



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

**(11) PI 0821997-4 B1**



**(22) Data do Depósito: 02/10/2008**

**(45) Data de Concessão: 07/01/2020**

---

**(54) Título:** SISTEMA PARA CONTROLAR UM FEIXE LASER

**(51) Int.Cl.:** A61F 9/01.

**(30) Prioridade Unionista:** 18/01/2008 US 12/016,558.

**(73) Titular(es):** TECHNOLAS PERFECT VISION GMBH.

**(72) Inventor(es):** FRIEDER LOESEL; JOSEP F. BILLE; LUIS ANTONIO RUIZ.

**(86) Pedido PCT:** PCT IB2008002617 de 02/10/2008

**(87) Publicação PCT:** WO 2009/090452 de 23/07/2009

**(85) Data do Início da Fase Nacional:** 13/07/2010

**(57) Resumo:** SISTEMA PARA CONTROLAR UM FEIXE LASER É descrito um sistema e método para alterar a forma de uma lâmina de material transparente (por exemplo, a córnea de um olho), à medida que ela é submetida a um diferencial de pressão transversal, que exige uma unidade laser controlada por computador. De acordo com parâmetros de entrada especificados, o computador direciona a unidade laser para realizar LIOB em superfícies predeterminadas na lâmina. Isto enfraquece o material para um remodelamento desejado da lâmina em resposta ao diferencial de pressão. Com relação a um eixo perpendicular que é definido pela lâmina, superfícies paralelas ao eixo (por exemplo, superfícies cilíndricas) são separadas umas das outras por cerca de duzentos microns. Para superfícies perpendiculares ao eixo, a separação é cerca de dez microns. De qualquer maneira, os cortes resultantes de LIOB têm apenas cerca de dois microns de espessura.

“SISTEMA PARA CONTROLAR UM FEIXE LASER”

CAMPO DA INVENÇÃO

[001] A presente invenção diz respeito no geral a sistemas e métodos para remodelar um material transparente que está sendo submetido a um diferencial de pressão transversal. Mais particularmente, a presente invenção diz respeito a sistemas e métodos para realizar cortes em superfícies predeterminadas dentro do material, para enfraquecer assim o material e permitir que ele seja remodelado em resposta ao diferencial de pressão. A presente invenção é particularmente, mas não exclusivamente, adequada para sistemas e métodos que corrigem a visão de pacientes pelo enfraquecimento do tecido estromal na córnea de um olho, para permitir que a pressão intraocular no olho remodele a córnea pela ação de forças biomecânicas.

FUNDAMENTOS DA INVENÇÃO

[002] A córnea de um olho tem cinco (5) diferentes camadas identificáveis de tecido. Indo em uma direção posterior a partir da superfície anterior da córnea, essas camadas são: o epitélio; cápsula (membrana) de Bowman; o estroma; membrana de Descemet; e o endotélio. Detrás da córnea existe um espaço contendo humor aquoso denominado a câmara anterior. Essencialmente, pressão do humor aquoso na câmara anterior age na córnea com consequências biomecânicas. Especificamente, o humor aquoso na câmara anterior do olho exerce uma pressão intraocular contra a córnea. Isto cria tensões e deformações que colocam a córnea sob tensão.

[003] Estruturalmente, a córnea do olho tem uma espessura (T), que estende-se entre o epitélio e o endotélio. Tipicamente, "T é aproximadamente quinhentos microns ( $T = 500 \mu\text{m}$ ). De uma perspectiva biomecânica, cápsula de Bowman e o estroma são as camadas mais importantes da córnea. Dentro da córnea, a cápsula de Bowman é uma camada relativamente fina (por exemplo, 20 a 30  $\mu\text{m}$ ) que fica localizada abaixo do epitélio, nos cem microns anteriores da córnea. O estroma então compreende praticamente todos os

quatrocentos microns restantes na córnea. Adicionalmente, o tecido da cápsula de Bowman cria uma membrana elástica relativamente forte que efetivamente resiste a forças de tensão. Por outro lado, o estroma compreende tecido conectivo relativamente fraco.

[004] Biomecanicamente, cápsula de Bowman e o estroma são ambos significativamente influenciados pela pressão intraocular que é exercida contra a córnea pelo humor aquoso na câmara anterior. Em particular, esta pressão é transferida da câmara anterior, e através do estroma, para a membrana de Bowman. É de conhecimento que a maneira na qual essas forças são transmitidas através do estroma afetará a forma da córnea. Assim, interrompendo-se as forças entre tecido interconectivo no estroma, a distribuição de força geral na córnea pode ser alterada. Conseqüentemente, esta distribuição de força alterada então agirá contra a cápsula de Bowman. Em resposta, a forma da cápsula de Bowman é alterada e, por causa da elasticidade e resistência da cápsula de Bowman, esta alteração afetará diretamente a forma da córnea. Com isto em mente, e como pretendido pela presente invenção, cirurgia refrativa é realizada fazendo cortes em superfícies predeterminadas no estroma para induzir a uma redistribuição de forças biomecânicas que remodelará a córnea.

[005] É bem sabido que os diferentes tecidos da córnea são suscetíveis a Ruptura Óptica Induzida por Laser (LIOB). Adicionalmente, é de conhecimento que diferentes tecidos responderão diferentemente a um feixe laser, e que a orientação do tecido que está sendo submetido a LIOB pode também afetar como o tecido reage a LIOB. Com isto em mente, o estroma precisa ser especificamente considerado.

[006] O estroma compreende essencialmente muitas lamelas que estendem-se substancialmente paralelas à superfície anterior do olho. No estroma, as lamelas são ligadas entre si por um tecido tipo cola que é inerentemente mais fraco que as lamelas propriamente ditas.

Conseqüentemente, LIOB sobre camadas paralelas à lamelas pode ser realizada com menos energia (por exemplo, 0,8  $\mu\text{J}$ ) do que a energia necessária LIOB sobre cortes que são orientados perpendiculares às lamelas (por exemplo, 1,2  $\mu\text{J}$ ). Entretanto, versados na técnica percebem que esses níveis de energia são apenas exemplares. Se óptica de focalização mais restrita puder ser usada, os níveis exigidos de energia serão devidamente menores. De qualquer maneira, dependendo do resultado desejado, pode ser desejável fazer cortes somente no estroma. Por outro lado, para alguns procedimentos, pode ser mais desejável fazer uma combinação de cortes e camadas.

[007] Como versados na técnica percebem, materiais transparentes que podem ser alterados por LIOB são suscetíveis a ser enfraquecidos pelo processo. Adicionalmente, se o material for formado como uma lâmina (isto é, se ele for essencialmente uma camada de material) e se o material for submetido a um diferencial de pressão transversal, a lâmina pode ser remodelada quando ela for enfraquecida por LIOB. Em particular, a lâmina será afetada por uma mudança na distribuição de força que resulta de uma alteração do diferencial de pressão transversal que é causado por LIOB seletiva. Sob esta ação, a lâmina é remodelada. Assim, de uma maneira similar à situação suprarrevelada para um remodelamento da córnea, uma lâmina, ou camada, de material transparente pode ser similarmente remodelada.

[008] Sob a luz do exposto, é um objetivo da presente invenção prover sistemas e métodos para remodelar uma camada de material transparente quando o material estiver sendo submetido a um diferencial de pressão transversal. Um outro objetivo da presente invenção é prover métodos controlados por comutador para realizar procedimentos laser em material transparente que exigem mínima destruição do material. Também um outro objetivo da presente invenção é prover métodos para realizar cirurgia laser

oftálmica que são relativamente fáceis de implementar e de custo comparativamente baixo.

### SUMÁRIO DA INVENÇÃO

[009] De acordo com a presente invenção, um sistema e método para alterar a forma de uma lâmina transparente (por exemplo, a córnea de um olho) exigem uma unidade laser controlada por computador. Mais especificamente, o remodelamento da lâmina é realizado causando Ruptura Óptica Induzida por Laser (LIOB) em superfícies predeterminadas dentro do material, enquanto a lâmina estiver sendo submetida a um diferencial de pressão transversal. Em resposta a este enfraquecimento, o re-arranjo consequente da distribuição de força no material então remodelará a lâmina. No caso específico de cirurgia laser oftálmica na córnea, o diferencial de pressão transversal é criado pela pressão intraocular do humor aquoso na câmara anterior do olho.

[010] Para uma modalidade preferida da presente invenção, um computador é eletronicamente conectado em uma unidade laser. Com esta conexão, o sistema primeiramente identifica um eixo que é substancialmente perpendicular à lâmina. Para cirurgia laser oftálmica, este eixo será o eixo visual do olho. De qualquer maneira, a identificação do eixo é importante com o propósito de estabelecer um dado de referência que pode ser usado para direcionar o feixe laser que é gerado pela unidade laser ao longo de caminhos predeterminados no material transparente (córnea).

[011] Em operação, o feixe laser é focalizado em um ponto focal na lâmina, e o ponto focal é então deslocado de acordo com um programa de computador predeterminado. O propósito aqui é realizar Ruptura Óptica Induzida por Laser (LIOB) em uma superfície definida dentro do material. Para um tipo de operação, a superfície será orientada substancialmente paralela ao eixo. Para um outro, a superfície será criada substancialmente perpendicular ao eixo. No primeiro caso (isto é, quando a superfície for

paralela ao eixo) os cortes que resultam de LIOB podem ser feitos tanto em uma superfície cilíndrica curva (isto é, cortes cilíndricos) quanto em uma superfície radial plana (isto é, cortes radiais). A exata natureza e extensão desses cortes, certamente, dependerão dos parâmetros de corte particular que são alimentados no computador. No último caso (isto é, quando a superfície for perpendicular ao eixo) LIOB criará os assim chamados "cortes de camada". Assim, resumidamente, a presente invenção considera cortes cilíndricos, cortes radiais e cortes em camadas.

[012] Para cortes cilíndricos (circular ou oval) e para cortes radiais, os parâmetros de corte que são alimentados no computador incluem uma localização para uma extremidade distal da superfície  $(Z_{\text{distal}})_n$ . Na notação " $(Z_{\text{distal}})_n$ ", a letra "n" corresponde a um número de 1 a "n" que identifica a superfície particular. Além de " $Z_{\text{distal}})_n$ ", os parâmetros de corte também incluem um local para uma extremidade proximal da superfície  $(Z_{\text{proximal}})_n$ , um raio " $r_n$ " medido a partir do eixo e um ângulo azimutal " $\theta$ " medido em torno do eixo a partir de uma linha de base.

[013] Usando os parâmetros de corte, cortes radiais resultam do caso específico em que o ângulo azimutal  $\theta$  é constante. O raio " $r_n$ " pode então ser variado em uma faixa de aproximadamente três milímetros. Por outro lado, para cortes cilíndricos o raio " $r_n$ " pode ser tanto constante (para criar cortes cilíndricos circulares) quanto variado ao longo de um caminho elíptico (para criar cortes cilíndricos ovais). Essencialmente, tanto com cortes cilíndricos quanto cortes radiais, uma pluralidade de superfícies pode ser especificada. Adicionalmente, é muito importante que cada superfície cilíndrica seja centralizada no eixo, com as respectivas superfícies cilíndricas preferivelmente separadas uma da outra aproximadamente duzentos microns. Tanto para cortes cilíndricos quanto radiais, cada corte preferivelmente tem uma espessura de aproximadamente dois microns.

[014] Como anteriormente indicado, a presente invenção também

considera criar cortes de camada que são orientados de forma substancialmente perpendicular ao eixo. Como cortes cilíndricos e radiais, cortes de camadas são criados movendo-se seletivamente o ponto focal de acordo com o programa de computador predeterminado. Como é feito para os parâmetros de corte, os parâmetros de camada que definem porções da camada para LIOB precisam ser alimentados no computador.

[015] Para cortes de camadas, os parâmetros de camada incluem um local axial para cada camada  $Z_m$ , em que "m" identifica a camada particular. Os parâmetros de camada também incluem um diâmetro interno  $(d_i)_m$ , um diâmetro externo  $(d_o)_m$ , e um ângulo azimutal  $\theta$  medido em torno do eixo em relação a uma linha de base. O resultado neste caso é a LIOB de material em uma pluralidade de camadas de forma anular dentro da lâmina (córnea). Note: quando o diâmetro interno for zero (isto é,  $(d_i)_m = 0$ ) o corte de camada realmente será em forma de disco. Essencialmente, como cortes cilíndricos, cada camada é centralizada no eixo. Similar aos cortes cilíndricos e radiais, a LIOB do material para cortes de camadas resulta em uma camada com uma espessura de aproximadamente dois microns. Diferente de cortes cilíndricos, entretanto, quando uma pluralidade de camadas é criada, camadas adjacentes são apenas cerca de dez microns distantes uma da outra.

[016] Quando o sistema e métodos da presente invenção são usados para cirurgia laser oftálmica, é importante que os cortes cilíndricos, cortes radiais e cortes de camadas, se feitos, precisam ser limitados a um volume operacional. Especificamente, este volume operacional é limitado ao estroma e estende-se logo abaixo da cápsula de Bowman (por exemplo, aproximadamente 8 microns abaixo da cápsula de Bowman) até uma profundidade igual a cerca de noventa por cento da córnea (por exemplo, até cerca de quatrocentos e cinquenta microns abaixo da superfície anterior do olho). Adicionalmente, o volume operacional estende-se no estroma através de uma distância radial de cerca de quatro milímetros. Percebe-se que os

limites reais do volume operacional podem variar ligeiramente. Entretanto, essencialmente LIOB não deve ocorrer na cápsula de Bowman, nem a LIOB deve estender-se até a câmara anterior do olho.

#### DESCRIÇÃO RESUMIDA DOS DESENHOS

[017] Os recursos inéditos desta invenção, bem como a invenção em si, tanto no que diz respeito à sua estrutura quanto sua operação, serão mais bem entendidos a partir dos desenhos anexos, considerados em conjunto com a descrição anexa, em que caracteres de referência similares referem-se a partes similares, e em que:

[018] A figura 1 é uma representação esquemática do sistema da presente invenção mostrado em relação à córnea de um olho;

[019] A figura 2 é uma vista seccional transversal da córnea de um olho;

[020] A figura 3 é um gráfico lógico mostrando o relacionamento das etapas em uma metodologia para uso com a presente invenção;

[021] A figura 4 é uma representação esquemática de um volume operacional de acordo com a presente invenção mostrando parâmetros para a criação de cortes cilíndricos;

[022] A figura 5 é uma representação esquemática mostrando parâmetros para a criação de cortes radiais; e

[023] A figura 6 é uma representação esquemática de um volume operacional de acordo com a presente invenção mostrando parâmetros para a criação de camadas.

#### DESCRIÇÃO DAS MODALIDADES PREFERIDAS

[024] Referindo-se inicialmente à figura 1, está mostrado um sistema laser oftálmico de acordo com a presente invenção, e está designado no geral por 10. Como mostrado, o sistema 10 inclui um computador 12 que é eletronicamente conectado a uma unidade laser 14. Para a presente invenção, a unidade laser 14 destina-se a direcionar um feixe laser ao longo de um

caminho do feixe 16, para focar o feixe laser em pontos focais dentro da córnea 18 de um olho de um paciente (não mostrado). Considera-se que o feixe laser seja um assim denominado laser "fentossegundo" e que a unidade laser 14 seja capaz de gerar uma sequência de pulsos de laser, em que cada pulso na sequência tem uma duração que é menor que aproximadamente um picossegundo. Adicionalmente, considera-se que a unidade laser 14 inclui ópticas que focarão o laser "fentossegundo" nos pontos focais na córnea 18 para Ruptura Óptica Induzida por Laser (LIOB) de tecido na córnea 18. De acordo com a presente invenção, o computador 12 é usado para controlar a operação da unidade laser 14, e esta operação será consistente com os parâmetros de entrada específicos 20.

[025] Referindo-se agora à figura 2, uma seção transversal de uma córnea 18 está mostrada com um eixo visual representativo 22. Embora o eixo visual 22 seja exclusivo para cada córnea 18, no entanto, ele pode ser identificado precisamente. Essencialmente, para cirurgia laser oftálmica, a operação do sistema 10 tem que ser conduzida com referência ao eixo visual 22. Por outro lado, para uma lâmina de material transparente (isto é, material que não é uma córnea 18) um eixo similar ao eixo visual 22 pode ser identificado e definido com propósitos operacionais.

[026] Como mostrado na figura 2, a presente invenção contempla a identificação de um volume operacional 24 que fica localizado completamente dentro do estroma 26 da córnea 18. Em geral, o volume operacional 24 estende-se de uma distância predeterminada abaixo da cápsula de Bowman 28 (por exemplo, 8 mm) até uma profundidade no estroma 26 que é cerca de 90 % da distância entre a superfície anterior 30 e a superfície posterior 32 da córnea 18 (por exemplo, aproximadamente 450 mm). Adicionalmente, o volume operacional 24 estende-se a uma distância radial 34 a partir do eixo visual 22 que é igual a cerca de quatrocentos milímetros. Como anteriormente indicado, é importante com os propósitos de cirurgia

laser oftálmica que o volume operacional 24 seja limitado ao tecido dentro do estroma 26. Como versados na técnica percebem, o volume operacional 24 na córnea 18 é afetado pela pressão exercida contra a córnea 18 pelo fluido aquoso na câmara anterior 36.

### OPERAÇÃO

[027] Para a operação do sistema 10 da presente invenção, o bloco de ação 38 na figura 3 indica que a primeira tarefa a ser realizada é a localização do eixo 22. Especificamente, no caso de cirurgia laser oftálmica, o eixo 22 será um eixo visual. Por outro lado, para uma lâmina de material transparente (isto é, não tecido), o eixo 22 pode ser definido da maneira necessária. Tipicamente, entretanto, o eixo 22 será no geral perpendicular à lâmina e, portanto, similar à orientação de um eixo visual 22 em relação a uma córnea 18.

[028] Uma vez que a localização do eixo 22 tenha sido verificada para o sistema 10 (ver indagação 40 na figura 3), é necessário que o computador 12 determine se "cortes" ou "camadas" devem ser criados por LIOB. Se a indagação 42 indicar que "cortes" devem ser feitos, o computador 12 recupera os parâmetros de entrada apropriados 20 de acordo com o bloco de ações 44. Neste caso, os parâmetros de entrada 20 incluirão  $(Z_{\text{distal}})_n$ ,  $(Z_{\text{proximal}})_n$ , raio " $r_n$ " e um ângulo azimutal  $\theta$ . Especificamente,  $(Z_{\text{distal}})_n$  e  $(Z_{\text{proximal}})_n$  são estabelecidos em diferentes distâncias de um mesmo dado (ver figura 4). E o raio " $r_n$ " é selecionado a uma distância do eixo 22, enquanto o ângulo azimutal  $\theta$  é medido em torno do eixo 22. Com esses parâmetros de entrada 20, o sistema 10 pode então realizar LIOB tanto em cortes cilíndricos 46 (ver figura 4) quanto cortes radiais 48 (ver figura 5).

[029] Na figura 4, os cortes cilíndricos 46a e 46 b são somente exemplares. Para esses cortes cilíndricos 46a e 46b, tal como com outros, cada qual terá seu próprio  $(Z_{\text{distal}})_n$  e seu próprio  $(Z_{\text{proximal}})_n$ . Como indicado, pode haver um número " $n$ " de cortes cilíndricos 46, mas todos devem ser

centralizados no eixo visual 22. Assim, os cortes 46 serão paralelos entre si e também paralelos ao eixo 22. Se o raio " $r_n$ " for constante, os cortes cilíndricos 46 serão cortes cilíndricos circulares 46. Por outro lado, se o raio " $r_n$ " variar ao longo de um caminho oval, os cortes cilíndricos 46 serão cortes cilíndricos elípticos 46. Adicionalmente, o ângulo azimutal  $\theta$  pode estender-se em um arco de  $360^\circ$  completos, ou ser dividido em segmentos desejados. Como pretendido para o sistema 10 da presente invenção, o ângulo azimutal  $\theta$  é medido a partir de uma linha de base comum 50 (ver figura 5).

[030] Com referência à figura 5, percebe-se que, quando um ângulo azimutal constante  $\theta$  é selecionado e mantido, enquanto o raio " $r_n$ " pode mudar em uma faixa pré-selecionada entre um raio interno " $r_i$ " e um raio externo " $r_o$ ", cortes radiais 48 podem ser criados. Especificamente, como mostrado na figura 5, o corte radial 48a é feito em um ângulo azimutal  $\theta_2$ , e o corte radial 48b é feito em um ângulo azimutal  $\theta_1$ .

[031] De volta à figura 3, a criação de cortes cilíndricos 46 e cortes radiais 48 é realizada individualmente, como indicado pelo bloco de ação 52. Depois da criação de cada corte 46 ou 48, entretanto, o sistema 10 determina se cortes adicionais 46 ou 48 devem ser feitos. Para isto, a indagação 54 especificamente questiona se todos " $n$ " cortes 46 ou 48 foram feitos. Se não, o bloco de ação 56 diminui " $n$ " e os blocos de ação 44 e 52 criam um corte adicional 46 ou 48 de acordo com parâmetros de entrada restantes apropriados 20. Preferivelmente, no caso de cortes cilíndricos 46, haverá uma distância de separação de cerca de duzentos microns entre cortes adjacentes 46.

[032] Depois que todos os cortes cilíndricos 46 ou cortes radiais 48 desejados tiverem sido feitos, a indagação 58 questiona se o sistema 10 exige a criação de camadas 60 (ver figura 6). Se não, a operação do sistema 10 termina. Por outro lado, se camadas 60 tiverem que ser criadas, a operação do sistema 10 continua no bloco de ação 62, onde parâmetros de entrada adicionais 20 são alimentados no computador 12. Neste ponto, deve-se notar

que, se a indagação 42 tivesse indicado que nenhum corte cilíndrico 46 nem corte radial 48 teve que ser feito, a operação do sistema 10 prosseguiria diretamente para o bloco de ação 62 nesse momento. De qualquer maneira, os parâmetros de entrada 20 para uso na criação de camadas 60 incluem uma profundidade no volume operacional 24 " $z_m$ ", um diâmetro interno  $(d_i)_m$ , um diâmetro externo  $(d_o)_m$  e, novamente, um ângulo azimutal  $\theta$ .

[033] Na figura 6, pode-se ver que um número " $m$ " de camadas 60 pode ser criado. Especificamente, com uma profundidade " $z_m$ " individualmente selecionada para cada camada 60, os diâmetros  $(d_i)_m$  e  $(d_o)_m$  podem também ser selecionados para criar a camada 60 como uma coroa anular (isto é,  $d_i > 0$ ) ou como um disco (isto é,  $d_i = 0$ ). Depois da criação de cada camada 60, o sistema determina se camadas adicionais 60 devem ser feitas. Para isto, indagação 66 questiona especificamente se todas as " $m$ " camadas 60 foram feitas. Se não, o bloco de ação 68 diminui " $n$ " e os blocos de ação 62 e 64 criam uma camada adicional 60 de acordo com parâmetros de entrada restantes apropriados 20. Adicionalmente, como com os cortes 46 e 48 supradiscutidos, o ângulo azimutal  $\theta$  para as camadas 60 pode ser um arco de  $360^\circ$  completo, ou ser em segmentos. Preferivelmente, a distância de separação entre camadas adjacentes 60 será cerca de dez microns.

[034] Uma vez que todos os cortes cilíndricos 46, cortes radiais 48 e camadas 60 tenham sido criados, como indicado para a presente invenção, a operação do sistema 10 é terminada.

[035] Embora o Controle de Computador particular para Alteração Biomecânica da Córnea como aqui mostrado e revelado com detalhes seja completamente capaz de alcançar os objetivos e prover as vantagens aqui anteriormente declaradas, deve-se entender que ele é meramente ilustrativo e que nenhuma limitação é pretendida nos detalhes de construção ou projeto aqui mostrados além dos aqui descritos nas reivindicações anexas.

## REIVINDICAÇÕES

1. Sistema para controlar um feixe laser para alterar a forma de uma lâmina transparente, enquanto a lâmina estiver sendo submetida a um diferencial de pressão transversal, o sistema compreendendo:

uma unidade laser para gerar e focalizar um feixe laser em um ponto focal na lâmina; e

um computador conectado na unidade laser para movimentar o ponto focal de acordo com um conjunto de instruções gravado em computador predeterminado para realizar Ruptura Óptica Induzida por Laser (LIOB) em pelo menos uma superfície no material, em que a lâmina define um eixo perpendicular à lâmina e a superfície é orientada paralela ao eixo, em que cada corte tem uma espessura de dois microns para enfraquecer a lâmina e alterar a sua forma em resposta ao diferencial de pressão transversal, e em que cada superfície é cilíndrica e é centralizada no eixo,

caracterizado pelo fato de que as superfícies cilíndricas respectivas são distantes duzentos microns umas das outras.

2. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que conjunto de instruções gravado em computador opera com parâmetros de corte para uma pluralidade de superfícies e os parâmetros para cada superfície incluem uma localização para uma extremidade distal da superfície  $(Z_{\text{distal}})_n$ , em que "n" identifica a superfície particular, uma localização para uma extremidade proximal da superfície  $(Z_{\text{proximal}})_n$ , um raio " $r_n$ " medido a partir do eixo, e um ângulo azimutal  $\theta$  medido em torno do eixo.

3. Sistema, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que conjunto de instruções gravado em computador movimenta o ponto focal de acordo com o programa de computador predeterminado para a LIOB de material em uma pluralidade de camadas de forma anular na lâmina, em que cada camada é centralizada no eixo, e a LIOB

do material resulta em uma camada com uma espessura de dois microns, preferencialmente de menos de um micron, e adicionalmente em que as camadas adjacentes são dez microns distantes uma da outra.

4. Sistema, de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pelo fato de que conjunto de instruções gravado em computador opera com parâmetros de camada incluindo uma localização axial para cada camada  $Z_m$ , em que "m" identifica a camada, um diâmetro interno  $(d_i)_m$ , um diâmetro externo  $(d_o)_m$ , e um ângulo azimutal  $\theta$  medido em torno do eixo em relação a uma linha de base.

5. Sistema, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, caracterizado pelo fato de que compreende adicionalmente meios para introduzir parâmetros de corte no computador para uma pluralidade de superfícies, em que os parâmetros definem porções de cada superfície para LIOB.

6. Sistema, de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelo fato de que os parâmetros de corte incluem uma posição para uma extremidade distal da superfície  $(Z_{\text{distal}})_n$  em que "n" identifica a superfície, uma posição para uma extremidade proximal da superfície  $(Z_{\text{proximal}})_n$ , um raio " $r_n$ " medido a partir do eixo, e um ângulo azimutal  $\theta$  medido em torno do eixo em relação a uma linha de base.

7. Sistema, de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de que o ângulo azimutal  $\theta$  é constante, e o raio " $r_n$ " varia em uma faixa de três milímetros para criar um corte radial.

8. Sistema, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 7, caracterizado pelo fato de que o raio " $r_n$ " é constante para criar uma superfície cilíndrica circular.

9. Sistema, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 8, caracterizado pelo fato de que compreende adicionalmente meios para introduzir parâmetros de camada no computador, em que os parâmetros de

camada definem porções das camadas para LIOB.

10. Sistema, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 9, para controlar o feixe laser para realizar cirurgia oftálmica intraestromal na córnea de um olho, caracterizado pelo fato de que compreende:

meios para identificar um eixo para o olho;

meios para focar o feixe laser em um ponto focal na córnea; e

para movimentar o ponto focal de acordo com um conjunto de instruções gravado em computador predeterminado no computador para realizar Ruptura Óptica Induzida por Laser (LIOB) em pelo menos uma superfície no tecido, em que a superfície é orientada paralela ao eixo, e em que cada corte tem uma espessura de 2 microns para enfraquecer a córnea e alterar a sua forma em resposta a uma pressão intraocular no olho.

11. Sistema, de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo fato de que cada um da pluralidade de cortes está confinado dentro de um volume operacional dentro do estroma do olho e se estende de logo abaixo da cápsula de Bowman até uma profundidade igual a cerca de 90% da córnea.

12. Sistema, de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de que o volume operacional se estende de cerca de 8 microns abaixo da cápsula de Bowman até a profundidade igual a cerca de 90% da córnea.

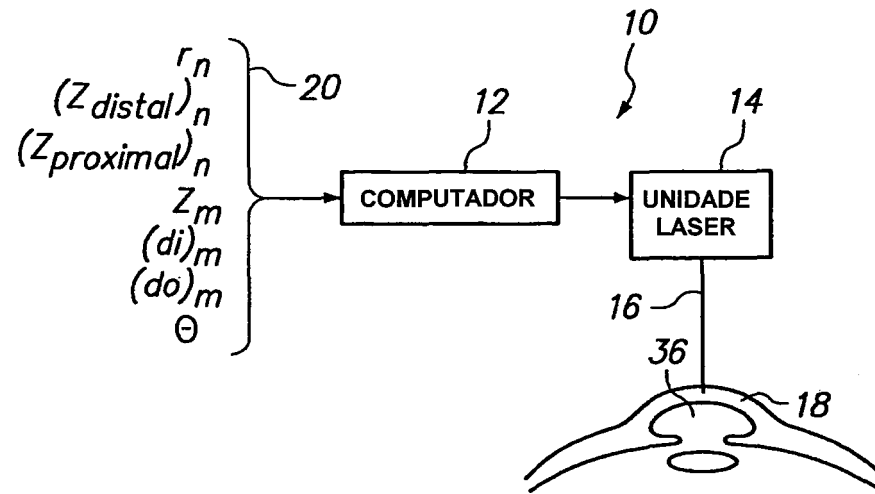


FIG. 1

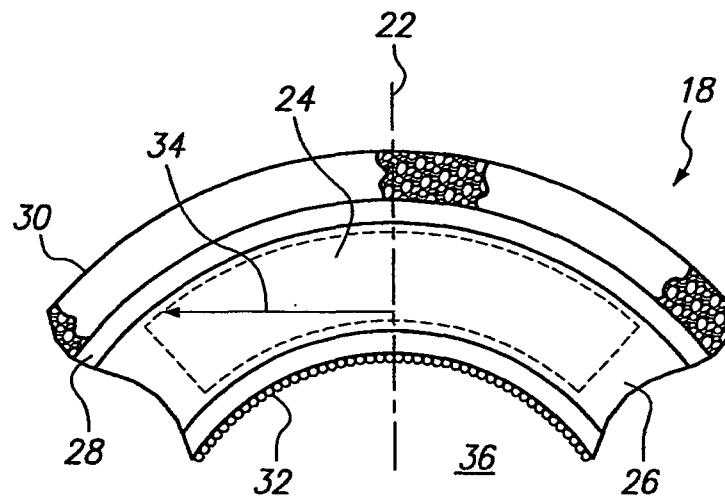


FIG. 2

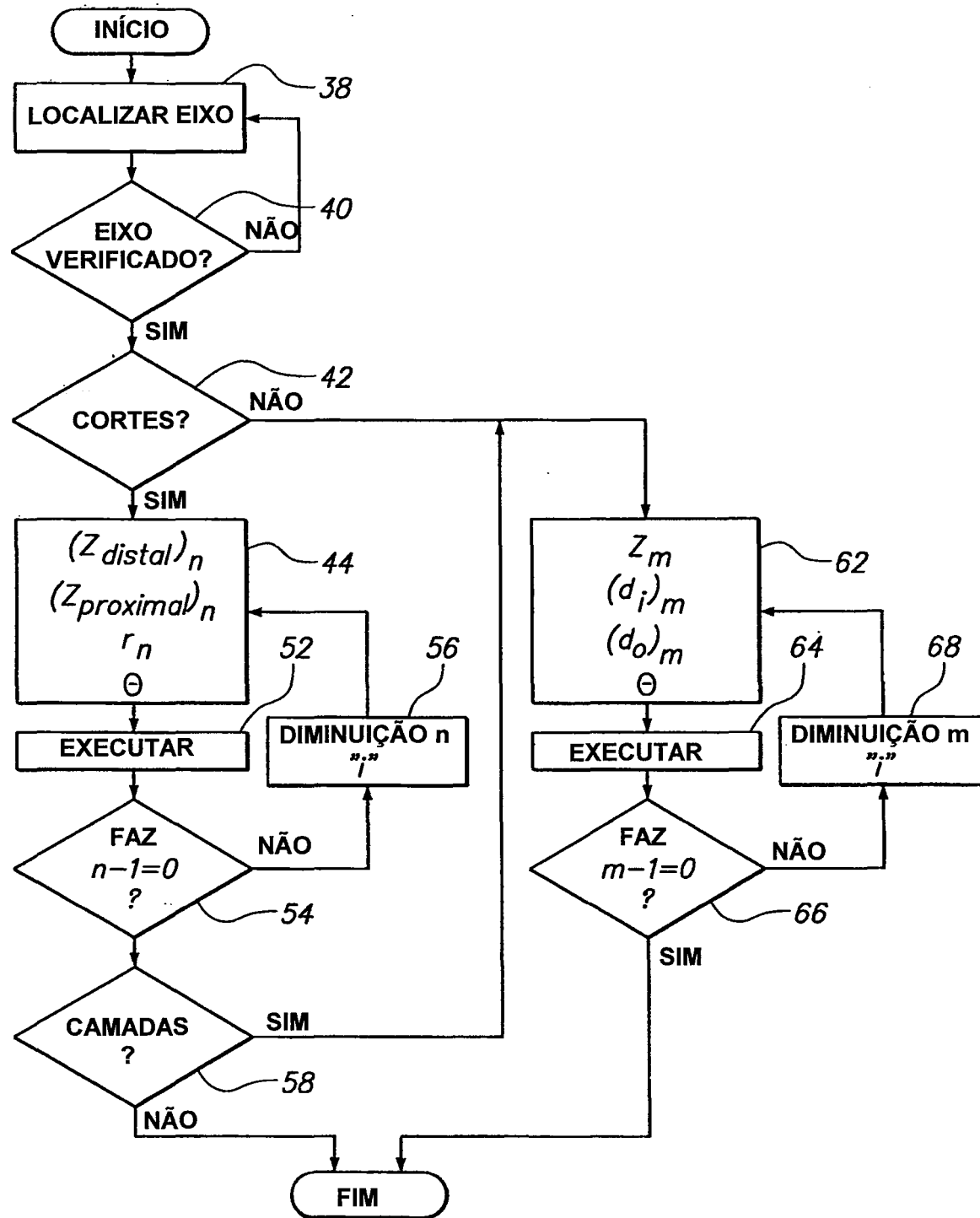


FIG. 3

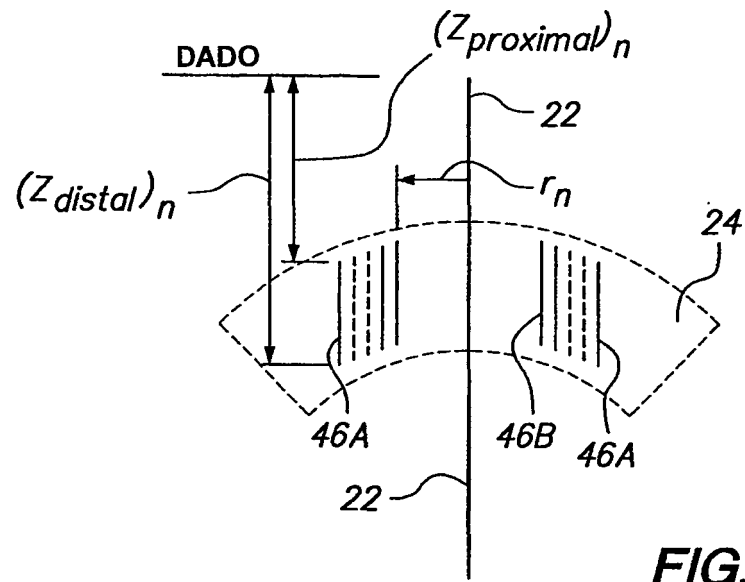


FIG. 4

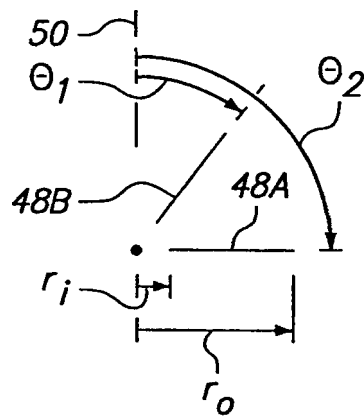


FIG. 5

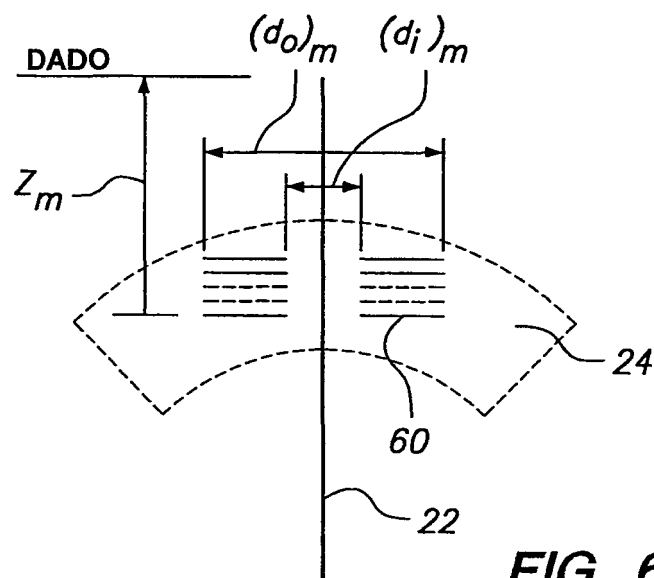


FIG. 6