS1;

[096] - um segundo meio de medição MM2 para medir um segundo sinal MS2 que resulta de uma segunda transformação de um segundo sinal de sonda PS2 pelo menos por meio da dita segunda face 20, uma segunda simulação da dita segunda transformação que torna possível obter uma segunda estimativa ES2 do sinal que resulta da dita segunda transformação do segundo sinal de sonda PS2 pelo menos por meio de uma segunda face virtual 21 que é conhecida e posicionada em um primeiro quadro de referência de medição R2 de maneira idêntica à dita segunda face 20 durante a medição do segundo sinal MS2;

[097] - um meio MD para determinar uma terceira transformação que torna possível passar do primeiro quadro de referência R1 para o segundo quadro de referência R2;

[098] - um primeiro meio de cálculo CM1 configurado para estimar a dita primeira face 10 com base no primeiro sinal MS1 da dita primeira simulação de uma primeira face virtual 11 e de uma primeira função de custo V1 que quantifica uma discrepância entre a primeira estimativa ES1 e o primeiro sinal MS1;

[099] - um segundo meio de cálculo CM2 configurado para estimar a dita segunda face 20 com base no segundo sinal MS2 da dita segunda simulação de uma segunda face virtual 21 da dita terceira transformação e em uma segunda função de custo V2 que quantifica uma discrepancia entre a segunda estimativa ES2 e o segundo sinal MS2.

[0100] No exemplo representado na Figura 5, a estimativa da primeira superfície 10 serve para a estimativa da segunda superfície

20. De maneira vantajosa, o primeiro meio de cálculo CM1 realiza uma medição da deformação de um sinal óptico refletido pela primeira face 10; e o segundo meio de cálculo CM2 realiza uma medição de aumento ou ampliação de um sinal óptico transmitido pela primeira e pela segunda face 10, 20.

[0101] De maneira alternativa, o primeiro meio de cálculo (CM1) produz um mapa de normais para a primeira face (10) obtido pela medição de deflectometria de um sinal óptico que consiste em uma grade periódica refletida pela primeira face (10); e

[0102] - o segundo meio de cálculo (CM2) realiza a medição de deflectometria de um sinal óptico transmitido pela primeira e pela segunda face (10, 20).

[0103] De maneira vantajosa, um sistema, de acordo com uma modalidade da invenção, comprehende meios de medições MM1, MM2 de um sistema de medição óptico que é configurado para realizar medições de faces 10, 20 de um componente óptico expresso em um quadro de referência específico para o dito sistema.

[0104] De maneira vantajosa, pelo menos um dos ditos meios de medição MM1, MM2 realiza uma medição zonal.

[0105] De maneira vantajosa, o dito primeiro e o dito segundo meio de medição MM1, MM2 realizam uma medição zonal.

[0106] Uma das aplicações dessa medição da estrutura geométrica em uma lente oftálmica pode ser a análise comparativa de uma lente após a usinagem com uma parte nominal, por exemplo, a fim de estudar a conformidade da parte produzida.

[0107] Consequentemente, é necessário definir um dado absoluto comum para a lente oftálmica medida e para a parte nominal. Consequentemente, a lente oftálmica medida e a parte nominal são referidas como um dado comum, por exemplo, ligado à parte onde a medição é executada. A posição da lente oftálmica medida e da parte

nominal no dado de medição, então, é determinada pela associação de um quadro de referência mecânico na lente e na parte, tal como, por exemplo, uma plana, ou através da rotulagem permanente de marcações na lente e na parte do tipo microcírculos.

[0108] Na descrição mencionada acima, a referência a "uma modalidade" significa que uma característica particular, a estrutura ou uma característica descrita em conjunto com a modalidade pode ser incluída em pelo menos uma implantação da invenção. As aparências da expressão "em uma modalidade" em diversos locais na descrição detalhada antecedente não necessariamente se referem à mesma modalidade. Igualmente, as modalidades distintas ou alternativas não são necessariamente mutuamente exclusivas de outras modalidades.

## REIVINDICAÇÕES

1. Método para medir a estrutura geométrica de um componente óptico delimitado por uma primeira face (10) e uma segunda face (20), sendo que o dito método é caracterizado pelo fato de que compreende as etapas de:

- (S1) medir um primeiro sinal (MS1) que resulta de uma primeira transformação de um primeiro sinal de sonda (PS1) por meio da dita primeira face (10), em que uma primeira simulação da dita primeira transformação é usada para obter uma primeira estimativa absoluta (ES1) do sinal que resulta da dita primeira transformação do primeiro sinal de sonda (PS1) por meio de uma primeira face virtual do dito componente, a dita primeira face virtual sendo conhecida e posicionada em um primeiro quadro de referência de medição (R1) de maneira idêntica à dita primeira face (10) durante a medição do primeiro sinal (MS1);

- (S2) medir um segundo sinal (MS2) que resulta de uma segunda transformação de um segundo sinal de sonda (PS2) por meio de pelo menos a dita segunda face (20), em que uma segunda simulação da dita segunda transformação é usada para obter uma segunda estimativa absoluta (ES2) do sinal que resulta da dita segunda transformação do segundo sinal de sonda (PS2) por meio de pelo menos uma segunda face virtual do dito componente, a dita segunda face virtual sendo conhecida e posicionada em um segundo quadro de referência de medição (R2) de maneira idêntica à dita segunda face (20) durante a medição do segundo sinal (MS2);

em que pelo menos uma das medições dentre a medição do primeiro sinal (MS1) e a medição do segundo sinal (MS2) é uma medição zonal, definida por uma medição multiponto do primeiro (respectivamente segundo) sinal que resulta de uma primeira (respectivamente segunda) transformação do primeiro (respectivamente segundo)

sinal de sonda, de maneira simultânea, em uma pluralidade de pontos da primeira (respectivamente segunda) face do componente óptico;

- (S3) determinar uma terceira transformação com objetivo de passar do primeiro quadro de referência (R1) para o segundo quadro de referência (R2), o conhecimento da terceira transformação que envolve uma determinação independente da medição do primeiro sinal (MS1) e do segundo sinal (MS2);

- (S10) estimar pela reconstrução numérica a dita primeira face (10) executada com base no primeiro sinal (MS1), da dita primeira simulação e de uma primeira função de custo que quantifica uma discrepância entre a primeira estimativa absoluta (ES1) e o primeiro sinal (MS1);

- (S20) estimar pela reconstrução numérica a dita segunda face (20) executada com base no segundo sinal (MS2), da dita segunda simulação, da dita terceira transformação e de uma segunda função de custo que quantifica uma discrepância entre a segunda estimativa absoluta (ES2) e o segundo sinal (MS2).

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a medição do primeiro sinal (MS1) e a medição do segundo sinal (MS2) são medições zonais.

3. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que a dita medição zonal é executada por meio de uma coleta de medições zonais elementares, em que as ditas medições zonais elementares medem, cada uma, um sinal elementar que resulta de uma transformação de um sinal de sonda por uma zona elementar da(s) face(s), de modo que as ditas zonas elementares cubram a totalidade da(s) dita(s) face(s).

4. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizado pelo fato de que o segundo sinal (MS2) resulta da segunda transformação do segundo sinal de sonda (PS2) por meio da

dita primeira face (10) e da dita segunda face (20).

5. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, caracterizado pelo fato de que cada etapa de estimativa (S10, S20) é iterativa, sendo que cada iteração consiste em:

a) executar a simulação (SIM1, SIM2) com base em pelo menos uma face virtual (11, 21) e do sinal de sonda (PS1; PS2) de modo a obter uma estimativa (ES1, ES2) do sinal medido;

b) medir a discrepância entre a estimativa (ES1, ES2) calculada na etapa a) e o sinal medido (MS1; MS2) por meio da função de custo;

c) se um critério de parada, a discrepância medida na etapa b), não for satisfeito, modificar a face virtual de modo a reduzir a dita discrepância e retornar para a etapa a);

d) estimar a face (10, 20) como o valor da face virtual (11; 21) considerada na etapa a) da presente iteração.

6. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, caracterizado pelo fato de que a dita segunda estimativa é obtida adicionalmente com base na dita primeira estimativa.

7. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, caracterizado pelo fato de que o primeiro e/ou o segundo sinal de sonda (PS1, PS2) é um sinal óptico.

8. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 7, caracterizado pelo fato de que:

- o primeiro sinal (MS1) é um mapa de normais para a primeira face (10) obtido pela medição de deflectometria de um sinal óptico que consiste em uma grade periódica refletida pela primeira face (10);

- a etapa (S2) de medição do segundo sinal (MS2) é uma medição por deflectometria de um sinal óptico transmitido pela primeira e pela segunda face (10, 20).

9. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 7, caracterizado pelo fato de que:

- a etapa (S1) de medição do primeiro sinal (MS1) é uma medição de deformação de um sinal óptico refletido pela primeira face (10);

- a etapa (S2) de medição do segundo sinal (MS2) é uma medição de ampliação de um sinal óptico transmitido pela primeira e pela segunda face (10, 20).

10. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 9, caracterizado pelo fato de que a etapa (S3) de determinação da terceira transformação compreende uma medição da espessura do componente.

11. Método, de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo fato de que a etapa (S3) de determinação da terceira transformação compreende, além disso, uma medição do prisma do componente.

12. Sistema para medir a estrutura geométrica de um componente óptico delimitado por uma primeira face (10) e uma segunda face (20), sendo que o dito sistema é caracterizado pelo fato de que compreende:

- um primeiro meio de medição (MM1) para medir um primeiro sinal (MS1) que resulta de uma primeira transformação de um primeiro sinal de sonda (PS1) por meio da dita primeira face (10), uma primeira simulação da dita primeira transformação que é usada para obter uma primeira estimativa absoluta (ES1) do sinal que resulta da dita primeira transformação do primeiro sinal de sonda (PS1) por meio de uma primeira face virtual do dito componente, a dita primeira face virtual sendo conhecida e posicionada em um primeiro quadro de referência de medição (R1) de maneira idêntica à dita primeira face (10) durante uma medição do primeiro sinal (MS1);

- um segundo meio de medição (MM2) para medir um segundo sinal (MS2) que resulta de uma segunda transformação de um segundo sinal de sonda (PS2) pelo menos por meio da dita segunda face (20), uma segunda simulação da dita segunda transformação que é usada para obter uma segunda estimativa absoluta (ES2) do sinal que resulta da dita segunda transformação do segundo sinal de sonda (PS2) pelo menos por meio de uma segunda face virtual do dito componente, a dita primeira face virtual sendo conhecida e posicionada em um primeiro quadro de referência de medição (R2) de maneira idêntica à dita segunda face (20) durante uma medição do segundo sinal (MS2);

em que pelo menos um dito meio de medição (MM1, MM2) realiza uma medição zonal, definida por uma medição multiponto do primeiro (respectivamente segundo) sinal que resulta de uma primeira (respectivamente segunda) transformação do primeiro (respectivamente segundo) sinal de sonda, de maneira simultânea, em uma pluralidade de pontos da primeira (respectivamente segunda) face do componente óptico;

- um meio (MD) para determinar uma terceira transformação com objetivo de passar do primeiro quadro de referência (R1) para o segundo quadro de referência (R2), o conhecimento da terceira transformação que envolve uma determinação independente da medição do primeiro sinal (MS1) e do segundo sinal (MS2);

- um primeiro meio de cálculo (CM1) configurado para estimar por reconstrução numérica a dita primeira face (10) com base no primeiro sinal (MS1) da dita primeira simulação da dita primeira face virtual e de uma primeira função de custo que quantifica uma discrepância entre a primeira estimativa absoluta (ES1) e o primeiro sinal (MS1);

- um segundo meio de cálculo (CM2) configurado para es-

timar por reconstrução numérica a dita segunda face (20) com base no segundo sinal (MS2) da dita segunda simulação da dita segunda face virtual da dita terceira transformação e de uma segunda função de custo que quantifica uma discrepância entre a segunda estimativa absoluta (ES2) e o segundo sinal (MS2).

13. Sistema, de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de que cada dito meio de medição (MM1, MM2) realiza uma medição zonal.

14. Sistema, de acordo com a reivindicação 12 ou 13, caracterizado pelo fato de que:

- o primeiro meio de cálculo (CM1) realiza uma medição de deformação de um sinal óptico refletido pela primeira face (10); e

- o segundo meio de cálculo (CM2) realiza uma medição de ampliação de um sinal óptico transmitido pela primeira e pela segunda face (10, 20).

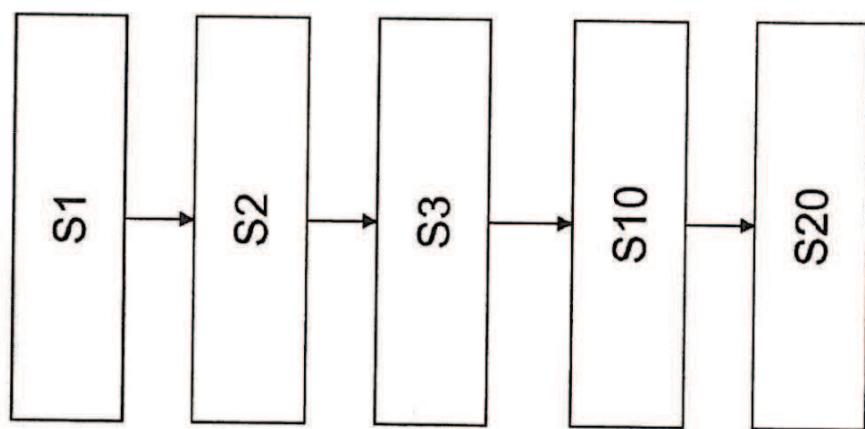


Fig. 1

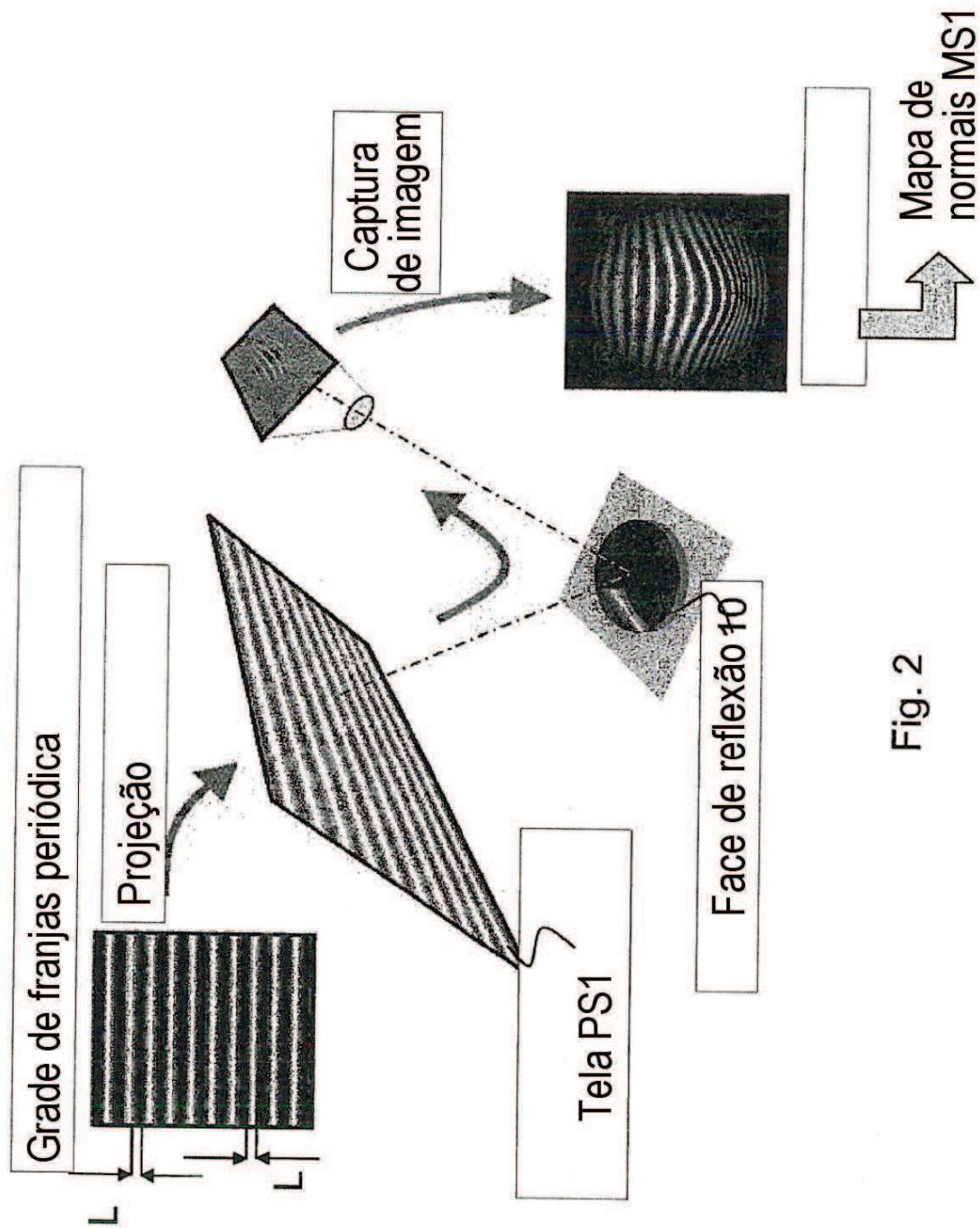


Fig. 2

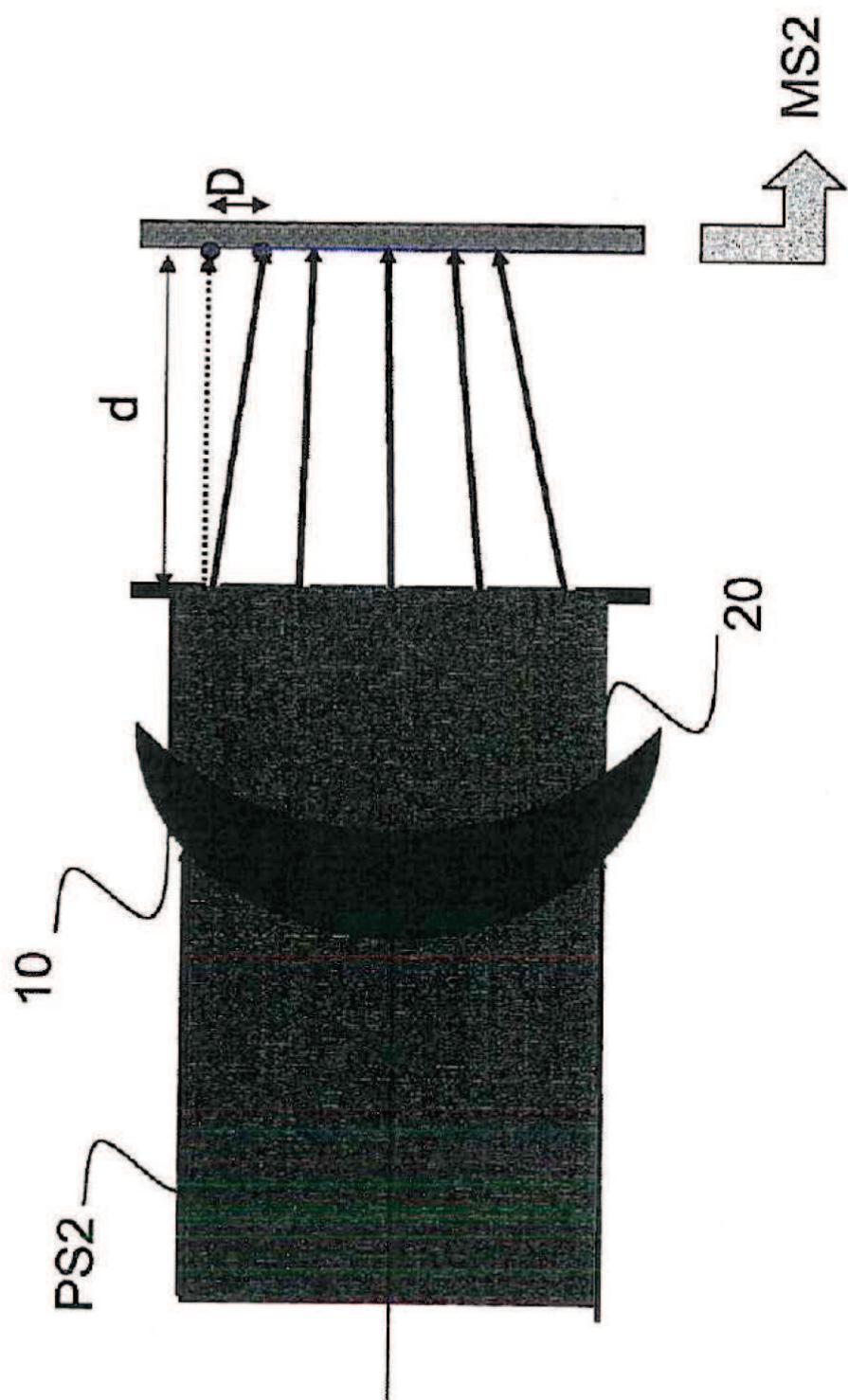


Fig. 3

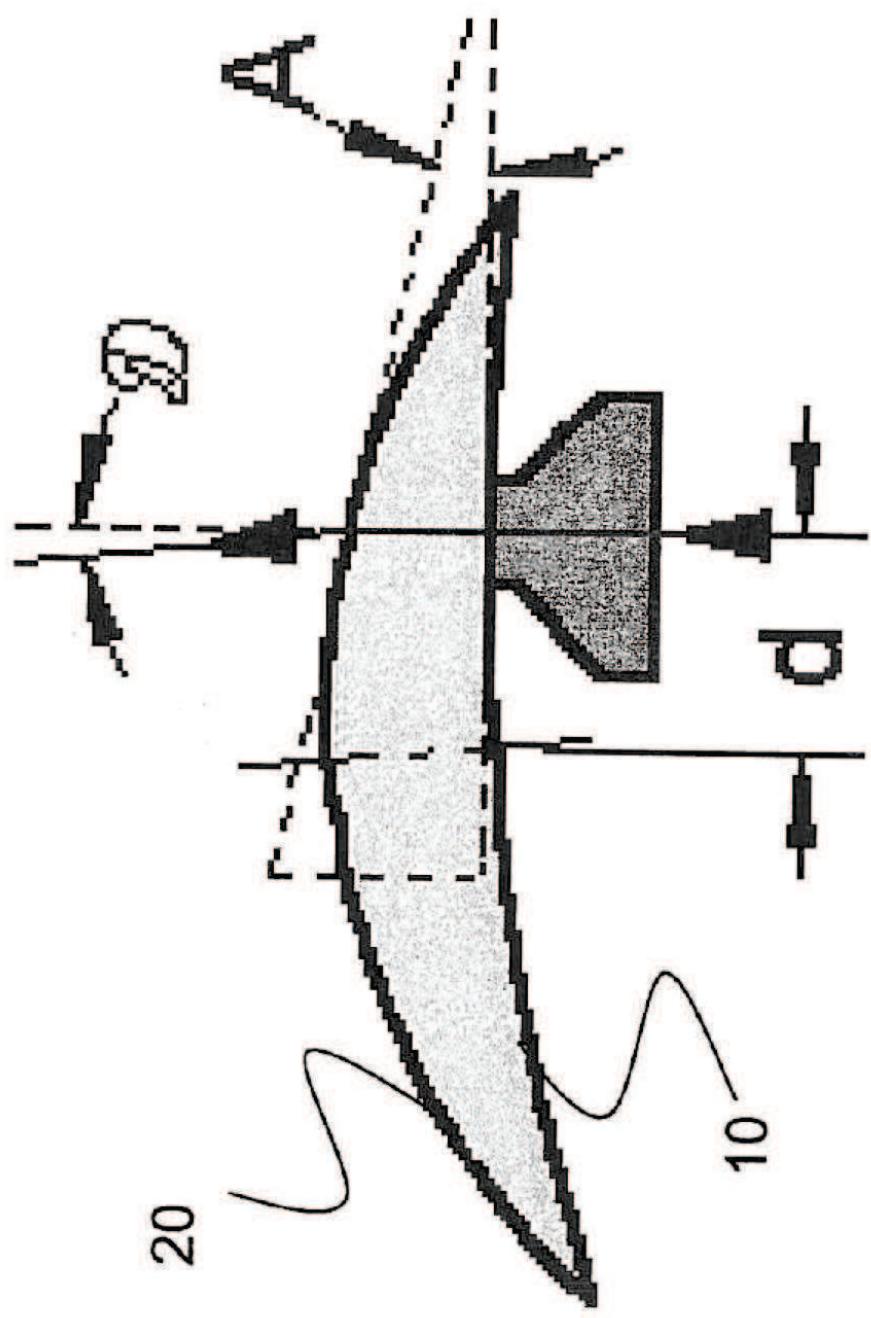


Fig. 4

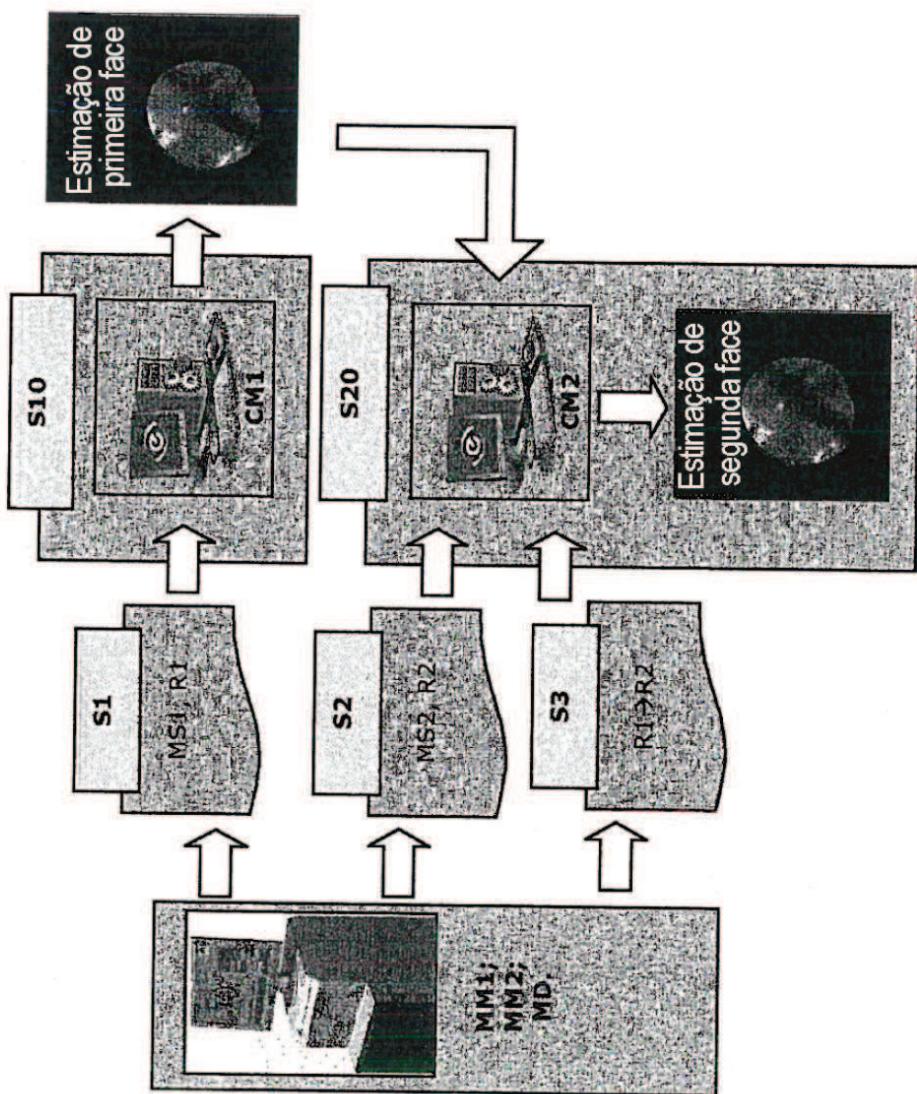


Fig. 5