



INPI
INSTITUTO NACIONAL
DA PROPRIEDADE
INDUSTRIAL
Assinado
Digitalmente

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DA ECONOMIA
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL

CARTA PATENTE Nº PI 0708057-3

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 0708057-3

(22) Data do Depósito: 20/02/2007

(43) Data da Publicação do Pedido: 30/08/2007

(51) Classificação Internacional: A61F 9/01; B23K 26/04.

(30) Prioridade Unionista: DE 10 2006 007 750.4 de 20/02/2006.

(54) Título: APARELHO E MÉTODO PARA DETECTAR A POSIÇÃO FOCAL DE UM SISTEMA ÓPTICO

(73) Titular: WAVELIGHT AG, Companhia Alemã. Endereço: Am Wolfsmantel 5, 91058 Erlangen, ALEMANHA(DE)

(72) Inventor: OLAF KITTELMANN; PETER TRIEBEL.

Prazo de Validade: 10 (dez) anos contados a partir de 15/01/2019, observadas as condições legais

Expedida em: 15/01/2019

Assinado digitalmente por:
Alexandre Gomes Ciano

Diretor Substituto de Patentes, Programas de Computador e Topografias de Circuitos Integrados

“APARELHO E MÉTODO PARA DETECTAR A POSIÇÃO FOCAL DE UM SISTEMA ÓPTICO”

A invenção relaciona-se a um aparelho e um método para detectar a posição focal de um sistema óptico. Em particular, a invenção relaciona-se a um aparelho e um método para detectar a profundidade do foco de um sistema óptico de formação de imagem e ainda mais também a um aparelho e um método para controlar a posição focal e em particular a profundidade do foco. Ainda mais, a invenção também se relaciona a um aparelho de tratamento oftalmológico e/ou diagnóstico usando citado aparelho e/ou citado método.

No caso dos sistemas ópticos em discussão aqui, o sistema o sistema em questão é, em particular, um sistema óptico de formação de imagem em uma instalação de processamento de material usando fontes luminosas, tais como lasers e LEDs em particular. O processamento de material deveria ser entendido aqui como significando também a estruturação material na micro faixa, por exemplo, para materiais dielétricos, tal como um tecido biológico ou também materiais metálicos. Em particular, a invenção pode ser usada em sistemas ópticos oftalmológicos, especialmente em cirurgia refrativa da córnea, tal como LASIK, por exemplo. Uma área de aplicação particularmente adequada para a presente invenção, neste caso é fs-LASIK, cirurgia refrativa da córnea usando um laser *femtosegundo*.

Nos sistemas de formação de imagem óptica anteriormente mencionados, obter operações de processamento de material de alta precisão depende, entre outros, do controle exato da posição focal. “Posição focal” é entendido aqui, acima de tudo, significando não só a localização do foco na direção do eixo óptico (assim chamada profundidade de foco), porém mais geralmente a posição e orientação da radiação focalizada, então, por exemplo,

um desvio em relação ao eixo óptico ideal do sistema ou angularidade do eixo real da radiação óptica em relação ao eixo óptico ideal (desejado). No fs-LASIK é particularmente importante aderir à profundidade de foco calculada e esta é uma aplicação particular da presente invenção.

5 Em DE 10 2004 009 212 A1, um elemento de contato óptico para processamento de material a laser é apresentado. Este elemento de contato é usado na realização preferida para fs-LASIK. Neste caso, este elemento de contato consiste de uma estrutura óptica difrativa. Estas estruturas são destinada a minimizar os ângulos de incidência ocorridos
10 devido a aberturas numéricas altas das lentes. O elemento óptico difrativo (DOE) consiste aqui de uma estrutura em grade com período de gradeamento ajustado. Os períodos de gradeamento entre 2001/mm e 5001/mm. Valores na faixa de μm são indicados como tamanhos de pontos. Devido aos limites ópticos, somente é possível uma abertura numérica de aproximadamente 0,3.
15 O aumento da abertura é obtido usando um segundo elemento difrativo no caminho do feixe da lente. Este DOE é executado de modo similar como uma estrutura de grade circular com um período de gradeamento que se torna maior na direção do eixo óptico. Alcançar aberturas numéricas mais altas é indicado aqui como uma vantagem desta execução. Ainda mais, o elemento
20 de contato é executado curvo. O raio de curvatura corresponde ao raio de curvatura do olho, aproximadamente, 8 mm. O processamento de material é realizado com este raio de curvatura uniformemente pré ajustado. A anexação da sucção é executada similarmente a WO 03/002008 A1 e EP 1 159986 A2. O controle de foco não é realizado com este método apresentado.

25 Em EP 0 627 675 A1, um dispositivo óptico difrativo é apresentado para o mapeamento de um ou mais pontos no espaço a partir de um feixe. Aqui, a estrutura difrativa consiste similarmente de um arranjo tipo segmento de elementos difrativos binários ou multi estágios arbitrários. O arranjo pode ser um arranjo hexagonal ou hexangular, em particular. Então, o

mapeamento de um feixe de luz é obtido. Entretanto, somente uma intensidade ou/e transformação de fase é assegurada.

Em US 2002/0171028, é descrito um aparelho para controle de foco. Aqui, a luz de retorno é trazida por um caminho de feixe de formação de
5 imagem para interferir com um segundo feixe de raios e então é realizado o controle de onda interferométrico.

O controle de foco por meio do controle de frente de onda interferométrico é realizado de modo similar em US 6.666.857 B2. O controle de frente de onda ativo durante o processo de foto ablação no olho humano é
10 então alcançado por uma combinação de espelhos adaptivos. Nenhum controle de frente de onda ativo deve ser assegurado.

Em US 2004/0051976 A1, um arranjo óptico de um microscópio confocal, consistindo de uma fonte laser emitindo predominantemente na faixa espectral de UV, um expensor de feixe, um
15 arranjo de pontinhos difrativos e uma lente objetiva são descritos. Um arranjo de pontinhos difrativos não é descrito em sua realização exata. O aumento de eficiência pode ser visto como uma vantagem desta realização técnica, pois arranjos de pontinhos de amplitude possuem uma transmissão típica entre 4% e 10%, dependendo da relação de abertura. Com um arranjo de pontinhos
20 difrativos, por outro lado, valores de transmissão de tal elemento óptico de até 80% são possíveis, a dependência da relação de abertura ou do número de pontinhos sendo somente condicionada à fabricação.

Em US 2004/0021851, um arranjo óptico consistindo de um laser e óptica de conformação de feixe subsequente é usado para medir a
25 distância focal de lente desconhecida. A medição da distância focal é realizada neste caso focalizando sobre uma superfície de referência em várias distâncias. A porção da radiação que é refletida de volta é detectada. Os diâmetros de *spot* são então avaliados nas respectivas distâncias. A distância focal é determinada por meio da relação de Newton $Z Z' = f^2$. Uma grade

óptica, que não é descrita em grande detalhe, é usada para desacoplar a porção da radiação refletida de volta. O formalismo de matriz de Jones é similarmente aplicado para calcular a distância focal. A precisão do método é próxima de 1%.

5 Em US 6.909.546 B2, um arranjo óptico consistindo de uma fonte de luz (Nd:YAG2w) e é descrita a óptica de conformação de feixe subsequente. Neste caso, dois elementos ópticos difrativos são usados para homogeneizar a radiação laser. O primeiro dos dois DOE é usado aqui para homogeneização e filtragem de frequência espacial. Pontinhos subsequentes realizam a filtragem de frequência espacial. Dentro do sistema $2f$ está localizado o segundo DOE, que produz a distribuição de intensidade desejada no campo distante. O campo distante é produzido pela lente do campo ou pelo 2° DOE. A distribuição de intensidade desejada é produzida no foco. O controle de foco não é executado neste método.

15 O objetivo da invenção conseqüentemente é prover um aparelho e método com o qual a posição focal de um sistema óptico possa ser determinada precisamente.

 Para esta finalidade, a invenção provê um aparelho para detectar a posição focal de um sistema óptico com uma fonte de radiação, um sistema de formação de imagem de focalização, uma superfície pelo menos parcialmente refletiva no foco, um sistema de sensor digital adequado (por exemplo, câmera CCD, câmera CMOS ou similar) para gravar uma imagem que é refletida pela citada superfície, um computador para avaliar a imagem gravada pela câmera e um elemento óptico no caminho do feixe do sistema óptico a montante do sistema de imagem de focalização, cujo elemento óptico influencia a citada imagem, dependendo da posição focal.

25 Neste caso, a citada focalização do sistema de formação de imagem óptica é preferivelmente óptica de focalização com posição focal ajustável (variável), então em particular um sistema com o qual a localização

do foco é ajustável em uma direção paralela ao eixo óptico da imagem (então, a profundidade do foco). Em adição, em tal sistema a posição focal é usualmente também ajustável em uma direção perpendicular ao eixo óptico da radiação, por exemplo, em fs-LASIK.

5 O aparelho de acordo com a invenção e o método correspondente servem então em particular para a configuração e alinhamento inicial de um sistema óptico como aquele imediatamente anterior ao processamento de material em relação a um plano predeterminado, a assim chamada superfície, o foco é ajustado precisamente, em particular de tal modo
10 que permanece exatamente sobre esta superfície. Quando usado em LASIK, citado plano nulo é preferivelmente uma superfície que surge devido ao fato de que a córnea é anexada por sucção na área de interesse a uma superfície de referência (isto é conhecido como tal, pelo especialista LASIK). O disco de nivelamento, que é transparente para a radiação usada, é revestido em seu
15 lado faceando a córnea e ficando próximo desta, de tal modo que uma pequena percentagem da radiação incidente é refletida. Esta reflexão então produz a citada imagem da radiação focalizada neste plano nulo, cuja imagem é medida usando citada câmera e avaliada. Na focalização ideal, o foco deveria portanto, cair exatamente neste plano nulo (então essencialmente na
20 superfície da córnea nivelada no exemplo mostrado) e de acordo com a avaliação da imagem refletida, o sistema óptico é então ajustado de tal modo que a focalização seja ótima, então a posição do foco está exatamente neste plano nulo. O sistema óptico é então configurado e alinhado e pode ser usado para o processamento de material subsequente. No processamento de material
25 subsequente, a posição do foco é usualmente mudada em relação ao citado plano nulo. Então, no fs-LASIK, por exemplo, ao cortar a chamada aba, o foco é colocado no estroma e as posições de foco são variadas sucessivamente de ângulos retos com o eixo óptico, para produzir a aba. Isto é conhecido deste modo. A configuração inicial do sistema conforme descrita acima

garante o posicionamento exato dos focos nos pontos alvo desejados.

Em outras operações de processamento de material, o plano nulo, que também pode ser descrito como o plano de referência, pode ser definido diferentemente e não tem necessariamente que coincidir com a superfície do material a ser processado. A radiação focalizada sobre o plano nulo e a medição da imagem refletida neste plano fornece calibração do sistema óptico de tal modo que a configuração das propriedades de formação de imagem óptica do sistema óptico para o estado ideal de focalização exatamente no plano nulo, é conhecida devido à medição de imagem, de tal modo que, ao começar a partir destas configurações do sistema óptico, a posição focal pode ser mudada de acordo com o processamento de material desejado, por exemplo, no interior da córnea.

De acordo com uma configuração, citado elemento óptico, que influencia a imagem de foco a ser medida dependendo da posição focal, é uma matriz de diafragma (assim chamado arranjo de pontos).

O elemento óptico pode também ser um assim chamado elemento óptico difrativo (DOE), que produz uma configuração de pontos na distribuição de campo distante (conhecida como tal aos especialistas na técnica e não explicada em maior detalhe aqui).

Citado elemento óptico pode ser arranjado no caminho de feixe da imagem refletida entre a superfície refletida e a câmera, ou também fora deste caminho de feixe. Resultam vantagens em cada caso, de acordo com o tipo de aplicação.

A amplitude (intensidade) ou fase (frente de onda) da imagem refletida pode ser preferivelmente influenciada localmente pelo elemento óptico e as porções de desfocalização da frente de onda podem ser tornadas visíveis.

É também possível prover citado elemento óptico no caminho do feixe, ambos sensivelmente em fase e sensivelmente em amplitude, em

particular uma combinação destes.

De acordo com uma configuração preferida, o elemento óptico produz uma configuração de pontos, em particular uma configuração de pontos regular, na forma de uma matriz.

5 A invenção também provê um método para detectar a posição focal de um sistema óptico, no qual a radiação de uma fonte de radiação é mapeada via sistema de formação de imagem de focalização em um plano focal e onde, para determinar a posição focal do sistema óptico, incluindo o sistema de formação de imagem, é produzida uma imagem no foco, que é ali
10 refletida e é gravada por uma câmera, onde um elemento óptico influencia a imagem gravada, dependendo da focalização da radiação, e dependendo da citada influência da imagem, informação sobre a posição focal da radiação focalizada no ponto focal visualizado, é derivada.

Exemplos práticos da invenção são descritos em maior detalhe
15 abaixo, com referência ao desenho.

Figura 1 mostra esquematicamente um primeiro exemplo prático de um sistema óptico com um aparelho para detectar uma posição focal;

Figura 2 mostra um segundo exemplo prático de um sistema
20 óptico com um aparelho para detectar uma posição focal;

Figura 3 mostra esquematicamente um exemplo prático de um arranjo de acordo com a Figura 2, com representação esquemática das distribuições de fase da radiação no sistema e uma matriz de orifícios;

Figura 4 mostra um exemplo prático de um arranjo de acordo
25 com a Figura 2, com um elemento óptico difrativo; e

Figuras 5, 6 mostram exemplos práticos de imagens gravadas por uma câmera com mapeamento de focalização na maneira de uma matriz de orifícios com focalização exata e/ou erros de focalização.

De acordo com a Figura 1, um sistema óptico 10 possui uma

fonte de luz 12 que pode ser, por exemplo, um laser, (tal como um laser fs, por exemplo) ou um LED etc. A radiação emitida pela fonte de luz 12 passa através de um espelho de saída 14 e é focalizada por um sistema de formação de imagem de focalização 16 em um plano 18. O sistema de formação de

5 imagem de focalização 16 é apenas indicado esquematicamente nas figuras por uma lente única. Normalmente, o sistema de formação de imagem de focalização 16 tem diversas lentes, das quais uma ou mais podem ser atuadas para configurar e mudar o foco. Tais sistemas de formação de imagem óptica são conhecidos deste modo.

10 Na Figura 1, áreas (pontos) são marcadas pelos sinais de referência 20a e 20b, nos quais um elemento óptico descrito em maior detalhe abaixo deve ser posicionado opcionalmente. Exemplos de tais elementos ópticos são os elementos ópticos 34 e 36 mostrados nas Figuras 3 e 4.

A radiação refletida pela superfície refletiva 18 passa via

15 sistema de formação de imagem de focalização 16 e, se aplicável, via elemento óptico arranjado na área 20a e descrito em detalhe adicional abaixo, até o espelho de saída 14 e é defletida para cima a partir daí, na Figura 1, via óptica de formação de imagem 22 para uma câmera digital 24, por exemplo, uma assim chamada câmera CCD com alta resolução local. A imagem digital

20 gravada pela câmera 24 é inserida em um computador C e avaliada aqui, conforme descrita em mais detalhe adicionalmente abaixo.

Figura 2 mostra um exemplo prático modificado, com componentes e características tendo as mesmas ou funções similares sendo providas pelos mesmos sinais de referência. No exemplo de acordo com a

25 Figura 2, um expensor de feixe (telescópio) consistindo dos elementos ópticos 26, 28 é provido para expandir o feixe antes de sua focalização com o sistema de formação de imagem de focalização 16. Ao invés do telescópio de Keppler mostrado na figura, um outro sistema de conformação de feixe pode também ser usado em seu lugar. Geralmente, o sistema óptico designado como um

“expansor de feixe” na Figura 2 pode também ser um sistema de conformação de feixe.

Conforme já mencionado acima, um elemento óptico pode ser
 5 arranjado nas áreas 20a e/ou 20b de acordo com as Figuras 1 e 2 que,
 dependendo da focalização mais ou menos ótima por meio do sistema de
 formação de imagem de focalização 16 sobre a superfície refletiva 18,
 influencia a imagem descrita acima, que foi produzida por reflexão e gravada
 pela câmera 24, e assim facilita uma conclusão quanto à focalização sobre o
 10 plano correspondente à superfície refletiva 18 ser precisamente aquela que é
 desejada, ou se a posição focal é deslocada em relação a este plano, por
 exemplo, cai longe demais adiante ou longe demais atrás na direção do eixo
 óptico (também chamada profundidade de foco).

De acordo com a Figura 3, uma máscara de sombra 34 é
 15 arranjada como um elemento óptico no presente sentido no caminho de feixe
 a montante do sistema de formação de imagem de focalização 16.

No caso ideal, o sistema de formação de imagem de
 focalização 16 é então configurado de tal modo que a radiação proveniente da
 fonte de luz 12 é focalizada precisamente no plano 18 em um ponto
 predeterminado. O foco é marcado na Figura 3 pelo sinal de referência 18a. O
 20 exemplo prático de acordo com a Figura 3 corresponde ao exemplo de acordo
 com a Figura 2, com um expansor de feixe na área indicada pelo sinal de
 referência 32. As distribuições de fase são também marcadas simbolicamente
 aqui pelos sinais de referência 30a, 30b, 30c.

O elemento óptico 34 é uma matriz de furos com NxM
 25 orifícios individuais no arranjo regular mostrado. O elemento óptico pode ser
 executado neste exemplo prático como um elemento relacionado a amplitude
 puro, influenciando então intensidades da radiação. Os diâmetros de furo
 típicos na máscara de sombra permanecem entre 1 μm e 100 μm . Os orifícios
 podem ser em particular hexangulares, quadrados, hexagonais ou também

circulares. O arranjo dos orifícios individuais é orientado para o perfil de feixes usados e as exigências a respeito de precisão com relação à posição focal. Com o sistema escrito, posições focais podem ser determinadas com precisão de uns poucos μm . Uma vez que a radiação no caminho para o plano 18 e a imagem refletida no plano 18 passam, cada uma, através do elemento óptico 34, a imagem medida pela câmera 24 é influenciada, dependendo da precisão da focalização do plano 18. Uma mudança na posição focal em relação ao plano 18 (que é o plano nulo definido acima) de uns poucos micro metros pode ser detectada pela avaliação da imagem gravada pela câmera 24 no computador C.

É também possível determinar a saída de radiação ocorrida no foco, pela integração das intensidades medidas pela câmera 24 nos pontos de imagem individuais.

Figura 5 mostra, por meio de exemplo e esquematicamente, imagens de reflexão obtidas e avaliadas desta maneira. Neste caso, a Figura 5 mostra, no meio da imagem de orifícios tipo matriz obtida no caso em que o sistema óptico, incluindo o sistema de formação de imagem de focalização 16 é configurado de tal modo que a focalização permanece exatamente no ponto desejado no plano nulo 18. Conforme estabelecido, a superfície refletida para produzir a imagem medida também permanece neste plano 18. Como a imagem de orifícios na Figura 5, intermediária, mostra, na imagem refletida os orifícios individuais são iluminados de modo inteiramente homogêneo, sem uma porção esférica, de acordo com o perfil do feixe de entrada.

Na imagem de orifício esquerda, a Figura 5 mostra um deslocamento da posição focal recuada de aproximadamente 100 μm em relação ao plano nulo 18. Comparada com a focalização exata (Figura 5, meio), a avaliação de imagem produz uma modificação dos pontos da imagem individual na matriz e o computador C é calibrado para avaliação, de tal modo que “reconhece” este desvio. A calibração do computador pode ter lugar, por

exemplo, experimentalmente, de tal modo que, usando o sistema de formação de imagem óptica conhecido, mudanças na imagem refletida produzida são gravadas e armazenadas especificamente, dependendo da posição focal, de tal modo que então a posição focal pode ser determinada por comparação com
5 imagens realmente medidas.

À direita, Figura 5 mostra desfocalização por $-100\text{ }\mu\text{m}$ com uma dispositivo de fototerapia de lente de 50 mm com modificação correspondente da imagem de orifício comparada com a focalização ideal. Falando em geral, a assimetria da imagem, conforme mostrado à esquerda e
10 direita na Figura 5, permite análise da focalização. Se, com base na avaliação de imagem usando o computador C, esta análise resulta em uma distribuição de brilho assimétrica na imagem, então elementos do sistema de formação de imagem de focalização 16 podem ser mudados até que a avaliação de imagem mostre que o foco permanece exatamente no plano 18.

Figura 4 mostra um exemplo prático do aparelho para detectar a posição focal de um sistema óptico 10, no qual o elemento óptico é arranjado na área 20d no exemplo prático de acordo com a Figura 2, então de tal modo que a imagem refletida no plano 18 não passa através do elemento óptico 36 em seu caminho para a câmera 24.
15

O elemento óptico 36 neste caso é um elemento óptico difrativo (DOE) que forma, por exemplo, um divisor de feixe “1 para N”, e então divide um único feixe incidente em N feixes únicos, onde N pode variar, por exemplo, entre 2 e 50. A divergência causada pelo elemento óptico 36 pode ser corrigida refrativamente ou difrativamente por uma segunda
20 estrutura (não mostrada). Vários elementos ópticos difrativos podem também ser arranjados um atrás do outro, dependendo do perfil do feixe e análise desejada. Uma vantagem de um arranjo com elementos ópticos difrativos é a possibilidade de correção da distribuição de fase incidente. A distribuição de fase pode ser influenciada por ambas fonte de luz e elementos ópticos
25

seguintes, então em particular o expensor de feixe. Neste exemplo prático também, analogamente à descrição com referência à Figura 3, a imagem refletida no plano 18 é gravada pela câmera 24 e avaliada no computador C. Figura 6 mostra três imagens gravadas pela câmera 24 no caso em que o elemento óptico difrativo produz uma distribuição de radiação como matriz, onde a imagem à direita na Figura 6 mostra o caso de focalização ideal com iluminação relativamente uniforme dos pontos de imagem individuais. Na Figura 6, esquerda, é mostrado o caso no qual a posição focal se desvia lateralmente do ponto de formação de imagem ideal 18a, para ser preciso, de várias centenas de micro metros. Pontos de imagens individuais são iluminados assimetricamente. Figura 6, no meio, mostra uma posição focal deslocada lateralmente em uma outra direção, onde os pontos de luz em forma de matriz individuais são similarmente iluminados menos simetricamente do que no caso de focalização ideal de acordo com a imagem na Figura 6, à direita.

Um elemento óptico 36 na forma de um DOE tem a vantagem, comparado com a matriz de orifícios de alta transmissão. Com um elemento difrativo, eficiência entre 80 e 90% pode ser tipicamente alcançada. Tal arranjo também facilita dinâmica muito alta na avaliação da posição focal, isto é, desvios do foco da posição alvo ideal podem ser estabelecidos através de uma ampla faixa.

É também possível arranjar o elemento óptico difrativo 36 nas áreas 20a de acordo com as Figuras 1 e 2.

O elemento óptico difrativo pode também ser executado como um elemento binário ou também como uma assim chamada estrutura gradeada multi nível. As estruturas gradeadas podem ser de uma dimensão ou também de duas dimensões.

Se um arranjo de acordo com as Figuras 1, 2, 3 ou 4 é usado em fs-LASIK, então a superfície refletiva 18, que define o plano nulo

explicado acima, pode ser, por exemplo, a parte posterior de um disco transparente em um aparelho de sucção conhecido deste modo, que é construído (revestido ou não revestido) de tal modo que uma pequena percentagem da radiação incidente é refletida para obter a imagem a ser gravada pela câmara 24.

Os seguintes são usados em particular como elementos ópticos difrativos: gradeamentos, lentes de zona de Fresnel, assim chamados elementos de conformação de feixe, etc. Os assim chamados componentes ópticos refrativos podem também ser usados como elemento (36): por exemplo, arranjos de micro lentes, elementos de conformação de feixe, etc. Se o elemento óptico 34 é usado para análise de amplitude, então máscaras de sombra ou também arranjos de orifícios em qualquer geometria tal como quadrada, hexangular, hexagonal, etc. são particularmente adequadas, dependendo do tipo de feixe e objetivo de análise.

O elemento óptico pode também ser formado como uma fenda ou como um arranjo de várias fendas.

Usando os arranjos descritos, não só a posição focal pode ser determinada e controlada, como divergências de feixe, saídas de laser, desvios da radiação do eixo óptico, desvios no assim chamado produto de feixe M^2 ou mudanças no perfil do feixe de saída da fonte de luz 12 podem também ser detectados, uma vez que todos estes parâmetros de feixe podem ter uma influência na imagem refletida gravada pela câmara 24. Com relação a todos estes parâmetros de feixe, o computador C pode ser provido experimentalmente de antemão de uma base de dados através de tentativas objetivadas, cuja base de dados designa desvios dos valores alvo ideais, cada um dos quais corresponde a alterações de imagem, para parâmetros de feixe individuais, de tal modo que o sistema é ajustável para valores ideais pela intervenção com variáveis de correção correspondente. O uso de elementos ópticos difrativos aqui facilita a compensação de quaisquer alterações de fase

ocorrendo possivelmente no caminho do feixe, que podem também influenciar a posição focal. O sensor de Hartmann Shack, conhecido como tal, não facilita tal análise.

REIVINDICAÇÕES

1. Aparelho para detectar a posição focal de um sistema óptico (10), com uma fonte de radiação (12), um sistema de formação de imagem de focalização (16), uma superfície refletiva (18) pelo menos parcialmente no
5 foco (18a), um sistema de sensor digital (24) para gravar uma imagem refletida pela citada superfície (18), um computador (C) para avaliar a imagem gravada pelo sistema de sensor digital (24) e com um elemento óptico (34; 36) no caminho do feixe do sistema óptico (10) a montante do sistema de formação de imagem de focalização (16), caracterizado pelo fato
10 de que o sistema óptico (10) é um arranjo LASIK e que o elemento óptico (34; 36) no caminho de feixe influencia a fase ou amplitude de dita imagem dependendo na posição focal, em que a superfície parcialmente refletida (18) reflete uma pequena porcentagem da radiação incidente para obter a imagem a ser gravada usando o sistema de sensor digital.
- 15 2. Aparelho de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o elemento óptico (34; 36) é uma matriz de orifícios.
3. Aparelho de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o elemento óptico (34; 36) é um elemento óptico difrativo.
4. Aparelho de acordo com qualquer uma das reivindicações
20 precedentes, caracterizado pelo fato de que o elemento óptico (34) é arranjado no caminho do feixe da citada imagem refletida.
5. Aparelho de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizado pelo fato de que o elemento óptico (36) é arranjado fora do caminho do feixe da imagem refletida.
- 25 6. Aparelho de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizado pelo fato de que o elemento óptico (34; 36) possui uma estrutura gradeada.
7. Aparelho de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pelo fato de que o elemento óptico difrativo (34; 36) produz uma

configuração de pontos, em particular uma configuração de pontos na forma de uma matriz.

8. Aparelho de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizado pelo fato de que a fonte de radiação (12) é um laser fs.

9. Aparelho de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizado pelo fato de ser com meios para configurar a formação de imagem do sistema óptico (10), dependendo da avaliação do computador.

10. Método para detectar a posição focal de um sistema óptico (10) imediatamente antes do processamento do material, em que a radiação de uma fonte de radiação (12) é mapeada via um sistema de formação de imagem de focalização (16) em um plano focal (18) e onde, para determinar a posição focal de um sistema óptico, incluindo o sistema de formação de imagem (16) por meio de um elemento óptico (34; 36), no caminho de feixe, é produzida uma imagem no foco (18a), que é ali refletida e é gravada por uma câmera (24), onde citado elemento óptico (34; 36) influencia a imagem gravada, dependendo da focalização da radiação, e onde, dependendo da citada influência da imagem, é derivada uma conclusão sobre a posição focal da radiação focalizada em relação a um ponto focal (18a) considerado, caracterizado pelo fato de que por meio do elemento óptico (34; 36) a fase ou amplitude da imagem é influenciada dependendo da posição focal e que o sistema óptico é um arranjo LASIK, em que a superfície parcialmente refletida (18) reflete uma pequena porcentagem da radiação incidente para obter a imagem a ser gravada usando o sistema de sensor digital.

11. Método de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo fato de que, por meio da citada conclusão derivada sobre a posição focal, um elemento óptico do sistema óptico (10) é configurado para mudar a posição focal.

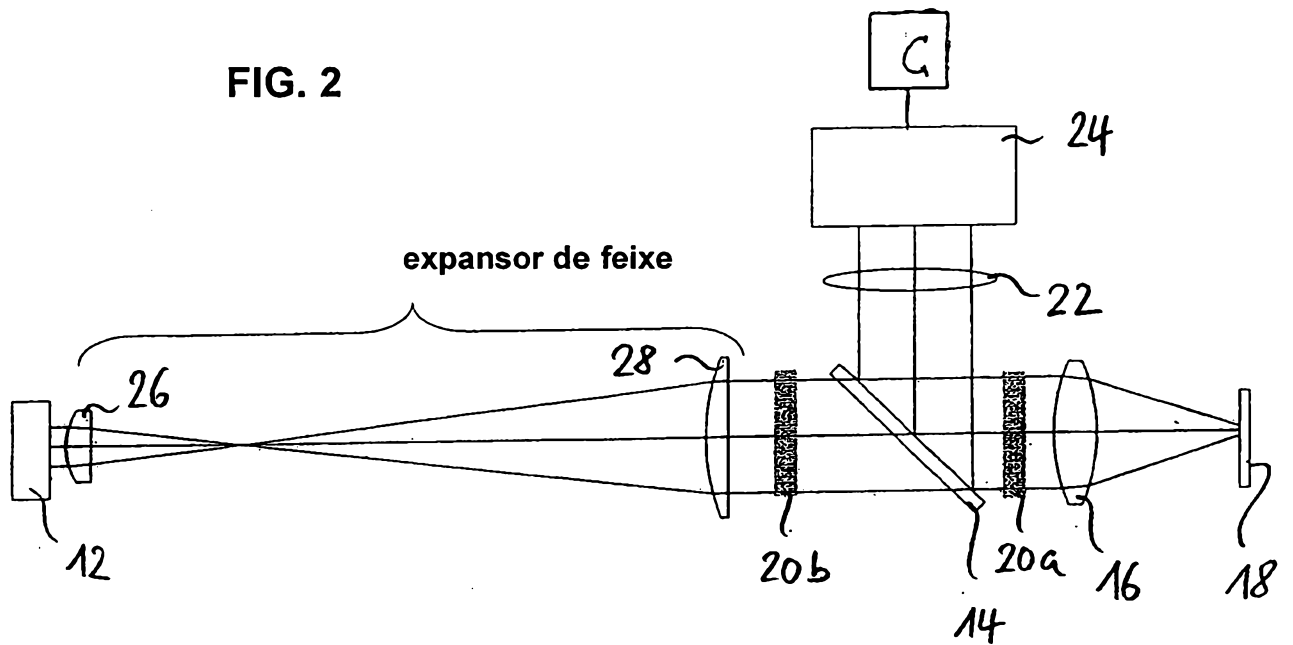
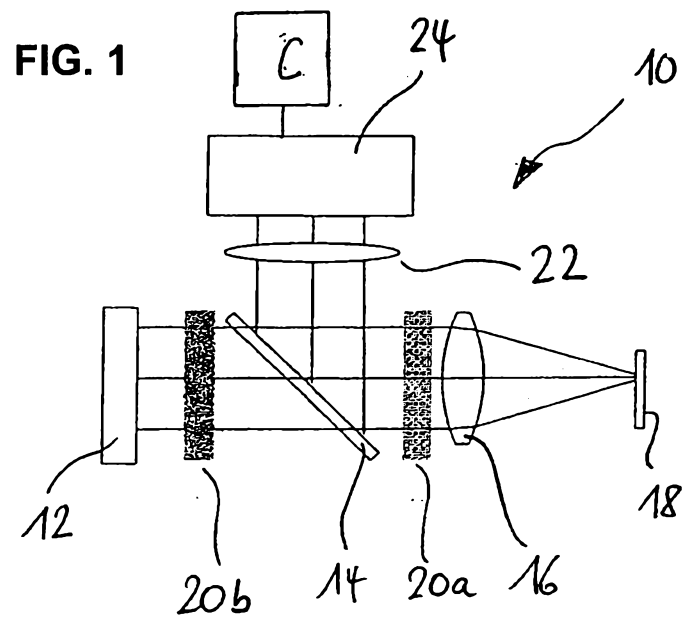
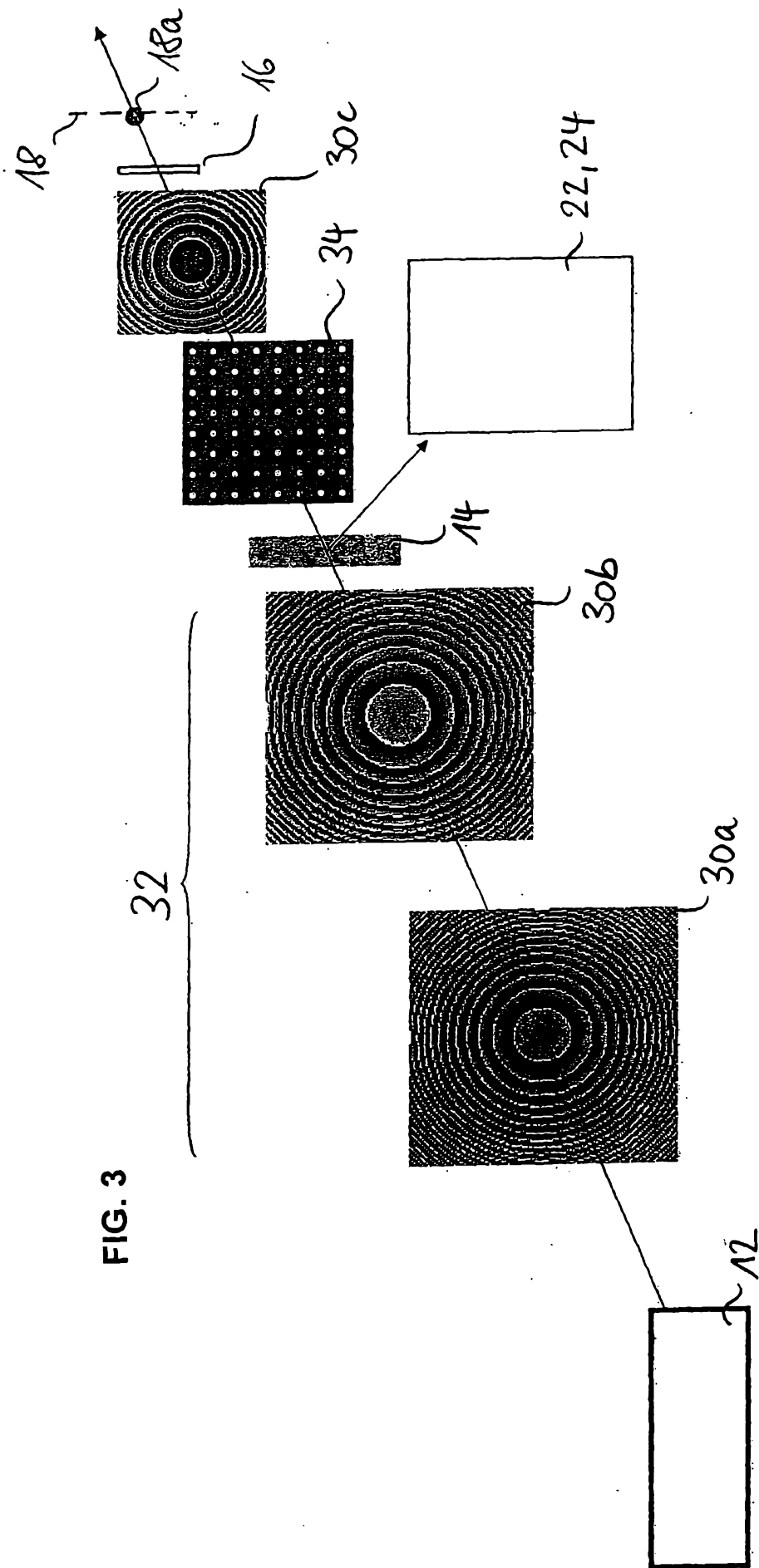


FIG. 3



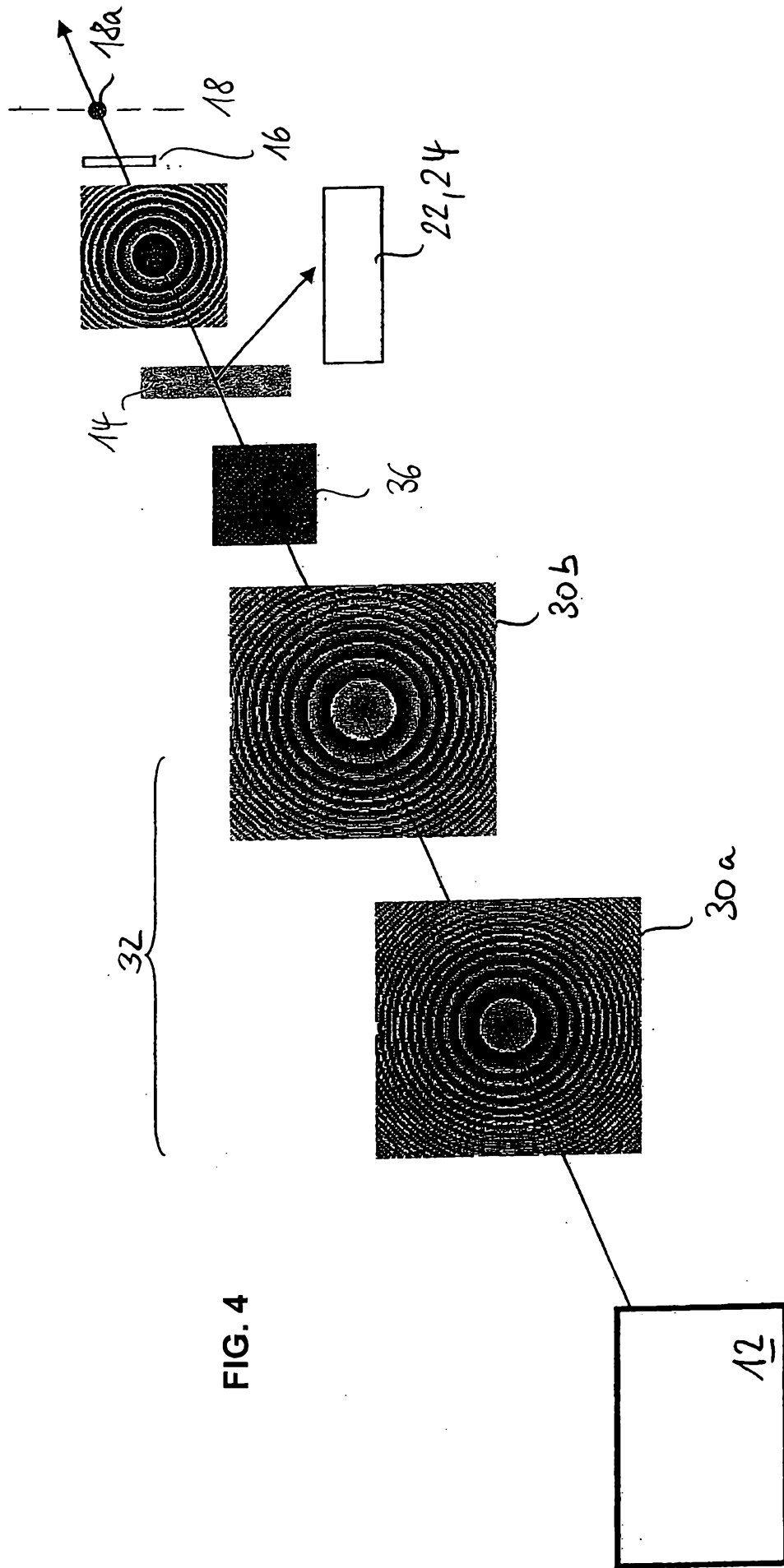


FIG. 4

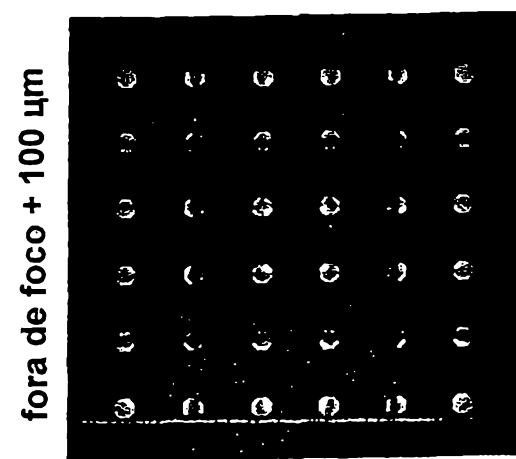
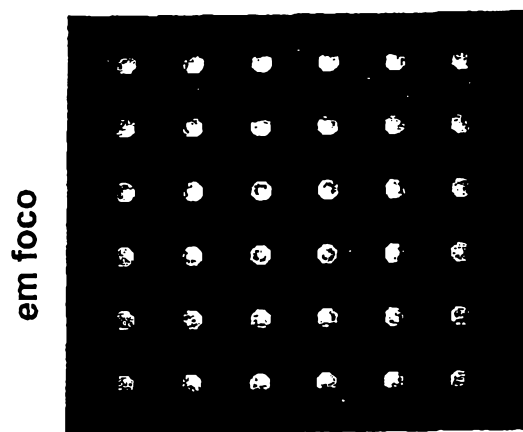
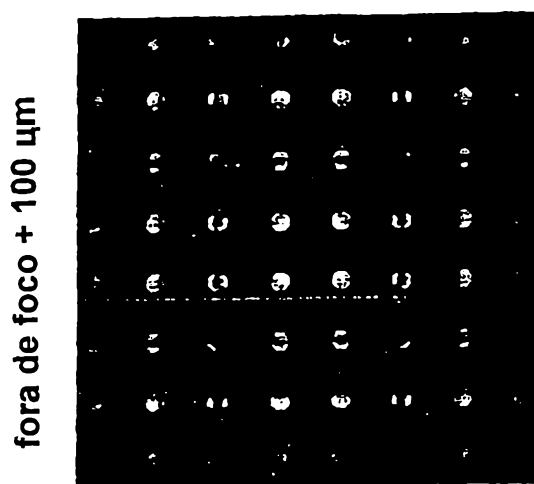
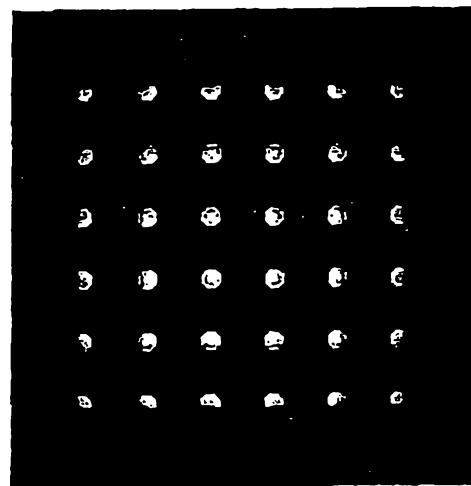
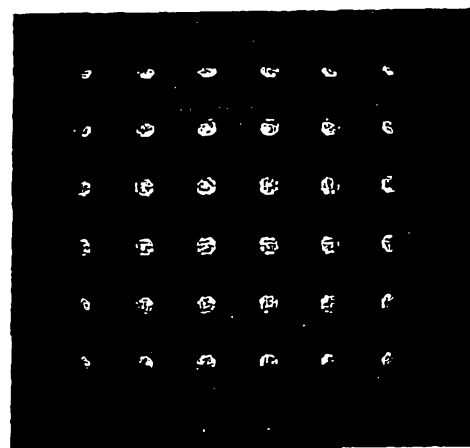


FIG. 5

em foco, nenhum deslocamento



em foco -800 μm de deslocamento lateral



em foco -800 μm de deslocamento lateral

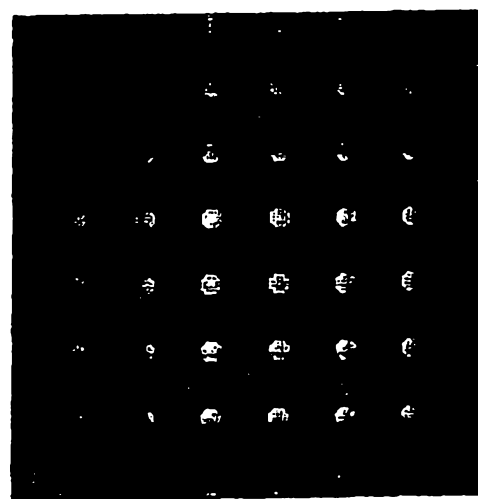


FIG. 6