



INPI
Assinado
Digitalmente

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL

CARTA PATENTE Nº PI 0720499-0

O INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL concede a presente PATENTE DE INVENÇÃO, que outorga ao seu titular a propriedade da invenção caracterizada neste título, em todo o território nacional, garantindo os direitos dela decorrentes, previstos na legislação em vigor.

(21) Número do Depósito: PI 0720499-0

(22) Data do Depósito: 21/12/2007

(43) Data da Publicação do Pedido: 03/07/2008

(51) Classificação Internacional: G01B 9/02; G01M 11/02; G01N 35/02

(30) Prioridade Unionista: US 60/871,319 de 21/12/2006

(54) Título: CUBETA PARA LENTE OFTÁLMICA

(73) Titular: JOHNSON & JOHNSON VISION CARE, INC., Sociedade Norte Americana. Endereço: 7500 Centurion Parkway, Suite 100, Jacksonville, FL 32256, ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA(US); ARIZONA BOARD OF REGENTS ON BEHALF OF THE UNIVERSITY OF ARIZONA, Sociedade Norte Americana. Endereço: 888 N. Euclid Avenue, Room 204, P.O. Box 210158, Tucson Arizona 85721-0158, ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA(US)

(72) Inventor: SIMON PRINCE; SYED TARIQ SHAFAT; MICHAEL SHERWOOD; ROBERT E. FISCHER; SHAWN MULCAHEY; PAUL HUDSON; GREG MOELLER; GREGORY A. WILLIBY; RUSSELL T. SPAULDING; JOHN C. HOOTMAN; RUSSELL J. EDWARDS; JOHN EDWARD GREIVENKAMP, JR.

Prazo de Validade: 10 (dez) anos contados a partir de 02/10/2018, observadas as condições legais

Expedida em: 02/10/2018

Assinado digitalmente por:
Liane Elizabeth Caldeira Lage
Diretora de Patentes, Programas de Computador e Topografias de Circuitos Integrados

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para **"CUBETA PARALENTE OFTÁLMICA"**.

Referência Cruzada a Pedidos Relacionados

5 O presente pedido reivindica o benefício ao pedido de patente provisória Nº 60/871.319 dos E.U.A., intitulada do "TESTE INTERFEROMETRY TESTING OF LENSES, AND SYSTEMS AND DEVICES FOR SAME" depositada em 21 de dezembro de 2006, a qual se encontra aqui incorporada por referência em sua totalidade.

CAMPO TÉCNICO

10 O campo técnico refere-se geralmente a sistema ótico e mais especificamente sistemas e métodos para testar lentes óticas, recipientes para segurar as lentes, e métodos para analisar as características óticas das lentes.

ANTECEDENTES

15 A indústria de lente de contato submeteu-se a avanços rápidos para níveis mais elevados de correção visual. Os fabricantes estão progredindo para proporcionar lentes de contato que são projetadas para combinar a correção de refração e o ajuste para um paciente. Movendo-se além das lentes esféricas padrão, os fabricantes poderão proporcionar a portadores da
20 lente de contato uma melhor acuidade visual e conforto total.

As técnicas e a instrumentação da metrologia (medição) para avaliação das lentes, entretanto, não prosseguiram com o avanço rápido na tecnologia da lente. A metrologia atual, tal como os métodos baseados em focímetros e a deflectometria de moiré, carece da combinação de definição
25 espacial, de sensibilidade elevada, e de grande alcance dinâmico desejado para medir mais precisamente lentes mais avançadas. As técnicas atuais da metrologia estão limitadas geralmente ao teste oftálmico do poder efetivo de uma lente e de medidas indiretas de potência pelo transpasse de uma lente até que a colimação seja detectada.

30 SUMÁRIO

Em um aspecto, a presente invenção envolve a utilização de um interferômetro modificado de Mach-Zehnder (MZ) para analisar a frente de

onda anesférica transmitida de uma lente oftálmica. O interferômetro é capaz de analisar uma grande variedade de tipos de lente, como, por exemplo, lente esférica, tórica, bifocal, e multifocal. Em determinadas modalidades da invenção, as lentes são montadas em uma cubeta em que circule solução salina fresca sobre as lentes e posicionada em um braço vertical de teste da configuração do interferômetro. Uma técnica a que se faz referência, como o traçado de raios reverso, pode ser utilizada para remover as aberrações induzidas na frente de onda enquanto é construída sua imagem.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

O sumário antecedente, e também a descrição detalhada a seguir, é compreendido melhor quando lido conjuntamente com os desenhos anexos. Com a finalidade de ilustrar o uso da interferometria para o teste da frente de onda transmitida das lentes, são mostrados os desenhos das suas construções exemplares; entretanto, o uso da interferometria para o teste da frente de onda transmitida das lentes não é limitado aos métodos e aos instrumentos específicos divulgados.

Figura 1 é um diagrama que descreve uma configuração exemplar do interferômetro para obter uma frente de onda de uma lente.

Figura 2 descreve uma imagem de uma frente de onda exemplar de referência.

Figura 3 descreve a diferença de trajeto ótico transmitida com os pixels não desejados removidos de uma lente de teste positiva.

Figura 4 descreve uma imagem exemplar de uma frente de onda de teste.

Figura 5 descreve uma estimativa de uma frente de onda medida transmitida através de uma lente de teste.

Figura 6 mostra uma frente de onda medida e uma frente de onda modelada para uma lente da calibração.

Figura 7 descreve uma frente de onda de diferença da diferença entre a frente de onda medida e a frente de onda modelada.

Figura 8 mostra uma superfície de Zernike e uma imagem sua.

Figura 9 mostra um defeito localizado de uma lente testada.

Figura 10 mostra uma região em que os halos de luz são aplai-
nados ligeiramente.

Figura 11 mostra os defeitos indicativos de possível esforço ou
de outras alterações na periferia da lente.

5 Figura 12 mostra lotes da aberração esférica versus frequência
para quatro lentes diferentes.

Figura 13 mostra a espessura de lentes tóricas.

Figura 14 é uma vista de seção transversal da cubeta.

10 Figura 15 é uma ilustração de uma vista de seção transversal
expandida de uma parcela da cubeta.

Figura 16 descreve um mecanismo exemplar de acoplamento.

Figura 17 é uma vista superior de uma ilustração de uma cubeta
que posiciona o mecanismo.

15 Figura 18 é uma ilustração de bandeiras marcadoras de posição
e de sensores marcadores de posição.

Figura 19 é um diagrama de uma cubeta incluída.

Figura 20 é um diagrama de fluxo de um processo de exemplo
para alinhar detectores de uma configuração do interferômetro para obter
uma frente de onda de uma lente.

20 Figura 21 descreve uma lente do alvo de exemplo usada no ali-
nhamento dos detectores.

DESCRIÇÃO DETALHADA DE MODALIDADES ILUSTRATIVAS

25 A presente invenção envolve obter a informação utilizada para
avaliar uma escala larga de tipos de lente oftálmica medindo a frente de on-
da transmitida da lente. Em determinadas modalidades, um interferômetro
de Mach-Zehnder é usado com as lentes submersas na solução salina e
montado em uma cubeta, ou na célula da água, que circula a solução salina
fresca. Acredita-se que testar lentes em uma solução salina abrande a desi-
dratação da lente, que pode mudar o índice de refração das lentes. A remo-
30 ção de aberrações induzidas pode ser conseguida, por exemplo, pelo traça-
do de raio reverso, onde a frente de onda no detector é traçada de volta a
uma posição imediatamente atrás da lente. O traçado de raio reverso facilita

a geração de frente de ondas teóricas, que podem ser usadas para avaliar o desempenho do nível transmitido da frente de onda.

O tipo do exemplo de lentes que podem ser avaliadas inclui lentes de contato duras, lentes de contato de refração duras, lentes de contato de difração duras, lentes de contato de refração/de difração híbridas duras, lentes de contato macias, lentes de contato de refração macias, lentes de contato de difração macias, lentes de contato de refração/de difração híbridas macias, lentes de contato duras que compreendem lentes de contato farmacêuticas, lentes de contato macias ativas que compreendem lentes farmacêuticas, lentes únicas de visão, lentes tóricas, lentes de contato bifocais, lentes multifocais, lentes cosmeticamente matizadas, lentes de forma livre, lentes intraoculares, lentes de refração intraoculares, lentes de difração intraoculares, lentes de refração/de difração híbridas intraoculares, lentes obsequiosas, lentes de óculos, lentes de óculos de refração, lentes de óculos de difração, e lentes de óculos de refração/de difração híbridas, lentes compostas que compreendem materiais múltiplos e integrados, lentes fotocromáticas, e moldes usadas na fabricação das lentes acima mencionadas. Deve ser compreendido que as lentes do exemplo não devem ser limitadas à lista precedente de lentes do exemplo. Aqueles versados na técnica reconhecerão prontamente que outros tipos de lentes são aplicáveis e apropriados para a avaliação através da análise da frente de onda transmitida.

A Figura 1 é um diagrama que descreve uma configuração exemplar 12 do interferômetro para obter uma frente de onda de uma lente. A configuração de interferômetro 12 compreende dois divisores de feixe 18, 24, e quatro espelhos 20, 22, 26, 40 para direcionar feixes de luz através do braço de referência 36 e do braço vertical de teste 30. A cubeta 28 é posicionada no braço vertical de teste 30, e a lente, ou as lentes, a ser testada é colocada na cubeta 28 (lente não mostrada na figura 1). A fonte luminosa 14, tal como um laser, por exemplo, produz um feixe de luz coerente. A coerência é medida nas unidades de comprimento, e em uma modalidade exemplar, a coerência da fonte 14 é maior do que a diferença prevista na distância de trajeto ótico do trajeto do braço de referência 36 e do trajeto vertical do

braço de teste 30. A luz que deixa a fonte 14 é filtrada e conformada usando uma lente de colimação 16. O feixe de luz colimado que emana da lente de colimação 16 é dividido em dois feixes usando um divisor de feixe 18 em 45°. Essencialmente, um divisor de feixe é um tipo especial de espelho onde 50% da luz são refletidos, e os outros 50% são transmitidos. Assim, 50% do feixe luminoso colimado que emana da lente de colimação 16 são dirigidos, através do divisor de feixe 18, para o espelho 40 e os outros 50% do feixe luminoso colimado são dirigidos para o espelho 20.

O feixe dirigido para o espelho 20 é refletido por esse espelho através do braço de referência 36. Este feixe é referido como o feixe de referência. O feixe dirigido para o espelho 40 é refletido igualmente pelo espelho 20 através do braço vertical de teste 30. O dito feixe é referido como o feixe de teste. O feixe de teste passa através da cubeta 28 e da lente de teste contida na mesma. Simultaneamente, o feixe de referência passa através do ar, ou de qualquer gás apropriado, do braço de referência 36. Usando um outro divisor de feixe 24, o feixe de referência e o feixe de teste são recombinados, e a interferência entre os dois feixes ocorre. Dois feixes emanam do divisor de feixe 24. Um feixe, dirigido para a lente de imagem 42, é indicativo de uma parcela do feixe de teste que é transmitida através do divisor de feixe 24 combinado com uma parcela do feixe de referência que é refletida do divisor de feixe 24. O outro feixe, dirigido para a lente de imagem 32, é indicativo de uma parcela do feixe de teste que é refletida do divisor de feixe 24 combinado com uma parcela do feixe de referência que é transmitida através do divisor de feixe 24.

A interferência do feixe dirigida para a lente de imagem 32 é gravada usando uma câmera 34. A câmera 34 pode compreender qualquer tipo apropriado da câmera, tal como uma câmera de dispositivo acoplado de carga (CCD), uma câmera de semicondutor metal-óxido complementar (CMOS), um dispositivo de injeção (CID), ou semelhante, por exemplo. A câmera 34 é referida como a câmera de ciência. A lente de imagem 32 é colocada entre o divisor de feixe 24 e a câmera de ciência 34 para gravar a imagem da lente de teste na câmera. Assim, a interferência gravada pela

câmera de ciência 34 compreende a imagem do teste padrão de interferência na lente que está sob teste.

O feixe que é dirigido para a lente de imagem 42 é coletado pela câmera 38, que é referida como a câmera de registro de imagem. A câmera 5 38 pode compreender qualquer tipo apropriado da câmera, tal como uma câmera de dispositivo acoplado de carga (CCD), uma câmera de semicondutor metal-óxido complementar (CMOS), um dispositivo de injeção (CID), ou semelhante, por exemplo. A luz coletada pela câmera de registro de imagem 38 é indicativa da luz que é refletida fora do divisor de feixe 24 do braço de referência 22 e da luz que é transmitida através do divisor de feixe 24 do 10 braço de teste 30. A utilização das duas câmeras 34, 38 proporciona duas vistas da lente que está sob teste. Em uma modalidade exemplar, a câmera de registro de imagem 38 é ajustada a um nível fixo da ampliação que permita/permitir que a câmera de registro de imagem 38 considere e grave a lente 15 inteira que está sob teste. As imagens da câmera de registro de imagem 38 são usadas nas medições do diâmetro e da forma circular e também para o ajuste da colocação da abertura de análise dentro da zona ótica da lente de teste. A câmera de ciência 34 vê a parcela central da zona ótica da lente de teste. O referido proporciona a definição espacial máxima ao medir a frente 20 de onda transmitida da lente de teste.

A configuração de interferômetro 12 não utiliza o sistema ótico nulo. Isto é, não há nenhum dispositivo adicionado ou removido da configuração de interferômetro 12 para remover o sinal atribuível à configuração de interferômetro 12. A utilização do sistema ótico nulo exigiria provavelmente o 25 projeto do sistema ótico nulo para cada tipo de lente, e a escala larga de tipos de lente torna isso impraticável. Testar em uma configuração que não é nula traz a jogo pelo menos três fatores de projeto da configuração de interferômetro 12. Primeiramente, porque a frente de onda é coletada e capturada pelo sistema ótico de imagem (por exemplo, a câmera de ciência 34 e a 30 câmera de registro de imagem 38), os parâmetros da frente de onda de teste, a lente de imagem, e o detector são combinados. Em segundo, a incidência da interferência no detector é resolvida. Em uma modalidade exemplar,

os halos de luz de interferência são proibidos de trocar de fase mais do que π (π) por pixel, assegurando-se desse modo que a frequência do halo seja menor do que a frequência de Nyquist para o detector. Em uma modalidade alternativa, entretanto, a interferometria sub-Nyquist, com sua disposição de

5 câmera esparsa, é utilizada para resolver a interferência de alta frequência gerada por lentes anesféricas em uma configuração que não é nula. Em terceiro lugar, a frente de onda reconstruída no detector é calibrada para esclarecer as aberrações induzidas pelo sistema ótico de imagem do interferômetro 12. A falta de um trajeto comum entre as frentes de ondas do braço de

10 referência 36 e do braço de teste 30 resulta em aberrações diferentes em cada frente de onda. Um processo exemplar da calibração para remover as aberrações induzidas é descrito abaixo.

Em uma modalidade exemplar, os padrões de interferência são digitados e gravados como dados digitais que são processados para gerar a

15 frente de onda transmitida para o sistema ótico testado (a lente que está sob teste). A frente de onda transmitida medida é analisada para determinar características do sistema ótico tais como seu diâmetro, forma circular, espessura relativa, defeitos, e prescrição oftálmica.

Em uma modalidade exemplar, o espelho 38 situado na parte

20 superior do braço de referência 36 compreende uma capacidade deslocadora de fase. A capacidade deslocadora de fase pode ser executada usando qualquer material apropriado como, por exemplo, titanoato-zirconato de chumbo, $(\text{Pb}[\text{Zr}_x \text{Ti}_{1-x}]\text{O}_3)$, PZT). PZT é um material cerâmico que compreende propriedades ferroelétricas e piezoelétricas. Na referida modalidade, o

25 espelho 38 é um componente dinâmico anexado ao espelho superior do braço da referência. O material de PZT proporciona uma transferência pequena (fração de um comprimento de onda) para o espelho superior 38. O referido produz um deslocamento de fase no teste padrão de interferência gravado. Uma série de padrões é gravada. A determinação do sentido do deslocamento de fase remove a ambiguidade do sinal da potência ótica de teste.

30 Por exemplo, em um interferômetro estático, lentes +1 D e -1 D seriam indistinguíveis. Utilizar o espelho 38 com uma capacidade deslocadora de fase,

entretanto, remove a referida ambiguidade.

Segundo as indicações da figura 1, o braço de teste 30 é orientado verticalmente. Para impedir que as lentes de contato apresentem imperfeições sob seu próprio peso, as lentes são montadas em uma orientação horizontal dentro da cubeta 28, que é posicionada no braço vertical de teste 30. Para facilitar um posicionamento horizontal da cubeta 28, os dois divisores de feixe 26, 40 são arranjados verticalmente segundo as indicações da figura 1. A configuração de interferômetro 12 proporciona um trajeto de feixe vertical para uma lente de teste colocada entre os espelhos 26, 40 do periscópio. A configuração de interferômetro 12 preserva comprimentos de trajeto do teste iguais para o braço de referência 36 e para o braço de teste 30 ao permitir um cerco, a cubeta 28, sobre a lente que está sob teste. Como descrito mais detalhadamente abaixo, a cubeta 28 proporciona um ambiente quase opaco, protege o sistema ótico da solução salina usado com as lentes, e bloqueia o sistema para a turbulência externa do ar.

O diâmetro das lentes 32 e 42 da imagem é capaz de capturar todas ou substancialmente todas as frentes de ondas previstas. A configuração de interferômetro 12 é capaz de testar lentes positivas e negativas. Com lentes negativas, a frente de onda depois da lente que está sob teste diverge, e assim a distância da lente que está sob teste para a lente de imagem é levada em consideração. A potência da lente de imagem determina a ampliação em que a frente de onda tem sua imagem construída. Conformemente, a potência das lentes de imagem 32, 42 é levada em consideração para assegurar-se de que as frentes de ondas respectivas tenham apropriadamente a sua imagem construída pela câmera de ciência 34 e pela câmera de registro de imagem 38.

A distância, ou espaçamento, dos pixels que terão sua imagem construída dita tipicamente a frequência de Nyquist do detector. Conformemente, o tamanho e o espaçamento dos pixels que terão sua imagem construída são considerados para assegurar que a configuração de interferômetro 12 resolva corretamente a interferência. O tamanho do pixel a ter sua imagem construída na câmera de ciência 34 e na câmera de registro de i-

imagem 38 é coordenado com o número f de trabalho (igualmente conhecido no método como a relação focal, o relação de f , e abertura relativa) da lente de imagem 32 e da lente de imagem 42, respectivamente. O número f de trabalho, junto com o comprimento de onda, dá o tamanho característico mínimo que pode ser produzido pela lente que está sob teste. O referido é combinado com o tamanho do pixel de modo que nenhum sistema esteja limitando a definição do outro. O termo "número f de trabalho" difere do termo mais comum "número f " pelo fato de que o número f de trabalho leva em consideração a ampliação do sistema da imagem.

Como mencionado acima, a lente que está sob teste, igualmente referido como a lente de teste ou ótico, é imersa em uma solução, tal como uma solução salina, dentro da cubeta 28. Imergindo a lente de teste na solução, o alcance dinâmico do interferômetro 12 é aumentado. O referido é devido à diminuição na diferença no índice de refração entre o teste ótico e o meio circunvizinho. Em termos da potência, existe um limite superior na quantidade de potência que pode exatamente ser testada para qualquer interferômetro em particular. O referido limite superior é correlacionado com os parâmetros como o tamanho do pixel, o afastamento do pixel, e o diâmetro da lente de imagem. Quando o teste ótico é imerso, a potência na frente de onda transmitido está reduzida, aumentando desse modo o alcance dinâmico do interferômetro 12. Em uma modalidade exemplar, a câmera altamente sensível com tanta densidade elevada do pixel e grande definição da escala de cinza é usada conjuntamente com a imersão para proporcionar uma base de teste com um nível aceitável de sensibilidade e de alcance dinâmico. Combinar a sensibilidade da interferometria com o alcance dinâmico aumentado da imersão proporciona uma técnica prática para testar uma escala larga de potências, projetos, e materiais.

Mesmo com a imersão na solução, entretanto, a potência baixa da lente de teste tipicamente produzirá padrões de interferência com um grande número de halos de luz porque a frente de onda da referência é achatada. Para gravar os halos de luz de alta frequência, em uma modalidade exemplar, a câmera de ciência 34 compreende um detector CCD de quatro

mega pixel, em 28 mm quadrados. Enfatiza-se, entretanto, que a implementação de uma câmera CCD de quatro mega pixel é exemplar, e que qualquer detector apropriado pode ser utilizado. Tendo bastante definição para resolver os halos de luz da alta frequência, a câmera de ciência 34 proporciona a

5 definição espacial elevada na medição. Para facilitar uma estrutura tão grande, o sensor da câmera de ciência 34 utiliza uma arquitetura de tela cheia (full frame). A arquitetura de tela cheia (full frame) incorpora um obturador externo de modo a corretamente registrar a carga. Em uma modalidade exemplar, para proporcionar o acionamento do obturador, um modulador ótico-acústico é usado conjuntamente com o filtro espacial usado para a limpeza do feixe. Quando ligado e alinhado, o modulador produz um primeiro feixe de ordem que contém a maioria da luz de laser incidente. O referido primeiro feixe de ordem é alinhado ao filtro espacial. Quando o modulador for desligado, simplesmente o feixe da zero-ordem (que é obstruído pelo filtro espacial)

10 está presente. Assim o modulador e o filtro espacial criam um interruptor de ligar/desligar para a luz no interferômetro. O modulador é conduzido pela câmera de ciência 34; assim o acionamento do obturador e a leitura ocorrem simultaneamente.

Como mencionado acima, o traçado de raio reverso facilita a

20 geração de frentes de ondas teóricas, que são usadas para avaliar o desempenho na frente de onda transmitido. Uma maneira para entender como a frente de onda teórica gerada é considerar o que está sendo detectado: a interferência produzida por duas frentes de ondas no plano do detector (por exemplo, a câmera de ciência 34). De acordo com a interferometria de deslocamento de fase (PSI), a interferência revela a diferença de trajeto ótico

25 (OPD) relativa entre as duas frentes de ondas. A frente de onda desejada, entretanto, é a frente de onda de teste na peça do teste (lente que está sob teste), e não na câmera de ciência 34. Para obter a frente de onda desejada, uma frente de onda de referência conhecida é usada conjuntamente com a

30 OPD para inferir a frente de onda de teste desconhecida na câmera de ciência 34. Enquanto a frente de onda de teste se propaga através do sistema ótico do interferômetro 12, as aberrações são induzidas. Um processo da

calibração é usado para converter a referida frente de onda inferida no teste na câmera de ciência 34 em uma melhor estimativa da frente de onda de teste na lente de contato.

Uma parcela das aberrações induzidas depende da frente de onda incidente. Entretanto, o valor das aberrações adicionadas é tipicamente uma fração pequena do valor de ampliação da frente de onda. O referido permite que as aberrações sejam tratadas como uma perturbação para a frente de onda. Matematicamente, a operação de formação da imagem da frente de onda é definida no referido contexto como:

$$\text{Img}\{W\} = W + A\{W\} \quad (1)$$

W representa a frente de onda original, e $A\{W\}$ representa as aberrações induzidas. A notação $A\{W\}$ é usada para indicar que as aberrações induzidas são dependentes da frente de onda. A lente de imagem 32 é a fonte das aberrações induzidas. Uma maneira de entender por qual razão as frentes de ondas diferentes recebem aberrações diferentes é ver as frentes de ondas diferentes como deslocamentos no sistema conjugado. O sistema conjugado para a lente de imagem 32 do interferômetro é o plano de teste, que é o plano imediatamente depois da lente de teste situada na cubeta 28, e o detector 34 da câmera de ciência. Quando estes sistemas conjugados não mudam, qualquer mudança na lente de teste conduz a uma frente de onda diferente da que está presente no plano de teste, e assim a uma frente de onda diferente que viaja através do sistema de imagem terminado pela lente de imagem 32 e pelo detector da câmera de ciência 34.

Os padrões de interferência detectados representam a diferença entre imagens de duas frentes de ondas, e não as frentes de ondas elas mesmas. A OPD_T (OPD do feixe de teste) entre a imagem da frente de onda de teste (W_T) e imagem da frente de onda da referência (W_R) no plano do detector é representado consequentemente matematicamente como:

$$OPD_T = \text{Img}\{W_T\} - \text{Img}\{W_R\} = (W_T + A\{W_T\}) - (W_R + A\{W_R\}) \quad (2)$$

Uma operação inversa ao processo da imagem, de traço reverso, pode ser usada para determinar a frente de onda na lente. Quando a prescrição do interferômetro é conhecida, o sistema que gerou as aberra-

ções não é uma caixa preta, mas uma coleção de sistemas óticos que podem ser de modelo. O modelo é a ferramenta que permite uma operação inversa à formação da imagem, a saber, traçado de raio reverso. Com o traçado de raio reverso, a frente de onda no plano de teste, tipicamente o plano imediatamente depois do teste ótico, é produzido a partir da OPD e a frente de onda de referência no detector pelo traço de raio para trás através do sistema. Os raios seriam traçados para trás porque, visto que no interferômetro a luz viaja do plano de teste para o detector (câmera de ciência 34), os raios são seguidos do detector (câmera de ciência 34) para o plano de teste. Usando a equação (1) e a equação (2), a referida operação inversa é definida matematicamente como:

$$\tilde{W}_T = \text{Img}^{-1}\{W_T + A\{W_T\}\} = \text{Img}^{-1}\{OPD_T + \text{Img}\{W_R\}\}. \quad (3)$$

A equação 3 ilustra um meio para implementar o processo de traçado de raio reverso. Em referência ao interferômetro 12, os raios são seguidos ao longo do braço de referência 36, com o sistema ótico 32 de imagem e no detector, a câmera de ciência 34. Esta é a imagem de W_R ($\text{Img}\{W_R\}$). OPD_T é adicionada então ao raio, mudando sua posição e ângulo. Neste momento, a imagem W_T pode ser obtida. Os raios são seguidos então de volta ao plano de teste. No plano de teste os raios são convertidos a uma frente de onda, a qual é $\tilde{W}_T$, a estimativa do W_T da frente de onda de teste original. A razão pela qual o resultado da operação inversa é considerado como uma estimativa é que um modelo de interferômetro é usado para proporcionar a correção. O modelo e o interferômetro real podem diferir. A correção ou realce do modelo para melhorar a paridade com o interferômetro real pode ser conseguido com um processo conhecido como otimização reversa. O modelo é verificado através da ampliação dos sistemas conjugados da lente de imagem. Somente duas distâncias não são conhecidas de uma prescrição: a distância da parte superior da cubeta 28 à lente de imagem 32 e a distância da lente de imagem 32 ao detector, a câmera de ciência 34. De fato, estas duas distâncias são as distâncias do objeto e de imagem para a lente de imagem 32. Como a lente de imagem é conhecida, o conhecimento da ampliação entre os planos dos sistemas conjugados proporciona bastante

informação para determinar excepcionalmente as duas distâncias. Um traço de raio paraxial é usado para atualizar o modelo dada a medição mais recente de ampliação.

Figura 2, figura 3, figura 4, e figura 5 ilustram várias frentes de ondas. Figura 2 descreve uma imagem de uma frente de onda exemplar de referência, W_R 44. O teste ótico 46 é uma lente de vidro plano-convexa, e as unidades da altura são ondas (543,5 nm). A frente de onda de referência, W_R 44, é mostrada como tendo uma quantidade de potência considerável, apesar de ser achatada. O referido ocorre porque a frente de onda de referência, W_R 44, no detector, a câmera de ciência 34, tem uma quantidade de potência considerável. Como descrito no interferômetro 12 da figura 1, a luz colimada no braço de referência 36 produzirá uma frente de onda de divergência na câmera de ciência 34. A referida é uma imagem da frente de onda de referência, W_R 44, porque a lente de imagem tem como seus sistemas conjugados o plano e o detector de teste. Figura 3 descreve a OPD_T 48 com os pixels não desejados, representando a distorção, removida da lente positiva 50 de teste. Figura 4 descreve uma imagem exemplar de uma frente de onda de teste, W_T 52. A OPD_T 48 medida é adicionada à imagem de W_R 44 para produzir a imagem do W_T 52. As imagens do W_T 48 e do W_R 44 diferem por OPD_T , a ampliação da qual é consideravelmente menor do que uma ou outra frente de onda. Porque uma lente de teste positiva foi usada para este exemplo, a imagem da frente de onda de teste tem um raio de curvatura mais longo (menos caída sobre a abertura) do que a imagem da frente de onda de referência. O traço de raio reverso é aplicado à imagem do W_T 52 da frente de onda de teste, tendo por resultado a estimativa da frente de onda medida transmitida através da lente W_T 54 de teste como descrito na figura 5.

Utilizando o interferômetro 12 e a determinação da frente de onda com traço de raio reverso, as comparações podem ser feitas entre uma lente de teste e uma lente modelo. Figura 6 mostra uma frente de onda 56 medida e uma frente de onda 58 de modelo para a lente da calibração. As comparações podem ser feitas entre as frentes de ondas medidas e de mo-

delo, proporcionando meios para a verificação de parte, por exemplo. Para estabelecer uma comparação entre dados medidos e dados de modelo, uma peça de calibração é usada. Em uma modalidade exemplar, uma lente de vidro plano-convexa é usada como uma parte de calibração. Parâmetros tais como o índice, centro de espessura, e o raio de curvatura são medidos independentemente, fornecendo uma prescrição completa para a lente. Junto com a prescrição da peça de teste, a prescrição do interferômetro permite a geração de uma frente de onda de modelo na mesma posição que a frente de onda medida. Com duas frentes de ondas na mesma posição, e consequentemente no mesmo tamanho, uma frente de onda de diferença pode ser computada simplesmente subtraindo a frente de onda de modelo da frente de onda medida.

Figura 7 descreve uma diferença de frente de onda de diferença 60 entre a frente de onda medida 56 e a frente de onda de modelo 58. A referida diferença é computada em 99% do diâmetro das duas frentes de ondas para evitar efeitos de borda. O ruído na frente de onda de diferença 60, devido a uma combinação de fatores, obscurece a forma geral da frente de onda de diferença 60. O ruído na frente de onda de diferença 60 pode ser aliviado de qualquer maneira apropriada. Por exemplo, um polinômio de Zernike pode ser aplicado na frente de onda de diferença 60 para remover o ruído. Os polinômios de Zernike são conhecidos na aplicação do método. A aplicação de polinômio de Zernike cancela a distorção. Em uma modalidade exemplar, um encaixe de Zernike é usado para remover o ruído elevado de frequência espacial, e os coeficientes de Zernike são usados para computar a informação de aberração sobre a frente de onda.

Figura 8 mostra uma superfície 62 de Zernike e sua imagem 64, após uma aplicação de polinômios de Zernike de 36 termos se enquadrar na frente de onda de diferença 60. A superfície 62 de Zernike ilustra que o desfoque é o erro dominante na comparação entre a frente de ondas medida e a de modelo. Para não ser amarrado a uma teoria particular, presume-se que uma diferença de potência é muito provável devido a uma discrepância no índice de refração para a lente de teste e a solução salina circunvizinha no

interferômetro versus os valores usados no modelo. Usando os coeficientes de Zernike para a referida diferença, a potência é medida em -0,019 D. No ar, a referida diferença transforma-se em -0,054 D. Usando um modelo da lente fina, a referida diferença na potência pode ser convertida a uma incerteza no índice. A diferença de -0,054 D, junto com a prescrição da lente, dá uma incerteza para a diferença em um índice de 0,0015. Uma vez que ambos os valores de índice conhecidos por uma incerteza de aproximadamente 0,001, a noção de que o erro da potência pode ser atribuído à discrepância no índice é plausível.

Além do que o teste para a prescrição oftálmica de uma lente, as várias características e características de uma lente são detectáveis. Por exemplo, o interferograma da figura 9 mostra um defeito localizado 84 de uma lente que está sob teste. Assim, a determinação transmitida da frente de onda que utiliza o interferômetro 12 proporciona a habilidade de detectar os defeitos no desempenho ótico que causam desvios no trajeto da luz na ordem de uma fração do comprimento de onda da luz usado. Mais, a determinação transmitida da frente de onda que utiliza o interferômetro 12 pode produzir a potência esférica de qualquer lente de contato esférica. Para lentes tóricas, a potência e a linha central cilíndricas podem igualmente ser obtidas. Ainda, as regiões que se afastam de outras partes de uma lente são detectáveis, segundo as indicações da figura 10. Figura 10 mostra uma região 86 em que os halos de luz são aplainados ligeiramente. A região 68 não pode ser caracterizada como um defeito (por exemplo, defeito 84 da figura 9), mas produzirá um efeito ótico diferente tal como a mudança da potência, a aberração esférica, ou semelhante. A determinação da frente de onda transmitida que utiliza o interferômetro 12 igualmente pode detectar a informação de possível esforço ou outras alterações na periferia da lente, como mostrado nas regiões 88 da figura 11. Idealmente, fora da zona ótica, deve haver simetria no padrão do halo sobre a linha através das marcas 90. O redemoinho ou o desalinhamento nos halos de luz 88 perto das duas marcas fiduciais 90 indicam uma área do esforço e/ou de desalinhamento possíveis.

Uma riqueza de informação pode ser produzida analisando as

frentes de ondas transmitidas através do interferômetro 12. A referida informação pode ser usada para discriminar entre materiais com níveis diferentes de aditivos, projetos com quantidades diferentes de aberrações, e as lentes feitas com os mesmos projetos, mas materiais diferentes. Por exemplo, figura 12 mostra os lotes 90, 92, 94, e 96 da aberração esférica (SPHA) em D por milímetro quadrado (D/mm^2) versus a frequência para quatro lentes diferentes. Cada lente testada teve uma potência de -1.00 D. Mais, a análise estatística da informação obtida através da análise da frente de onda pode ser conduzida como ilustrado pelo bloco de estatística 82, onde o desvio médio e padrão da aberração esférica para cada lente 90, 92, 94, e 96 é descrito.

Numerosas outras características e parâmetros da lente podem ser obtidos através da análise da frente de onda. Por exemplo, a espessura de lentes tóricas pode ser determinada como ilustrado na figura 13. As lentes de contato tóricas são lentes de cilindro esférico projetadas para corrigir o astigmatismo no olho. Na figura 13, as espessuras de três lentes 100, 102, e 104 são descritas. As áreas mais escuras indicam a espessura aumentada comparada a umas áreas mais claras para cada lente, tendo uma escala de 0,0 milímetro a 0,500 milímetro.

Como descrito acima, as lentes sob teste podem ser colocadas em uma cubeta em que são submersas em uma solução (por exemplo, solução salina). Figura 14 é uma vista de seção transversal da cubeta 28 mostrada no interferômetro 12 descrito na figura 1. Utilizando a cubeta 28, as lentes permanecem na solução durante o teste. Os materiais usados em lentes de contato incluem hidrogel, que são higroscópicos. As lentes são colocadas na cubeta 28, ou na célula de água, para manter a hidratação e estabilidade em termos do índice de refração. A cubeta 28 compreende um compartimento que tem duas janelas que são revestidas de antirreflexo (AR). A lente que está sob teste é posicionada entre as duas janelas. As janelas são revestidas de AR em suas superfícies externas. A paridade de índice entre o vidro da janela e a solução elimina a necessidade de um revestimento de AR nas superfícies internas.

Geralmente, e como descrito mais detalhadamente abaixo, a cubeta inteira conecta com uma configuração do teste, tal como o interferômetro 12, por exemplo, através de uma montagem cinemática e por meio de um sistema automático da conexão que inclua o enlace mecânico ao sistema de movimentação do interferômetro e aos circuitos elétricos de controle e de instrumentação. Um cerco exterior abriga todos os componentes da cubeta. O cerco é configurado para circular uniformemente a solução do teste, para impedir que a solução do teste escape, e para monitorar a temperatura da solução do teste. Um suporte da lente contém um, ou mais, células de teste, configuradas para manter uma lente submersa em uma solução, e que pode ser movida dentro do cerco exterior da cubeta ao manter a colocação e a orientação das lentes do teste. Uma primeira janela é configurada para permitir que o feixe do braço do teste do interferômetro incorpore uma célula sem a mudança na colimação ou do comprimento de coerência. Uma segunda janela é configurada para permitir que o feixe do braço do teste retire a cubeta após a passagem através da lente sem a mudança adicional ao feixe de retirada do braço do teste. Os centros das duas janelas óticas são alinhados um com o outro, com o suporte móvel da lente montado no meio. O suporte é movido para posicionar cada célula, uma de cada vez, entre a primeira janela e a segunda janela.

A montagem cinemática da cubeta é conseguida por meio de uma corredeira da montagem, que fornece o alinhamento preliminar da cubeta aos conectores e aos sensores mecânicos e elétricos e fornece o uso vertical do registro da altura dos pinos do localizador e (por exemplo, de molas) de um braço resiliente, que proporciona uma força radial de encontro aos pinos do localizador, para exatamente e consistentemente localizar a cubeta em um plano paralelo à corredeira da montagem. O enlace mecânico é projetado para proporcionar a proteção de acoplamento positivo, e de vibração repetida entre a cubeta e o interferômetro sem prejudicar o enlace da cubeta.

Cada célula no suporte da lente tem uma janela que não muda a colimação ou o comprimento de coerência de um feixe colimado incidente, e

que é transparente ao comprimento de onda ou aos comprimentos de onda da fonte luminosa coerente do interferômetro. Esta janela dá forma à superfície em que a lente de teste é montada. A janela em cada célula no suporte da lente está no mesmo plano das janelas restantes da célula no suporte da lente. Cada célula no suporte da lente tem uma parede afunilada projetada para permitir a montagem exata e distorção livre da lente de teste na célula. Cada célula é projetada de modo que a câmera da imagem do interferômetro possa montar a imagem da lente inteira. Cada célula no suporte da lente tem pelo menos uma canaleta para permitir que a solução flua. Ambos as janelas óticas na cubeta são transparentes ao comprimento de onda ou aos comprimentos de onda da fonte luminosa coerente do interferômetro. A solução do teste que circula através da cubeta é transparente ao comprimento de onda ou aos comprimentos de onda da fonte luminosa coerente do interferômetro. As soluções do teste do exemplo incluem soluções salinas, a solução salina protegida, a água deionizada, as soluções com fármacos ativos, ou suas combinações.

O cerco exterior da cubeta inclui conexões da entrada e de saída para uma fonte de solução de teste controlado de temperatura. O cerco exterior é configurado para monitorar a temperatura da solução do teste usando uma sonda de temperatura. Em uma configuração do exemplo, a sonda de temperatura compreende um detector de temperatura de resistência (RTD) que proporciona a informação a um controlador de temperatura externo para ajudar a estabilizar a temperatura da solução na cubeta. Em uma configuração de exemplo, o cerco exterior da cubeta é construído de um material de policarbonato opaco que seja mecanicamente estável na presença das soluções do teste.

A cubeta é configurada para segurar uma variedade de tipos de lentes, tais como lentes de contato duras, lentes de contato de refração duras, lentes de contato de difração duras, lentes de contato de refração/de difração híbridas duras, lentes de contato macias, lentes de contato de refração macias, lentes de contato de difração macias, lentes de contato de refração/de difração híbridas macias, lentes de contato duras que compreen-

dem umas lentes de contato farmacêuticas, lentes de contato macias ativas que compreendem lentes farmacêuticas, lentes de contato únicas, lentes tóricas, lentes de contato bifocais, lentes multifocais, lentes cosmeticamente matizadas, lentes de forma livre, as lentes intraoculares, as lentes de refração intraoculares, lentes de difração intraoculares, lentes de refração/de difração híbridas intraoculares, lentes obsequiosas, óculos lentes, lentes de óculos de refração, lentes de óculos de difração, e lentes de óculos de refração/de difração híbridas, por exemplo.

Com referência à figura 14, a cubeta 28 é um invólucro para as lentes de contato imersas na solução de tal maneira que as lentes podem ser testadas usando o interferômetro 12. A cubeta 28 é projetada para acomodar lentes múltiplas. Em uma modalidade exemplar, a cubeta 28 pode acomodar 30 lentes. Cada lente tem sua própria posição (célula) na cubeta 28, e as células são móveis dentro da cubeta 28. As lentes podem ser posicionadas para teste dentro da cubeta 28, e preferivelmente não são deformadas pela cubeta ou por nenhuma montagem interna dentro dela. É igualmente preferível que a lente inteira que está sob teste seja visível. Todas as janelas da cubeta são preferivelmente da qualidade ótica igual em termos de nivelamento para impedir a adição de potência adicional para a frente de onda transmitida. A posição e a apresentação da lente são preferivelmente repetíveis lente-a-lente e experimentação-a-experimentação. A inserção e a remoção das lentes e da cubeta 28 são tipicamente simples e diretas. As lentes preferivelmente não estão livres para mover-se fora de suas células, e as bolhas formadas na solução não devem interferir com as medidas. Isto é, as bolhas não devem ser visíveis em uma célula.

A cubeta 28 compreende as paredes exteriores 106 e 108. A parcela 110, ou o carrossel, no meio da cubeta 28, compreende as células múltiplas 112 da lente. Em uma modalidade exemplar, o carrossel 110 compreende 30 células 112 da lente. Cada célula 112 compreende as paredes afiladas 114 (que podem se conformar a uma lente), as canaletas 116 para o fluxo de fluido, e uma janela 118 na parte inferior da célula em que a lente descansa. As paredes exteriores 106 e 108 podem compreender todo o ma-

terial apropriado. Em uma modalidade exemplar, as paredes exteriores 106 e 108 compreendem o policarbonato. O policarbonato proporciona as seguintes características à cubeta 28: pouco peso, opacidade, quimicamente inerte, e baixa absorção de água, que mantém a cubeta 28 estável dimensionalmente.

Figura 15 é uma ilustração de uma ideia de seção transversal expandida de uma parcela da cubeta 28. A luz do interferômetro 12 entra na cubeta 28 através da janela superior 120 no sentido da seta 122, e viaja para baixo através da lente que está descansando em sua célula 112 da lente, e retira então a cubeta através da janela inferior 122.

Em uma modalidade exemplar, há uma pequena distância, etiquetada como 124 na figura 15, entre a parte superior da parede de célula 114 da lente e a janela superior 120. A referida abertura pequena 124 é mantida durante toda a cubeta 28, e projetada para manter as lentes em suas células receptivas 112 durante a rotação. Também, em uma modalidade exemplar, há quatro entalhes 116 em cada célula 112 da lente. Os entalhes 116 permitem que a solução circule facilmente através de cada célula 112, mantendo desse modo todas as células 112 em equilíbrio térmico. Enfatiza-se que o número de entalhes 116 descritos na cubeta 28 é exemplar, e que qualquer número apropriado de entalhes pode ser implementado. As janelas exteriores 120 e 122 são escalonadas para proporcionar uma canaleta 126 para que um anel ou uma gaxeta encaixe e proporcione um selo em torno de cada janela 120, 122. A referida configuração igualmente permite que as janelas sejam afinadas ou inclinadas no alinhamento, em vez de manter-se em um esquema fixo de montagem. A janela de vidro média 128 igualmente é escalonada, ver a área 130, para proporcionar o registro consistente entre todas as células 112. Em uma modalidade exemplar, a janela média 128 projeta-se da parte inferior do carrossel 110 para manter as bolhas na solução longe da parcela central da janela 128. Os lados afilados 114 de cada célula 112 facilmente centram a lente, e não deformam a lente em nenhuma maneira. Além disso, a parede 114 ajuda a descarregar as lentes, porque as lentes podem ser deslizadas acima do lado das células 112 e então ser re-

movidas da cubeta 28 uma vez fora da célula 112. O carregamento e o descarregamento das lentes podem ser realizados através de uma porta 151, ou semelhante, da cubeta 28. Em uma configuração exemplar, a porta é anexada a um bloqueio (ver o bloqueio 188 na figura 19) que impeça a rotação automática do carrossel quando a porta está aberta. Nenhuma ferramenta especial é exigida para trabalhar com as lentes, por exemplo, um cotonete pode ser usado para trabalhar com as lentes.

Em ordem de fazer medições em lentes múltiplas com o interferômetro 12 sem exigências de usuário, em uma modalidade exemplar o interferômetro 12 controla a cubeta 28 através do índice automático. O índice automático pode ser realizado através de todos os meios apropriados. Por exemplo, a cubeta 28 pode ter seu próprio motor e processador, e recebe simplesmente sinais do interferômetro 12. Em uma outra modalidade do exemplo, mais controle é contido no interferômetro 12, e menos controle contido na cubeta 28. Na referida modalidade, o interferômetro 12 proporciona meios para a rotação da cubeta 28. O referido pode ser realizado, por exemplo, por meio de uma engrenagem, correia, corrente, cremalheira, pinhão ou semelhante, ou uma combinação destes.

Figura 16 descreve um mecanismo exemplar do acoplamento que compreenda um único motor 132, uma caixa de engrenagens 134, polias 136, 138, 140, e uma correia dentada 142. O carrossel 110 através da polia 138 da cubeta é contido acima dentro da cubeta 28. O motor 132, a caixa de engrenagens 134, a polia da movimentação 140, e as polias 136 do tensor são componentes fixos dentro do interferômetro 12. O acoplamento ocorre entre a polia 138 da cubeta e a correia engrenada 142 quando a cubeta 28 é introduzida no interferômetro 12. Este tipo de acoplamento proporciona um acoplamento significativo em torno da polia, reduzindo a possibilidade de resvalamento. A grande quantidade de acoplamento facilita e trava a rotação da cubeta. Os esforços neste sistema são baixos, e a flexibilidade da correia abrande todo o acoplamento entre o motor e a cubeta. Também, a flexibilidade da correia reduz toda a folga do motor 132. Este projeto mantém o carrossel 110 suspenso; nenhuma peça do carrossel 110 se move ao

longo da parte inferior da cubeta 28. O referido elimina a fricção e o atrito (fricção estática), e melhora desse modo a exatidão posicional.

Nenhum ponto de rotação é exigido tipicamente para o carregamento; a correia 142 e a polia 138 acoplar-se-ão de qualquer maneira. As polias 136 do tensor podem ser ajustadas como preciso for para manter as forças do carregamento consistentes. O vigor de um sistema de correia é favorável para o uso com cubetas múltiplas 28. Para carregar uma cubeta 28 no interferômetro 12, a cubeta 28 é simplesmente puxada/empurrada longitudinalmente na montagem 144 (ver figura 14) da cubeta 28. A montagem 144 proporciona a estabilidade vertical quando a cubeta 28 é acoplada com o interferômetro 12 e os sensores marcadores de posição que controlam o índice automático.

Figura 17 é uma ideia superior de uma ilustração de um mecanismo para posicionar a cubeta. Em uma modalidade exemplar, a posição de uma célula 112 é determinada por dois pinos de localizador que são peça do localizador XY 146 e a localizador radial 148, respectivamente. Combinado com uma montagem mais frouxa 144, os dois pinos de localizador proporcionam o posicionamento repetível, cinemático, da cubeta. O acoplamento projetado permite a rotação manual. A roda dentada 150 (ver figura 14) proporciona a rotação manual e é engrenada para finalidades da segurança; um ponto de perfuração é evitado entre a roda dentada e o interferômetro quando a cubeta é carregada no sistema. O braço atuador 184 e o braço de ajustamento 186 trabalham como par para proporcionar uma força para a mola que mantém a cubeta 28 pressionada de encontro ao localizador XY 146 e ao localizador radial 148 através de uma força radial. Assim os dois braços 184 e 186 permitem o carregamento cinemático da cubeta 28 no interferômetro.

O índice automático é proporcionado pela roda com as bandeiras 152 (ver figura 14) situadas apenas abaixo da roda dentada 150. A relação das bandeiras 152 com sensores marcadoras de posição 154 anexados ao interferômetro 12, segundo as indicações da figura 18. Enquanto a cubeta 28 gira, as bandeiras 152 provocam os sensores marcadores de posição

154, que emitem então comandos para retardar e parar então a cubeta 28. Somente três sensores de posição 152 da célula são etiquetados na figura 18 para facilitar. A cubeta 28 é retardada para minimizar a perturbação das lentes carregadas. O posicionamento da lente é independente do mecanismo usado para girar a cubeta 28. Os motores simplesmente partem e param fora dos sinais dos sensores marcadoras de posição 154. Nenhuma contagem ou outros ajustes do motor são usados para determinar posições da célula. A bandeira 156 da posição inicial é usada para inicializar o alinhamento da cubeta 28 com o interferômetro 12.

10 Figura 19 é um diagrama de uma cubeta encerrada 28. A cubeta encerrada 28 proporciona a estabilidade de temperatura pela circulação da solução entre a cubeta 28 e um refrigerador externo (refrigerador externo não mostrado na figura 19). O projeto do interior da cubeta permite que o líquido corra através e entre as células 112. A cubeta compreende três elementos para o controle fluido: uma sonda de temperatura 158, uma válvula de entrada 160, e um dreno 162. Além disso, um acoplador de fluxo 164 é fornecido igualmente. A ponta de prova 158 da temperatura proporciona uma leitura eletrônica da temperatura do líquido dentro da cubeta 28 perto dos indicadores de medição. A válvula de entrada 160 e o dreno 162 proporcionam portas para que a solução circule através da cubeta 28. A parcela da entrada permite a solução de ingressar na cubeta 28 e a parcela do dreno permite que a solução saia da cubeta 28. A válvula de entrada 160 e o dreno 162 agem com o refrigerador externo e a bomba através das câmaras de ar equipadas com os encaixes apropriados.

25 Um interferômetro 12 com cubeta 28 proporciona um método e um sistema viáveis para utilizar a análise da frente de onda para testar lentes de contato. Testar contra uma frente de onda plana de referência permite a determinação da potência absoluta da lente. O aumento no alcance dinâmico devido à imersão das lentes na solução salina permite uma escala larga das prescrições testadas sem o uso do sistema ótico nulo ou dos outros meios de remover a potência da lente. Estes método e sistema são aplicáveis a uma grande variedade de lentes, incluindo lentes esféricas. Nenhuma

suposição é necessária a respeito do tipo de parte que está sendo testada. Tudo que é necessário é a prescrição da lente de teste.

A Figura 20 é um diagrama de fluxo de um processo do exemplo para alinhar detectores de uma configuração do interferômetro para obter uma frente de onda de uma lente. Em uma modalidade exemplar, as câmeras (por exemplo, a câmera de registro de imagem 38 e a câmera de ciência 34) são alinhadas antes de testar uma lente. O alinhamento compreende a conversão do sistema coordenado da câmera de registro de imagem 38 ao sistema coordenado da câmera de ciência 34. Para realizar o alinhamento, um ponto de imagem na câmera de registro de imagem 38 é selecionado e um ponto de imagem correspondente é determinado na câmera de ciência 34. A câmera 38 da imagem e a câmera de ciência 34 diferem, pelo menos, na capacidade da ampliação. Também, as câmeras podem diferir no deslocamento respectivo no eixo x, no eixo y, e/ou na rotação de pontos de imagem correspondentes.

Em um processo de alinhamento do exemplo, um alvo de teste (por exemplo, uma lente do alvo de pontos de referência conhecidos) é utilizado para determinar o relacionamento entre as duas câmeras. Figura 21 mostra uma lente 178 de alvo de exemplo. A lente 178 de alvo compreende dez círculos concêntricos. O ponto de imagem 180 do exemplo tem uma posição de 0 no eixo de x e de 1 no eixo de y. O referido é denotado como (0,1) na figura 21. O ponto de imagem 182 do exemplo tem uma posição de -2 no eixo de x e de 0 no eixo de y. O referido é denotado como (-2,0) na figura 21. Para calibrar os detectores, os pontos de interseção com os eixos de x e de y e círculos são utilizados. Usando o alvo de teste, em um processo do exemplo, cinco valores são determinados. Na etapa 166, a ampliação do primeiro detector (por exemplo, a câmera de ciência 34) é determinada. A ampliação da câmera de ciência é referida aqui como ms. A ampliação do segundo detector (por exemplo, a câmera de registro de imagem 38) é determinada na etapa 168. A ampliação da câmera da imagem é referida aqui como mr. Em etapa 170, a posição no eixo de x da câmera de ciência 34 que corresponde à posição da posição zero do eixo de x na câmera de regis-

tro de imagem 38 é determinada. A referida posição no eixo de x da câmera de ciência 34 é referida aqui como x_0 . Na etapa 172, a posição no eixo de y da câmera de ciência 34 que corresponde à posição da posição zero do eixo de y na câmera de registro de imagem 38 é determinada. A referida posição no eixo de y da câmera de ciência 34 é referida aqui como y_0 . O ângulo da diferença rotatória entre a câmera de ciência 34 e a câmera de registro de imagem 38 é determinado na etapa 174. Este ângulo da diferença rotatória é referido aqui como θ_s . Na etapa 176, usando os valores determinados d_{mr} , d_{ms} , do x_0 , do y_0 , e do θ_s a posição do centro da lente do alvo medida na câmera de registro de imagem 38 é convertida à posição correspondente na câmera de ciência 34. Mais geralmente, os valores m_r , m_s , x_0 , y_0 , e θ_s são utilizados para converter o sistema coordenado da câmera de registro de imagem 38 ao sistema coordenado da câmera de ciência 34.

Em uma modalidade de exemplo, as coordenadas no sistema coordenado da câmera de ciência 34 são convertidas das coordenadas no sistema coordenado da câmera de ciência para um ponto correspondente de acordo com as seguintes fórmulas.

$$X_s = (x_l \cdot \cos \theta_s + y_l \cdot \sin \theta_s) m_l / m_s + X_0 \quad (4)$$

$$y_s = (-x_l \cdot \sin \theta_s + y_l \cdot \cos \theta_s) m_l / m_s + y_0 \quad (5)$$

onde: x_s representa uma posição no eixo de x da linha central na câmera de ciência que corresponde à posição no eixo de x da linha central do ponto correspondente na câmera da imagem, os y_s representam a posição do eixo de y na câmera de ciência que corresponde à posição do eixo de y do ponto correspondente na câmera da imagem, m_s representa a ampliação da câmera de ciência 34, m_l representa a ampliação da câmera de registro de imagem 38, x_0 representa a posição no eixo de x da câmera de ciência 34 da posição do eixo de x zero dentro na câmera de registro de imagem 38, y_0 representa a posição no eixo de y da câmera de ciência 34 da posição do eixo de y zero na câmera de registro de imagem 38, e θ_s representa ângulo da diferença rotatória entre a câmera de ciência 38 e a câmera de imagem 34.

Em uma modalidade do exemplo, os interferogramas obtidos da

câmera de ciência e a câmera da imagem são combinados em uma única frente de onda para uma parcela da lente que está sob teste. Os padrões de interferência na câmera de ciência e na câmera da imagem são capturados. A modulação é computada para a câmera da imagem. Computar a modulação conduz a um valor para cada pixel do padrão de interferência capturador pela câmera da imagem. A modulação é usada para identificar os pixels associados com a borda da lente. Uma elipse é ajustada aos pixels identificados e o centro da elipse é determinado. Usando qualquer equação de mapeamento apropriada (por exemplo, predeterminada), o centro determinado, que representa o centro da lente como capturada pela câmera da imagem, é traçada ao centro da câmera de ciência. A região apropriada do padrão de interferência capturado pela câmera de ciência é mascarada para sair da região de interesse da lente. A frente de onda transmitida desta região de interesse é computada para uma análise mais adicional.

As várias técnicas descritas aqui podem ser executadas em relação ao equipamento ou ao software ou, onde apropriado, com uma combinação de ambos. Assim, os métodos para o uso da interferometria para o teste da frente de onda transmitida das lentes, ou de determinados aspectos ou parcelas, podem tomar forma do código do programa (isto é, instruções) incluído em mídias reais, tais como disquetes flexíveis, CD-ROMs, HDs, ou algum outro suporte de memória que possa ser lido, onde, quando o código do programa for carregado em e executado por uma máquina, tal como um computador, a máquina se torna um instrumento para o uso da interferometria para o teste da frente de onda transmitida das lentes.

Os programas podem ser executados na linguagem-máquina do conjunto ou, se desejados. Em todo caso, a língua pode ser uma língua compilada ou interpretada, e combinada com as execuções de ferragem. Os métodos para o uso da interferometria para o teste da frente de onda transmitida das lentes igualmente podem ser praticados através das comunicações incluídas sob a forma do código do programa que é transmitido sobre algum meio da transmissão, tal como cabeamentos, com fibras óticas, ou através de qualquer forma de transmissão, onde, quando o código do pro-

grama é recebido e carregado em e executado por uma máquina, tal como uma EPROM, um servidor, um dispositivo de lógica programável (PLD), um computador do cliente, ou semelhante, a máquina se transforma em um instrumento para o uso da interferometria para o teste da frente de onda transmitida das lentes. Quando executado em um processador de uso geral, o código do programa combina-se com o processador para proporcionar um instrumento original que opere para invocar a funcionalidade o uso da interferometria para o teste da frente de onda transmitida das lentes. Adicionalmente, todas as técnicas de armazenamento usadas em relação ao uso da interferometria para o teste da frente de onda transmitida das lentes podem invariavelmente ser uma combinação de equipamento e de software.

Quando o uso da interferometria para o teste da frente de onda transmitida das lentes for descrito em relação às modalidades do exemplo das várias figuras, deve ser compreendido que outras modalidades similares podem ser usadas ou as modificações e as adições podem ser feitas às modalidades descritas para executar as mesmas funções para o uso da interferometria para o teste da frente de onda transmitida das lentes sem se afastar daí. Consequentemente, o uso da interferometria para o teste da frente de onda transmitida das lentes como descrito aqui não deve ser limitado a nenhuma única modalidade, mas deve ser interpretado no âmbito e no espaço de acordo com as reivindicações dependentes.

REIVINDICAÇÕES

1. Cubeta (28) configurada para segurar uma pluralidade de lentes oftálmicas, **caracterizada por** compreender:

5 um carrossel (110) que compreende uma pluralidade de células (112), onde:

cada célula (112) é configurada para segurar uma lente oftálmica submersa em uma solução;

e o carrossel (110) é giratório dentro da cubeta (28);

10 uma primeira janela (120) configurada para permitir que a luz ingresse em uma célula (112);

uma segunda janela (122) que forma a uma superfície de uma célula (112) oposta à primeira janela (120), a segunda janela (122) configurada para permitir que a luz saia de uma célula (112), onde uma célula (112) é posicionável para permitir que a luz se propague através da primeira janela (120) e de uma segunda janela (122) através da rotação do carrossel (110);
15 e

um invólucro que seja posicionado em torno do carrossel (110) e configurado para impedir não só que a solução vaze para fora da cubeta (28) mas também para circular a solução entre a pluralidade de células (112).

20 2. Cubeta (28) de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada pelo fato de** que ainda compreende um mecanismo de acoplamento configurado:

para acoplar cinematicamente a cubeta (28) a um interferômetro (12); e

25 permitir a rotação do carrossel (110) através do interferômetro (12).

3. Cubeta (28) de acordo com a reivindicação 2, **caracterizada pelo fato de** que o mecanismo de acoplamento compreende pelo menos uma polia (138) acoplável a uma correia de movimentação (142).

30 4. Cubeta (28) de acordo com a reivindicação 3, **caracterizada pelo fato de** que o mecanismo de acoplamento proporciona o isolamento de vibração entre a cubeta (28) e o interferômetro (12).

5. Cubeta (28) de acordo com a reivindicação 2, **caracterizada pelo fato de** o mecanismo do acoplamento ainda compreende:

um mecanismo de correção configurado para proporcionar:
acoplamento da cubeta (28) e do interferômetro (12); e
5 alinhamento inicial da cubeta (28) e do interferômetro (12).

6. Cubeta (28) de acordo com a reivindicação 4, **caracterizada pelo fato de** a cubeta (28) adicionalmente compreender:

um pino de localizador configurado para posicionar a cubeta (28) em um plano paralelo ao mecanismo da correção; e;

10 um braço resiliente (184, 186) acoplado ao pino de localizador, o braço resiliente configurado para proporcionar uma força radial de encontro ao pino de localizador.

7. Cubeta (28) de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada pelo fato de** adicionalmente compreender:

15 uma parcela da entrada (160) representando uma primeira abertura, através da qual a solução possa entrar na cubeta (28); e

uma parcela do dreno (162) representando uma segunda abertura, através da qual a solução possa sair da cubeta (28).

8. Cubeta (28) de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada pelo fato de** que a cubeta é configurada para proporcionar a estabilização da temperatura de uma solução na mesma.

9. Cubeta (28) de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada pelo fato de** a cubeta ainda compreende uma sonda de temperatura configurada para monitorar a temperatura de uma solução na mesma.

25 10. Cubeta (28) de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada pelo fato de** que cada célula (112) compreende uma parede afunilada (114).

11. Cubeta (28) de acordo com a reivindicação 10, **caracterizada pelo fato de** que a parede afunilada (114) é configurada para facilitar a colocação de uma lente oftálmica na célula (112) sem deformação da lente colocada na célula (112).

12. Cubeta (28) de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada pelo fato de** que cada célula compreende pelo menos uma canaleta (116)

configurada para permitir que a solução flua através da mesma.

13. Cubeta (28) de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada pelo fato de** que o invólucro compreende policarbonato.

5 14. Cubeta (28) de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada pelo fato de** que o invólucro é opaco.

15. Cubeta (28) de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada pelo fato de** que a solução compreende pelo menos um dentre uma solução salina, uma solução salina revestida, água deionizada, e uma solução que compreenda um ativo farmacêutico.

10 16. Cubeta (28) de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada pelo fato de** que o centro da primeira janela e o centro da segunda janela estão alinhados, tal que uma lente oftálmica posicionada em uma célula (112) entre a primeira janela (120) e a segunda janela (122) é visível em sua totalidade através da primeira janela (120) e da segunda janela (122).

15 17. Cubeta (28) de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada pelo fato de** que cada célula compreende paredes que correspondem substancialmente ao formato de uma lente oftálmica tal que as ditas lentes não são deformadas quando posicionadas em uma célula.

20 18. Cubeta (28) de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada pelo fato de** ainda compreender uma janela do meio localizada na parte inferior do carrossel, entre as primeira e a segunda janelas.

19. Cubeta (28) de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada pelo fato de** que a segunda janela (122) da pluralidade de células é coplanar.

25 20. Cubeta (28) de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada pelo fato de** que a primeira janela (120) e a segunda janela (122) são configuradas para preservar uma colimação e uma coerência da luz que se propaga através das mesmas.

30 21. Cubeta (28) de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada pelo fato de** que a cubeta (28) é configurada para acomodar pelo menos uma lente oftálmica selecionada de um grupo de lentes oftálmicas que compreende: uma lente de contato dura, uma lente de contato de refração dura,

- uma lente de contato de difração dura, lente de contato de refração/de difração híbrida dura, uma lente de contato macia, uma lente de contato de refração macia, uma lente de contato de difração macia, lente de contato de refração/de difração híbrida macia, uma lente de contato dura que compreende
- 5 um ativo farmacêutico, uma lente de contato macia que compreende um ativo farmacêutico, lente de visão única, uma lente tórica, uma lente de contato bifocal, lentes multifocais, uma lente cosmeticamente matizada, uma lente de forma livre, uma lente intraocular, uma lente de refração intraocular, uma lente de difração intraocular, lente de refração/de difração híbrida intraocular,
- 10 uma lente obsequiosa, uma lente de óculos, uma lente de óculos de refração, uma lente de óculos de difração, e lente de óculos de refração/de difração híbrida, uma lente composta que compreenda uma pluralidade de materiais integrados, uma lente fotocromática, e um molde para a fabricação de uma lente.

12

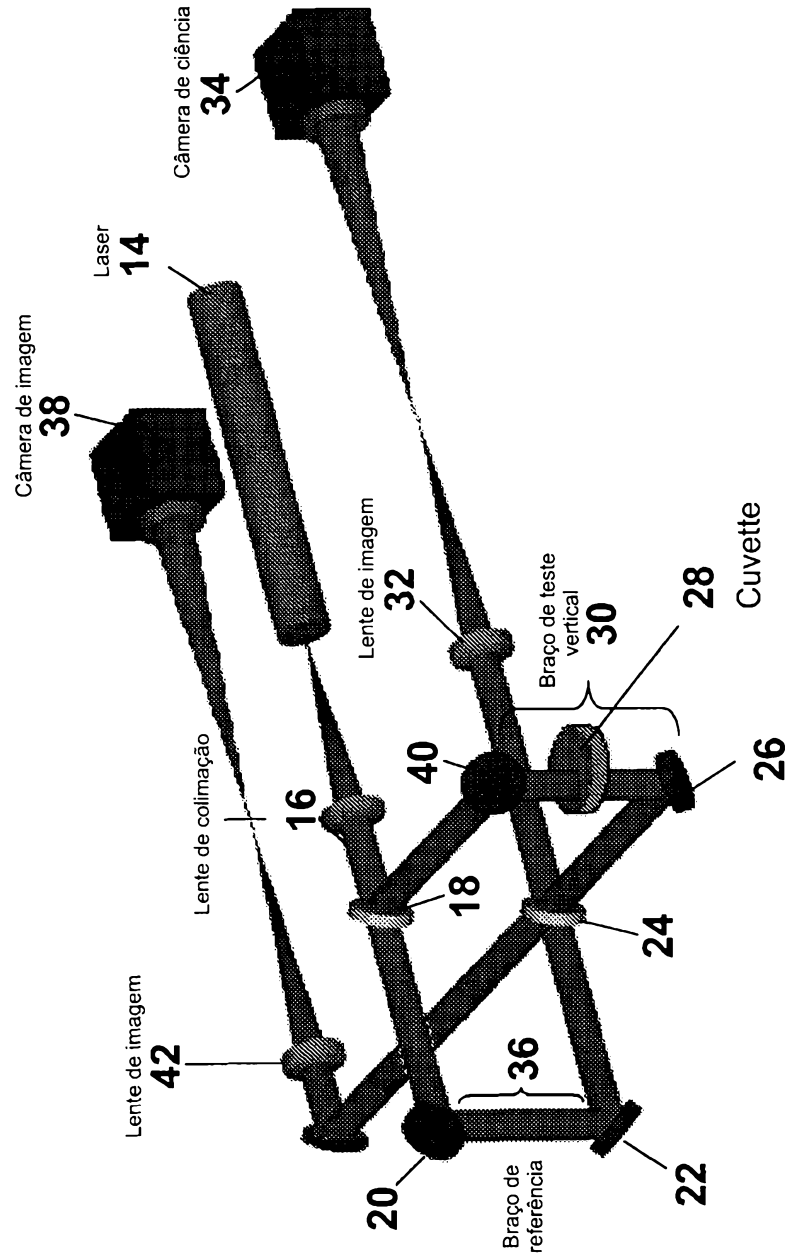


FIG 1

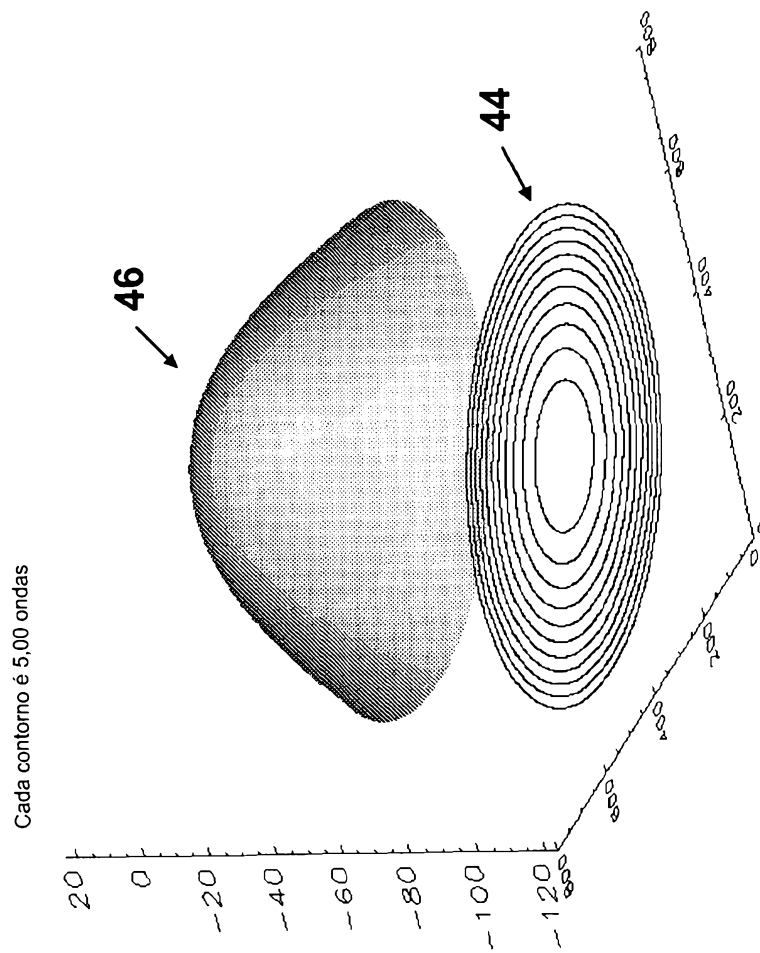
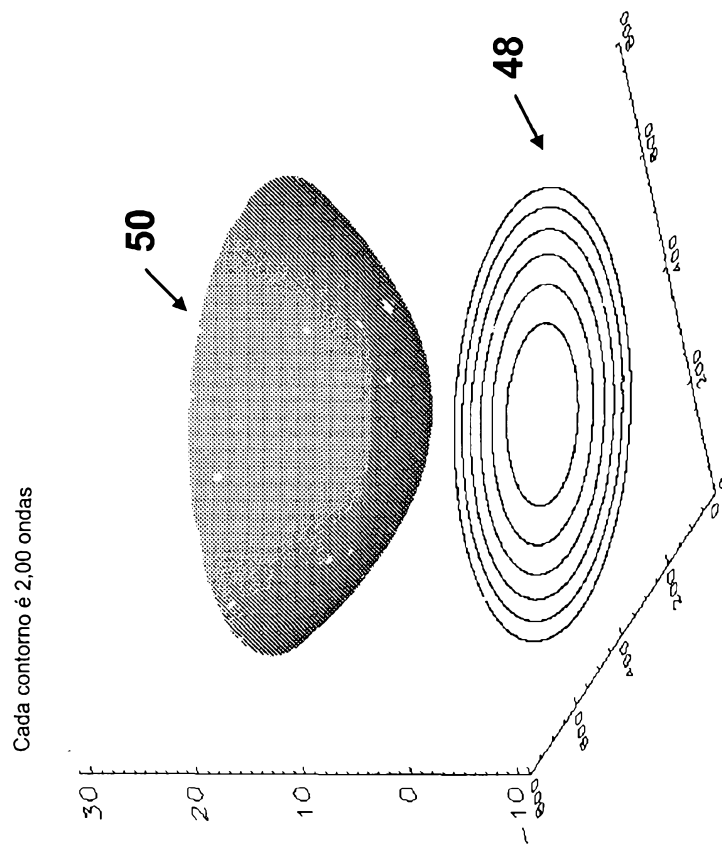
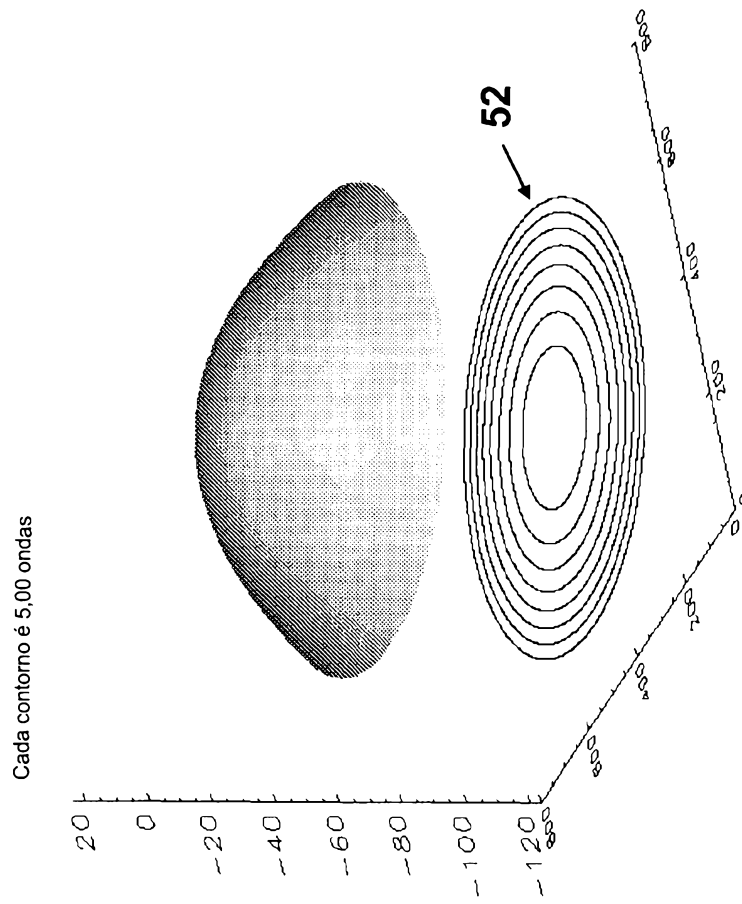


FIG 2

**FIG 3**

**FIG 4**

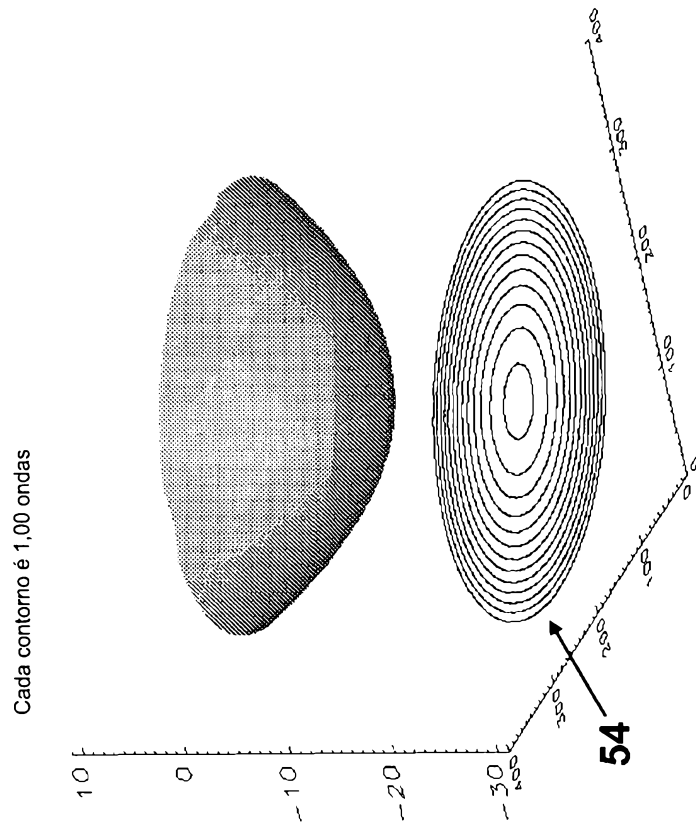


FIG 5

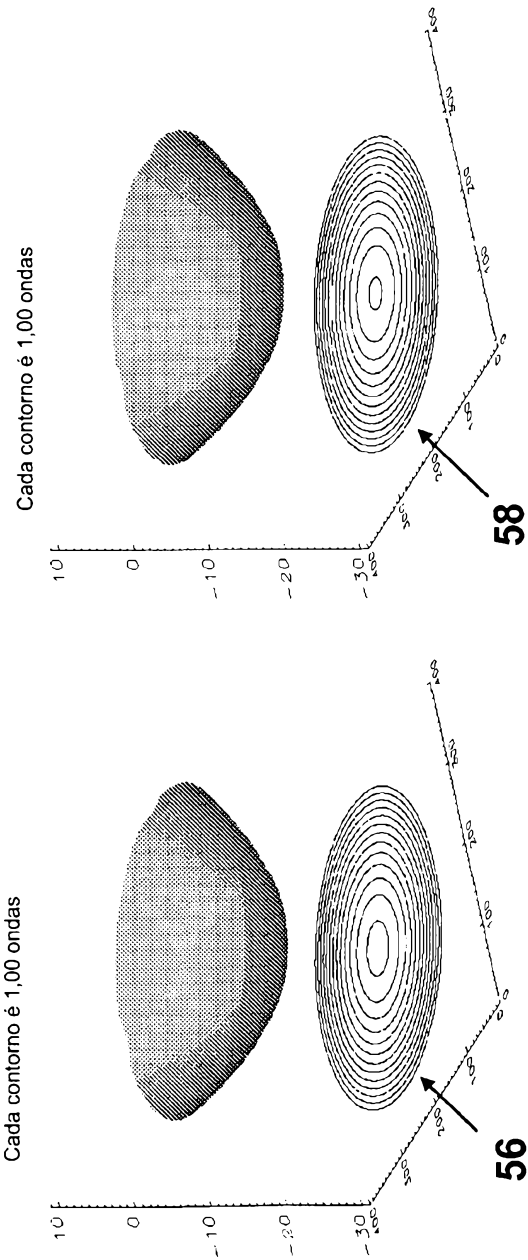


FIG 6

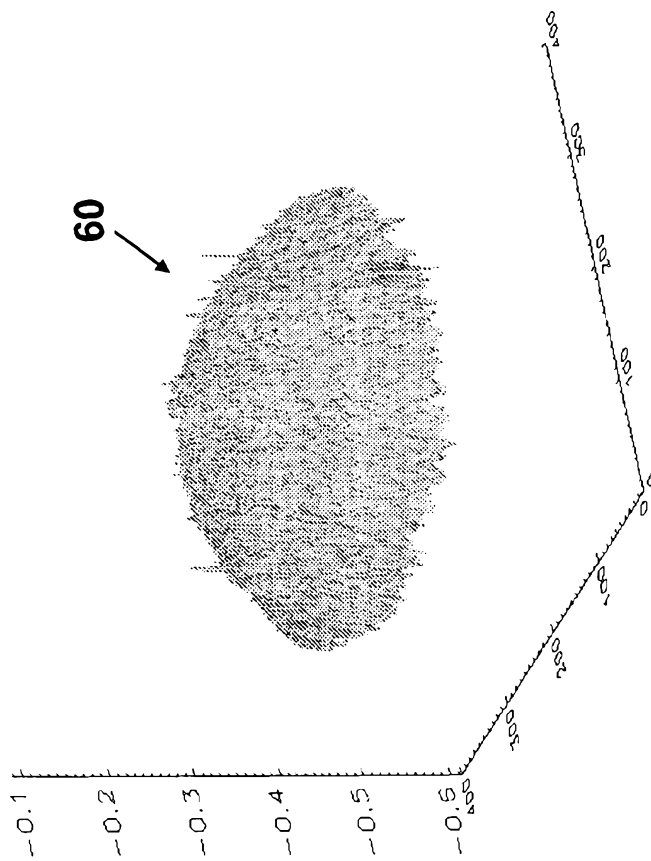


FIG 7

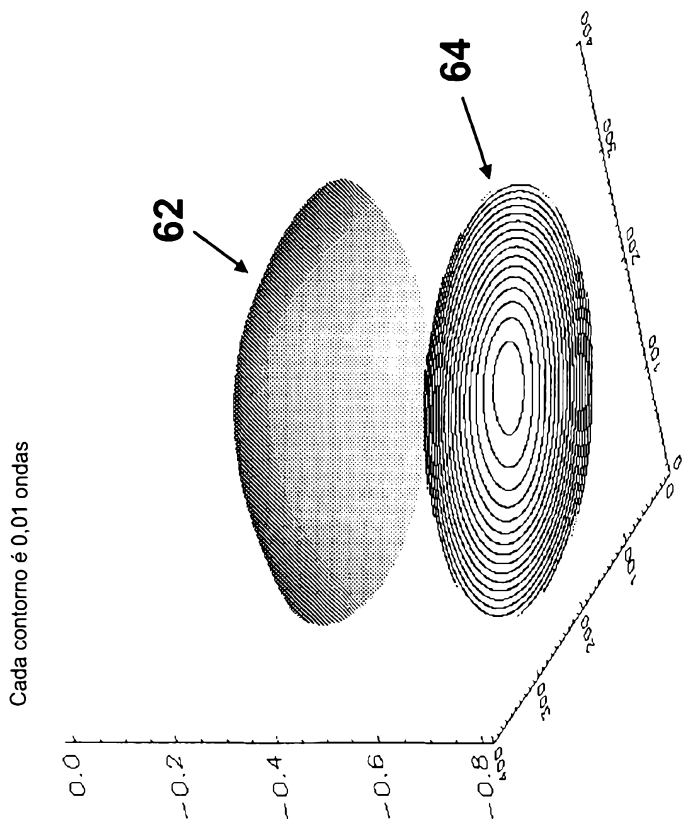
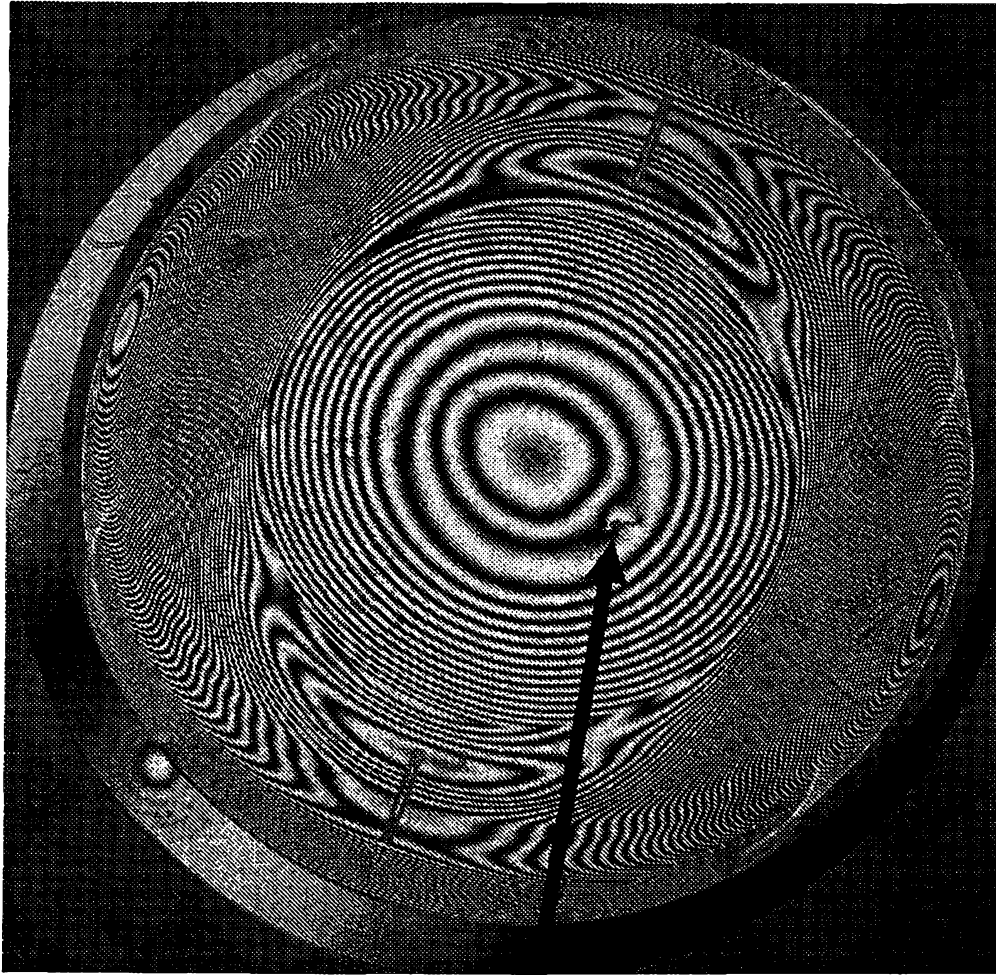


FIG 8

FIG 9



84

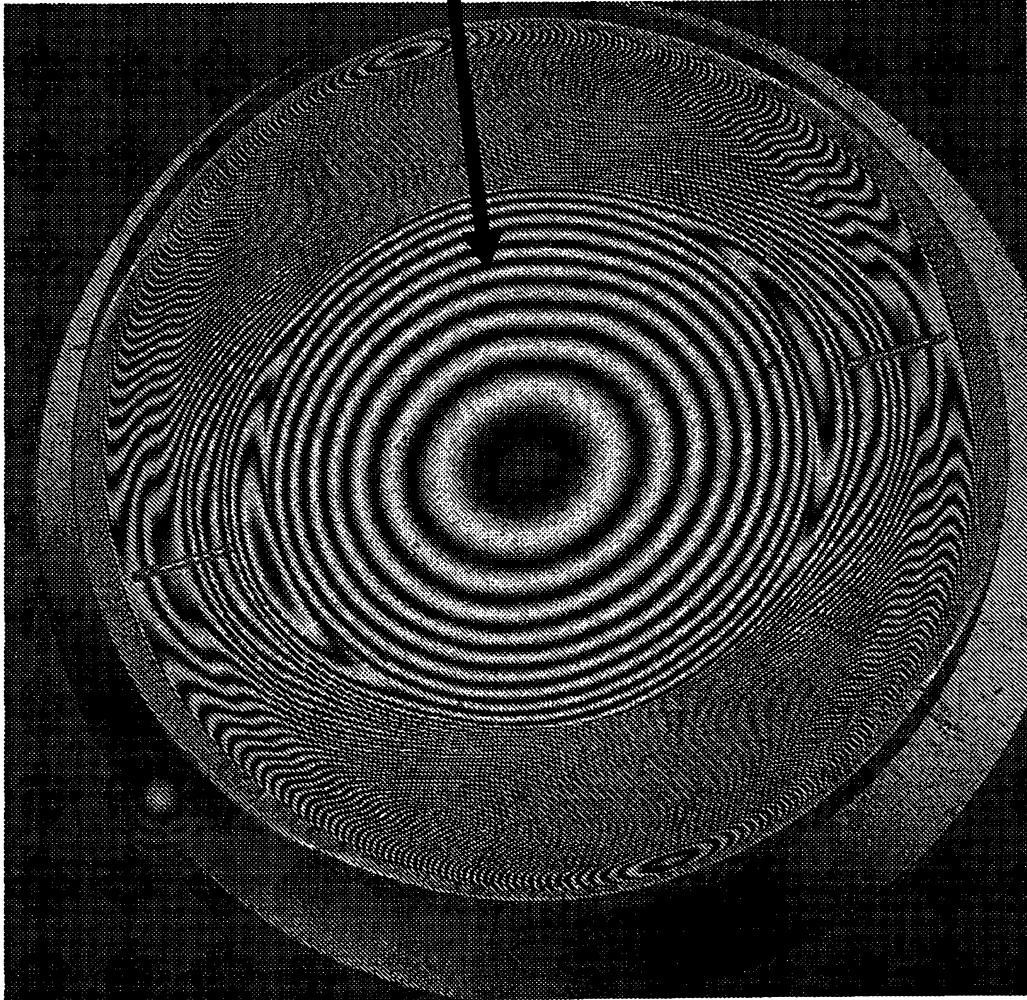


FIG 10

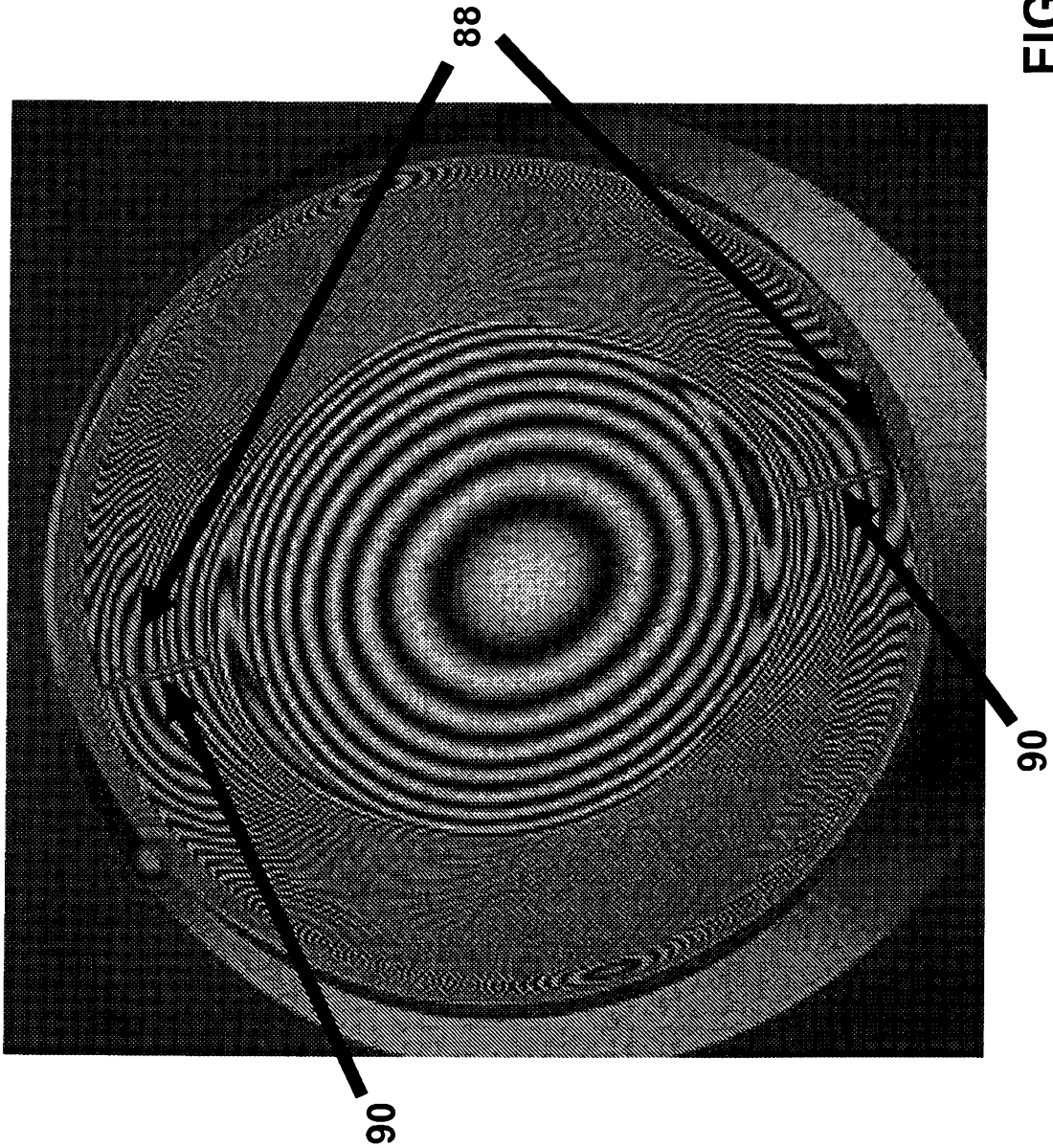


FIG 11

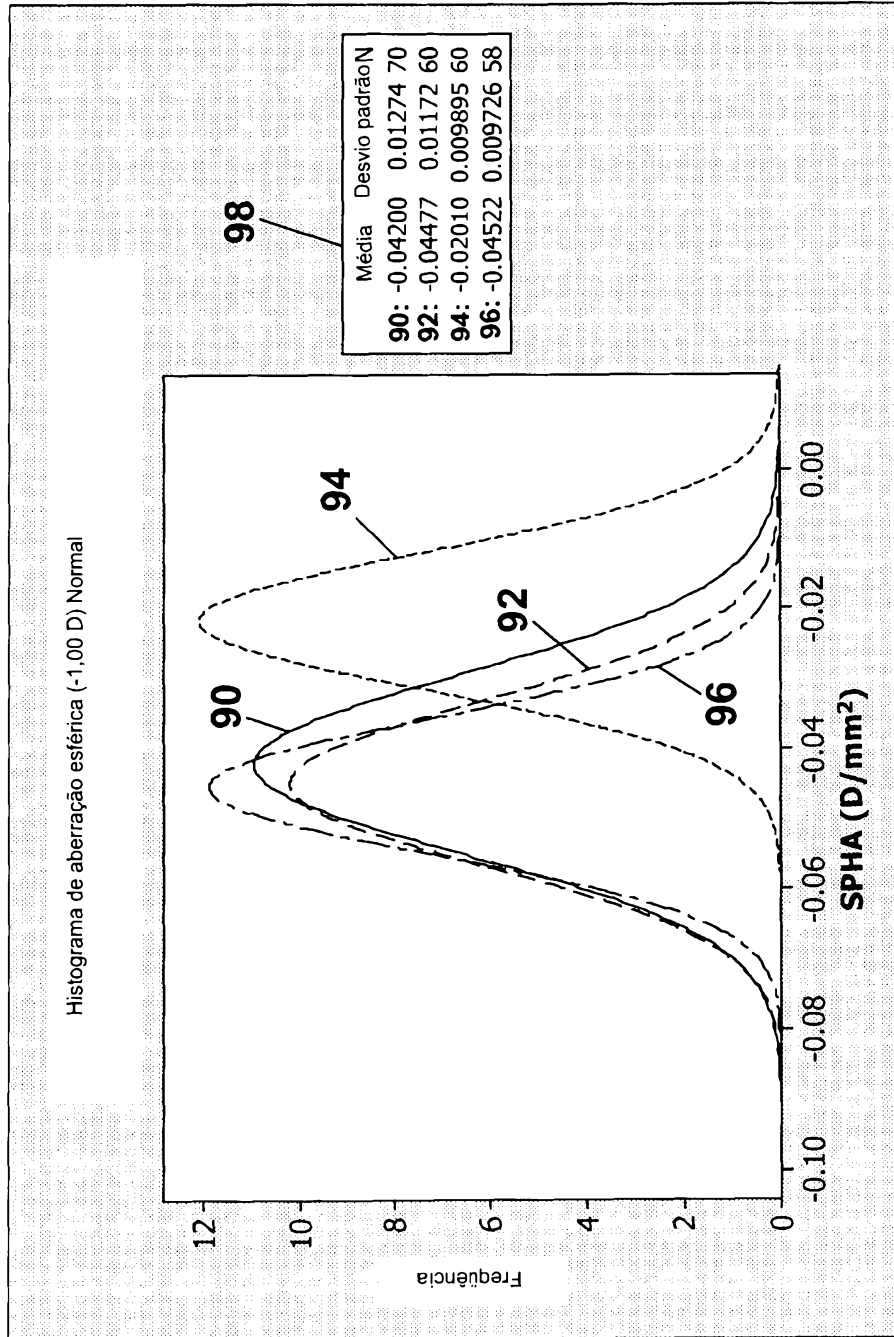


FIG 12

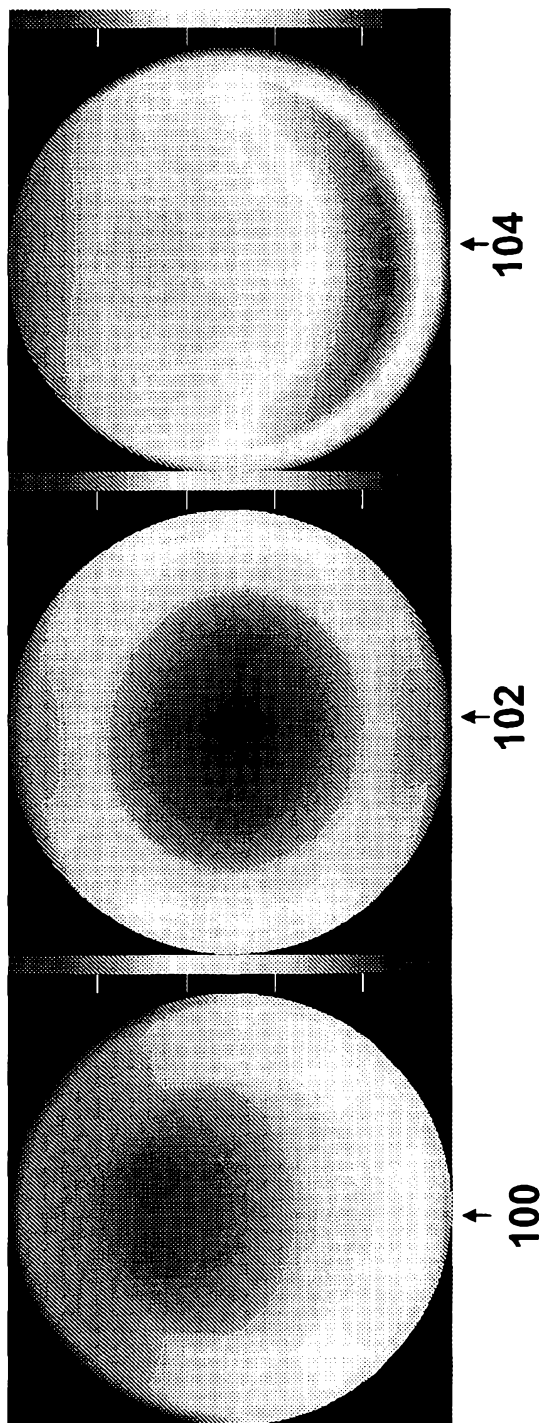


FIG 13

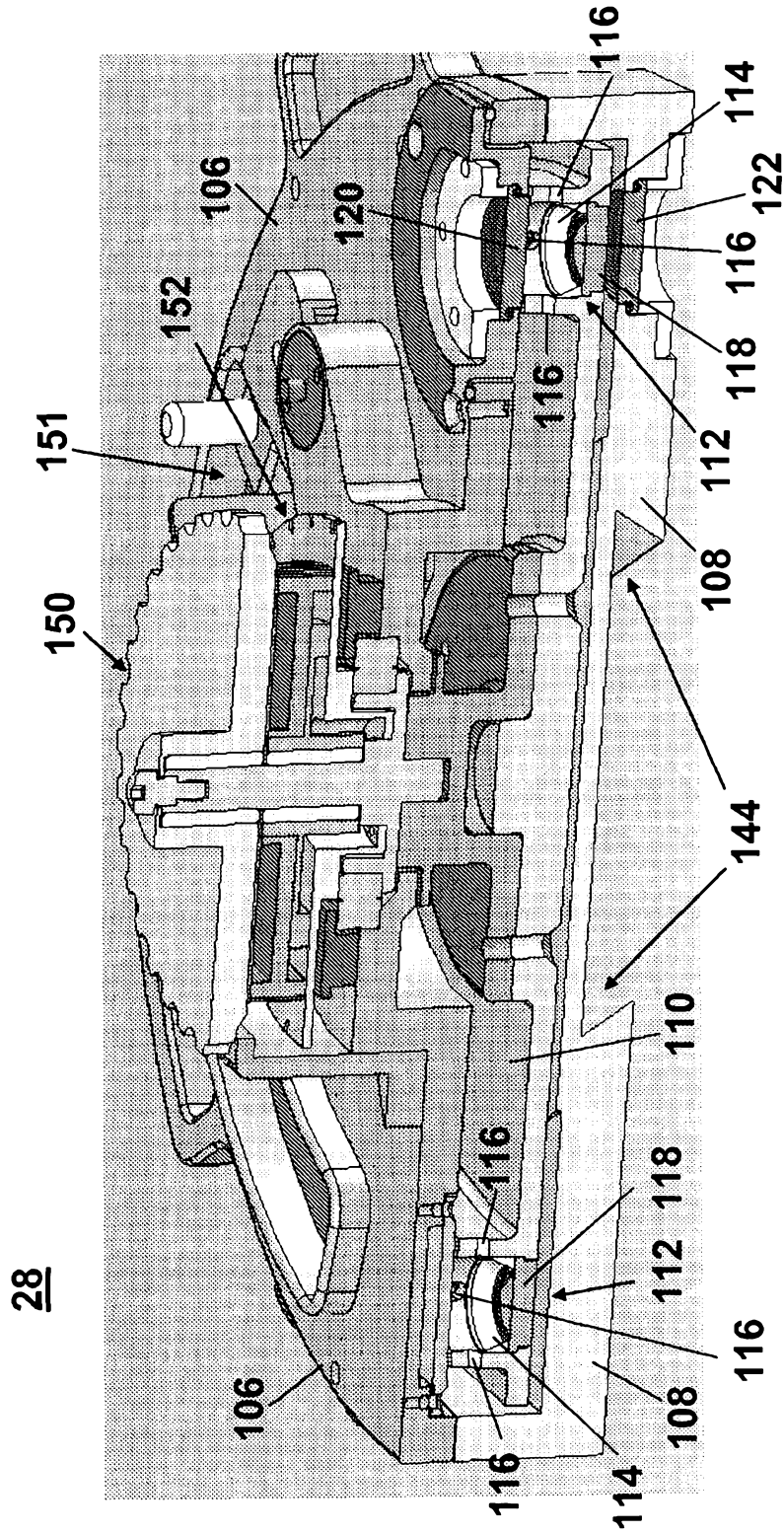
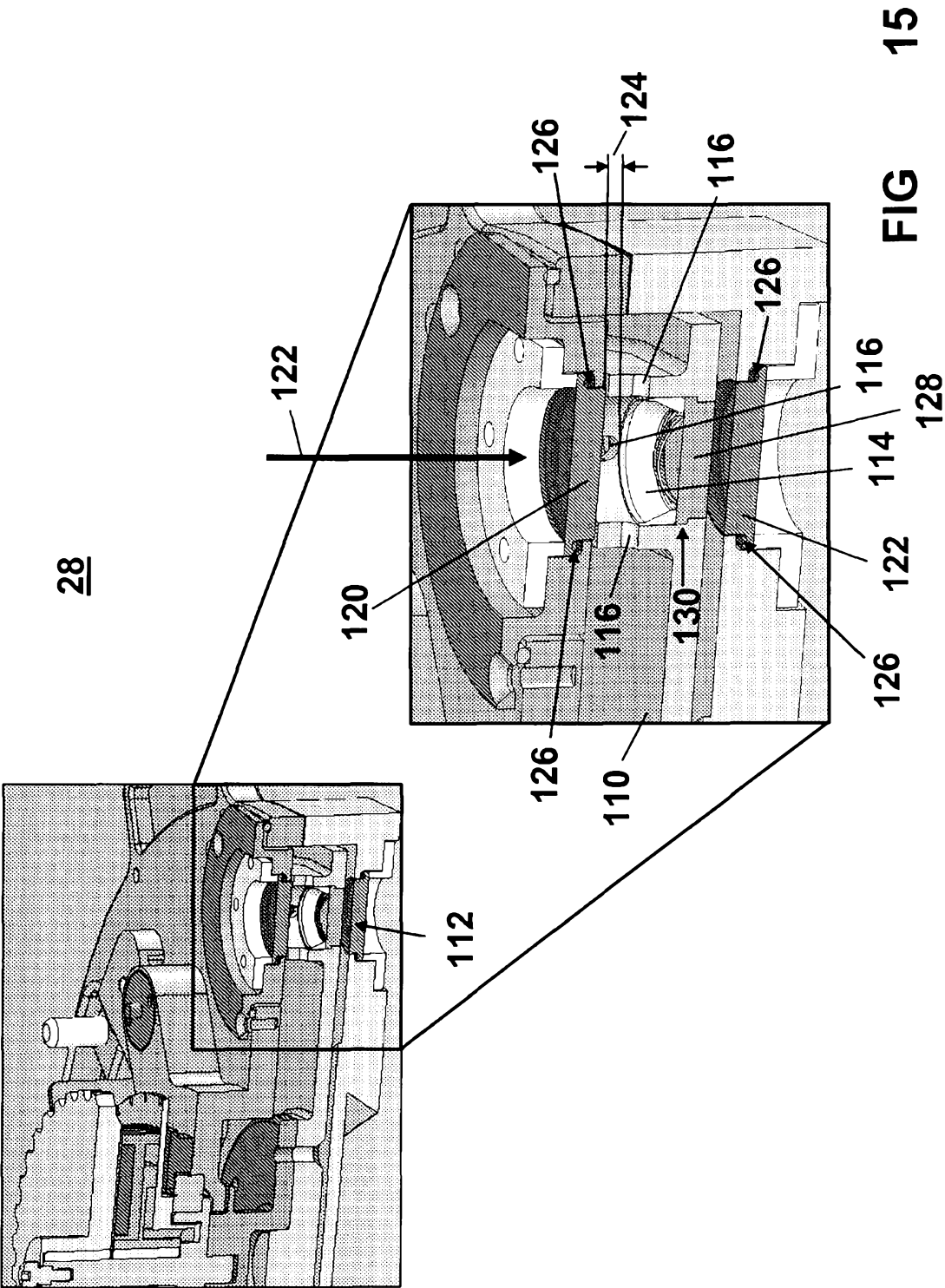


FIG 14



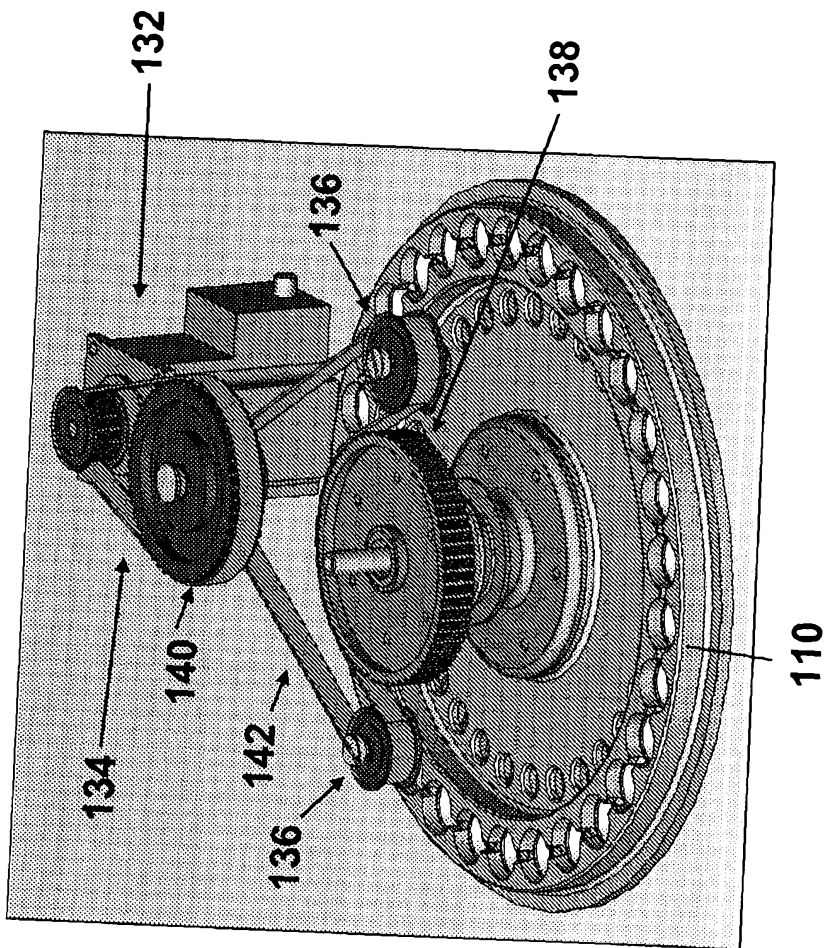


FIG 16

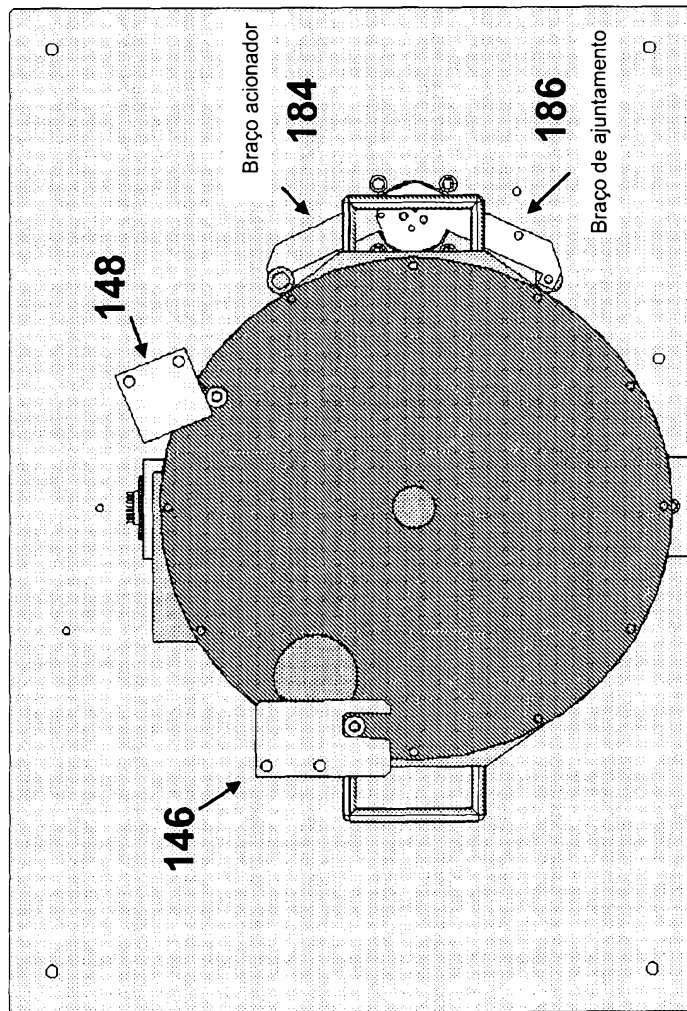


FIG 17

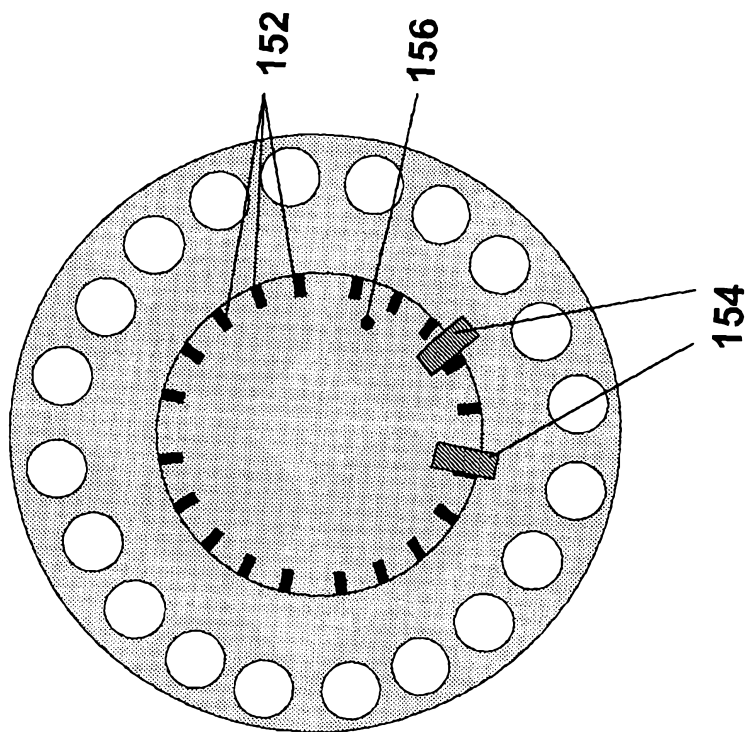


FIG 18

28

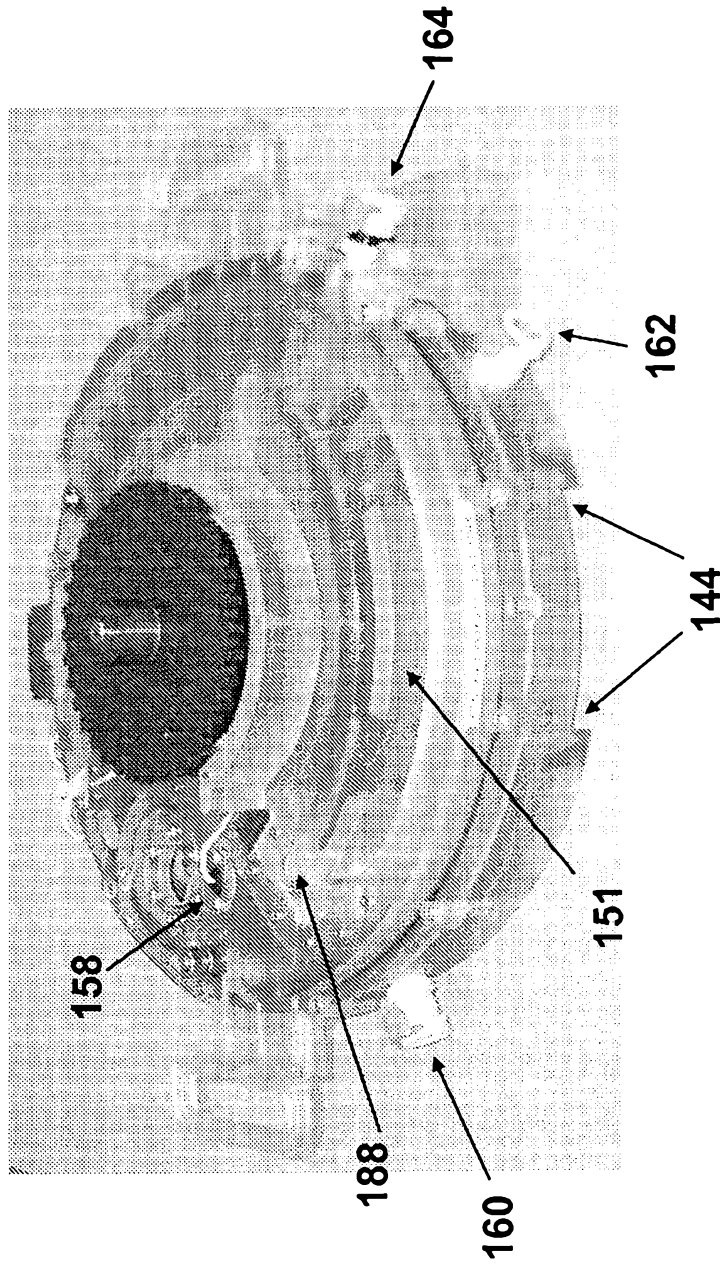


FIG 19

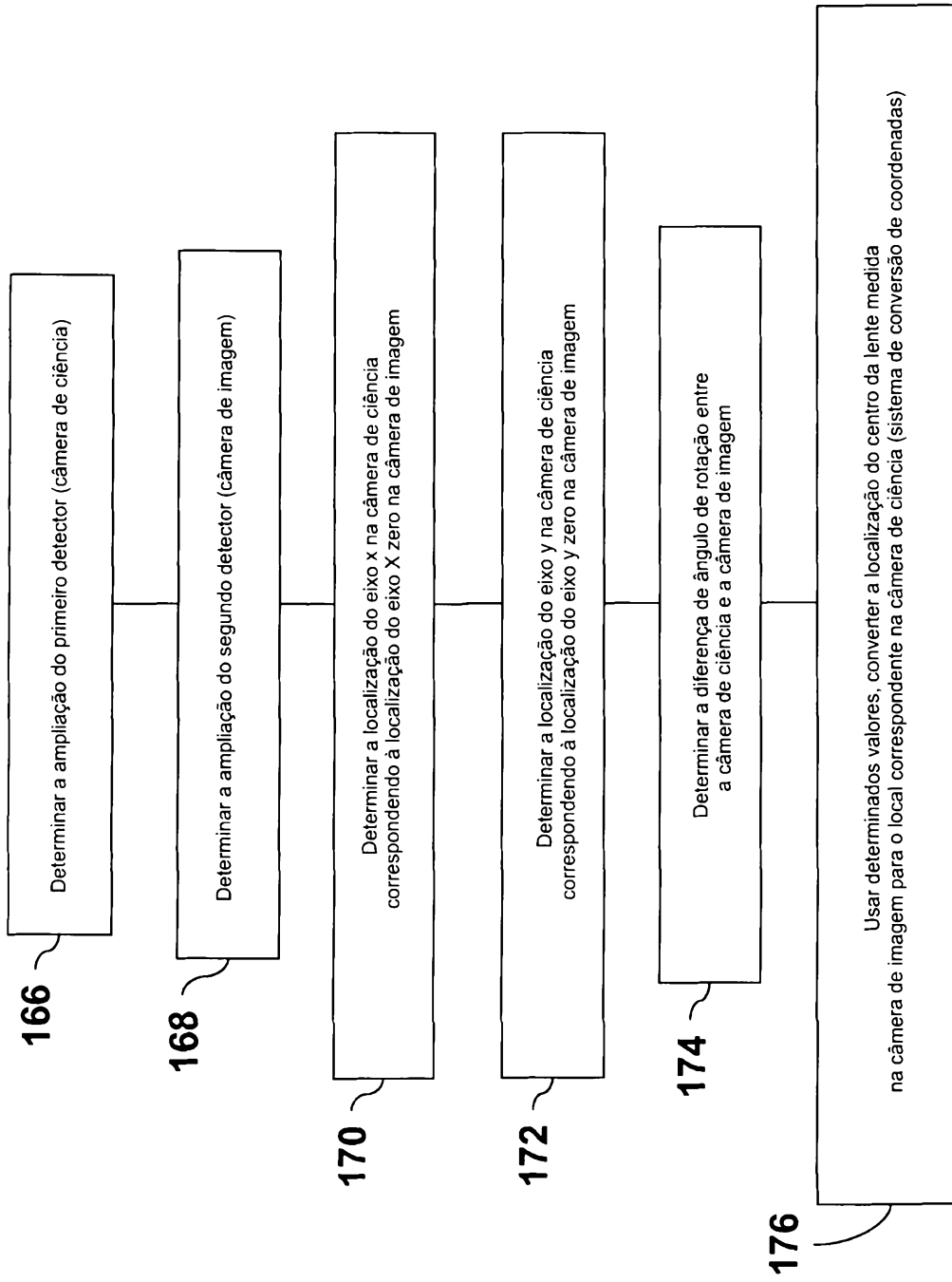


FIG 20

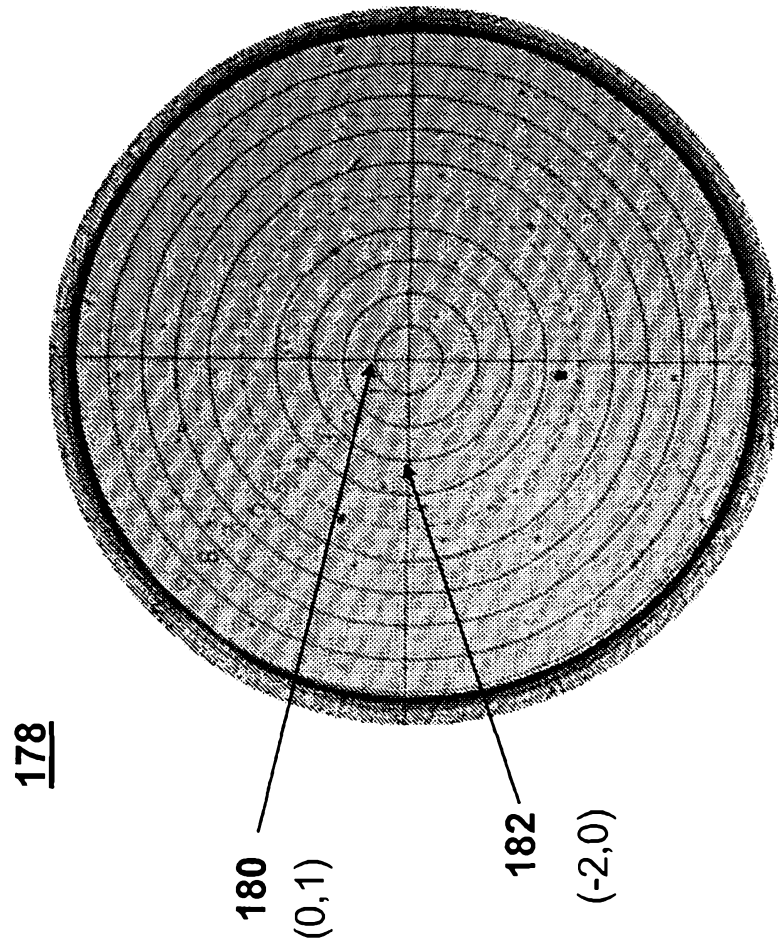


FIG 21