

República Federativa do Brasil
Ministério do Desenvolvimento, Indústria
e do Comércio Exterior
Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

(21) **PI0608713-2 A2**



* B R P I O 6 0 8 7 1 3 A 2 *

(22) Data de Depósito: 15/03/2006
(43) Data da Publicação: 26/01/2010
(RPI 2038)

(51) *Int.Cl.:*
G02B 5/32 (2010.01)

(54) Título: **DISPOSITIVOS E MÉTODOS DE ARMAZENAMENTO DE DADOS**

(30) Prioridade Unionista: 16/03/2005 US 60/662,149

(73) Titular(es): GENERAL ELECTRIC COMPANY

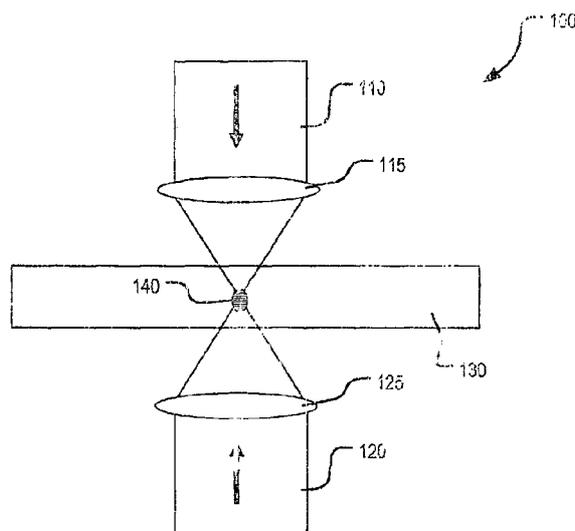
(72) Inventor(es): BRIAN LEE LAWRENCE, EUGENE PAULING BODEN, JOSEPH LUCIAN SMOLENSKI, MARC DUBOIS, PINGFAN PETER WU, XIAOLEI SHI

(74) Procurador(es): Nellie Anne Daniel Shores

(86) Pedido Internacional: PCT US2006009249 de 15/03/2006

(87) Publicação Internacional: WO 2006/101873de 28/09/2006

(57) Resumo: DISPOSITIVOS E MÉTODOS DE ARMAZENAMENTO DE DADOS. Um dispositivo de armazenamento de dados incluindo: um substrato plástico tendo uma pluralidade de volumes dispostos em trilhas, ao longo de uma pluralidade de camadas estendendo-se lateralmente, empilhadas verticalmente; e uma pluralidade de micro-hologramas, cada um deles contido em um correspondente dos ditos volumes, em que a presença ou ausência de um micro-holograma em cada um dos ditos volumes é indicativa de uma parte correspondente de dados armazenados.



"DISPOSITIVOS E MÉTODOS DE ARMAZENAMENTO DE DADOS"

CAMPO DA INVENÇÃO

A presente invenção se refere, de uma maneira geral, a sistemas e métodos de armazenamento de dados, mais particularmente, a sistemas e métodos de armazenamento de dados de base óptica, e sistemas e métodos de armazenamento dados holográficos.

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

Os sistemas e métodos de armazenamento de dados são conhecidos como sendo desejáveis. Os sistemas de registro holográfico de volume usam, geralmente, dois feixes de laser ou luz em propagação contrária, convergindo para dentro de um meio holográfico fotossensível, para formar um modelo de interferência. Esse modelo de interferência provoca uma variação ou modulação do índice de refração do meio holográfico. Quando um dos feixes de luz é modulado, responsivamente aos dados a serem codificados, o modelo de interferência resultante codifica os dados de modulação em ambas as intensidade e fase. As informações de intensidade e fase gravadas podem ser posteriormente detectadas responsivamente, para reintrodução do feixe de luz não modulado ou de referência, recuperando, desse modo, os dados codificados como reflexões.

As memórias holográficas "à base de página" convencionais têm dados escritos no meio holográfico, em paralelo nos arranjos ou "páginas" bidimensionais.

É desejável proporcionar um sistema de memória holográfico relativamente simples, barato e robusto. Além dis-

so, os sistemas de memória holográficos orientados por bits são desejados.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

Um dispositivo de armazenamento de dados incluindo: um substrato plástico tendo uma pluralidade de volumes dispostos ao longo de trilhas, em uma pluralidade de camadas estendendo-se lateralmente, empilhadas verticalmente; e uma pluralidade de micro-hogramas, cada um deles contido em um correspondente dos volumes, em que a presença ou ausência de um micro-hograma em cada um dos volumes é indicativa de uma parte correspondente de dados armazenados.

BREVE DESCRIÇÃO DAS FIGURAS

O entendimento da presente invenção vai ser facilitado por consideração da descrição detalhada apresentada a seguir das modalidades preferidas da presente invenção, em conjunto com os desenhos em anexo, nos quais os números similares se referem a partes similares, e:

a Figura 1 ilustra uma configuração para formação de um holograma dentro de um meio usando feixes de luz em propagação contrária;

a Figura 2 ilustra uma configuração alternativa para formação de um holograma dentro de um meio usando feixes de luz em propagação contrária;

a Figura 3 ilustra uma configuração alternativa para formação de um holograma dentro de um meio usando feixes de luz em propagação contrária;

a Figura 4 ilustra uma configuração alternativa para formação de um holograma dentro de um meio usando fei-

xes de luz em propagação contrária;

a Figura 5 ilustra uma configuração alternativa para formação de um holograma dentro de um meio usando feixes de luz em propagação contrária;

5 a Figura 6 ilustra um modelo de intensidade de luz;

a Figura 7 ilustra uma modulação de índice de refração em um meio linear, correspondente ao modelo de intensidade da Figura 6;

10 a Figura 8 ilustra uma dessintonização de Bragg esperada de um holograma, como eficiência de difração sendo uma função da diferença entre as temperaturas de registro e leitura;

a Figura 9 ilustra uma dessintonização de Bragg esperada de um holograma, como eficiência de difração sendo uma função de variação angular;

as Figuras 10A - 10B ilustram uma intensidade de luz e variação de índice de refração correspondente, em um meio opticamente responsivo substancialmente linear;

20 as Figuras 10C - 10D ilustram uma intensidade de luz e variação de índice de refração correspondente, em um meio opticamente responsivo substancialmente não linear;

as Figuras 11A - 11B ilustram uma intensidade de luz e variação de índice de refração correspondente, em um meio opticamente responsivo substancialmente linear;

25 as Figuras 11C - 11D ilustram uma intensidade de luz e variação de índice de refração correspondente, em um meio opticamente responsivo substancialmente não linear;

a Figura 12 ilustra uma refletividade de micro-holograma esperada, como uma função de modulação de índice de refração;

5 as Figuras 13A e 13B ilustram perfis de elevação de temperatura esperados, como uma função de posição, a vários tempos;

as Figuras 14A e 14B ilustram variações de índice de refração esperadas, como uma função de temperatura em elevação, e modos de leitura e escrita de micro-hogramas correspondentes;

10

as Figuras 15A - 15C ilustram as relações esperadas entre a luz incidente e a energia de feixe de luz incidente, para elevar a temperatura do material para a temperatura crítica, como uma função de fluência óptica correspondente e absorção linear normalizada, cinturão de feixe de luz e distância, usando um absorvedor saturável reverso, e transmissão e fluência usando um absorvedor saturável reverso;

15

as Figuras 16A e 16B ilustram exposições de feixes de luz em propagação contrária esperadas dentro de um meio, e os aumentos de temperatura correspondentes;

20

a Figura 16C ilustra uma variação de índice de refração esperada correspondente aos aumentos de temperatura das Figuras 16A e 16B;

25 a Figura 17A ilustra as variações na transmissão normalizada de um orto-nitroestilbeno a 25°C e 160°C, como uma função de tempo;

a Figura 17B ilustra uma variação na eficiência

quântica de um orto-nitroestilbeno, como uma função de temperatura;

a Figura 17C ilustra a absorbância de dimetilamino dinitroestilbeno, como uma função de comprimento de onda a 5 25°C e 160°C;

a Figura 18 ilustra uma configuração de detector de trilhamento e foco;

as Figuras 19A - 19C ilustram o contorno de um perfil de índice de refração simulado;

10 a Figura 20 ilustra uma seção transversal de um feixe de laser incidente impingindo uma região de um meio gravado holográfico;

as Figuras 21A - 21C ilustram distribuições em campo próximo ($z = 2 \mu\text{m}$) correspondente a uma simulação de 15 um micro-holograma circular das Figuras 19A - 19C;

as Figuras 22A - 22C ilustram as distribuições em campo próximo correspondentes às distribuições em campo próximo das Figuras 21A - 21C, respectivamente;

as Figuras 23A - 23C ilustram o contorno de um 20 perfil de índice de refração simulado;

as Figuras 24A - 24C ilustram as distribuições em campo próximo correspondentes a uma simulação do micro-holograma circular das Figuras 23A - 23C;

as Figuras 25A - 25C ilustram as distribuições em 25 campo próximo correspondentes às distribuições em campo próximo das Figuras 24A - 24C, respectivamente;

as Figuras 26A - 26D ilustram a configura de detector de trilhamento e foco e condições monitoradas exem-

plificativas;

a Figura 27 ilustra um servossistema de foco e trilhamento;

5 a Figura 28 ilustra uma formatação tendo trilhas espirais em direções alternativas;

a Figura 29 ilustra vários pontos de partida - fim de trilhas;

a Figura 30 ilustra uma formatação incluindo micro-hologramas substancialmente circulares;

10 a Figura 31 ilustra uma formatação incluindo micro-hologramas alongadas;

a Figura 32 ilustra uma gravação de micro-holograma fora de eixo;

15 a Figura 33 ilustra uma reflexão de micro-holograma fora de eixo;

as Figuras 34A - 34C ilustram gravação e leitura de micro-holograma fora de eixo;

a Figura 35 ilustra uma configuração para preparação de um meio micro-holográfico mestre;

20 a Figura 36 ilustra uma configuração para preparação de um meio micro-holográfico mestre conjugado de um meio micro-holográfico mestre;

a Figura 37 ilustra uma configuração para preparação de um meio micro-holográfico de distribuição de um meio
25 micro-holográfico mestre conjugado;

a Figura 38 ilustra uma configuração para preparação de um meio micro-holográfico de distribuição de um meio micro-holográfico mestre;

a Figura 39 ilustra a gravação de dados por alteração de uma disposição de micro-holograma pré-formatado; e

a Figura 40 ilustra uma configuração para leitura de um dispositivo de memória com base em disposição de micro-holograma.

DESCRIÇÃO DETALHADA DAS MODALIDADES PREFERIDAS

Deve-se entender que as figuras e descrições da presente invenção foram simplificadas para ilustrar elementos que são relevantes para um entendimento claro da presente invenção, enquanto que eliminando, com a finalidade de clareza, muitos outros elementos encontrados em métodos e sistemas holográficos típicos. No entanto, em virtude desses elementos serem bem conhecidos na técnica e porque eles não facilitam um melhor entendimento da presente invenção, uma discussão desses elementos não é aqui proporcionada. A presente descrição é dirigida a todas essas variações e modificações conhecidas daqueles versados na técnica.

VISÃO GERAL

Os sistemas ópticos de armazenamento volumétrico têm o potencial de satisfazer às demandas para armazenamento de dados de alta capacidade. Diferentemente dos formatos de armazenamento em disco tradicionais, tais como os formatos de disco compacto (CD) e disco versátil digital (DVD), nos quais as informações digitais são armazenadas em uma única ou no máximo duas camadas refletivas, de acordo com um aspecto da presente invenção, conteúdo digital é armazenado como alterações de índice de refração localizadas, em uma pluralidade de volumes dispostos em trilhas dirigidas late-

ralmente, empilhadas verticalmente no meio de armazenamento. Cada uma das trilhas pode definir uma camada dirigida lateralmente, por exemplo, radialmente, correspondente.

De acordo com um aspecto da presente invenção, bits únicos, ou grupos de bits, de dados podem ser codificados como micro-hologramas individuais, cada um deles substancialmente contido em um correspondente dos volumes. Em uma modalidade, o meio ou os meios assumem a forma de um disco termoplástico moldável por injeção, e apresenta uma ou mais características funcionais não lineares. As características funcionais não lineares podem ser representadas como uma variação de índice de refração, isto é, uma função não linear de energia experimentada, tal como intensidade óptica ou energia ou aquecimento incidente. Nessa modalidade, por geração de franjas de interferência dentro de um determinado volume do meio, um ou mais bits de dados podem ser codificados seletivamente nesse volume, como uma modulação de índice de refração detectável posteriormente. Desse modo, uma matriz fotorresponsiva, molecular, tridimensional de variações de índice de refração pode ser, desse modo, usada para armazenar dados.

De acordo com um aspecto da presente invenção, as características funcionais não lineares podem estabelecer uma condição responsiva de energia limiar, abaixo da qual nenhuma variação substancial em índice de refração ocorre e acima da qual uma variação mensurável no índice de refração é induzido. Dessa maneira, um volume selecionado pode ser lido, ou recuperado, por colisão de um feixe de luz tendo

uma energia transmitida inferior à limiar, e escrito ou apagado usando um feixe de luz tendo uma energia transmitida acima do limiar. Conseqüentemente, matrizes densas de volumes que podem ter, ou não, um micro-holograma contido substancialmente nelas podem ser estabelecidas. Cada um dos micro-hogramas é representado como um modelo alternativo de sub-regiões tendo diferentes índices de refração, que correspondem às franjas de interferência de feixes de luz em propagação contrária, usados para escrever os micro-hogramas. Quando a modulação de luz refrativa decai rapidamente, como uma função da distância de um volume alvo, tal como um centro de bits codificado, o mais densamente que os volumes possam ser compactados.

De acordo com um aspecto da presente invenção, as variações de índice de refração em um volume particular podem ser induzidas por modelos de aquecimento localizado, correspondendo às franjas de interferência de feixes de luz em propagação contrária passando pelo volume. Em uma modalidade, a variação do índice de refração resulta de uma diferença de densidade entre um estado amorfo e um cristalino de um meio termoplástico. Uma transição de um para o outro estado pode ser induzida seletivamente em volumes alvos de um meio por ativação térmica de subvolumes do volume alvo, nas suas franjas de interferência. Alternativamente, as variações de índice de refração podem ser induzidas por uma variação química ocorrendo em um corante ou outro catalisador dentro de um corante, localizado dentro do volume alvo. Essa variação química pode ser induzida seletivamente usando tam-

bém ativação térmica.

Uma configuração utilizando um meio não linearmente responsivo é bem adequada para ser usada para proporcionar um meio micro-holográfico orientado por bit (oposto ao à
5 base de página) e um sistema que usa um feixe de luz estritamente focalizado único, um feixe de luz refletido focalizado, ligeiramente focalizado ou não focalizado. Essa configuração proporciona vantagens, incluindo: tolerância aperfeiçoada a desalinhamento da óptica de gravação e, e sistemas
10 micro-holográficos mais baratos e mais simples. Desse modo, um elemento refletivo com pouca ou sem curvatura pode ser usado em um sistema micro-holográfico, de acordo com um aspecto da presente invenção. Uma superfície de um disco de gravação de dados pode ser usado como um elemento refletivo
15 (com ou sem um revestimento refletivo).

Por exemplo, um meio termoplástico moldável por injeção com aspectos de baixa curvatura pode ser moldado na superfície do meio e pode ser metalizado e usado para gerar a reflexão, bem como trilhamento. De acordo com um aspecto
20 da presente invenção, um meio termoplástico pode ser moldado para incorporar elementos ligeiramente curvos em um disco, que pode ser depois usado para gerar reflexões com densidade de potência mais alta. Esses aspectos podem ser bem adequados para trilhamento, como ranhuras em um DVD. Além disso,
25 um ou mais elementos podem ser usados para corrigir o feixe de luz refletida. Por exemplo, um espelho curvo pode ser usado para gerar um feixe de luz colimada, e uma célula de cristal líquido pode ser usada para deslocar a diferença em

caminho de luz gerado por deslocamento a diferentes camadas. Ou, uma camada holográfica, que age como um elemento difrativo, pode ser posicionada próxima a uma superfície do meio, de modo a proporcionar correção para o feixe de luz. Um espelho externo ou a superfície do disco pode ser usado para
5 gerar a reflexão.

De acordo com um aspecto da presente invenção, a leitura de dados em diferentes camadas pode ser diferente. Em virtude de que as reflexões têm diferentes aberrações em
10 diferentes camadas, a aberração pode ser usada para indexação das camadas em um processo de focalização. Os desenhos no lado posterior do disco podem ser usados para proporcionar melhor controle de um feixe de luz refletida, para aumentar a intensidade de grade efetiva. Os revestimentos e/ou
15 as estruturas superficiais multicamada (similares a estruturas de filmes de exibição) são adequados para uso. De acordo com um aspecto da presente invenção, um desenho que absorve feixes de luz de incidência oblíqua e reflete feixes de luz perpendiculares podem ser também usados tanto para reduzir
20 ruído quanto para controlar a orientação dos micro-hologramas. Além disso, a intensidade de grade dos micro-hologramas não precisa ser igual para as diferentes camadas. O escalonamento de potência pode ser usado para gravação em diferentes camadas.

25 De acordo com um aspecto da presente invenção, a gravação de micro-hologramas usando um feixe de luz focalizado e um feixe de luz de onda plana, em um material de limiar, pode ser feita. Ainda que esse método possa utilizar

feixes de luz de entrada, os requisitos de alinhamento são menos rigorosos do que as metodologias convencionais, ainda que a orientação e a intensidade dos micro-hogramas se mantenham bem controladas e uniformes pelas camadas. O sinal de leitura pode ser melhor previsto também.

Holografia de bit único

A micro-holografia de bit único apresenta várias vantagens para o armazenamento de dados óptico em relação às outras técnicas holográficas. Com referência agora à Figura 1, mostra-se uma configuração exemplificativa 100, para formar um holograma dentro de um meio usando feixes de luz em propagação contrária. Nela, a gravação micro-holográfica resulta dos feixes de luz em propagação contrária 110, 120 interferindo para criar franjas em um volume 140 de um meio de gravação 130. A interferência pode ser atingida por focalização dos feixes de luz 110, 120 nos diâmetros limitados aproximadamente pela difração (tal como em torno de 1 micrômetro - μm - ou menos) a um volume alvo, por exemplo, localização desejada, dentro do meio de gravação 140. Os feixes de luz 110, 120 podem ser focalizados usando uma lente convencional 115 para o feixe de luz 110 e a lente 125 para o feixe de luz 120. Ainda que o uso de lente simples seja mostrado, os formatos de lentes compostos podem ser naturalmente usados.

A Figura 2 mostra uma configuração alternativa 200 para formação de um holograma dentro de um meio de suporte de holograma usando feixes de luz em propagação contrária. Na configuração 200, a lente 125 foi substituída por um es-

pelho curvo 220, de modo que uma reflexão focalizada 120 do feixe de luz 110 interfere com o próprio feixe de luz 110. As configurações 100, 200 requerem alinhamento altamente preciso de ambas as lentes 115, 125 ou da lente 115 e do espelho 220 relativamente entre eles. Conseqüentemente, os sistemas de gravação micro-holográficos empregando tais configurações são limitados a meios físicos livres de vibração, estáveis, tais como aqueles incorporando estágios de posicionamento de alta precisão convencionais.

10 De acordo com um aspecto da presente invenção, um feixe de luz refletido focalizado, ligeiramente focalizado ou não focalizado (relativo a um feixe de luz focalizado em propagação contrária) pode ser usado para gravação. A Figura 3 mostra uma configuração alternativa 300 para formar um holograma dentro de um meio, usando feixes de luz em propagação contrária. A configuração 300 usa uma reflexão de propagação contrária não focalizada 310 do feixe de luz 110 do espelho 320. Na modalidade ilustrada, o espelho 320 assume a forma de um espelho substancialmente plano.

20 A Figura 4 mostra uma configuração alternativa 400 para formação de um holograma dentro de um meio usando feixes de luz em propagação contrária. A configuração 400 usa uma reflexão de propagação contrária ligeiramente focalizada 410 do feixe de luz 110 do espelho 420. A modalidade ilustrada da configuração 400 também inclui um elemento de correção de comprimento de caminho óptico 425, que pode assumir a forma de uma célula de cristal líquido, uma cunha ou um par de cunhas de absorção de vidro, por exemplo.

A Figura 5 mostra uma outra configuração alternativa 600 para formação de um holograma dentro de um meio usando feixes de luz em propagação contrária. Similar à configuração 300 (Figura 3), a configuração 500 usa uma superfície de reflexão substancialmente plana. No entanto, a configuração 500 usa uma parte 520 do próprio meio 130, para proporcionar reflexão 510 do feixe de luz 110. A parte 520 pode assumir a forma de uma superfície posterior reflexiva (tal como uma revestida com metal) do meio 130, uma camada refletiva dentro do meio 130 ou um ou mais hologramas formando, essencialmente, uma superfície refletiva no meio 130, tudo sendo considerado como um exemplo não limitante.

Nas configurações 300, 400 e 500, o feixe de luz 110 tem um tamanho de ponto menor e uma densidade de potência maior em um volume ou região alvo do que o feixe de luz 310, 410, 510, de modo que as dimensões dos micro-hologramas vão ser estabelecidas pelas dimensões do menor tamanho de ponto. Uma dificuldade potencial para a diferença em densidade de potência entre os dois feixes de luz é um componente pedestal ou de CC (corrente contínua) no modelo de interferência. Esse componente pedestal ou de CC consome uma parte considerável das capacidades de gravação (faixa dinâmica) do material 130, em que o material 130 apresenta uma variação linear de índice de refração com intensidade de exposição experimentada.

A Figura 6 mostra que a intensidade de luz experimentada dos feixes de luz em propagação contrária varia com a posição - formando, desse modo, as franjas de interferên-

cia. Como é mostrado na Figura 7, em um material linearmente responsivo com intensidade de luz experimentada relativa a η_0 , o feixe de luz (relativamente) não focalizado pode, assim, consumir a faixa dinâmica em um volume muito maior do que o volume alvo, correspondente ao holograma desejado, diminuindo, desse modo, a possível refletividade de outros volumes e micro-hologramas. A faixa dinâmica é também consumida pela profundidade do meio, no qual os feixes de luz em propagação contrária estão também a uma incidência normal (consultar, por exemplo, as Figuras 1 e 2).

De acordo com um aspecto da presente invenção, esse consumo de faixa dinâmica em volumes afetados diferentes do volume alvo, durante a formação de holograma, é atenuado por uso de um material de gravação apresentando uma resposta não linear à densidade de potência experimentada. Em outras palavras, um meio apresentando propriedade de gravação não linear é usado em combinação com uma abordagem micro-holográfica. A propriedade de gravação não linear do material é usada para facilitar a gravação, que é não linear com alta intensidade (por exemplo, quadrada, cúbica ou do tipo limiar), de modo que a gravação ocorre substancialmente apenas acima de uma determinada intensidade de luz. Essa característica de gravação não linear do material reduz ou elimina o consumo de faixa dinâmica em volumes não endereçados e facilita a redução das dimensões dos micro-hologramas e, desse modo, dos volumes alvo.

As Figuras 10A - B e 11A - B ilustram as características de gravação de um meio de gravação linear, enquanto

que as Figuras 10C - D e 11C - D ilustram as características de gravação de um meio de gravação não linear de um tipo de limiar. Mais especificamente, as Figuras 10A - 10D mostram que a interferência de dois feixes de luz em propagação con-

5 trária, focalizados, como mostrado nas Figuras 1 e 2, produz uma modulação da intensidade de luz, em que a posição 0 (intermediária entre -0,5 e 0,5) corresponde ao ponto focal ao longo da espessura do meio de ambos os feixes de luz focali-

10 zados. No caso de um meio apresentando propriedades de gravação linear, uma modulação de índice de refração similar àquela mostrada na Figura 10B vai resultar, que segue o perfil de intensidade apresentado na Figura 10A. Ainda que a modulação de índice de refração possa basicamente maximizar a posição próxima a 0, deve-se notar que se estende substan-

15 cialmente pela espessura integral do material e não é limitada, por exemplo, aos valores de posição (abscissa) na Figura 10B - de modo que os micro-hologramas resultantes não ficam substancialmente contidos dentro de um volume particular dentro do meio, no quais volumes múltiplos são empilha-

20 dos uns depois dos outros. Em um meio de gravação apresentando propriedade não linear ou de limiar (uma condição de limiar sendo mostrada na Figura 10D), por outro lado, a gravação 1010 ocorre substancialmente apenas nos volumes nos quais uma condição de limiar 1020 é atingida, de modo que os

25 micro-hologramas resultantes ficam substancialmente contidos dentro de um volume particular, em que os volumes múltiplos são empilhados uns depois dos outros. A Figura 10D mostra que as franjas induzindo micro-hologramas se estendem por

aproximadamente 3 μm . Características similares são apresentadas nas dimensões laterais do micro-holograma, como ilustrado nas Figuras 11A - 11D. Como é assim demonstrado, o consumo indesejável da faixa dinâmica de volumes não alveados de um meio é atenuado por uso de um material não linear do tipo de limiar.

Ainda que um material não linear do tipo de limiar seja discutido, com a finalidade de explicação, deve-se entender que para uma aproximação de primeira ordem, a amplitude da modulação de índice de refração varia linearmente com a intensidade da luz, em um material responsivo linear (consultar as Figuras 10A - 10B, 11A - 11B). Desse modo, ainda que um material tendo um limiar de gravação possa provar ser particularmente desejável, um material que apresente uma resposta óptica não linear à exposição, no qual a amplitude da modulação do índice de refração varia, por exemplo, como uma potência (ou uma combinação de potências) superior a um, atenuaria significativamente o consumo de faixa dinâmica em outros volumes afetados.

Voltando de novo ao tipo de limiar de material não linear, e referindo-se de novo às Figuras 10C - D e 11C - D, nesse caso, um meio responsivo a limiar opera por experimentação de uma variação de índice de refração induzida opticamente 10^{10} , substancialmente apenas quando a densidade energética ou densidade de potência incidente 10^{15} esteja acima de um limiar 10^{20} . Abaixo do limiar 10^{20} , o meio não experimenta substancialmente qualquer variação no índice de refração. Um dos feixes de luz em propagação contrária, por exem-

plo, um feixe de luz refletida, usado para gravação, pode ser focalizado (Figuras 1 e 2), ligeiramente focalizado (Figura 4) ou mesmo não focalizado (Figuras 3 e 5). O uso, contudo, desse material responsivo a limiar tem o efeito de diminuir os requisitos de tolerância de focalização. Outra vantagem dele é que o dispositivo refletivo pode ser incorporado nos meios, tal como um disco, similar aos dispositivos de armazenamento óptico de tecnologia superficial atual, tal como ilustrado na Figura 5.

10 Com referência agora também às Figuras 8 e 9, o uso de micro-hologramas menores, em oposição aos hologramas à base de páginas maiores, proporciona uma tolerância do sistema aperfeiçoada às flutuações de temperatura e desalinhamentos angulares. A Figura 8 ilustra a dessintonização de Bragg esperada de um holograma ($\propto 1/L$, em que L é o comprimento do holograma) em função da diferença entre as temperaturas de registro e leitura. A referência 810 corresponde ao desempenho esperado de um micro-holograma, enquanto que a referência 820 corresponde ao desempenho esperado de um holograma à base de página. A Figura 9 ilustra a dessintonização de Bragg de um holograma ($\propto 1/L$, em que L é o comprimento do holograma) em função da variação angular. A referência 910 corresponde ao desempenho esperado de um micro-holograma, enquanto que a referência 920 corresponde ao desempenho esperado de um holograma à base de página.

25 Por meio de apenas uma explicação adicional não limitante, um feixe de luz incidente, focalizado no tamanho limitado aproximadamente pela difração, pode ser refletido

com uma ligeira focalização ou absolutamente sem focalização, de modo que o feixe de luz refletido seja não focalizado (ou ligeiramente focalizado), relativo ao feixe de luz incidente, focalizado, em propagação contrária. O elemento
5 refletivo pode ser uma superfície de disco, e pode assumir, por exemplo, a forma de um espelho plano, ou um espelho ligeiramente curvo. Se algum desalinhamento ocorre entre o feixe de luz focalizado e a reflexão, o modelo de interferência vai ser promovido pela localização do feixe de luz
10 focalizado, em que o feixe de luz refletido tem uma curvatura relativamente grande da sua frente de luz. A grande curvatura produz uma pequena variação de densidade de potência, quando o ponto focalizado se movimenta em relação ao feixe de luz refletido.

15 Exemplo de material não linearmente responsivo

Fotopolímeros foram propostos como meios candidatos a sistemas de armazenamento holográficos. Os meios à base de fotopolímeros têm as variações de índice de refração e as sensibilidades registradas em um estado em forma de gel
20 ensanduichado entre substâncias de vidro. No entanto, é desejável proporcionar uma estrutura simplificada, tal como um disco moldado. Além do mais, os sistemas de fotopolímeros são sensíveis às condições ambientais, isto é, iluminação ambiente, e requerem, freqüentemente, manuseio especial antes,
25 durante e mesmo algumas vezes depois do processo de gravação. É desejável eliminar também essas dificuldades.

De acordo com um aspecto da presente invenção, um material polimérico de mudança de fase, no qual as modula-

ções do índice de refração são induzidas por exposição a um feixe de luz, é usado como um meio de armazenamento de dados holográficos. Em uma modalidade, a variação detectável no índice de refração resulta das variações localizadas termicamente, entre os componentes amorfos e cristalinos do material. Isso proporciona modulações do índice de refração potencialmente grandes, induzidas por uso de pequenas energias. Esse material pode também proporcionar uma condição de limiar, na qual as energias da exposição óptica abaixo de um limiar têm pouco ou substancialmente nenhum impacto no índice de refração do material, enquanto que as energias de exposição óptica acima do limiar provocam variações do índice de refração detectáveis.

Mais particularmente, um material polimérico capaz de induzir mudança de fase pode proporcionar grandes variações do índice de refração ($\Delta n > 0,01$), com boa sensibilidade ($S > 500$ ou mais cm/d), em um substrato termoplástico, ambientalmente estável, moldável por injeção. Adicionalmente, esse material também oferece o potencial de usar um processo de gravação responsivo a limiar -- permitindo que um laser de mesmo comprimento de onda seja usado para ambas a leitura e escrita, enquanto impedindo a exposição à luz ambiente degrade substancialmente os dados armazenados. Em uma modalidade, a variação do índice de refração detectável corresponde à diferença de índice entre os estados amorfo e cristalino de um dos componentes de um substrato copolimérico termoplástico. Esse substrato pode ser preparado por elevação da temperatura do copolímero acima daquela de fusão

(T_m) e com resfriamento rápido, ou têmpera, do material para induzir que componentes previamente cristalinos do material resfriem em um estado amorfo.

Com referência agora às Figuras 14A e 14B, os feixes de luz são interferidos dentro dos volumes alvo do material, para aquecer localmente os subvolumes deles correspondentes às franjas de interferência, em consequência da absorção de energia neles. Uma vez que a temperatura local é aumentada acima da temperatura crítica, por exemplo, a temperatura de transição vítrea (T_g) (Figura 14A), os componentes cristalinos do material fundem e resfriam subsequentemente em um estado amorfo, resultando em diferença de índice de refração relativa aos outros volumes em estado cristalino no material. A temperatura crítica pode ser alternativamente em torno da temperatura de fusão (T_m) do material componente no nanodomínio. Independentemente, se a energia do feixe de luz incidente não for suficiente para elevar a temperatura do material acima da temperatura crítica, substancialmente nenhuma variação ocorre. Isso é conhecido na Figura 14B, na qual uma fluência óptica acima de um valor crítico, F_{crit} , provoca uma mudança de fase, resultando na escrita de um holograma, e uma fluência óptica abaixo do valor crítico, F_{crit} , não provoca substancialmente qualquer mudança de fase - e, desse modo, é adequado para a leitura de hologramas gravados e, por conseguinte, recuperação de dados gravados.

Para fins não limitantes de explicação adicional, o valor crítico é dado por $F_{crit} = L \times \rho \times c_p \times \Delta T$, em que L é o comprimento ou profundidade de um micro-holograma, ρ é a

densidade do material, c_p é o calor específico do material e ΔT é a variação de temperatura experimentada (isto é, $T_g - T_0$, em que T_g é a temperatura de transição vítrea e T_0 é a temperatura ambiente do material). Como um exemplo, quando

5 um policarbonato tendo uma densidade de $1,2 \text{ g/cm}^3$ e um calor específico de $1,2 \text{ J/(K.g)}$ é usado, o comprimento do micro-holograma é de $5 \times 10^{-4} \text{ cm}$, e a variação de temperatura é 125°C (K) , $F_{\text{crít}} = 90 \text{ mL/cm}^3$. Traduzido em termos de energia, a energia ($E_{\text{crít}}$) necessária para atingir a fluência crítica,

10 $F_{\text{crít}}$, é $E_{\text{crít}} = F_{\text{crít}} \times A = F_{\text{crít}} \times [(\pi w_0^2)/2]$, em que A é a área transversal do holograma e w_0 é a cintura do feixe de luz. A energia no foco, E_F , necessária para proporcionar $E_{\text{crít}}$ é $E_F = (E_{\text{crít}})/(1 - e^{-\alpha})$, em que $e^{-\alpha}$ é a transmissão, $a = a_0 + a_{\text{NL}}F$, a_0 é a absorção linear do material, a_{NL} é a absorção não linear

15 do material, F é a fluência óptica de incidência máxima, e L é o comprimento do micro-holograma. A energia incidente, E_{1N} , transmitida para o material para proporcionar a energia necessária no foco, E_{F1} , é $E_{1N} = [(E_{\text{crít}}) / (1 - e^{-\alpha})e^{-\alpha D/2}]$, em que $e^{-\alpha}$ é a transmissão, $a = a_0 + a_{\text{NL}}F$, a_0 é a absorção

20 linear do material, a_{NL} é a absorção não linear do material, F é a fluência óptica de incidência máxima, L é o comprimento do micro-holograma e D é a profundidade (comprimento) do material (por exemplo, a espessura do disco de meio). Com referência agora às Figuras 15A - 15C, considerando um corpo

25 de feixe de luz, w^0 , de $0,6 \times 10^{-4} \text{ cm}$, a área transversal do holograma, A , é $5,65 \times 10^{-9} \text{ cm}^2$. Assumindo ainda uma profundidade do micro-holograma, L , como sendo $5 \times 10^{-4} \text{ cm}$, e a profundidade do material D (por exemplo, todo o disco de

meio) como sendo 1 mm, uma relação prevista entre a energia incidente, E_{CN} , e α é mostrada na Figura 15A. Considerando ainda uma absorção linear do material, a_0 , de 0,016 1/cm, e uma absorção não linear do material, a_{NL} , de 1.000 cm/J (e
5 ainda um comprimento de material de 0,1 cm), uma relação prevista entre a transmissão e a fluência é mostrada na Figura 15B. Usando essas mesmas considerações, as relações previstas entre o corpo do feixe de luz e a distância, e entre a absorção normalizada e a distância são mostradas na
10 Figura 15C.

Consistentemente, e como é mostrado nas Figuras 16A e 16B, espera-se que a exposição a feixes de luz em propagação contrária desse meio de material copolimérico escreva micro-hologramas na forma de modulações de índices fixos
15 correspondentes às franjas de interferência de feixes de luz em propagação contrária, devido à formação ou destruição de nanodomínios de polímero cristalino nele. Isto é, o mecanismo de variação / separação de fases gera uma modulação de índice de refração baseada na formação ou destruição de na-
20 nodomínios cristalinos, que são substancialmente menores do que o comprimento de onda da luz sendo usada. Os valores da Figura 16B são previstos usando dois feixes em propagação contrária, cada um deles tendo uma potência de feixe único, incidente ($P_1 = P_2$) de 75 mW, $\alpha = 20 \text{ cm}^{-1}$ e um tempo de ex-
25 posição (t) de 1 ms. Uma variação de índice de refração resultante ($\Delta n = 0,4$), que forma o micro-holograma, é mostrada na Figura 16C. Como pode-se notar nela, um micro-holograma representado como uma série de variações de índice de refra-

ção, correspondentes às franjas de interferência de feixes de luz em propagação contrária, ocorre substancialmente apenas quando um aquecimento localizado excede uma condição de limiar (por exemplo, a temperatura excede 150°C), de modo
5 que resulta uma condição de gravação de limiar.

Os polímeros adequados para uso incluem, por meio de exemplo não limitante, homopolímeros apresentando cristalinidade parcial, misturas de homopolímeros compostas de polímeros amorfos e cristalinos, e uma variedade de composições copoliméricas, incluindo copolímero aleatórios e em
10 bloco, bem como misturas de copolímeros com ou sem homopolímeros. Esse material é adequado para armazenar hologramas na ordem de 3 micrômetros (microns) de profundidade, apenas por meio de exemplo não limitante. A absorção linear do material
15 pode ser alta, tornando o material opaco e limitando a sensibilidade.

Uma reação termicamente induzida, responsiva a um corante de absorção óptica, é bem adequada para separar o mecanismo de variação de índice do mecanismo fotorreativo,
20 propiciando sensibilidades potencialmente grandes. De acordo com um aspecto da presente invenção, o processo induzido termicamente pode proporcionar o mecanismo responsivo não linear para a variação de índice de refração induzida opticamente. Esse mecanismo, ou condição limiar, permite que
25 feixes ópticos de um mesmo comprimento de onda sejam usados a baixas e altas potências, para leitura e gravação de dados, respectivamente. Essa característica também impede que a luz ambiente degrade substancialmente os dados armazena-

dos. Os corantes com uma propriedade de absorção saturável reversa (RSA), na qual a absorção é uma função da fluência e aumenta com o aumento da fluência, são úteis. Conseqüentemente, a absorção é mais alta no foco do ou dos feixes de luz, o que significa que a absorção linear de fundo é pequena, produzindo basicamente um material que é quase transparente. Os exemplos desses corantes incluem porfirinas e ftalocianinas, apenas por meio de exemplo não limitante.

Além disso, os copolímeros amorfos / cristalinos são bem adequados para proporcionar as propriedades desejadas em um substrato termoplástico moldável por injeção, tal como um disco. O uso de um termoplástico permite que os dados sejam gravados em um substrato estável, sem requisito de pós-processamento significativos, de modo que a variação do índice de refração, a sensibilidade, a estabilidade e a "fixação" são proporcionadas pelo próprio material copolimérico único. E, as modulações do índice maiores do que as dos fotopolímeros convencionais podem ser possíveis por meio de seleção de componentes copoliméricos. A sensibilidade do material pode depender das propriedades de absorção óptica do(s) corante(s) usado(s). No caso de corantes de absorção saturáveis reversos, sensibilidades tão altas quanto 2 - 3 vezes as dos fotopolímeros holográficos convencionais são obtíveis. A condição de limiar também proporciona a capacidade de ler e escrever dados a um mesmo comprimento de onda, com pouco ou sem qualquer pós-processamento requerido, após os dados serem gravados. Isso está em oposição com os fotopolímeros, que requerem, tipicamente, a exposição total

do substrato, após gravação de dados para colocar o sistema em uma cura total. Finalmente, o substrato de copolímero pode estar em um estado termoplástico, oposto ao estado em forma de gel dos fotopolímeros, antes da gravação dos dados.

5 Isso simplifica vantajosamente a estrutura física dos meios, se comparados aos fotopolímeros, pois o material em estado termoplástico pode ser moldado por injeção por ele mesmo e não precisa ficar contido dentro de um recipiente ou transportador, por exemplo.

10 Desse modo, de acordo com um aspecto da presente invenção, copolímeros amorfos / cristalinos podem ser usados para suportar mudanças de fase induzidas opticamente e as modulações de índice resultantes. Os corantes de absorção linear podem ser usados em combinação com os materiais de
15 mudança de fase amorfos / cristalinos, para converter a energia óptica em aumentos de temperatura. O ou os corantes de absorção saturável reversa podem ser usados para gerar, eficientemente, aumentos de temperatura. A ativação óptica pode ser separada da indução da variação de índice pelos co-
20 rantes e materiais de separação / mudança de fase, propiciando que uma condição de limiar indexe a variação.

Por meio de explicação adicional, em certas composições de copolímeros em bloco, os polímeros individuais se separam, espontaneamente, em fases a estruturas de domínios
25 ordenados regularmente, que não crescem macroscopicamente como as misturas poliméricas, por causa da natureza do copolímero. Esse fenômeno é discutido por Sakurai, TRIP vol. 3, 1995, página 90 et seq. Os polímeros individuais constituin-

tes do copolímero podem exibir um comportamento amorfo e/ou cristalino, dependendo da temperatura. A relação ponderal dos polímeros individuais pode tender a ditar se as microfases, que se separam, formam esferas, cilindros ou lamelas.

5 Um sistema de copolímero, no qual ambas as fases são amorfas, por um aquecimento breve (ou estendido) acima da temperatura de transição vítrea (T_g) e da temperatura de fusão (T_m) dos blocos individuais, pode ser usado. Por resfriamento a baixas temperaturas, uma das fases cristaliza, enquanto
10 mantendo as formas das microfases originais. Um exemplo desse fenômeno é ilustrado em copolímeros em bloco de poli (óxido de etileno) / poliestireno, como registrado por Hung et al. em *Macromolecules*, 34, 2001, página 6.649 et seq. De acordo com um aspecto da presente invenção, os copolímeros em
15 bloco de poli (óxido de etileno) / poliestireno podem ser usados em uma relação 75% / 25%, por exemplo.

Por exemplo, um corante fotoquímica e termicamente estável, tal como um corante de ftalocianina, como ftalocianina de cobre, ftalocianina de chumbo, ftalocianina de zinco,
20 co, ftalocianina de índio, ftalocianina de índio e tetrabutila, ftalocianina de gálio, ftalocianina de cobalto, ftalocianina de platina, ftalocianina de níquel, tetra-4-sulfonatofenilporfirinato-cobre (II) ou tetra-4-sulfonatofenilporfirinato-zinco (II) podem ser adicionados a
25 esse copolímero e moldados por injeção a um disco de 120 mm de diâmetro. A moldagem aumenta a temperatura do copolímero acima da temperatura de transição vítrea (T_g) do poliestireno e da temperatura de fusão (T_m) do poli (óxido de etile-

no), produzindo, desse modo, um material amorfo com separações em microfases. O resfriamento, por exemplo, têmpera, do disco a cerca de -30°C faz com que a fase de poli (óxido de etileno) cristalize pelo material. Quando os tamanhos dos domínios das regiões cristalinas são suficientemente pequenos, tais como inferiores a centenas de nanômetros (por exemplo, $< 100\text{ nm}$), a luz vai ser difundida pelo meio, e os meios vão ficar transparentes, mesmo em substratos espessos. Os dados podem ser gravados no material por interferência de 2 feixes de laser (ou um feixe de luz e uma reflexão dele) em regiões específicas, por exemplo, em volumes alvo, do disco.

Por exposição de um ou mais feixes de luz de gravação (por exemplo, feixes de laser de alta potência), o corante absorve a luz intensa nas franjas de interferência, aumentando momentaneamente a temperatura no volume ou região correspondente do disco, a um ponto acima da temperatura de fusão (T_m) da fase de poli (óxido de etileno). Isso faz com que a região fique substancialmente amorfa, produzindo um diferente índice de refração do que aquele dos domínios cristalinos no material circundante. A exposição subsequente a feixes de baixa energia, com a finalidade de leitura dos micro-hologramas gravados e recuperação dos dados correspondentes como reflexões de micro-hologramas, não provoca qualquer variação substancial no material, em que potências do laser, que não aquecem o polímero acima da T_g ou T_m dos polímeros individuais, são usadas. Desse modo, um meio de armazenamento de dados holográfico, opticamente responsivo,

não linear, tal como um responsivo a limiar, pode ser proporcionado, que é substancialmente estável por longos períodos de tempo e por várias leituras.

Ainda que esferas, cilindros e lamelas sejam estruturas comuns, outras permutações podem ser formadas e funcionarem igualmente bem. Vários copolímeros em bloco, incluindo copolímeros em bloco de policarbonato / poliéster, podem ser usadas alternativamente e propiciam diferentes temperaturas de formação dos domínios cristalinos, bem como a temperatura na qual são destruídos. Quando o corante usado para absorver a radiação e produzir calor assume a forma de um absorvedor saturável reverso, um bom controle em ponto localizado, no qual ocorre aquecimento, pode resultar. A extensão lateral dos micro-hologramas pode ser significativamente menor do que o diâmetro do corpo do ou dos feixes de laser focalizados. A limitação ou eliminação do consumo de faixa dinâmica do material de gravação foram dos micro-hologramas gravados, aumentando, por conseguinte, a refletividade de cada micro-holograma e, portanto, a capacidade de armazenamento de dados, pode ser, desse modo, feita por uso de um meio de gravação não linear, de acordo com um aspecto da presente invenção.

Um material de limiar pode também apresentar o benefício adicional de ser mais sensível à gravação do que um material linear. Essa vantagem pode traduzir-se em taxas de gravação atingíveis mais altas para um sistema micro-holográfico. Além disso, uma modulação de índice de refração escalonada, resultante de uma característica de limiar do

meio, pode servir para produzir micro-hologramas menos re-
fletivos do que quando do uso de materiais lineares. No en-
tanto, a refletividade pode manter-se suficientemente alta
para aplicações de armazenamento de dados. Com referência
5 agora também à Figura 12, espera-se que a refletividade au-
mente com o aumento da modulação do índice de refração. Es-
pera-se também que a difusão térmica não apresente problemas
indevidos. A difusão térmica durante a formação de hologra-
mas também foi considerada, e o espera-se que o modelo de
10 temperatura siga as franjas de interferência dos feixes de
luz em propagação contrária, isto é, o modelo de exposição.
Para manter as franjas no modelo de índice, a difusão térmi-
ca pode ser substancialmente limitada à região entre as
franjas atingindo a temperatura de mudança de fase. A curva
15 1210 na Figura 12 corresponde a um material linearmente res-
ponsivo, e a curva 1220 na Figura 12 corresponde a um mate-
rial responsivo a limiar. Com referência também às Figuras
13A e 13B, são apresentados perfis de elevação de temperatu-
ra previstos em função da posição. Conseqüentemente, espera-
20 se que o vazamento térmico de um volume alvo para os volumes
circundantes não aumente a temperatura dos volumes circun-
dantes à limiar 1020.

Exemplo de material não linear 2

De acordo com outra configuração, os corantes or-
25 gânicos em matrizes poliméricas podem ser usados para supor-
tar as variações do índice de refração (Δn), para realizar
armazenamento de dados holográficos, em que os corantes or-
gânicos têm grandes índices de refração, otimizados, resso-

nantes, relativos à matriz polimérica. Nesse caso, o alvejamento dos corantes em regiões específicas, ou volumes alvo, pode ser usado para produzir o gradiente de índice de refração para holografia. Os dados podem ser escritos por interferência de feixes de luz dentro do meio, para alvejar áreas específicas. No entanto, quando a luz interferente passa por todo o meio (ainda que apenas áreas específicas sejam alvejadas), e uma resposta linear à radiação de alvejamento existe, (ainda que a intensidade do feixe de luz seja mais alta nas áreas focalizadas e produza mais alvejamento nelas) níveis relativamente baixos do corante são esperados a serem alvejados pelo meio impingido. Desse modo, após os dados serem escritos em níveis múltiplos, um alvejamento adicional indesejável é esperado ocorrer em um meio de gravação linear. Isso pode basicamente limitar o número de camadas de dados, que podem ser escritas no meio, o que, por sua vez, limita a capacidade de armazenamento global para o meio de gravação linear.

Outra preocupação provém do reconhecimento de que um meio de gravação necessita ter uma alta eficiência quântica (QE), para ter uma sensibilidade útil para aplicações comerciais. A QE se refere ao percentual de fótons colidindo em um elemento fotorreativo, que vai produzir um par de lacuna-elétron, e é uma medida da sensibilidade do dispositivo. Os materiais com altas QEs são tipicamente submetidos a um rápido alvejamento de hologramas armazenados, e, desse modo, dados, mesmo quando do uso de laser de leitura de baixa potência. Consistentemente, os dados podem ser apenas li-

dos um número limitado de vezes, antes de ficarem, essencialmente, ilegíveis em um meio linearmente responsivo.

De acordo com um aspecto da presente invenção, um meio opticamente responsivo, não linear é usado para abordar
5 essas deficiências. De novo, uma solução de material baseada em termoplásticos, em vez de fotopolímeros, pode ser usada em um sistema holográfico, para proporcionar armazenamento e recuperação de dados. Isso pode provar ser vantajoso em termos de processos, manuseio e armazenamento, bem como compatibilidade com várias técnicas holográficas.
10

Por meio de explicação adicional, corantes de absorção de faixa estreita em materiais termoplásticos podem ser usados para armazenamento de dados ópticos holográficos. Acredita-se que redes poliméricas rígidas retardem as eficiências quânticas (QE) para determinadas reações fotoquímicas.
15 Desse modo, de acordo com um aspecto da presente invenção, o aquecimento localizado de uma rede polimérica, tal como a temperatura próximas ou acima da Tg do termoplástico, é útil para aumentar a QE localizada do material, tal como por um fator > 100 . Esse aperfeiçoamento otimiza diretamente a sensibilidade do material de uma maneira útil para o armazenamento de dados ópticos holográficos. Além disso, proporciona um processo de bloqueio de fluxo de elétrons, ou um processo de limiar, no qual as moléculas do corante, em regiões em fusão distintas do meio, sofrem reações fotoquímicas mais rápidas do que no material amorfo circundante - facilitando, por sua vez, a escrita ou muitas camadas virtuais
20 de um meio, sem afetar significativamente outras camadas. Em
25

outras palavras, possibilita a leitura e a escrita, sem provocar, prejudicialmente, o alvejamento significativo de outros volumes.

Com referência agora às Figuras 17A - 17C, orto-
5 nitroestilbenos (o-nitroestilbenos), contendo matrizes poliméricas, podem ser usados para armazenamento de dados holográficos. A reação fotoquímica, que provoca o alvejamento de orto-nitroestilbenos, é bem conhecida e discutida, por exemplo, por Splitter e Calvin, JOC, 1955, vol. 20 e páginas
10 1086 - 1115. McCulloch usou posteriormente essa classe de composto para produzir guias de onda em uma aplicação de filme fino, por alvejamento do corante para formar material de cobertura (consultar *Macromolecules*, 1994, vol. 27, páginas 1697 - 1702. McCulloch registrou uma QE de um o-
15 nitroestilbeno particular como sendo 0,000404 em uma matriz de poli (metacrilato de metila) (PMMA). No entanto, notou-se que o mesmo corante em solução de hexano diluída tinha uma QE de 0,11, no mesmo comprimento de onda de alvejamento. McCulloch especulou ainda que essa diferença foi devido ao
20 deslocamento hipsocrômico no λ máximo, pelo fato de ir-se de filmes poliméricos a soluções de hexano. Pode ser relacionada com um efeito de mobilidade, uma vez que a conformação estável do o-nitroestilbeno no polímero rígido pode não ser alinhada adequadamente, devido à reação pericíclica
25 inicial. A Figura 17A ilustra dados indicativos de alvejamento com um laser a 532 nm de 100 mW, a 25°C e a 160°C. A otimização pode ser devido à maior mobilidade, ou simplesmente pela cinética de reação mais rápida, devido à maior

temperatura, ou uma combinação de ambos. Consistente com a Figura 17A, a Figura 17B apresenta uma QE otimizada da matriz discutida, que é esperada acima de aproximadamente 65°C. Desse modo, em uma modalidade, os corantes de o-
5 nitroestilbeno são usados em combinação com as matrizes de policarbonato, para proporcionar desempenho comparável aos materiais de PMMA, conquanto que QEs ligeiramente mais altas possam ser possíveis.

Deve-se entender, no entanto, que a presente invenção não é limitada a essa classe de corantes. Em vez disso, a presente invenção considera o uso de qualquer material corante fotorreativo tendo uma QE suficientemente baixa em uma matriz polimérica sólida, na ou próximo da temperatura ambiente, e que apresente um aumento em QE, tal como um aumento exponencial em QE, por aquecimento. Isso proporciona um mecanismo de gravação não linear. Deve-se entender que o aquecimento não precisa aumentar a temperatura acima da temperatura de transição vítrea (T_g), ou pode aumentar bem acima da T_g , desde que a QE seja otimizada significativamente.
10 A QE desse corante fotoativo pode ser otimizada dentro de regiões específicas de uma matriz polimérica, que contém uma distribuição substancialmente uniforme do corante. No caso de uma matriz de policarbonato, por aquecimento da matriz de policarbonato contendo o corante fotoativo acima da sua T_g ,
15 um aumento na taxa de alveijamento pode ser obtido. O aumento da taxa de alveijamento pode ser da ordem de > 100 vezes.

Opcionalmente, além de um corante fotorreativo ser adicionado a uma matriz de policarbonato, como o-

nitroestilbeno, um segundo corante fotoquimicamente estável pode ser também adicionado à matriz, para funcionar como um absorvedor de luz, para produzir aquecimento localizado nas franjas de interferência no foco dos feixes de luz em propagação contrária. As concentrações do corante, a potência do laser e o tempo no ponto de focalização podem ser usados para ajustar a temperatura esperada na faixa desejada, por exemplo, próxima ou acima da T_g da matriz. Nessa modalidade, os primeiro e segundo comprimentos de onda de luz, para fotoalveijamento, são focalizados simultaneamente aproximadamente na mesma região da matriz. Uma vez que a sensibilidade na região aquecida do material é esperada ser maior, por exemplo, da ordem de 100 vezes maior, do que as regiões poliméricas rígidas, frias, circundantes (consultar a Figura 17A), as informações podem ser rapidamente gravadas em um volume aquecido, alvo usando feixe de luz de potência relativamente baixa, tendo um efeito alvejante menos significativo nas regiões circundantes. Desse modo, as regiões previamente gravadas, ou as regiões que ainda não têm dados gravados, experimentam um alveijamento mínimo, atenuando, desse modo, o consumo de faixa dinâmica indesejada nelas e permitindo que mais camadas de dados sejam gravadas no meio como um todo. Também, por leitura de uma potência relativamente baixa com o comprimento de onda de laser usado para aquecer a região específica para escrita, o alveijamento do corante inadvertido, durante leitura, é também atenuado. Alternativamente, um único comprimento de onda, ou uma faixa de comprimentos de onda, de luz pode ser usado para aquecimento e

alvejamento, de modo que apenas um comprimento de onda de luz (ou faixa de comprimentos de onda) é usado em vez de dois diferentes comprimentos de onda.

Embora vários corantes sejam adequados para agir
5 como corantes térmica e fotoquimicamente estáveis para fins de aquecimento localizado, os corantes que se comportam não linearmente podem provar ser particularmente bem adequados. Uma dessas classes de corantes, conhecida como Absorvedores Saturáveis Reversos (RSA), também conhecida como absorvedores
10 res de estado excitado, é particularmente atraente. Essas incluem vários corantes de metaloftalocianinas e fulereno, que têm, tipicamente, uma absorção muito fraca em uma parte dos espectros, bem separada das outras absorções fortes do corante, mas, não obstante, formam forte absorção tripleto -
15 tripleto transiente, quando a intensidade da luz supera um nível de limiar. Os dados correspondentes a um exemplo não limitante, usando dimetilamino dinitroestilbeno estendido, são apresentados na Figura 17C. Consistentemente com isso, espera-se que uma vez que uma intensidade de luz, nas fran-
20 jas de interferência de feixes de luz em propagação contrária, em um meio incorporando dimetilamino dinitroestilbeno, supera o nível de limiar, o corante absorve fortemente em um ponto focalizado e pode aquecer rapidamente os volumes cor-
respondentes do material a altas temperaturas. Desse modo,
25 de acordo com um aspecto da presente invenção, um evento de bloqueio de fluxo de elétrons térmico é usado, para permitir que uma energia relativamente baixa escreva dados em um volume alvo de um médio (apresentando, desse modo, uma maior

sensibilidade), enquanto minimizando as reações induzidas por exposição indesejadas em outros volumes do meio.

Trilhamento e focalização

Em uma modalidade, os micro-hologramas são armaze-
5 nados em um meio volumétrico, ao longo de trilhas espirais
estendendo-se radialmente em uma pluralidade de camadas em-
pilhadas verticalmente, nas quais o meio é na forma de um
disco que gira (consultar, por exemplo, as Figuras 28 e 30).
Um sistema óptico focaliza um feixe de luz em volumes alvo
10 particulares no meio, para detectar a presença ou ausência
de um micro-holograma neles, para recuperar ou ler os dados
previamente armazenados ou gerar franjas de interferência
neles, para gerar um micro-holograma. Desse modo, é impor-
tante que os volumes alvo sejam atingidos precisamente para
15 escrita de dados e recuperação de iluminação de feixe de luz.

Em uma modalidade, as características espaciais de
reflexões de um feixe de luz colidente são usadas para auxi-
liar apontar precisamente nos volumes selecionados do meio
contendo disposições de micro-hologramas. Se um volume alvo,
20 por exemplo, um micro-holograma, estiver fora de foco ou fo-
ra de trilha, a imagem refletida difere de uma reflexão de
um micro-holograma, que está em foco e em trilha, em uma ma-
neira previsível. Isso pode ser, por sua vez, monitorado e
usado para controlar os atuadores, para apontar precisamente
25 em volumes específicos alvo. Por exemplo, o tamanho das re-
flexões dos micro-hologramas fora de foco varia em relação
àquele dos micro-hologramas em foco. Além disso, as refle-
xões dos micro-hologramas desalinhados são alongadas, compa-

radas com as reflexões de micro-hologramas alinhados adequadamente, por exemplo, são de natureza mais elíptica.

Por meio de explicação adicional, nos sistemas de materiais discutidos acima (diferentes das tecnologias CD e DVD convencionais), uma camada não metalizada é usada para refletir um feixe de luz de leitura incidente. Como mostrado na Figura 18, o micro-holograma 1810 contido no meio 1820 reflete o feixe de luz de leitura 1830 em um detector anular 1840, posicionado em torno de um ou mais elementos ópticos (por exemplo, lente) 1850. O elemento óptico 1850 focaliza o feixe de luz 1830 em um volume alvo, correspondente ao micro-hologramas 1810 - de modo que o micro-holograma 1810 gera uma reflexão, que é incidente no elemento óptico 1850 e no detector anular 1840. Na modalidade ilustrada, o elemento óptico 1850 comunica a reflexão a um detector de recuperação de dados (não mostrado). Deve-se entender que ainda que apenas um único micro-holograma 1810 seja ilustrado, de fato, o meio 1820 é esperado conter uma disposição de micro-hologramas, posicionados em várias posições (por exemplo, coordenadas X e Y ou ao longo das trilhas) e em muitas camadas (por exemplo, coordenadas Z ou planos de profundidade ou pseudoplanos). Usando o(s) atuador(es), o elemento óptico 1850 pode ser apontado seletivamente para diferentes volumes alvo correspondentes, para selecionar aqueles dos micro-hologramas.

Se o micro-holograma 1810 estiver no foco do feixe de luz de leitura 1830, esse feixe de luz de leitura 1830 fica refletido, gerando, desse modo, um sinal refletido no

elemento óptico 1850, que é comunicado a um detector de recuperação de dados. O detector de recuperação de dados pode assumir a forma de um fotodiodo, posicionado para detectar, por exemplo, as reflexões do feixe de luz 1830. Se nenhum
5 micro-holograma 1810 estiver presente no foco, nenhum sinal correspondente é gerado pelo detector de recuperação de dados. Em um sistema de dados digital, um sinal detectado pode ser interpretado como um "1" e a ausência de um sinal detectado como um "0", ou vice-versa. Com referência também agora
10 às Figuras 19A - 19C, mostra-se dados de reflexão simulados, correspondentes a um micro-holograma circular, em trilha, em foco, usando um feixe de luz de leitura tendo um comprimento de onda incidente de $0,5 \mu\text{m}$, um tamanho de ponto de laser de $D/2 = 0,5 \mu\text{m}$, uma polarização circular sinistrogira, um parâmetro de feixe de luz com-focal: $z/2 = 2,5 \mu\text{m}$, e um ângulo de difração de metade de campo distante de $6/2 = 11,55^\circ$ (campo) ou $6/2 = 8,17^\circ$ (potência).

Com referência também agora à Figura 20, para que um feixe de luz de leitura seja refletido, corretamente, por
20 um micro-holograma, o feixe de laser deve ser corretamente focalizado e lateralmente centralizado no micro-holograma. Na Figura 20, um feixe de luz incidente é apresentado como tendo frentes de onda 2010, que são normais ao eixo óptico de propagação 2020, na sua parte central 2030. Um micro-
25 holograma apenas reflete substancialmente a luz desses vetores de onda (isto é, vetores k), que seguem uma determinada direção. Um feixe de luz gaussiano focalizado, tal como aquele mostrado na Figura 20, é a sobreposição de muitas pe-

quenas ondulações com vários vetores de ondas. O ângulo máximo do vetor de onda é determinado pela abertura numérica da lente objetiva de focalização. Conseqüentemente, nem todos os vetores são refletidos pelo micro-holograma - de modo
5 que um micro-holograma age como um filtro, que apenas reflete a luz incidente com determinados vetores de onda. Quando fora de foco, apenas a parte central da luz incidente se sobrepõe ao micro-holograma. Assim, apenas a parte central fica refletida. Nesse cenário, as variações na eficiência de
10 reflexão diminuem.

Quando o feixe de luz focalizado não é alinhado adequadamente com um micro-holograma em uma trilha, os vetores de onda ao longo da direção vertical à trilha não têm uma reflexão tão forte na direção ao longo da trilha. Nesse
15 caso, o feixe de luz é alongado na direção vertical à trilha no campo próximo, enquanto que o feixe de luz é apertado nessa direção no campo longe. Conseqüentemente, podem ser proporcionados hologramas de trilhamento separados.

As Figuras 21A - 21C mostram as distribuições no
20 campo próximo ($z = 2 \mu\text{m}$) correspondentes à simulação do micro-holograma circular das Figuras 19A - 19C. A Figura 21A ilustra um feixe de luz de recuperação de dados sendo lançado a $x = y = 0$ e $z = 0,01$ em um meio. A Figura 21B ilustra uma reflexão em condição fora de trilha, provocada por um
25 deslocamento de $x = 0,5$. A Figura 21C ilustra uma reflexão em condição fora de ou sem foco, provocada por um deslocamento de $z = 1,01$. Desse modo, em uma condição fora de foco, a eficiência do feixe de luz diminui, enquanto que em uma

condição fora de trilha, a reflexão é distorcida espacialmente. Com referência agora também às Figuras 22A - 22C, são apresentadas distribuições de campo distante correspondentes às distribuições de campo próximo das Figuras 21A - 21C, respectivamente. A Figura 22A mostra um feixe de luz de recuperação de dados sendo lançado a $x = y = 0$ e $z = 0,01$ em um meio, que proporciona ângulos de divergência em campo próximo análogos (integrals) nas direções X e Y, no caso ilustrado $11,88^\circ$ em ambas as direções X e Y. A Figura 22B mostra uma reflexão em condição fora de trilha, provocada por um deslocamento de $x = 0,5$, que resulta em diferentes ângulos de distribuição em campo próximo nas direções W e Y, no caso ilustrado $4,6^\circ$ na direção X e $6,6^\circ$ na direção Y. Finalmente, a Figura 22C mostra uma reflexão em condição fora de foco ou sem foco, provocada por um deslocamento de $z = 1,01$, que resulta em ângulos de divergência em campo próximo análogos (integrals) nas direções X e Y, no caso ilustrado $9,94^\circ$ em ambas as direções X e Y. Desse modo, os micro-hologramas agem como filtros no espaço k, de modo que o ponto em campo distante vai ser elíptico em uma condição fora de trilha, e o ponto em campo distante vai ser menor com uma condição fora de foco.

Deve-se entender que os micro-hologramas necessários não precisam ser circulares. Por exemplo, micro-hologramas oblongos podem ser usados. Com referência agora também às Figuras 23A - 23C, mostra-se uma simulação correspondente a um micro-holograma oblongo em trilha, em foco, usando um feixe de luz de leitura tendo um comprimento de

onda incidente de $0,5 \mu\text{m}$, um tamanho de ponto de laser de $D/2 = 0,5 \mu\text{m}$, uma polarização circular esquerda, uma faixa de Rayleigh de $z/2 = 2,5 \mu\text{m}$, e um ângulo de difração em campo distante de $6/2 = 11,55^\circ$ (campo) ou $\theta/2 = 17^\circ$ (potência)

5 - análoga à simulação das Figuras 19A - 19C. As Figuras 24A - 24C mostram distribuições em campo próximo ($z = 2 \mu\text{m}$) correspondentes à simulação do micro-holograma oblongo das Figuras 23A - 23C. A Figura 24A ilustra um feixe de luz de recuperação de dados lançado a $x = y = 0$ e $z = 0,01$ em um meio.

10 o. A Figura 24B ilustra uma reflexão em condição fora de trilha, provocada por um deslocamento de $x = 0,5$. A Figura 24C ilustra uma reflexão em condição fora de foco ou sem foco, provocada por um deslocamento de $z = 1,01$. Desse modo, em uma condição fora de foco, a eficiência do feixe de luz

15 diminui, enquanto que em uma condição fora de trilha a reflexão é distorcida espacialmente. Referindo-se agora também às Figuras 25A - 25C, são mostradas distribuições em campo distante, correspondentes às distribuição em campo próximo das Figuras 24A - 24C, respectivamente. A Figura 25A mostra

20 que um feixe de luz de recuperação de dados, sendo lançado a $x = y = 0$ e $z = 0,01$ em um meio, proporciona divergência em campo distante, dependendo da capacidade do micro-holograma de ser oblongo, no caso ilustrado $8,23^\circ$ na direção X e $6,17^\circ$ na direção Y. A Figura 25B mostra que uma condição fora de

25 trilha, provocada por um deslocamento de $x = 0,5$, resulta em diferentes ângulos de distribuição em campo distante nas direções X e Y, no caso ilustrado $4,33^\circ$ na direção X e $5,08^\circ$ na direção Y. Finalmente, a Figura 25C mostra que uma refle-

xão em condição fora de foco ou sem foco, provocada por um deslocamento de $z = 1,01$, resulta em diferentes ângulos de divergência em campo distante (integrais) nas direções X e Y, no caso ilustrado $5,88^\circ$ na direção X e $5,00^\circ$ na direção Y.

5 Desse modo, micro-hologramas oblongos também agem como filtros no espaço k , e que enquanto micro-hologramas oblongos resultam em perfis espaciais em pontos em campo distante elípticos, em uma condição fora de trilha, a direção alongada por diferir, e o ponto em campo distante vai
10 ser menor com uma condição fora de foco.

A presente invenção vai ser ainda discutida quando se refere a micro-hologramas circulares, apenas para fins não limitantes de explicação. A variação da forma do feixe de luz na direção fora de trilha, bem como a intensidade espacial do feixe de luz, podem ser determinadas por uso de um
15 detector quadripolo, tal como aquele mostrado na Figura 26. Desse modo, em uma modalidade, o perfil espacial das reflexões dos micro-hologramas é usado para determinar se um feixe de luz de leitura está em foco e/ou em trilha. O sinal
20 pode servir também para separar os dois cenários de focalização do feixe de luz, fora de foco ou fora de trilha, e proporcionar um sinal de realimentação para um servomecanismo de acionamento, para, por exemplo, corrigir a posição da cabeça óptica do laser. Por exemplo, um ou mais detectores,
25 que convertem reflexões de micro-hologramas em sinais elétricos, podem ser usados para detectar variações na imagem refletida dos micro-hologramas - e, por conseguinte, ser usados para proporcionar realimentação de foco e trilhamento

para os atuadores de posicionamento dos elementos ópticos. Vários fotodetectores podem ser usados para detectar as reflexões dos micro-hologramas. Como um exemplo, um ou mais fotodiodos podem ser usados para detectar reflexões de micro-hologramas em uma maneira convencional. A manufatura e o uso de fotodiodos são bem conhecidos daqueles versados nas técnicas pertinentes. As informações proporcionadas por esses detectores são usadas para fazer o controle em tempo real dos atuadores no sistema óptico, para manter foco e permanência na trilha de dados correta.

Esse sistema de controle de servomecanismo pode, assim, abordar dois cenários que podem ocorrer para feixe de luz fora da condição de foco, o primeiro é quando o feixe de luz não é focalizado na camada correta, e o segundo é quando o feixe de luz é desalinhado lateralmente do micro-holograma a ser lido; enquanto também é configurado para otimizar o desempenho de trilhamento e foco, na presença de fontes de ruído. Técnicas para estimativas, tais como os filtros Kalman, podem ser usadas para deduzir uma estimativa ótima dos estados presente ou futuro do sistema, para reduzir os erros em tempo real e reduzir os erros de leitura e escrita.

As Figuras 26A - 26D mostram uma configuração ou disposição de detector (Figura 26A) e várias condições detectadas (Figuras 26B - 26D), para determinar se o sistema está em foco ou em trilha. Em uma modalidade, uma disposição de quatro detectores de quadrantes 2600 pode ser usado para determinar se o sistema óptico está fora de foco ou fora de trilha. Cada detector de quadrante 2600A, 2600B, 2600C,

2600C da disposição de detectores 2600 gera uma voltagem, que é proporcional à quantidade de energia refletida nele. A disposição de detectores 2600 incorpora uma disposição de fotodiodos, cada um deles correspondendo a um dos quadran-

5 tes, tal como, por exemplo, na forma de um detector quadripolo. Na modalidade ilustrada, a disposição de detectores 2600 é responsiva à propagação de energia óptica em uma área superior do que o dispositivo óptico de focalização (por exemplo, a lente 2620), usado para direcionar (por exemplo,

10 focalizar) os feixes de luz e as reflexões para fora dos meios de armazenamento volumétrico. Por exemplo, o detector quadripolo 2600 pode ser posicionado atrás da lente da objetiva, usada para impingir e receber reflexões de um volume alvo, para detectar as variações da forma do feixe de luz.

15 No caso de um micro-holograma circular, se a forma do feixe de luz detectado foi elíptica, pode-se deduzir que o feixe de luz está fora de trilha, de modo que a direção fora de trilha é o eixo curto do feixe de luz elíptico. Se o feixe de luz detectado for menor do que o esperado (com menor a-

20 bertura numérica), mas a variação é simétrica em natureza, pode-se deduzir que o feixe de luz está fora de foco. Essas variações detectadas no perfil espacial do feixe de luz lido refletido dos meios volumétricos são usadas como realimentação para um controle de acionamento de focalização e/ou tri-

25 lhamento. Opcionalmente, uma disposição de lentes menores pode ser usada em torno da lente da objetiva, para focalizar o sinal refletido distorcido. Além disso, as variações no ângulo de propagação do feixe de luz refletido são também

úteis como uma indicação da direção de desalinhamento.

A intensidade total do sinal gerado pelos detectores anulares de quadrantes 2600A - 2600D é representada por α . Se o sistema está em foco, como é mostrado na Figura 26B, o ponto focalizado vai ser circular, de tamanho mínimo e produzir a intensidade mínima do sinal $\alpha_{\text{mín}}$. Quando $\alpha > \alpha_{\text{mín}}$, como é mostrado na Figura 26C, o ponto do feixe de luz pode ser determinado para ficar fora de foco. A lente 2620 pode ser posicionada no centro da disposição de detectores 2600, para passar e focalizar um feixe de luz de leitura nos micro-hologramas. Os mecanismos por controle de realimentação convencionais, que minimizam α , podem ser usados para manter o foco do micro-holograma. Referindo-se agora também à Figura 26D, um modelo assimétrico é detectado, se a cabeça do sensor estiver se movimentando fora da trilha. Quando na trilha, todos os quatro detectores de quadrante 2600A, 2600B, 2600C e 2600D recebem igual energia, de modo que $\beta = (1800B + 1800D) - (1800A + 1800C) = 0$. Desse modo, uma condição $\beta \neq 0$ indica uma condição fora de trilha. Por meio de exemplo adicional, o sinal refletido fica alongado, se a cabeça do sensor estiver fora de trilha e a β (a diferença entre os quadrantes opostos) variável fica positiva ou negativa. Os mecanismos de controle por realimentação convencionais podem ser usados em combinação com um servomecanismo de trilhamento, para reduzir o erro de trilhamento, por minimização do valor absoluto de β . Em uma modalidade, uma referência de tempo pode ser estabelecida de modo que α e β sejam amostrados a tempos adequados. Um circuito fechado tra-

vado por fase (PLL) pode ser usado para estabelecer essa referência e formar um sistema de controle de focalização e trilhamento amostrado. As informações da velocidade rotativa do disco e da localização da cabeça de leitura de momento
5 também podem ser usadas para gerar uma referência de tempo básica, T , para o sistema.

As fontes de erro, tal como um disco fora de centro, deformação do disco e/ou falta de dados, podem ser também compensadas. Os filtros de Kalman podem ser usados para
10 calcular as fontes de erro e prever um caminho futuro dos micro-hologramas gravados, com base nas informações anteriores. A progressão normal da trajetória do caminho espiral pode ser também estimada e seguida pelos servomecanismos de trilhamento. Essas informações são úteis para otimizar o desempenho dos servomecanismos de trilhamento e focalização e
15 reduzir o erro do servomecanismo de focalização e trilhamento. A Figura 27 mostra um diagrama de blocos de um sistema de servomecanismo 2700 adequado para implementação de controle de focalização e trilhamento. O sistema 2700, incluindo os dispositivos para estimar os caminhos de focalização e
20 trilhamento 2710, 2720, assume, em uma modalidade, a forma de filtros de Kalman convencionais. O filtro Kalman de caminho de focalização 2720 usa um pulso de sincronização de servomecanismo (τ), uma velocidade rotativa do meio, um valor de erro de focalização (ϵ) (a diferença entre o caminho de trilhamento desejado e o caminho de trilhamento efetivo), e uma localização de estilo (por exemplo, cabeça de leitura) de momento, para proporcionar uma trajetória de focalização

estimada na medida em que o meio gira. O filtro Kalman 2720 usa o pulso de sincronização do servomecanismo (τ), uma velocidade rotativa do meio, o valor de erro de focalização (ϵ) e a localização do estilo de momento, para proporcionar
5 uma trajetória de trilha estimada. O sistema 2760 também inclui um detector de holograma, um detector de borda, um pulso de sincronização do servomecanismo (τ) proporcionando circuito fechado travado por fase (PLL) 2730, que proporciona um pulso de sincronização do servomecanismo (τ), respon-
10 sivamente, para detectar o sinal total α , um sinal de sincronização do motor que é diretamente relacionado à velocidade do motor e à localização do estimo de momento. O conjunto de circuitos de condicionamento convencional 2740, por exemplo, incorporando, por exemplo, amplificadores diferen-
15 ciais, proporciona o sinal total α , bem como o sinal discutido acima β , responsivamente aos detectores de quadrante 2600A, 2600B, 2600C e 2600D (Figura 26A).

Um servomecanismo de focalização 2750 controla o ou os atuadores de focalização 2760, responsivamente à tra-
20 jetória de focalização estimada do filtro Kalman de caminho de focalização 2710, bem como um pulso de sincronização do servomecanismo (τ), um sinal total α , e um comando de busca de camada da camada convencional e uma lógica de busca de trilha (não mostrada). Um servomecanismo de trilhamento 2770
25 controla um ou mais atuadores de trilhamento 2780, responsivamente ao filtro Kalman de caminho de trilhamento estimado 2720, bem como um pulso de sincronização do servomecanismo (τ), um sinal β , e um comando de busca de trilha da camada

convencional e uma lógica de busca de trilha (não mostrada).
Essencialmente, os atuadores 2760, 2780 posicionam e focali-
zam um feixe de luz de leitura e/ou escrita em um volume al-
vo da cabeça no meio, responsivamente aos comandos de busca
5 de camada e trilha da lógica de busca de camada e trilha
convencional (não mostrada).

Desse modo, descreve-se um método de focalização e
trilhamento de micro-hologramas em um meio de armazenamento
espacial. Uma referência de sincronização do sistema básica
10 é gerada por um trilhamento e focalização amostrados. Os si-
gnais de erros são gerados com base na assimetria de reflexão
de micro-hologramas, resultante de uma condição fora de tri-
lha, e/ou expansão, resultante de uma condição fora de foco.
Os filtros Kalman são usados para estimar e corrigir os er-
ros de caminho de trilhamento em um servomecanismo de con-
15 trole de trilhamento para micro-hologramas. Os filtros Kal-
man são usados para corrigir os erros de caminho de focali-
zação em um servomecanismo de controle de foco para micro-
hologramas. O controle por servomecanismo pode ser usado, se
20 os dados são baseados em diferentes camadas ou variações en-
tre camadas.

Deve-se entender que os sistemas de trilhamento e
focalização e os métodos aqui descritos não são limitados a
sistemas de armazenamento volumétrico e a métodos usando os
25 materiais responsivos a limiar e/ou não lineares, mas têm,
em vez disso, uma ampla aplicabilidade, em geral, aos siste-
mas e métodos de armazenamento volumétrico, incluindo aque-
les usando materiais linearmente responsivos, tal como des-

crito na publicação da patente U.S. 20050136333, cuja descrição integral é aqui incorporada por referência.

Formatação para disco de armazenamento volumétrico rotativo usando dados indicativos de micro-hologramas para
5 trilhamento

Como aqui apresentado, os micro-hologramas podem ser armazenados em um disco rotativo, usando múltiplas camadas verticais, e ao longo de uma trilha espiral em cada camada. O formato dos meios de armazenamento de dados pode ter
10 um impacto significativamente grande nos desempenho e custo do sistema. Por exemplo, a proximidade de camadas adjacentes dos micro-hologramas em camadas adjacentes pode resultar em linha cruzada entre os micro-hologramas. Esse problema se intensifica na medida em que o número de camadas no disco
15 aumenta.

A Figura 28 mostra um formato 2800, para superar as descontinuidades dos dados entre as diferentes camadas por armazenamento dos dados em espirais, em ambas as direções radiais em um meio, tal como um disco rotativo. Os micro-hologramas são armazenados em uma camada 2810 em uma espira, que se estende, por exemplo, para dentro. Ao final
20 dessa camada 2810, os dados continuam com interrupção mínima, por focalização em outra camada 2820 no disco, em uma espiral que se estende em uma direção oposta. As camadas adjacentes, por exemplo, 2830, podem continuar a alternarem-se
25 nas posição e direção de partida. Dessa maneira, o tempo, que seria, de outro modo, despendido para que a cabeça do sensor fosse de volta para a localização, qual partiu a es-

piral prévia 2810, é eliminado. Naturalmente, em caso de desejo de iniciar-se no mesmo ponto de partida que o da espiral prévia, os dados podem ser armazenados antecipadamente e lidos na taxa do sistema desejada, enquanto o detector se
5 movimenta de volta para o ponto de partida. Alternativamente, diferentes grupos de camadas pode ter um local de partida, e/ou uma direção de progressão, enquanto que outros grupos de camadas têm um outro local de partida, e/ou uma direção de progressão. A reversão da direção da espiral nas ca-
10 madas adjacentes pode também reduzir o grau de ligação cruzada entre as camadas, proporcionando uma separação entre as espirais que progridem em uma mesma direção.

Com referência também agora à Figura 29, a ligação cruzada pode ser ainda mais reduzida por variação do ponto
15 de faseamento ou de partida de cada espiral. A Figura 29 mostra um formato 2900, que inclui múltiplos pontos de início / término de trilhas de micro-hologramas potenciais 2910A - 2910G. Deve-se reconhecer que ainda que oito (8) pontos de início / término de trilhas sejam mostrados, qual-
20 quer número, maior ou menor, pode ser usado. De acordo com um aspecto da presente invenção, a fase ou ponto de início / término de cada camada pode ser alternado. A ligação cruzada entre as camadas pode ser reduzida por variação dos pontos de término de espirais de dados em diferentes camadas. Isto
25 é, quando uma primeira camada começa no ponto 2910A e se espirala para dentro para o ponto 2910H, uma camada seguinte pode começar no ponto 2910H e se espirala para fora para o ponto 2910D, onde, por exemplo, a camada seguinte que se es-

pirala para dentro então se inicia. Naturalmente, outros agrupamentos particulares de pontos de início / término podem ser usados.

Desse modo, os micro-hologramas podem ser armazenados em camadas em trilhas espirais, que se espiralam em diferentes difrações em diferentes camadas, para reduzir o tempo necessário para que uma cabeça de detecção de leitura / escrita se movimente para a espiral seguinte, por exemplo, ponto de partida para uma camada seguinte. Durante o intervalo, quando a cabeça de detecção se movimenta de uma camada para outra, uma ou mais memórias de dados podem ser usadas para manter um fluxo de dados consistentes para o usuário ou sistema. Os dados armazenados nessa memória da camada de dados prévia podem ser lidos, enquanto a cabeça de detecção se movimenta para a camada espiral seguinte. A ligação cruzada entre as camadas pode ser reduzida por reversão das espirais nas camadas adjacentes ou diferentes. A ligação cruzada entre as camadas também pode ser reduzida por variação da fase ou do ponto de partida de cada camada e variação dos pontos de término das espirais de dados em diferentes camadas. Os pontos de início e término em diferentes camadas, a serem lidas consecutivamente, podem ser espaçados de modo a evitar a interrupção desnecessária ou prolongada de dados, durante o tempo necessário para focalizar a camada de dados consecutiva seguinte.

Em uma modalidade, micro-hologramas de forma oblonga são usados como o formato para um sistema de armazenamento de dados volumétrico. Em outras palavras, são propor-

cionados micro-hologramas de autotrilhamento. Vantajosamente, usando-se micro-hologramas de forma oblonga pode ser possível que o tamanho do micro-holograma seja menor do que um tamanho de ponto de laser de recuperação em pelo menos
5 uma dimensão lateral. Para fins de trilhamento, os micro-hologramas de forma oblonga são usados para determinar a orientação trilha, por detecção da forma de reflexão. Um sinal diferencial baseado na luz refletida pode ser usado para aumentar a robustez do sistema.

10 Com referência agora também à Figura 30, em um meio de armazenamento holográfico de bit único, micro-hologramas de formatos podem ser escritos por modulação local do índice de refração em uma estrutura periódica, do mesmo modo que os hologramas de dados. O micro-holograma gera uma reflexão parcial de um feixe de luz de leitura. Quando não há qualquer micro-holograma, o laser de leitura transmite pela área local. Por detecção da luz refletida, um
15 acionador gera um sinal indicativo de se o conteúdo é 1 ou 0. No caso ilustrado da Figura 30, um bit é um micro-holograma substancialmente circular 3010, com um tamanho determinado pelo tamanho do ponto de laser de escrita. Em virtude do processo de escrita de micro-holograma seguir o perfil espacial gaussiano do laser, o bit micro-holográfico é também gaussiano em perfil espacial. Os perfis gaussianos
20 tendem a ter uma energia substancial fora do corpo do feixe de luz (ou diâmetro do ponto). Para diminuir a interferência dos bits vizinhos (micro-hologramas 1, 2, 3, 4 e 5), a separação de bits (a distância entre dois bits dt) pode precisar

ser tão grande quanto três vezes o tamanho do ponto do laser. Por conseguinte, a densidade de conteúdo em uma camada pode ser de fato muito menor do que a densidade de conteúdo em camada de CD ou DVD. Outra possível desvantagem associada com o formato circular é associada com o trilhamento, quando um disco de meios está girando na direção 3020. Referindo-se ainda à Figura 30, é desejável que o ponto de laser se movimente para o bit 2, após leitura do bit 1. No entanto, uma vez que o bit de micro-holograma 1 é simétrico, o comando não tem informações adicionais para indicar a direção da trilha 3030, incluindo os bits 1 e 2. Conseqüentemente, o comando pode fazer com que o laser serpenteie para outra trilha 3040, 3050, por exemplo, bit 4 ou 5, sem intenção.

Com referência também à Figura 31, para auxiliar na correção para desalinhamento de trilha potencial, a forma do ponto de micro-holograma pode ser feita não circular ou assimétrica, de modo que a cabeça de laser pode determinar a orientação da trilha. Para que se tenha uma separação de bits menor do que o tamanho do ponto de laser de leitura 3110, em pelo menos uma dimensão lateral, os micro-hologramas de forma oblonga 3120, tendo uma alta refletividade, são formados ao longo das trilhas 3130, 3140 e 3150. É digno de nota que em contraste com os formatos de camada única, tal como em CD e DVD, usam buracos de forma oblonga, que geram interferência resultante nas áreas de refletividade relativamente baixa. Para escrever um formato, como o mostrado na Figura 31, um disco de meios é girado ao longo da trilha (por exemplo, 3130), e um laser de escrita é liga-

do e desligado, dependendo se uma reflexão é ou não desejada em um volume local. Em outras palavras, os meios são avançados em relação à exposição de cura do ponto de laser, desse modo, expondo uma parte alongada dos meios. Os micro-

5 hologramas de forma oblonga são escritos com um comprimento controlado, pelo período de tempo no qual o laser de escrita é ligado e submetido a uma velocidade avanço ou de rotação. Isso serve vantajosamente para eliminar a necessidade para pulsar rapidamente o laser de escrita, quando da escrita

10 ponto a ponto. Quando o laser de leitura é focalizado em um micro-holograma de forma oblonga, o ponto de laser gaussiano de forma circular tem mais intensidade de reflexão ao longo ao longo da orientação da trilha do que normal à orientação da trilha. O sinal refletido pelo micro-holograma não é mais

15 perfeitamente circular (consultar, por exemplo, as Figuras 25A - 25C), e um detector, tal como um detector de quadrante, pode ser usado para determinar a forma do feixe de luz refletido e, por conseguinte, a direção de trilhamento - que é então usada como uma realimentação para ajudar a manter a

20 cabeça do laser na trilha. Para aumentar a sensibilidade do sistema, as metodologias de formato CD / DVD convencionais, tal como por uso de sinais diferenciais baseados em reflexão, também podem ser incorporadas.

Desse modo, em uma modalidade, micro-hologramas de

25 forma oblonga são proporcionados ao longo da trilha dentro do meio, para o formato físico de armazenamento de dados volumétrico. Os micro-hologramas de formato podem codificar os próprios dados, ou dados adicionais opcionalmente gravados

em diferentes locais, ou co-localizados ainda gravados em um ângulo diferente, e/ou a um comprimento de onda diferente dos micro-hologramas indicativos de dados primários. Quando os meios de gravação proporcionam uma resposta óptica não linear (isto é, uma resposta de limiar), a largura (dimensão 5 curta) das marcas oblongas pode ser ainda diminuída, aumentando, desse modo, ainda a capacidade da camada.

Deve-se entender que os sistemas e métodos de formatação aqui descritos não são limitados aos sistemas e métodos de armazenamento volumétrico, usando materiais respon- 10 sivos a limiar e/ou não lineares, mas têm, em vez disso, uma ampla aplicabilidade a sistemas e métodos de armazenamento volumétrico, em geral, incluindo aqueles usando materiais linearmente responsivos, tal como aquele descrito na publicação da patente U.S. 20050136333, cuja descrição integral é 15 aqui incorporada por referência.

Formatação para disco volumétrico rotativo usando componentes holográficos separados

Alternativamente ou além dos micro-hologramas indicativos de dados de autotrilhamento, elementos de trilhamento separados podem ser incorporados nos meios. Sem focalização ativa para manter o ponto de laser focalizado na camada correta e manter a cabeça de laser na trilha certa, pode ser provado ser comercialmente impraticável armazenar itens de tamanho de micron ou abaixo de micron dentro de um 25 disco de meios, devido, pelo menos em parte, às limitações físicas, incluindo, mas não limitado a, rugosidade e riscos superficiais.

Os formatos de armazenamento de camada única (por exemplo, CD, DVD) usam um feixe de luz assimétrico refletivo para focalizar e um mecanismo de três feixes de luz para trilhamento. No entanto, os meios de armazenamento volumétrico não incluem uma camada altamente refletiva nos níveis de gravação de dados no meio. Em versões graváveis ou regraváveis de formatos de CD e DVD, as trilhas ou ranhuras são pré-formadas, de modo que a cabeça de laser siga a trilha, quando de escrita de conteúdo digital. Os pedidos de patente U.S. publicados 2001/0030934 e 2004/0009406 e a patente U.S. 6.512.606, cujas descrições integrais são aqui incorporadas por referência como sendo aqui apresentas inteiramente, propõem pré-formar trilhas dentro de um meio holográfico de bit único, de modo que uma cabeça de laser pode seguir-se no processo de escrita de conteúdo. Essa trilha é também seguida pela cabeça de laser, durante o processo de leitura.

Em uma modalidade, a pré-formatação de trilhas e/ou micro-hologramas fora de eixo são usados para codificar os dados de trilhamento (por exemplo, informações de profundidade e posição do raio). Mais particularmente, antes de armazenar bits micro-holográficos dentro de um meio de armazenamento volumétrico, as trilhas codificadas com redes micro-holográficas fora de eixo, são pré-gravadas em várias profundidades e posição no meio. Esses micro-hologramas de trilhamento podem ser orientados de modo a gerar uma reflexão fora da normal de um feixe de luz colidente. O ângulo de orientação pode correlacionar-se com a profundidade e o raio do micro-holograma, de modo que os micro-hologramas de tri-

lhamento servem como pontos de cheque. Em um processo de leitura ou escrita, os micro-hogramas de trilhamento refletem a luz incidente para longe do eixo normal óptico, que pode ser detectada usando-se, por exemplo, um detector separado. A profundidade e o raio de focalização do local de movimento no disco é determinado, com base na detecção das reflexões fora de eixo, anguladas. Os micro-hogramas pré-formados podem assim ser usados para proporcionar um sinal de realimentação para o comando em torno da posição da cabeça óptica.

Os estágios de posicionamento preciso e um laser de escrita são adequados para a escrita de trilhas dentro dos meios holográficos. Cada trilha pode se espiralar pelos vários raios e/ou profundidades dentro dos meios. Naturalmente, outras configurações, incluindo trilhas circulares ou substancialmente concêntricas, podem ser usadas inteiramente. Os bits digitais são escritos por formação de micro-hogramas ao longo de cada trilha. Uma trilha pode ser formada, por exemplo, por focalização de um laser de alta potência, para alternar, localmente, o índice de refração do meio. A modulação do índice refratado localmente gera uma reflexão parcial da luz focalizada incidente a um detector de trilhamento e proporciona informações sobre a trilha. Contrariamente, as trilhas podem ser escritas em um padrão holográfico e opticamente replicadas nos dispositivos de meios (por exemplo, discos), como aqui discutido.

A Figura 32 mostra um meio 3200 na forma de um disco, que pode ser girado para fazer com que uma cabeça de

escrita ou leitura siga uma trilha pré-programada. Uma cabeça de laser, substancialmente adjacente ao meio, focaliza um feixe de laser 3210 a uma área local, para facilitar a escrita da trilha no meio. O feixe de luz 3210 é normal ao meio. Os micro-hologramas formatados são usados para codificar as posições das trilhas como ângulos fora de eixo. Um segundo feixe de laser 3220 incidindo de outro lado do meio ilumina o mesmo volume que o feixe de laser 3210. O feixe de luz 3220 é fora do eixo em relação ao eixo normal do disco.

Os dois feixes de luz 3210, 3220 interferem e formam um micro-holograma 3230 fora de eixo da normal ao meio. Esse ângulo fora de eixo pode ser usado para codificar a posição física ou lógica da trilha, isto é, profundidade ou raio. Como vão entender aqueles versados na técnica pertinente, o ângulo fora de eixo ϕ do micro-holograma 3230 é dependente do ângulo fora de eixo ϕ do feixe de luz 3220, em que o feixe de luz 3210 é normal ao meio 3200. Desse modo, por alteração do ângulo de incidência do feixe de luz 3220, a localização do holograma formado pode ser codificada.

O feixe de luz 3210 pode assumir a forma de uma onda contínua, para escrever uma trilha contínua, ou ser pulsado. Quando pulsado, a taxa de repetição de pulsos determina quão freqüentemente a posição da trilha pode ser checada, durante escrita e/ou leitura de conteúdo. Alternativamente, ou além disso, estouros de micro-hologramas com taxas de repetição ou números de pulsos variados podem ser usados além, ou em lugar, da dependência do ângulo, para codificar as informações da posição da trilha. No entanto,

quando pulsação do feixe de luz de escrita de micro-holograma é usada, de modo que a taxa de repetição de pulsos ou o número de pulsos indique a posição da trilha, mais de um micro-holograma de trilhamento pode precisar ser lido, 5 para determinar informações de posicionamento úteis.

Retornando de novo para o uso de dependência angular, durante o processo de escrita e leitura de conteúdo, os micro-hologramas fora de eixo pré-formados 3230 refletem um feixe de laser incidente 3210, normal aos meios fora de eixo, para proporcionar informações sobre a trilha. Outras informações, tais como informações de copirraite, podem ser codificadas opcionalmente, nesse caso, o feixe de luz fora de eixo pode ser modulado para codificar esses outros dados, e a um ângulo indicativo da posição dentro do meio. Com referência agora também à Figura 33, quando um feixe de luz incidente 3210', normal ao eixo do meio, é focalizado em um micro-holograma de trilhamento pré-escrito localmente 3230, o micro-holograma de trilhamento 3230 reflete parcialmente a luz como um feixe de luz 3310, tendo uma direção e perfil espacial análogos que o segundo feixe de luz usado no processo de gravação de micro-holograma (por exemplo, feixe de luz 3220, Figura 32). Um sensor fora de eixo, ou disposição de sensores, pode ser usado para detectar o feixe de luz angular refletido 3310 e determina a posição do ponto focalizado do feixe de luz incidente 3210'. 10 15 20 25

Desse modo, a trilha e/ou outras informações podem ser codificadas em micro-hologramas fora de eixo, pré-formados. Quando o feixe de luz de ângulo fora de eixo é u-

sado como um codificador, um comando óptico pode determinar a posição do feixe de luz incidente focalizado por leitura de um único micro-holograma de trilhamento. As informações reunidas podem ser usadas para focalização e trilhamento, por exemplo, proporcionados em um sistema de focalização / trilhamento semelhante àquele mostrado na Figura 27. Por exemplo, o sinal fora de eixo pode ser usado para determinar se a luz incidente está na profundidade adequada e se a lente adequada está sendo usada para corrigir a aberração esférica associada com a profundidade.

Em uma modalidade, um ou mais micro-hogramas podem incluir componentes fora de eixo e/ou fora de centro. Com referência agora também à Figura 34A, uma unidade de difração holográfica, tal como uma máscara ou grade de fase, divide um feixe de luz incidente em um feixe de luz principal 3410, para escrever / ler, e pelo menos um feixe de luz fora de eixo para o trilhamento 3420. O ângulo de propagação do feixe de luz fora de eixo 3420 θ fica em linha com um micro-holograma de trilhamento fora de centro, fora de eixo 3430 em um meio 3400, de modo que o feixe de luz refletido se propaga de volta ao longo da direção do feixe de luz fora de eixo incidente 3420. Nesse cenário, um dispositivo óptico de coleta adicional, diferente da lente objetiva, pode ser desnecessário. No entanto, o ângulo fora de eixo θ do micro-holograma 3430 é fixo, e o uso da taxa de repetição de pulsos do micro-holograma ou a modulação do número de pulsos pode ser necessário para determinar a posição da trilha.

As Figuras 32 - 34A ilustram um micro-holograma

fora de eixo. Alternativamente, o micro-holograma de dados pode ser formatado com dois micro-hogramas fora de eixo, um em cada lado. A escrita dos 3 micro-hogramas sobrejacentes é mostrada na Figura 34B. Os dados do micro-holograma são escritos pelo feixe de referência 3440 e feixe de dados 5 3450, que estão em propagação contrária ao longo do mesmo eixo que o feixe de referência. Dois micro-hogramas fora de eixo podem ser escritos pela interferência entre o mesmo feixe de referência 3440 e os feixes de escrita fora de eixo 10 3460, 3470.

No processo de leitura (Figura 34C), o feixe de referência 3440' serve como o feixe de leitura. Os três micro-hogramas já tinham sido armazenados em um local. O feixe de referência 3440' vai ser, desse modo, difratado nas 15 três direções: a retroreflexão 3482 do micro-holograma de dados, e as reflexões laterais 3484, 3486 dos dois micro-hogramas fora de eixo. Quando o plano formado pelas duas reflexões laterais é perpendicular à direção da trilha de dados do micro-holograma, as duas reflexões laterais agem 20 como um indicador para trilhamento.

Deve-se entender que os sistemas e os métodos de trilhamento e focalização aqui descritos não são limitados a sistemas e métodos de armazenamento volumétrico, usando materiais responsivos a limiar e/ou não lineares, mas têm, em 25 vez disso, em geral, uma ampla aplicabilidade em sistemas e métodos de armazenamento volumétrico. Inclui aqueles usando materiais linearmente responsivos, tal como aquele descrito na publicação de patente U.S. 20050136333, cuja descrição

integral é aqui incorporada por referência.

Replicação em batelada de meios pré-gravados

A replicação óptica é bem adequada para distribuição de grandes volumes de informações digitais gravados como
5 micro-hologramas em um meio de suporte. Os processos industriais para replicação óptica, usando abordagens micro-holográficas, diferentemente daquelas holográficas à base de página, parecem ser desejáveis. Um problema com a replicação óptica usando materiais lineares é que qualquer reflexão in-
10 desejada no sistema de replicação óptica vai produzir um holograma indesejado. Em virtude de lasers de alta potência estarem, tipicamente, envolvidos em replicação óptica, aqueles hologramas indesejados podem perturbar significativamente os hologramas de formatação e/ou indicativos de dados.
15 Também, a intensidade dos hologramas gravados em materiais lineares vai ser diretamente proporcional à relação das densidades de potência dos feixes de laser de gravação. Para relações muito diferentes de 1, os hologramas vão ser fracos e uma grande quantidade de faixa dinâmica (capacidade de
20 gravação do material) vai ser indesejavelmente consumida. De novo, isso pode ser abordado pelo uso de um meio responsável opticamente não linear.

Com referência agora às Figuras 35, 36 e 37, mostram-se as implementações de técnicas de replicação óptica
25 adequadas para uso com um meio responsivo opticamente não linear. A Figura 36 ilustra um sistema para preparar um meio padrão, a Figura 38 ilustra um sistema para preparar um meio padrão conjugado, e a Figura 37 ilustra um sistema para pre-

parar um meio de cópia, por exemplo, para distribuição. Com referência primeiro à Figura 35, mostra-se um sistema 3500, para gravar um meio padrão 3510. Na modalidade ilustrada, o meio padrão 3510 assume a forma de um disco moldado de material responsivo opticamente não linear, tal como aquele aqui descrito. O meio holográfico padrão 3510 é gravado por formação de uma disposição de micro-hologramas 3520, um a um. O sistema 3500 inclui um laser 3550, acoplado opticamente a um divisor de feixe 3552. O laser 3560 pode assumir a forma de um laser de Nd:YAG no estado sólido bombeado por diodo, de duplicação de intracavidades, de modo longitudinal único, de 100 mW CW, 532 nm, em que o divisor de feixe 3552 assume, por exemplo, a forma de um divisor de feixe cúbico. Os dispositivos ópticos de focalização 3532, 3542 são usados para focalizar os feixes de luz divididos 3530, 3540 em volumes comuns dentro do meio 3510, no qual se propagam em direções contrárias, interferem e formam modelos de franjas, induzindo a formação de micro-hologramas, como discutido abaixo. Os dispositivos ópticos de focalização 3532, 3542 podem assumir a forma, por exemplo, de lentes esféricas de alta abertura numérica. Um obturador 3554 é usado para passar, seletivamente, o feixe de luz 3530 para o meio 3510, para codificar os dados e/ou facilitar a formação ordenada dos micro-hologramas 3520. O obturador 3554 pode assumir a forma de um obturador mecânico, eletroóptico ou acústico-óptico, tendo, por exemplo, um tempo de janela em torno de 2,5 ms.

Para permitir que os micro-holograma sejam formados em volumes alvo particulares, os dispositivos ópticos de

focalização 3532, 3542 são atuados para focalizar seletivamente diferentes raios de um centro de meio de rotação, por exemplo, disco, 3510. Isto é, trasladam lateralmente a região de foco em diferentes raios de um centro de um meio de rotação, por exemplo, disco, 3510. O meio 3510 é suportado por um estágio de posicionamento de precisão 3556, que gira o meio e propicia o alinhamento vertical dos feixes de luz focalizados 3530, 3540 em diferentes camadas verticais no meio 3520. O posicionamento angular é controlado por abertura seletiva do obturador 3554, em momentos adequados. Por exemplo, um motor escalonador ou um mancal pneumático pode ser usado para girar o meio 3510, de modo que o obturador possa ser aberto e fechado seletivamente em vários momentos, correspondentes a diferentes posições angulares do meio rotativo 3510.

Com referência agora à Figura 36, mostra um diagrama de blocos de um sistema 3600. O sistema 3600 inclui uma fonte de luz 3610. A fonte de luz 3610 pode assumir a forma de um laser de Nd:YAG pulsada a uma taxa de repetição de 1 kHz, 90 W, 532 nm, tal como, por exemplo, o modelo "Coherent Evolution 90" disponível comercialmente. A fonte 3610 ilumina o meio padrão 3510 pelo meio padrão conjugado 3620. Na modalidade ilustrada, o meio padrão conjugado 3620 assume a forma de um disco moldado de material responsivo opticamente linear, tal como aquele descrito na publicação da patente U.S. 20050136333, cuja descrição integral é aqui incorporada por referência. Por exposição rápida do padrão 3510 às emissões fonte 3610 pelo padrão conjugado 3620, as

reflexões do padrão 3510 interferem com as emissões diretamente da fonte 3510, para formar os modelos de franjas no padrão conjugado 3620. Os modelos holográficos formados no padrão conjugado 3620 não são idênticos àqueles do padrão 5 3510, mas são, em vez disso, indicativos de reflexões deles. De acordo com um aspecto da presente invenção, os pares completos de padrão e padrão conjugado 3510, 3620 podem ser expostos imediatamente de forma instantânea ou em batelada. Alternativamente, a emissão 3615 pode varrer mecanicamente o 10 par padrão / padrão conjugado, como indicado pela seta transversal 3618.

A Figura 37 mostra um sistema 3700. Como o sistema 3600, o sistema 3700 inclui uma fonte de luz 3710. A fonte 3710 pode assumir a forma de um laser Nd:YAG pulsado a uma 15 taxa de repetição de 1 kHz, 90 W, 532 nm, tal como, por exemplo, o modelo "Coherent Evolution 90" disponível comercialmente. A fonte 3710 ilumina o padrão conjugado 3620 pelo meio de distribuição 3720. Na modalidade ilustrada, o meio 3720, como o meio padrão 1510 e o meio padrão conjugado 20 3620, assume a forma de um disco moldado de material responsivo opticamente não linear, tais como aqueles aqui descritos. Mais particularmente, a fonte 3710 emite as emissões 3715 pelo meio de distribuição 3720 e para o meio padrão conjugado 3620. As variações do índice de refração nele, que 25 correspondem às reflexões da disposição de micro-hologramas 3520 (Figuras 35, 36), geram reflexões. Essas reflexões atravessam de novo o meio de distribuição 3720, no qual interferem com as emissões em propagação contrária 3715, para

formar os modelos de franjas de interferência indicativos de uma disposição de micro-hologramas 3730. Quando as emissões de luz 3715 e as emissões 3615 são substancialmente idênticas em direção e comprimento de onda, a disposição 3730 corresponde à disposição 3520 (Figuras 35, 36) - desse modo, duplicando o padrão 3510 como o meio de distribuição 3720. Os pares completos de padrão conjugado e meio de distribuição 3620, 3720 pode ser exposto imediatamente de forma instantânea ou em batelada. Alternativamente, a emissão 3715 pode varrer mecanicamente o par padrão / padrão conjugado, como indicado pela seta transversal 3718.

Deve-se entender que os sistemas 3500, 3600 e 3700 são apenas exemplos, e várias variações em ajuste podem levar a resultados similares. Além disso, o padrão, padrão conjugado e o meio de distribuição não precisam ser feito do mesmo material e podem ser feitos de uma combinação de materiais lineares e não lineares. Alternativamente, podem ser todos formados, por exemplo, de um material responsivo a limiar.

Com referência agora também à Figura 38, em uma diferente implementação 3800, o padrão do qual basicamente o meio de distribuição 3810 é criado pode assumir a forma de uma fita, tendo aberturas ou buracos, ou pelo menos regiões substancialmente transparentes. Alternativamente, o padrão do qual basicamente o meio de distribuição 3810 é criado pode assumir a forma de um modulador de luz espacial, tendo uma disposição bidimensional de pixels ou aberturas. De qualquer modo, o sistema 3800 inclui um laser 3820, que pode

assumir a forma de um laser Nd:YAG (por exemplo, pulsado a uma taxa de repetição de 1 kHz, 90 W) de alta potência, ligado em Q, 532 nm, tal como, por exemplo, o modelo "Coherent Evolution 90" disponível comercialmente. O laser 3820 é acoplado opticamente a um divisor de feixe 3830, que pode assumir, por exemplo, a forma de um divisor de feixe cúbico de polarização. O divisor de feixe 3830 produz assim um primeiro e um segundo feixes de luz 3830, 3840, que se propagam em direções contrárias dentro de volumes particulares do meio 3810, em uma maneira adequada para formar uma disposição de micro-hologramas 3815, indicativos de dados armazenados, como aqui discutido. Mais particularmente, o feixe de luz 3840 é comunicado pelo dispositivo óptico de condicionamento 3845 no meio 3810.

Os dispositivos ópticos de condicionamento 3845, 3855 podem assumir a forma de uma disposição ou disposições de microlentes, adequadas para transformar o feixe de laser em uma série, ou disposição bidimensional, de pontos focalizados. Quando as lentes têm uma alta abertura numérica, a compactação densa pode ser feita por movimentação do meio em incrementos suficientemente pequenos, que as exposições geram a uma disposição entrelaçada. Os dispositivos ópticos de condicionamento 3845, 3855 focalizam assim os feixes de luz em propagação contrária 3840, 3850 em uma disposição bidimensional de pontos focalizados dentro de uma única camada de meio 3810. De acordo com um aspecto da presente invenção, essa disposição de pontos corresponde a uma disposição de 0s ou 1s digitais sendo gravados em toda a camada. Desse modo,

por ativação do laser 3850, uma camada de todos os 0s ou 1s digitais pode ser gravada em uma única camada de meio 3810 pelas franjas de interferência dos pontos, formando uma disposição de micro-hologramas nela. Isso pode ser de uso particular, quando o meio assume a forma de um disco de material responsivo opticamente não linear, como foi aqui descrito.

De acordo com um aspecto da presente invenção, fita ou um modulador de luz espacial 3860 pode ser usado para proporcionar que os diferentes dados sejam gravados em uma única camada de meio 3810. Fita ou modulador de luz espacial 3860 pode incluir uma série de aberturas ou buracos. A presença ou ausência de uma abertura pode corresponder ao estado digital de dados digitais correspondentes. Isto é, as áreas desprovidas de aberturas bloqueiam, seletivamente, o feixe de luz 3840, dependendo se um micro-holograma vai ser ou não gravado, dependendo de um estado de dados correspondente.

Em qualquer caso, uma camada de dados é a um momento e apenas na área do meio de gravação. O meio 3810 pode ser avançado ou girado umas poucas vezes para gravar uma camada integral, usando, por exemplo, um estágio de posicionamento 3870. O meio pode ser movimentado para cima ou para baixo, para gravar outras camadas, usando, por exemplo, também o estágio de posicionamento 3870.

Desse modo, a iluminação de inundação de um meio padrão, para gravar um padrão intermediário ou conjugado, pode ser usada. A iluminação de inundação de um padrão ou padrão conjugado, para gravar dados em um meio de distribui-

ção, também pode ser usada. Uma fita ou um modulador de luz espacial pode ser usado como um padrão, para gravar meios de distribuição. E, a eficiência (intensidade) de difração dos hologramas gravados pode ser independente da razão das densidades das potências dos feixes de laser de gravação.

Meios pré-formatados

Como apresentado, os discos de meios holográficos podem ser gravados com disposições de micro-hologramas indicativos de um estado de dados. Essas disposições podem ser espalhadas por substancialmente todo o volume de um meio feito de um material de gravação responsivo a limiar ou não linear. Em uma modalidade, dados particulares (por exemplo, estados de dados alternados) são gravados no meio pré-formatado, por apagamento ou não de alguns dos micro-hologramas. O apagamento pode ser feito por uso de um único feixe de luz com energia focalizada suficiente para colocar o volume do micro-holograma acima da condição de limiar, por exemplo, aquecendo a aproximadamente a T_g de uma matriz polimérica constituinte.

Mais particularmente, a gravação de dados em um meio pré-formatado (por exemplo, uma disposição de micro-hologramas indicativa de um único estado de dados, por exemplo, todos os 0s ou 1s dentro de um material responsivo opticamente não linear) pode ser feita por apagamento ou não daqueles micro-hologramas pré-gravados ou pré-formatados selecionados. Um micro-holograma pode ser apagado seletivamente por focalização de um ou mais feixes de laser nele. Quando a energia transmitida pelo feixe de luz excede a intensi-

dade de limiar de escrita, como discutido acima, o micro-holograma é apagado. Desse modo, a condição de limiar pode ser a mesma necessária para ser satisfeita para formar o micro-holograma alvo no primeiro local. O feixe de luz pode emanar de um laser de diodo convencional, similar àquele usado convencionalmente em tecnologias de CD e DVD. A Figura 39 mostra um sistema 3900, no qual os dados são gravados por um único feixe de laser, por focalização em micro-hologramas pré-proporcionados em uma disposição pré-formatada e apagamento seletivo daqueles micro-hologramas correspondentes a um bit a ser escrito.

Mais particularmente, o feixe de laser 3910 é focalizado por focalização do dispositivo óptico 3920 em um volume alvo 3940 em um meio 3930 contendo um micro-holograma pré-formatado (não mostrado). O mecanismo efetivo, que apaga o holograma alvejado, pode ser análogo àquele usado para formá-lo no primeiro local. Por exemplo, os hologramas pré-formatados podem ser apagados por uso de um único feixe incidente, para fazer com que qualquer parte previamente não afetada do elemento de volume (isto é, as regiões entre as franjas originais) experimente uma variação de índice resultando na destruição do modelo de franja - produzindo, desse modo, uma região de índice de refração contínuo. Além disso, o laser não precisa ser de modo longitudinal único, porque nenhuma interferência é requerida, tornando os lasers de leitura e gravação de um dispositivo de dados micro-holográficos vantajosamente simples e potencialmente relativamente baratos.

Opcionalmente, um número de série pode ser gravado opticamente no meio. O número de série pode ser usado para rastrear a propriedade do meio gravável, para facilitar, por exemplo, a proteção de copirraite. O número de série pode ser gravado opticamente para facilitar a sua detecção óptica. O número de série pode ser gravado opticamente em um ou mais locais predeterminado no meio, antes da, simultaneamente com a, ou após a replicação dos dados usando um modulador de luz espacial.

Esse formato de gravação não linear pré-formatado para uma configuração de armazenamento de dados micro-holográficos pode facilitar a obtenção de sistemas de gravação micro-holográficos de baixo custo. Com dispositivos ópticos em um único lado do meio, podem ser também usadas cabeças ópticas simplificadas. Além disso, um laser de modo longitudinal não único pode ser usado para gravação de dados. Também, uma vez que apenas um único feixe de luz é usado, também podem ser obtidos sistemas de gravação tolerantes à vibração para sistemas micro-holográficos.

Deve-se entender que os sistemas e métodos pré-formatados, aqui descritos, não são limitados a sistemas e métodos de armazenamento volumétrico usando materiais responsivos à limiar e/ou não lineares, mas em vez disso têm uma ampla aplicabilidade a sistemas e métodos de armazenamento volumétrico, tal como aquele descrito na publicação da patente U.S. 20050136333, cuja descrição integral é aqui incorporada por referência.

Recuperação de dados armazenados em micro-hogramas

A Figura 40 mostra um sistema 4000. O sistema 4000 é adequado para detectar a presença ou ausência de um micro-holograma em um local particular dentro de um meio, tal como um meio de disco rotativo. O sistema 4000 pode ser alvejado para selecionar os volumes, usando os mecanismos de focalização e trilhamento aqui descritos. Na modalidade ilustrada, um feixe de laser 4010 é focalizado por um dispositivo óptico de focalização 4020, para impingir um volume alvo 4030 dentro de um disco de meio 4040, por um divisor de feixe 4050. O feixe de luz 4010 pode emanar de um diodo a laser convencional, tais como aqueles usados em reprodutores de CD e DVD. Esse laser pode assumir a forma, por exemplo, de um laser de diodo à base de GaN ou GaAs. O divisor de feixe 4050 pode assumir, por exemplo, a forma de um divisor de feixe cúbico polarizante. O dispositivo óptico de focalização 4020 pode assumir, por exemplo, a forma de uma lente objetiva de focalização de alta abertura numérica. Naturalmente, outras configurações são possíveis.

Independentemente das particularidades, quando um micro-holograma está presente em um volume alvo 4030, o feixe de luz 4010 é refletido de volta pelo dispositivo óptico 4020 para o divisor de feixe 4050. O divisor de feixe 4050 pode assumir a forma de um fotodiodo, circundado por um detector de quadrante, tal como, por exemplo, o fotodiodo Hamamatsu Si Pin modelo S6795.

Deve-se entender que os sistemas e métodos de recuperação de dados aqui descritos não são limitados a sistemas e métodos de armazenamento volumétrico, usando materiais

responsivos à limiar e/ou não lineares, mas têm, em vez disso, uma ampla aplicabilidade a sistemas e métodos de armazenamento volumétrico, em geral, incluindo aqueles usando materiais linearmente responsivos, tal como aquele descrito na
5 publicação da patente U.S. 20050136333, cuja descrição integral é aqui incorporada por referência.

Proteção de receita

Pirataria e mesmo cópia informal de meios ópticos pré-gravados representa uma fonte significativa de perda econômica para as indústrias de entretenimento e software. A
10 disponibilidade de meios graváveis com taxas de transferência de dados de alta velocidade (tal como até 177 Mbps) torna razoavelmente fácil copiar CDs ou DVDs contendo música ou filmes protegidos por copirraite. Na indústria de software,
15 os provedores de conteúdo usam freqüentemente códigos de ativação de produto, para tentar restringir a pirataria de software. No entanto, os códigos de ativação de produto e os dados no disco não são conectados uma única vez e várias cópias do software podem ser instaladas em várias máquinas,
20 com pouco ou sem modo de detectar as múltiplas cópias ou impedir o uso simultâneo.

Em meios ópticos pré-gravados convencionais, por exemplo, CD ou DVD, conteúdo pré-gravado é convencionalmente reproduzido por estampagem dos dados correspondentes nos
25 meios, durante um processo de moldagem por injeção. Esse processo pode ser usado para reproduzir os dados em dezenas de milhares de discos de uma única matriz, que limita, inerentemente, a capacidade de identificar de forma única um

disco individual. Várias tentativas foram feitas para proporcionar um equipamento e processos adicionais para marcar cada disco subsequente ao processo de moldagem. No entanto, os processos requerem tipicamente um para gravar novos dados em, ou apagar os dados de, um disco moldado para marcar o disco. Por exemplo, esforços têm sido feitos para usar um laser de alta potência para "marcar" o disco, de um modo que possa ser lido pela unidade. No entanto, os dados no disco são consideravelmente menores do que o ponto que o laser focaliza, de modo que essas marcas são tipicamente maiores do que os dados e não podem ser facilmente interpretadas pela unidade.

Além disso, dispositivos de armazenamento de dados ópticos convencionais, tais como DVDs, usados para distribuir conteúdo pré-gravado, têm, tipicamente, uma capacidade suficiente para, no máximo, dois filmes de duração integral. Freqüentemente, os provedores de conteúdo usam a capacidade para acomodar dois diferentes formatos de visualização de um mesmo conteúdo, por exemplo, um formato 4:3 convencional combinado com o formato 16:9 popular nos modelos mais recentes de televisões.

Os sistemas micro-holográficos de bit único, de acordo com a presente invenção, podem ser usados para oferecer múltiplos filmes, tal como até mais de 50 filmes individuais, em um único disco de tamanho de CD, por exemplo. Em uma modalidade, cada disco é marcado com um número de identificação individualmente único, ou um número de identificação substancialmente único, que fica embutido e legível pela

unidade holográfica. Isso é facilitado pelo fato de que os dados holográficos podem ser copiados de uma maneira óptica. A capacidade para identificar de forma única cada disco de grande capacidade propicia um novo modelo comercial para
5 transferência de conteúdo, em que cada disco pode conter vários filmes agrupados por várias categorias (tais como gênero, diretor, ator ou atriz principal), por exemplo.

Nessa modalidade, um consumidor pode adquirir, tal como por compra, um disco pré-gravado. O custo pode ser e-
10 quivalente à mídia convencional, que proporciona acesso do usuário a um item do conteúdo, tal como um filme principal, por exemplo. De acordo com um aspecto da presente invenção, o consumidor pode ativar subseqüentemente, como por compra, conteúdo adicional, tais como filmes adicionais no disco.
15 Isso pode ser feito por um provedor de conteúdo emitindo um código de acesso individual, associado com um número de identificação codificado em um disco particular, ou em um conjunto de discos distinto. Quando o número de série do disco não é copiável, o código de acesso não é adequado para
20 permitir a visualização do conteúdo pirateado em outro disco de outra série.

Além disso, os consumidores podem ser encorajados a copiar discos (por exemplo, por recuperação dos dados e reproduzi-los em outro disco de mídia análogo) e receber os
25 seus próprios códigos de acesso, com base nos números de série embutidos em discos graváveis pré-formatados, por exemplo. Desse modo, a distribuição de conteúdo de usuário para usuário pode ser encontrada de fato, enquanto preservando um

fluxo de receita para o proprietário do conteúdo.

Em uma modalidade, os dados micro-holográficos de bit único podem ser reproduzidos para distribuição em massa por moldagem por injeção em discos em branco e transferência subsequente dos dados para discos por cópia óptica, por exemplo, exposição a centelha, como é aqui discutido. Vários locais no disco podem ser intencionalmente deixados em branco, durante a exposição inicial dos dados a serem reproduzidos. Esses locais são gravados subsequentemente por meio de exposições ópticas adicionais correspondentes aos números de identificação, em que cada número é único para cada disco ou conjunto de discos, usando, por exemplo, um modulador de luz espacial. Esses locais também podem ser usados para identificar números em discos pré-formatados, em branco.

Com base nos requisitos de armazenamento previstos e nas capacidades de armazenamento, um disco micro-holográfico contendo conteúdo de tamanho de um CD convencional pode conter até 50 filmes de longa-metragem de definição padrão, ou 10 filmes de longa-metragem de alta definição (HD), apenas por meio de exemplo não limitante. O conteúdo pode ser agrupado em qualquer de vários modos. Por exemplo, o provedor de conteúdo pode colocar filmes em uma dada série em um disco, ou filmes com um ator ou atriz principal específico, ou filmes que estão todos dentro do mesmo gênero. O número de série do disco pode ser indicado na embalagem do disco, quando preparada para venda a varejo. Quando um consumidor compra o disco, a embalagem pode incluir um código de acesso que é o usuário é solicitado introduzir ao entrar,

quando da reprodução do disco. O código de acesso corresponde ao disco serializado associado, para permitir que o usuário veja apenas um aspecto específico (ou conjunto de aspectos distintos) no disco. Alternativamente, um reproduzidor para o disco pode ser equipado com hardware / software para permitir que ele se comunique com uma autoridade de uso, que proporciona um código de ativação para o reproduzidor responsivamente ao número de série, e possivelmente os identificadores do reproduzidor e o nível de acesso atualmente permitido.

10 Independentemente, a unidade ou dispositivo de leitura pode incluir memória, tal como dispositivos de memória no estado sólido ou magnéticos, para armazenar o código de acesso uma vez que tenha sido introduzido, de modo que a visualização subsequente do aspecto não vai requerer introdução do número.

15 O usuário pode contatar o provedor de conteúdo, ou seu agente, por meio de uma rede de computador, tal como a Internet, ou por telefone (por exemplo, via uma chamada de telefone grátis), para obter códigos de ativação adicionais que correspondem aos outros aspectos contidos no disco. Alternativamente, o reproduzidor pode sinalizar ao usuário se ele deseja comprar o conteúdo adicional, tal como por seleção experimentada pelo usuário. Quando o usuário introduz outro código de ativação, ou que esse código é proporcionado por uma autoridade de uso, por exemplo, o reproduzidor pode checar o número contra o número de série do disco e apenas permite que o aspecto seja reproduzido, se o código e o número de série se correspondem ou são associados. Conseqüen-

temente, um código de acesso é chaveado para um número de série de disco específico, que não é reproduzível, de modo que ainda que os dados correspondentes a um aspecto em um disco possam ser copiados, um código de acesso, que permite
5 acesso a esse aspecto, é específico para o disco original e não vai permitir cópias em outros discos a serem reproduzidos.

De acordo com um aspecto da presente invenção, o próprio conteúdo pode ser reproduzido, por exemplo, em um
10 disco de mídia em branco, pré-formatado. O provedor de conteúdo pode ainda encorajar os consumidores a proporcionar cópias do disco para outros consumidores, para permitir a cópia por usuários posteriores, com acesso limitado ao conteúdo do disco. Cada disco (pré-formatado ou pré-gravado)
15 pode ser dotado com um único, ou substancialmente único, identificador. O número de série não vai ser transferido durante a cópia. Um usuário da cópia da mídia original pode contatar o provedor ou agente de conteúdo, analogamente como o usuário da mídia original, e solicitar os códigos de acesso
20 correspondentes ao, ou derivados do, número de série da cópia do disco de mídia. Dessa maneira, o conteúdo é propagado enquanto controlando os direitos digitais correspondentes.

De acordo com um aspecto da presente invenção, um
25 sistema de cópia micro-holográfica pode, assim, proporcionar a capacidade de serializar de forma (pelo menos substancialmente) única cada disco, em uma maneira que seja legível pela unidade micro-holográfica. Os micro-hogramas podem ser

gravados em uma ou mais áreas reservadas do disco de mídia, por, por exemplo, interferência de dois feixes de luz em propagação contrária. Os discos de mídia podem conter conteúdo múltiplo, tais como filmes de longa metragem ou outro
5 conteúdo, ao qual se pode ter acesso individual, tal como por compra.

Hardware e/ou software podem ser usados para comparar os códigos de acesso e os números de série nos discos, para verificar se correspondem. Uma memória pode ser usada
10 para armazenar os códigos de acesso, de modo que futura visualização do conteúdo não requer reintrodução do código. Um modelo comercial, no qual novos códigos podem ser adquiridos para que se tenha acesso ao conteúdo adicional em um disco, pode ser proporcionado. Discos graváveis pré-serializados,
15 nos quais conteúdo pode ser gravado e para o que novos códigos de acesso podem ser usados para ter-se acesso ao conteúdo copiado, podem ser proporcionados.

Usando-se um disco contendo micro-holograma e uma unidade de leitura com números de série únicos, e um modelo
20 comercial permitindo que o conteúdo seja comprado subsequente ao adquirir-se a mídia, pode-se proporcionar várias vantagens. Por exemplo, pode-se gerar receita facilitando-se a compra de conteúdo adicional já contido em um disco de usuário. A proteção de direitos digitais pode ser otimizada
25 pela numeração em série de ambos os discos contendo conteúdo e gravável e proibindo-se a cópia dos números de série. Avenidas de distribuição de conteúdo por meio de cópia por usuário de discos contendo conteúdo, e a autorização subsequente

te desses discos podem ser proporcionadas. Filmes de longa metragem múltiplos, álbuns ou outro conteúdo podem ser proporcionados, e que são capazes de serem ativados em um único disco.

5 Deve-se entender que o modelo de receita aqui descrito não é limitado aos sistemas e métodos de armazenamento volumétrico, usando materiais responsivos a limiar e/ou não lineares, mas têm, em vez disso, uma ampla aplicabilidade nos sistemas e métodos de armazenamento volumétrico em ge-
10 ral, incluindo aqueles usando materiais linearmente responsivos, tal como aquele descrito na publicação da patente U.S. 20050136333, cuja descrição integral é aqui incorporada por referência.

 Vai ser evidente para aqueles versados na técnica
15 que modificações e variações podem ser feitas nos aparelho e processo da presente invenção, sem que se afaste dos espírito ou âmbito da invenção. Intenciona-se que a presente invenção cubra essas modificações e variações, incluindo todos os seus equivalentes.

REIVINDICAÇÕES

1. Dispositivo de armazenamento de dados, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende:

um substrato plástico tendo uma pluralidade de vo-
5 lumes dispostos ao longo de trilhas, em uma pluralidade de
camadas estendendo-se lateralmente, empilhadas verticalmen-
te; e

uma pluralidade de micro-hogramas, cada um deles
contido em um correspondente dos ditos volumes,

10 em que a presença ou ausência de um micro-
hograma em cada um dos ditos volumes é indicativa de uma
parte correspondente de dados armazenados.

2. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 1,
CARACTERIZADO pelo fato de que o dito substrato é um disco
15 de diâmetro de cerca de 120 mm.

3. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 1,
CARACTERIZADO pelo fato de que o substrato compreende um
termoplástico.

4. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 3,
20 **CARACTERIZADO** pelo fato de que o termoplástico tem uma ca-
racterística funcional não linear.

5. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 4,
CARACTERIZADO pelo fato de que a característica funcional
não linear é uma característica funcional de limiar.

25 6. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 3,
CARACTERIZADO pelo fato de que o substrato compreende ainda
um catalisador térmico.

7. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o dito substrato compreende um corante.

8. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 7, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o dito corante é um corante absorvedor saturável reverso.

9. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o substrato compreende um copolímero em bloco de poli (óxido de etileno) / poliestireno.

10. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o dito substrato compreende um copolímero em bloco de policarbonato / poliéster.

11. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o dito substrato compreende um polímero contendo orto-nitroestilbeno.

12. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o dito substrato compreende orto-nitroestilbeno e poli (metacrilato de metila).

13. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o dito substrato compreende policarbonato.

14. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que os ditos micro-hologramas são substancialmente circulares.

15. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que os ditos micro-hologramas são oblongos.

16. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o dito substrato é um disco tendo um centro, pelo menos uma das ditas camadas se espirala na direção do dito centro do disco, e pelo menos uma das
5 outras ditas camadas se espirala do dito centro do disco.

17. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que cada uma das ditas camadas tem um ponto de início e um de fim, e pelo menos um dos ditos pontos de início é substancialmente alinhado vertical-
10 mente com pelo menos um dos ditos pontos de fim.

18. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende ainda uma segunda pluralidade de micro-hologramas no dito substrato, indicativos de informações de rastreamento.

15 19. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 18, **CARACTERIZADO** pelo fato de que todos os dados são indicativos, e a segunda pluralidade de micro-hologramas tem um eixo, e o eixo dos ditos micro-hologramas de dados indicativos é distinto do eixo da dita segunda pluralidade de micro-
20 hologramas.

20. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 19, **CARACTERIZADO** pelo fato de que um ângulo associado com o eixo de um determinado da dita segunda pluralidade de micro-hologramas é indicativo da sua posição no substrato.

25 21. Método para armazenar dados, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende:

proporcionar um substrato tendo uma pluralidade de volumes dispostos ao longo de trilhas, em uma pluralidade de

camadas estendendo-se lateralmente, empilhadas verticalmente; e

formar uma pluralidade de micro-hologramas no dito substrato,

5 em que cada um dos ditos micro-hologramas está substancialmente contido em um correspondente dos ditos volumes, e a presença ou ausência de um micro-holograma em cada um dos ditos volumes é indicativa de uma parte correspondente dos dados.

10 22. Método, de acordo com a reivindicação 21, **CARACTERIZADO** pelo fato de que os ditos micro-hologramas são seletivamente formados dependentemente dos dados.

23. Método, de acordo com a reivindicação 21, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende ainda apagar seletivamente aqueles micro-hologramas dependentemente dos dados.

24. Método, de acordo com a reivindicação 21, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a dita formação compreende a interferência de dois feixes propagando-se em direções opostas.

25. Método, de acordo com a reivindicação 24, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende ainda focalizar um dos ditos feixes de luz.

25 26. Método, de acordo com a reivindicação 25, **CARACTERIZADO** pelo fato de que um dos ditos feixes é divergente.

27. Método, de acordo com a reivindicação 25, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende ainda refletir um

dos ditos feixes de luz, para proporcionar o outro dos ditos feixes de luz.

28. Método, de acordo com a reivindicação 24, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende ainda obscurecer seletivamente pelo menos um dos feixes de luz dependentemente dos dados.

29. Método, de acordo com a reivindicação 21, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende ainda a formação de uma segunda pluralidade de hologramas tendo uma direção de reflexão distinta daquela da dita pluralidade de hologramas.

30. Método, de acordo com a reivindicação 29, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a dita segunda pluralidade de hologramas define as ditas trilhas.

31. Método, de acordo com a reivindicação 21, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende ainda a formação de uma segunda pluralidade de micro-hologramas a um determinado espaçamento, em que o espaçamento é indicativo da posição dentro do seu substrato.

32. Método de acordo com a reivindicação 21, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende ainda a formação de uma segunda pluralidade de micro-hologramas, em que pelo menos um da dita pluralidade de micro-hologramas é colocalizado em um dos volumes comum com pelo menos um da pluralidade de micro-hologramas.

33. Método, de acordo com a reivindicação 21, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreendem ainda a ilumina-

ção por enchente dos ditos micro-hologramas por um segundo substrato plástico.

34. Método, de acordo com a reivindicação 33, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a dita iluminação induz um
5 modelo de variações do índice de refração no dito segundo substrato plástico.

35. Método, de acordo com a reivindicação 34, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende ainda a iluminação por enchente do dito segundo substrato plástico por um ter-
10 ceiro substrato plástico.

36. Método, de acordo com a reivindicação 35, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a dita iluminação do dito se-
gundo substrato plástico por um terceiro substrato plástico
15 duplica a dita pluralidade de micro-hologramas no dito ter-
ceiro substrato.

37. Método, de acordo com a reivindicação 36, **CARACTERIZADO** pelo fato de que as ditas iluminações por en-
chente usam feixes de laser.

38. Método, de acordo com a reivindicação 37, **CARACTERIZADO** pelo fato de que os ditos feixes de laser têm
20 um comprimento de onda central correspondente aos ditos mi-
cro-hologramas.

39. Método, de acordo com a reivindicação 38, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o dito comprimento de onda
25 central é cerca de 532 nm.

Fig. 1

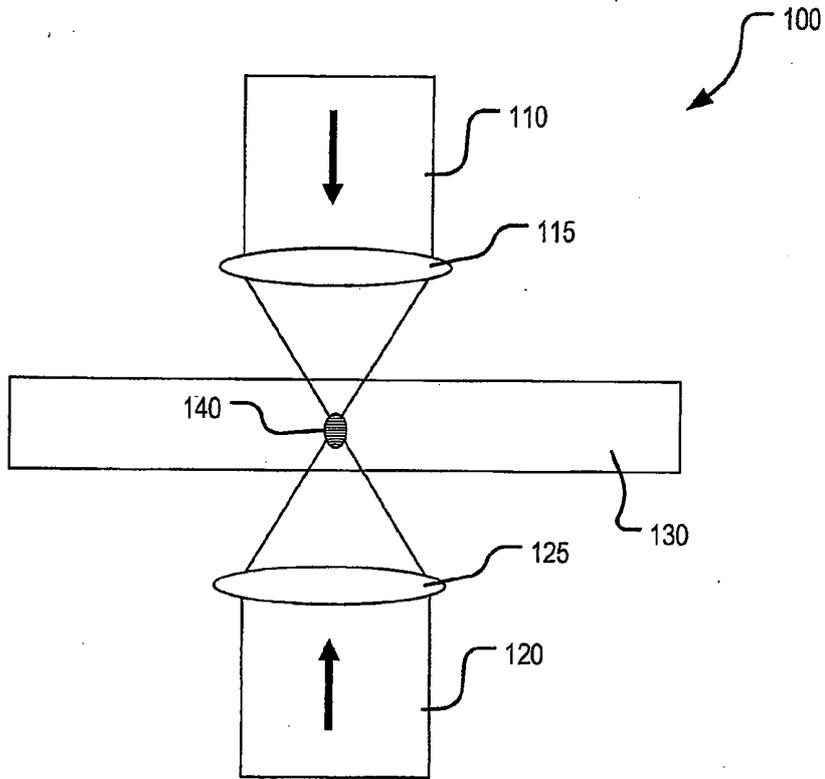


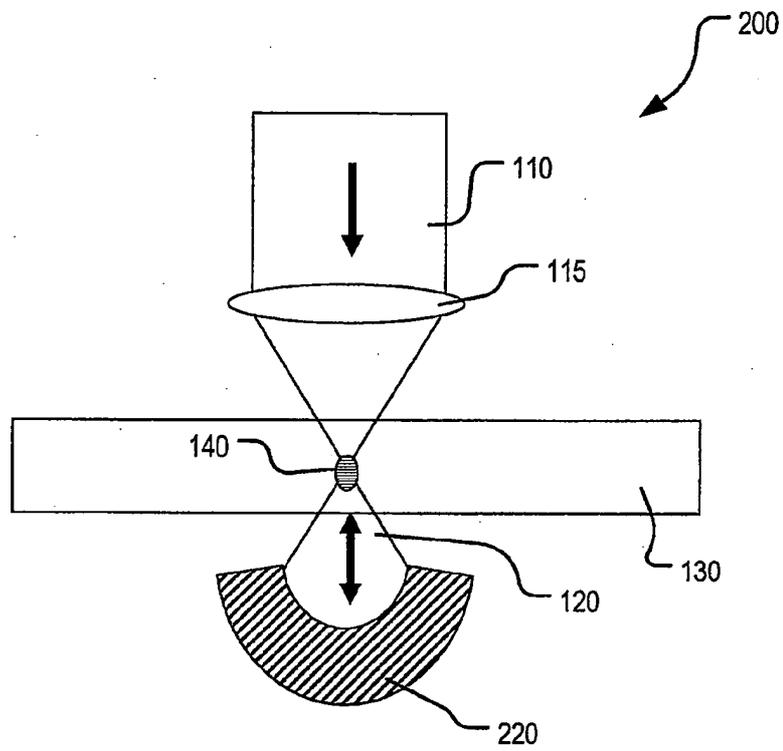
Fig. 2

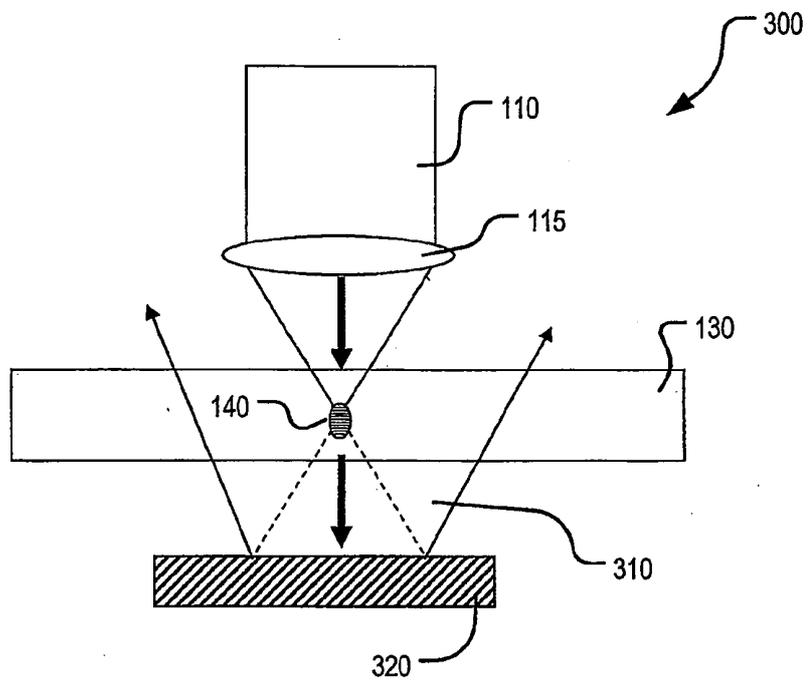
Fig. 3

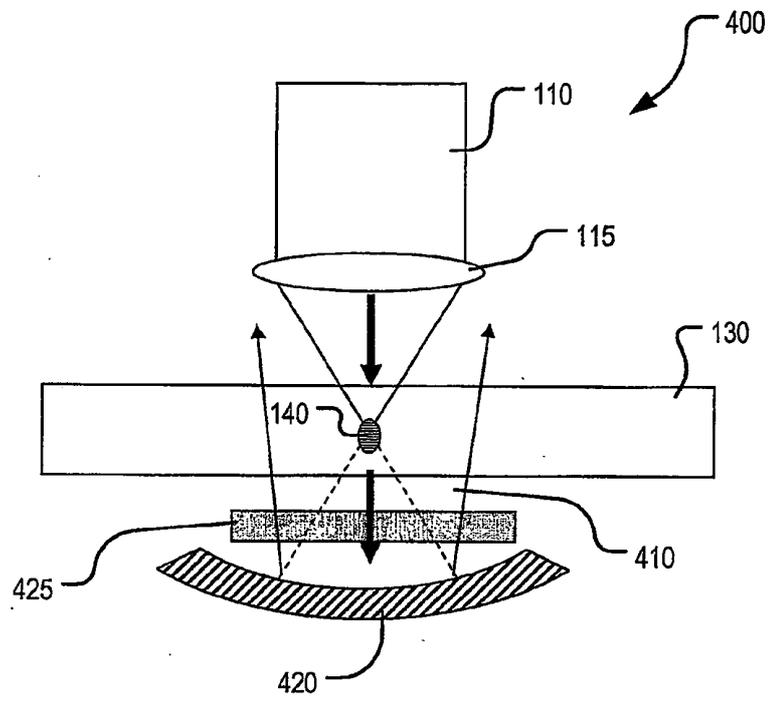
Fig. 4

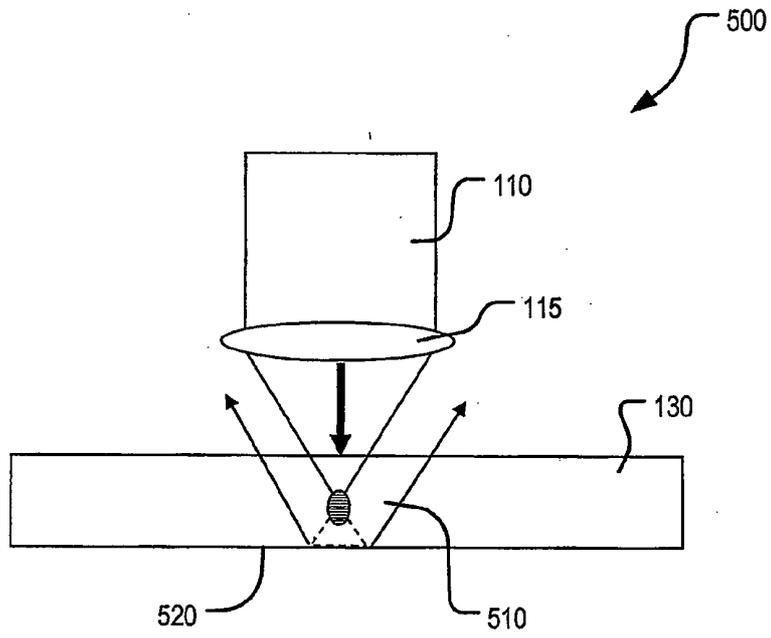
Fig. 5

Fig. 7

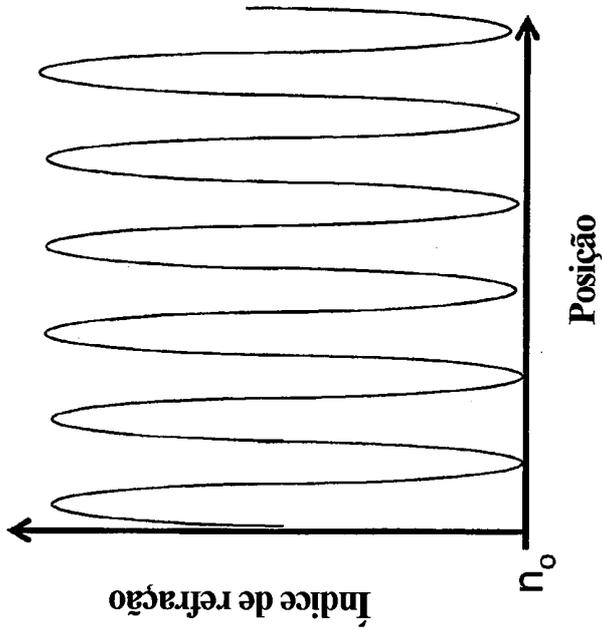


Fig. 6

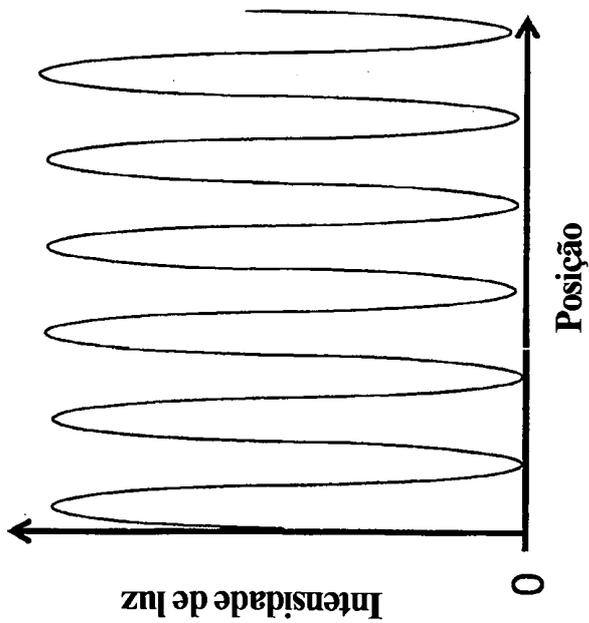


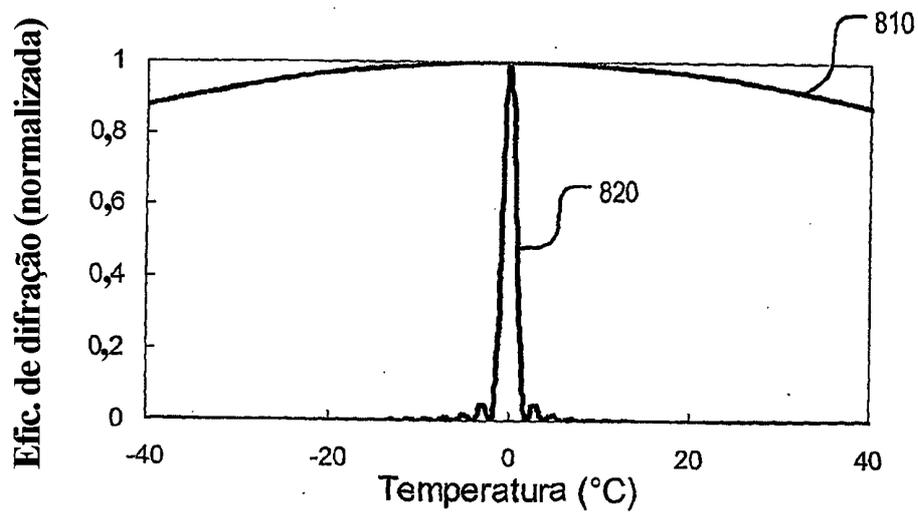
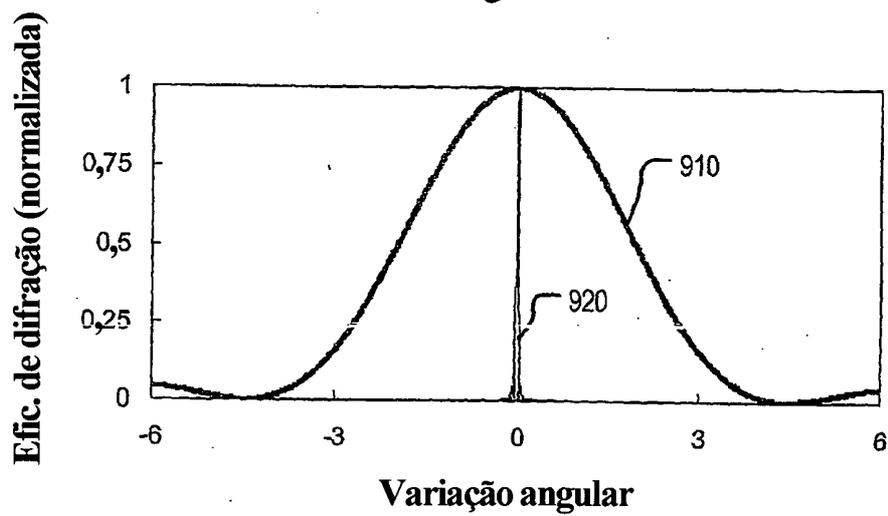
Fig. 8**Fig. 9**

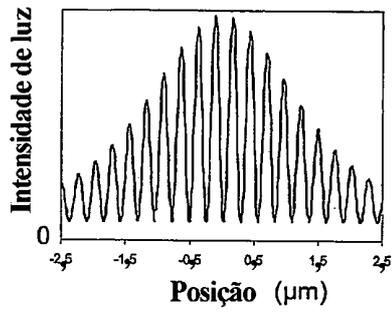
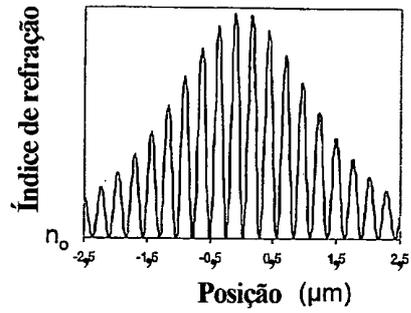
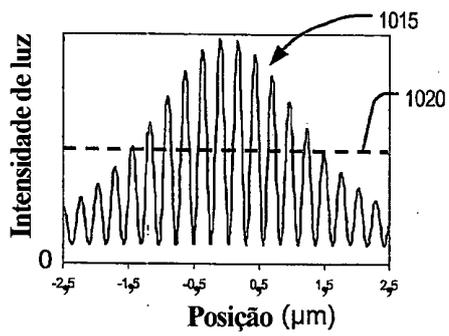
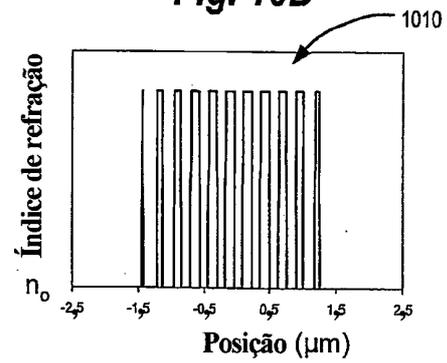
Fig. 10A**Fig. 10B****Fig. 10C****Fig. 10D**

Fig. 11A

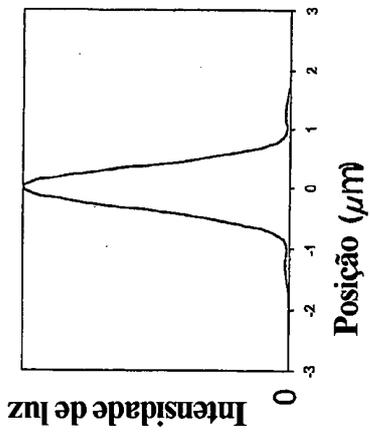


Fig. 11B

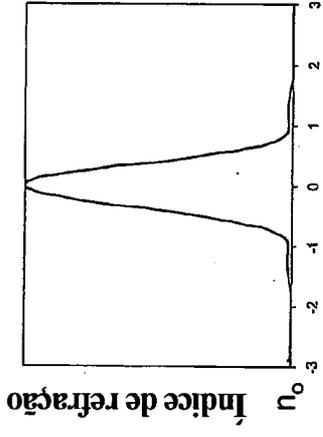


Fig. 11C

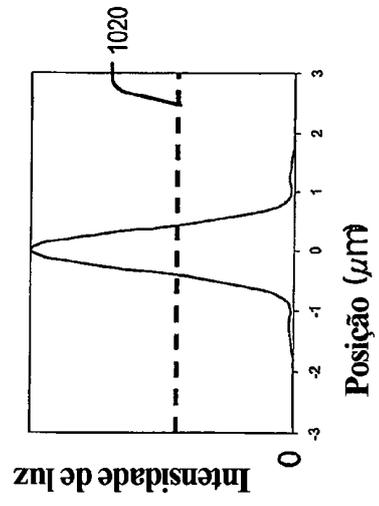


Fig. 11D

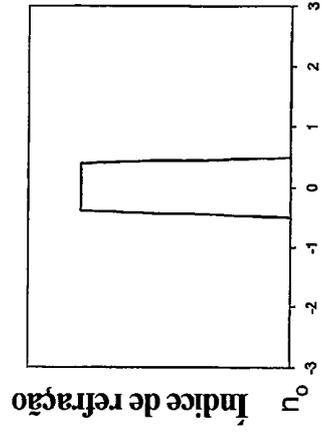


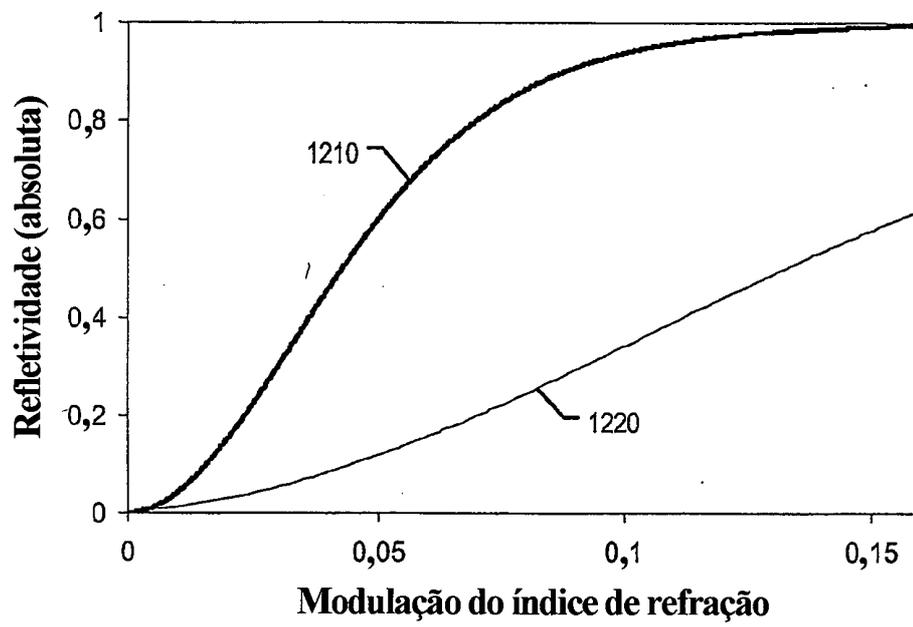
Fig. 12

Fig. 13A

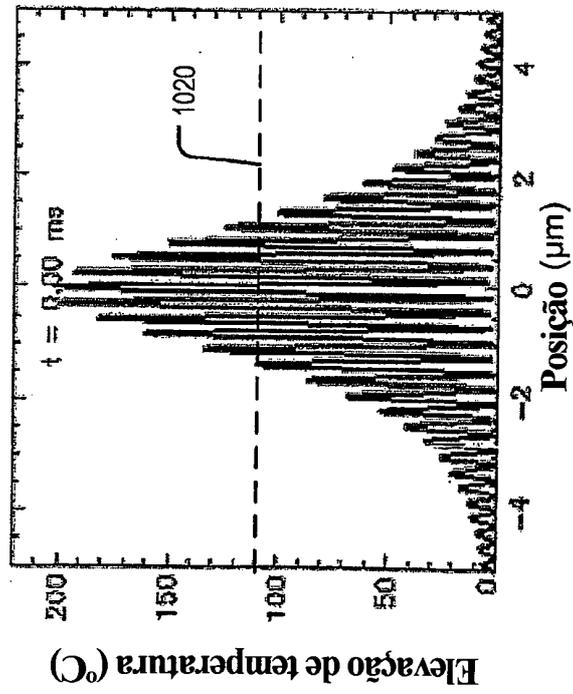


Fig. 13B

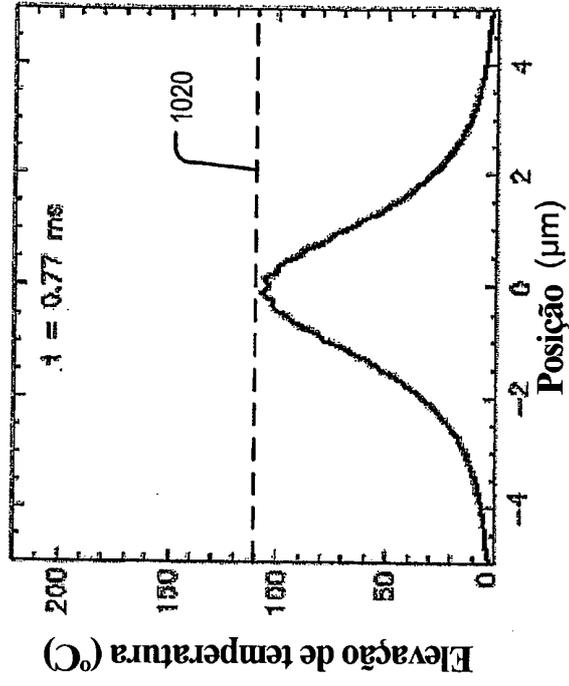


Fig. 14A

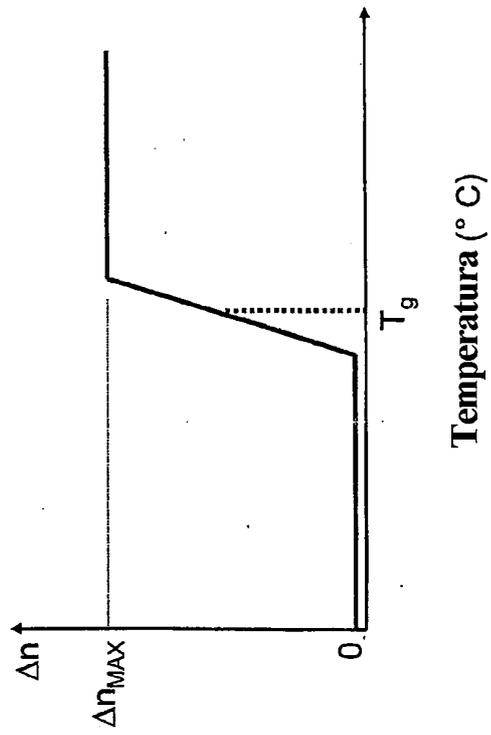


Fig. 14B

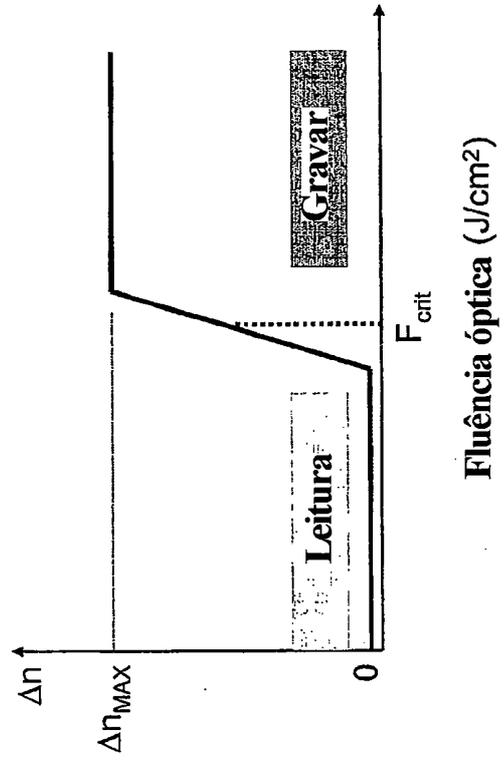


Fig. 15B

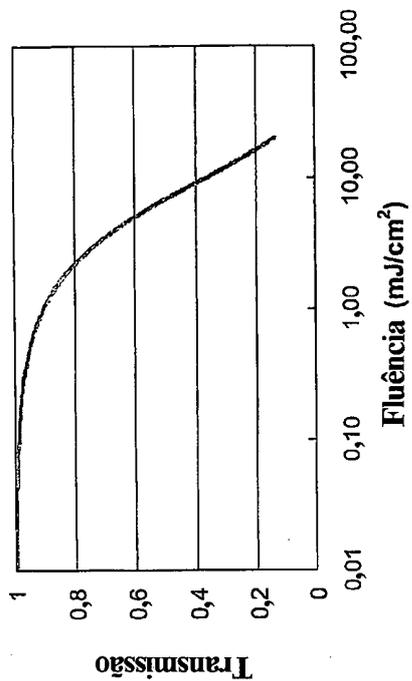


Fig. 15A

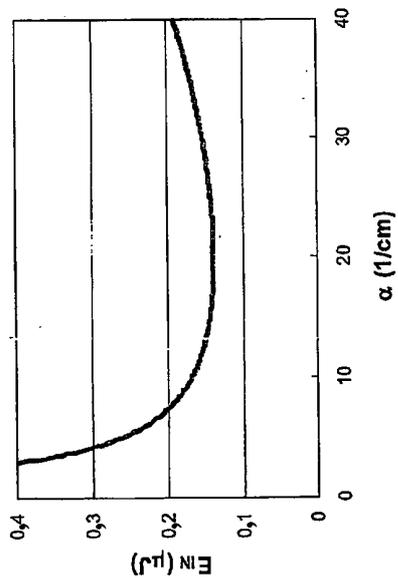


Fig. 15C

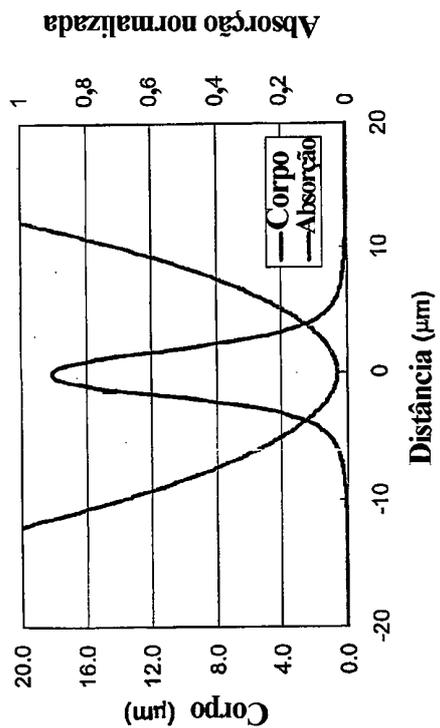


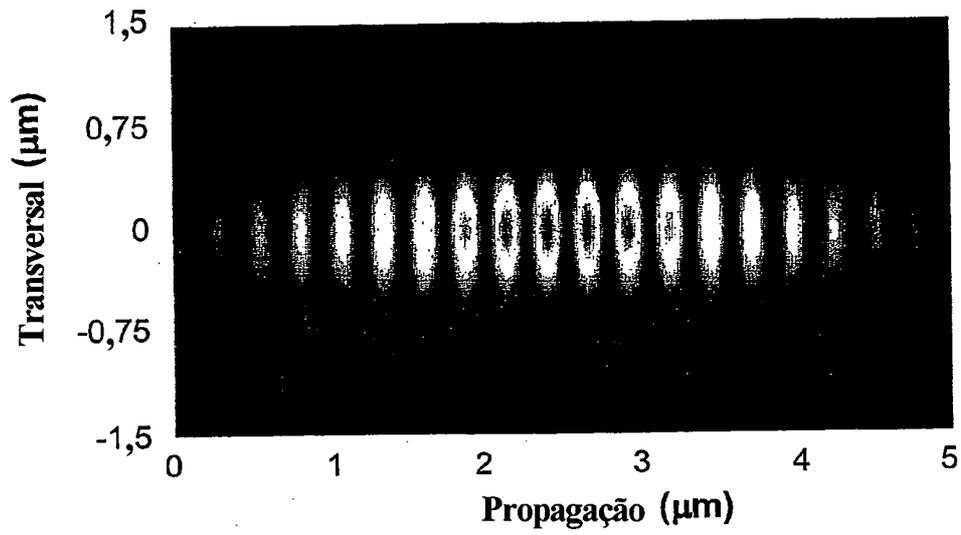
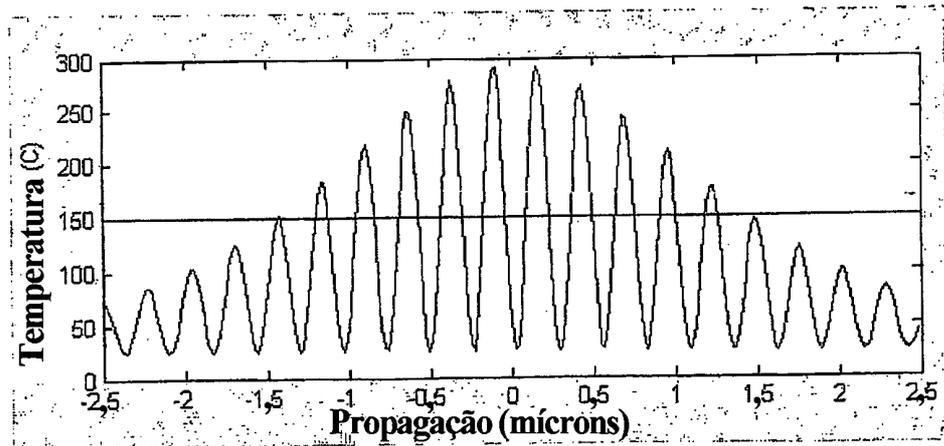
Fig. 16A**Fig. 16B**

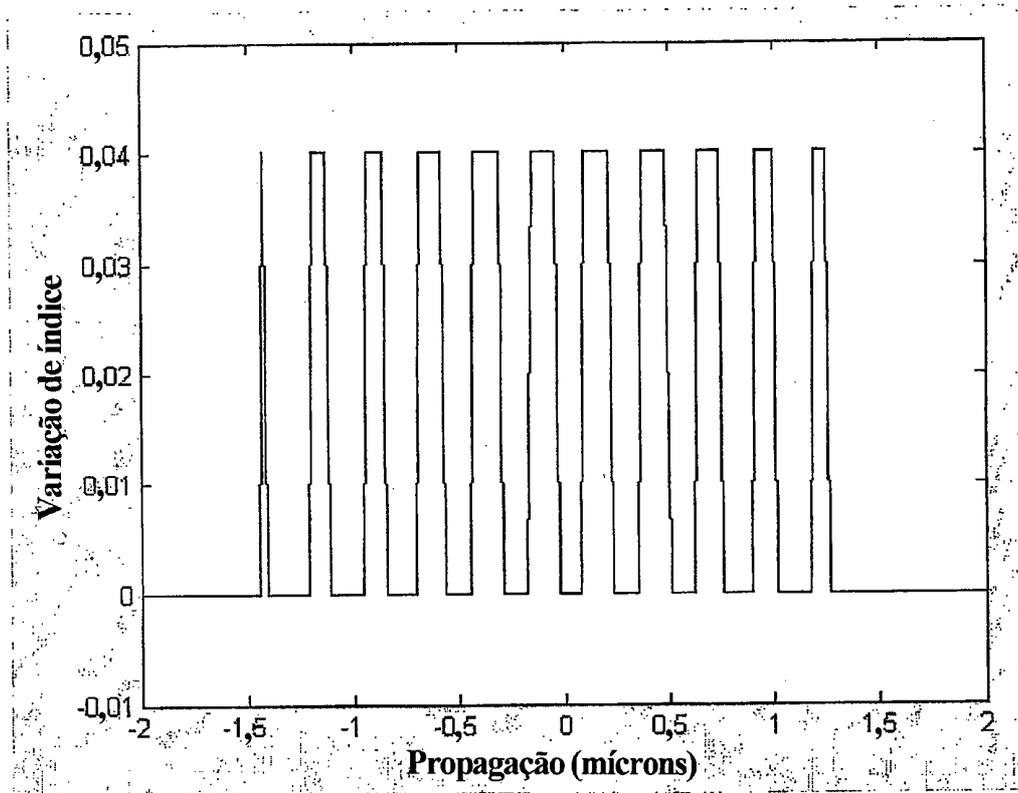
Fig. 16C

Fig. 17A

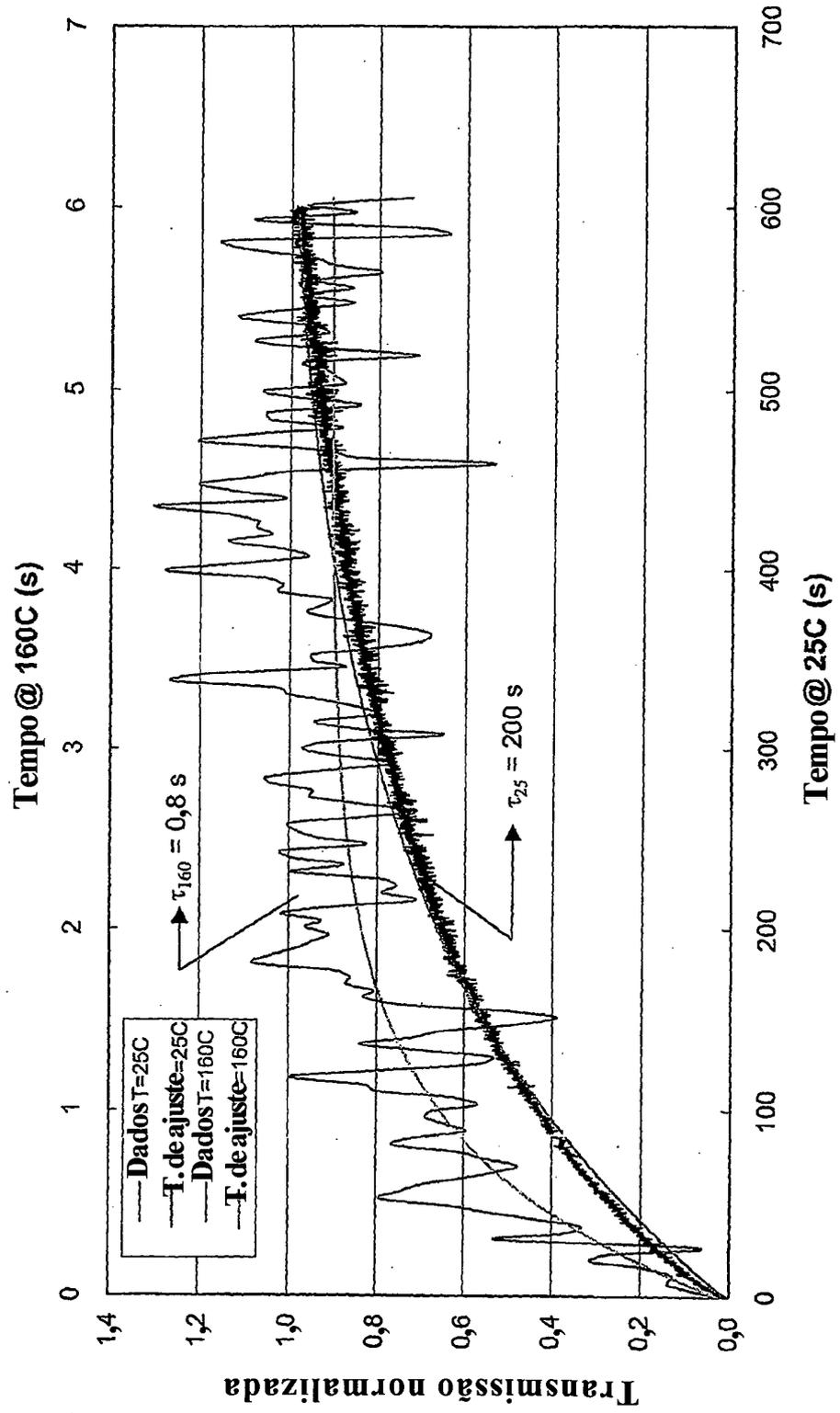


Fig. 17B

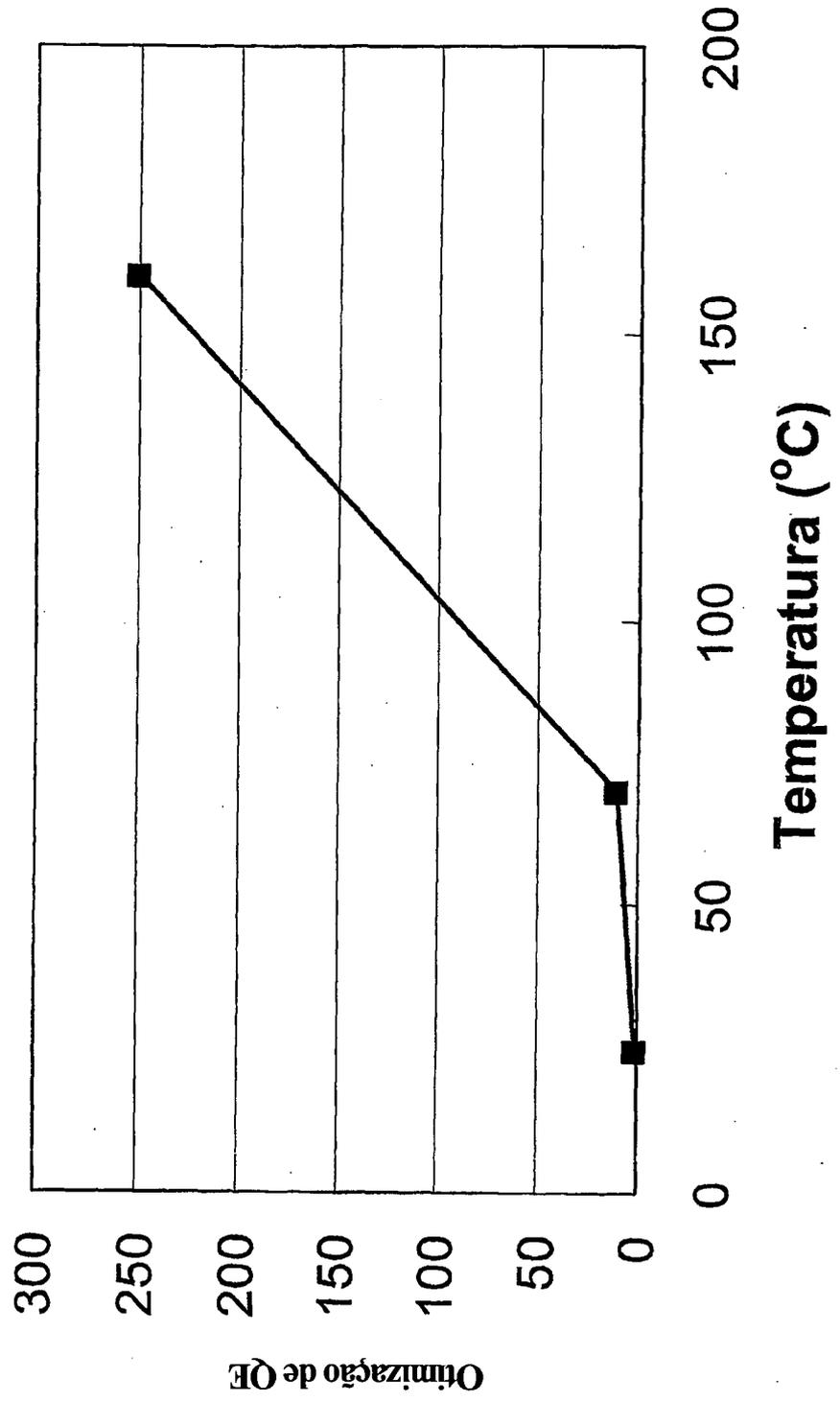


Fig. 17C

Amostra de dimetilamino dinitroestilbeno estendida para alvejamento a alta temperatura

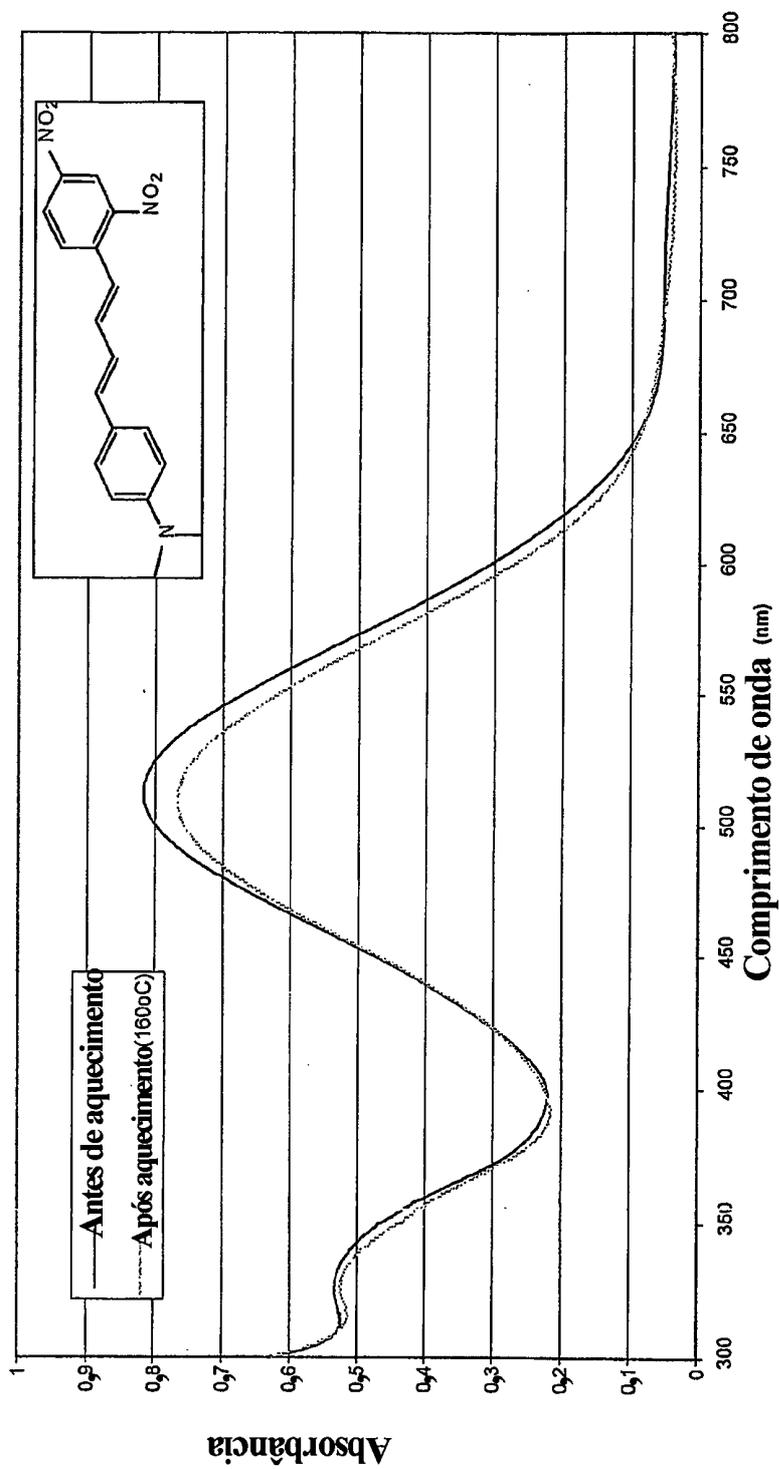


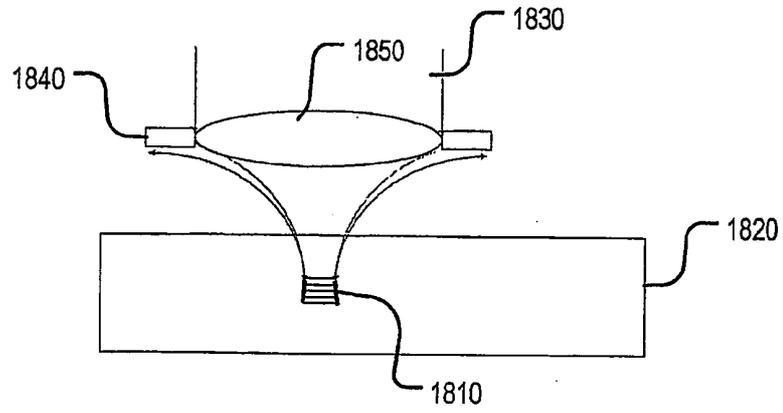
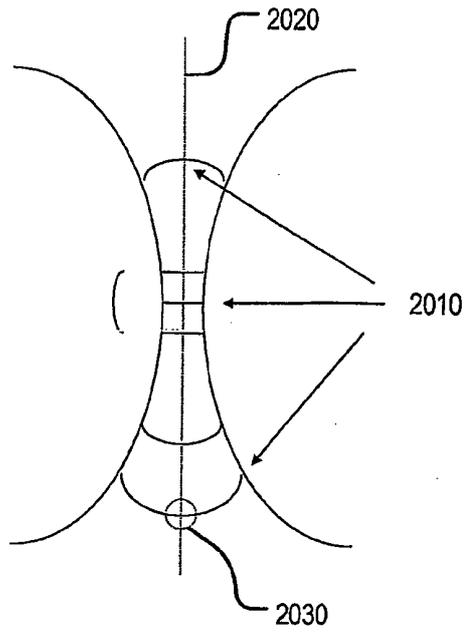
Fig. 18**Fig. 20**

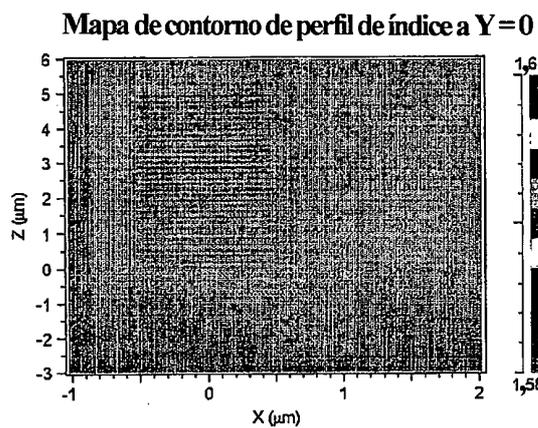
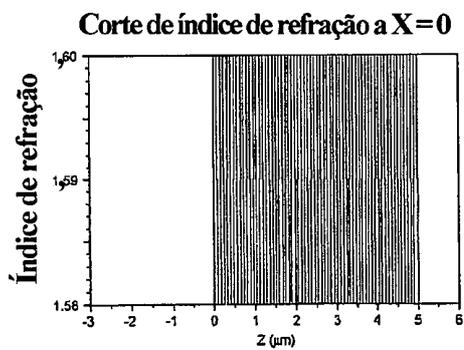
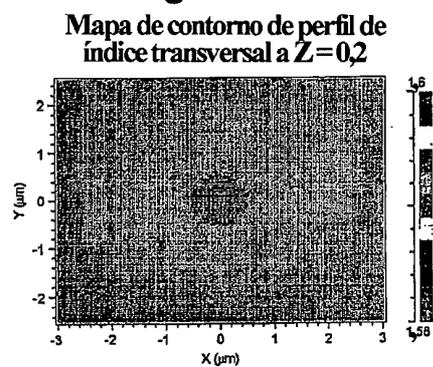
Fig. 19A**Fig. 19B****Fig. 19C**

Fig. 21A

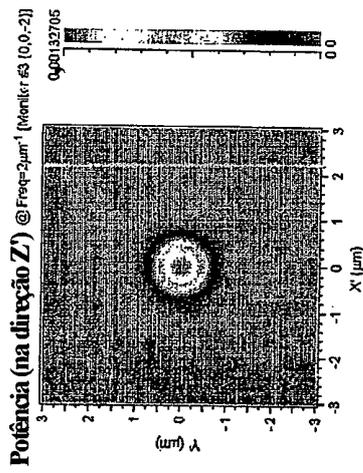


Fig. 21B

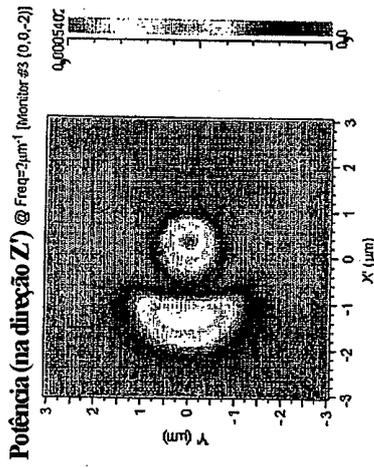


Fig. 21C

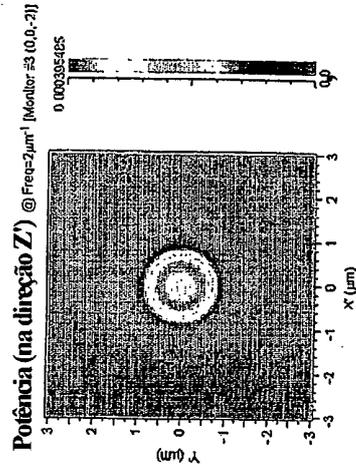


Fig. 22A

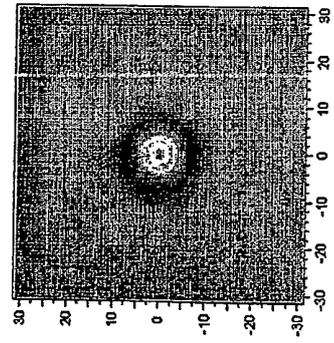


Fig. 22B

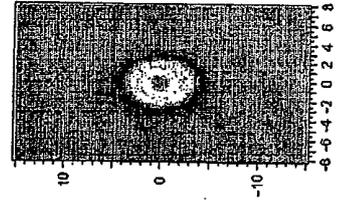


Fig. 22C

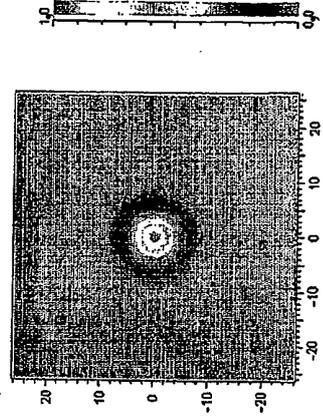
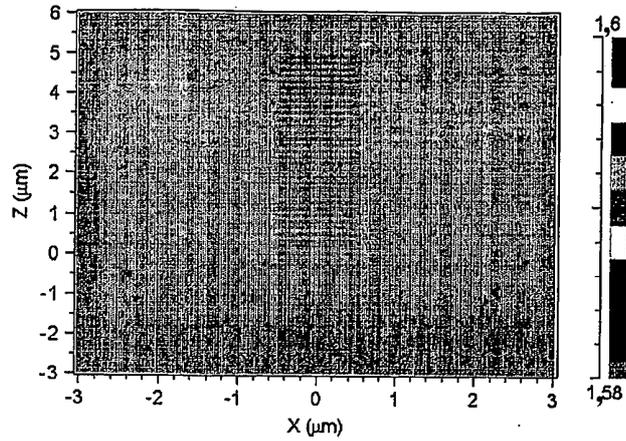


Fig. 23AMapa de contorno de perfil de índice a $Y=0$ 

Mapa de contorno de perfil de índice transversal = 0,2

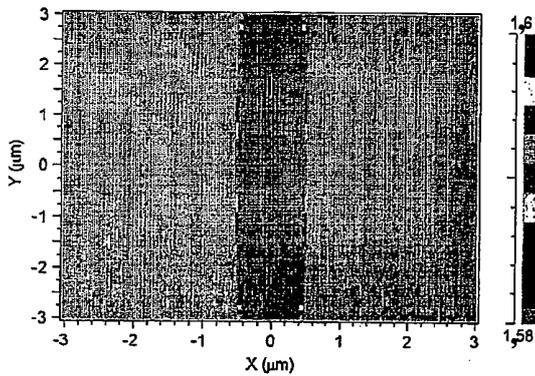
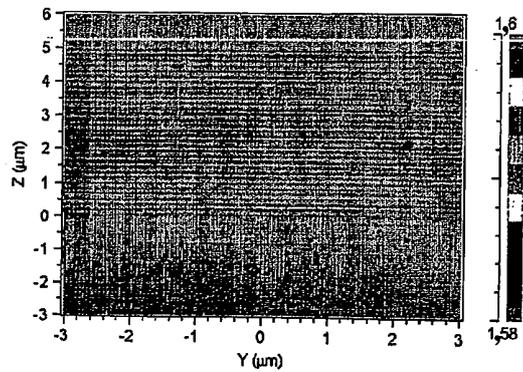
**Fig. 23B**Mapa de contorno de perfil de índice a $X=0$ **Fig. 23C**

Fig. 24A

Potência (na direção Z) @ Freq=2 μm^{-1} [Monitor #3 (0,0,-2)]

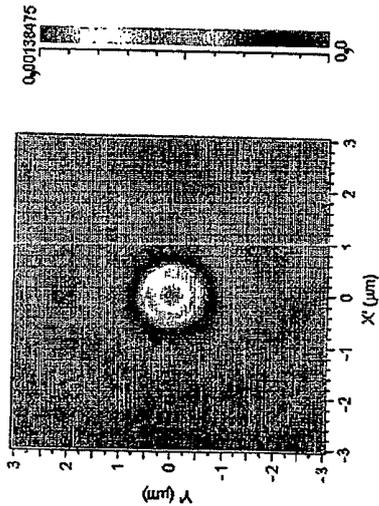


Fig. 24B

Potência (na direção Z) @ Freq=2 μm^{-1} [Monitor #3 (0,0,-2)]

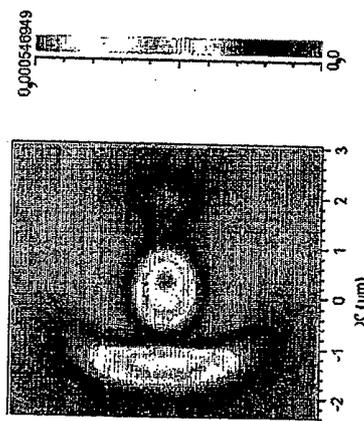


Fig. 24C

Potência (na direção Z) @ Freq=2 μm^{-1} [Monitor #3 (0,0,-2)]

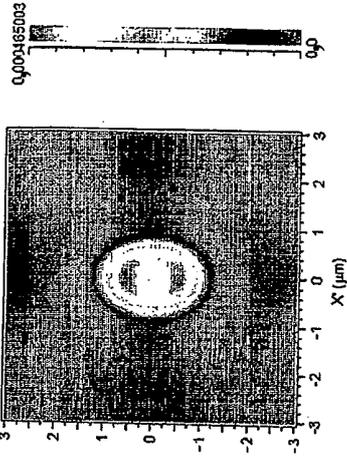


Fig. 25A

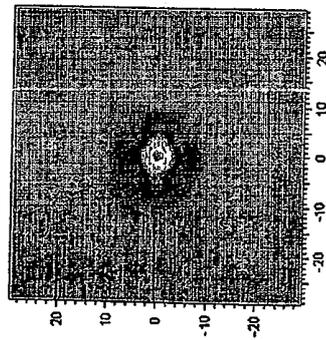


Fig. 25B

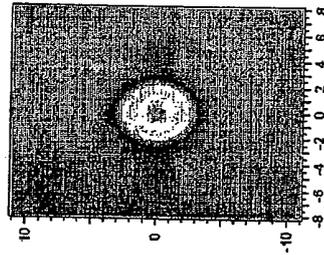


Fig. 25C

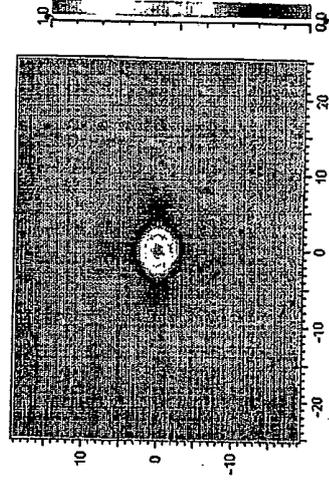


Fig. 26A

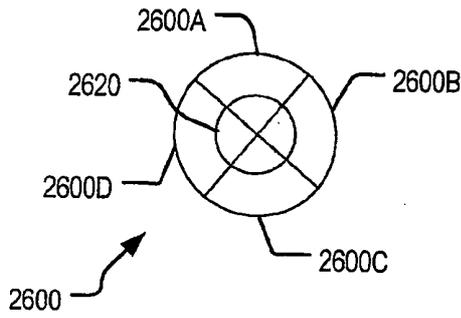


Fig. 26B

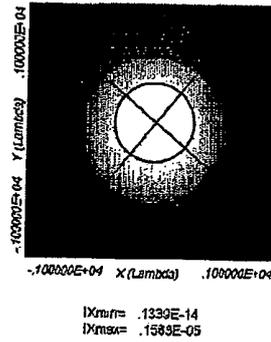


Fig. 26C

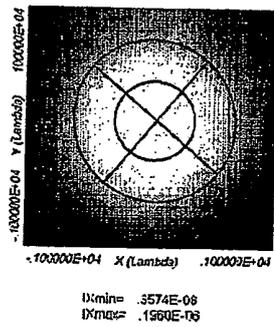


Fig. 26D

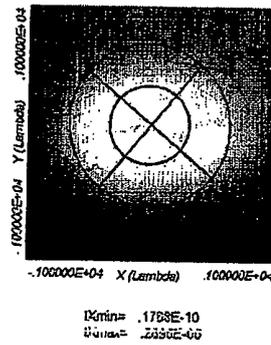


Fig. 27

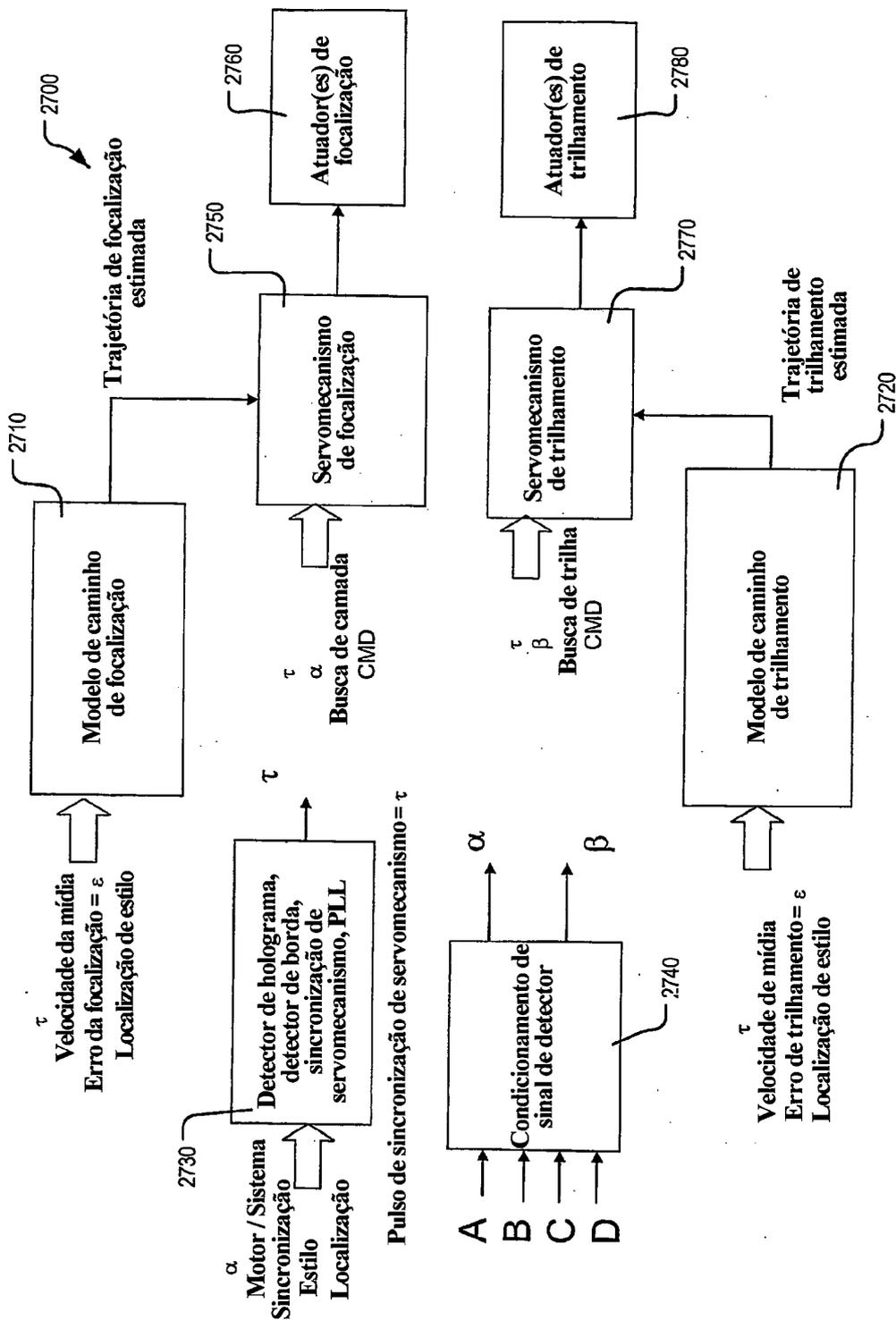


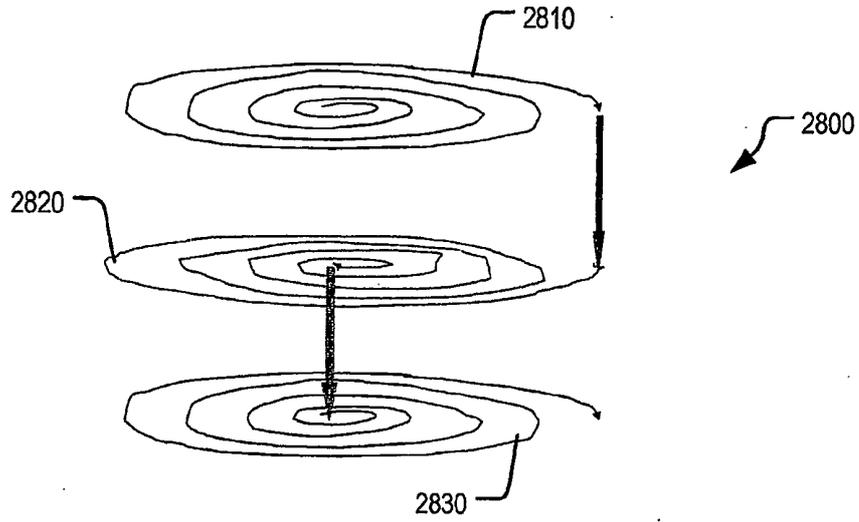
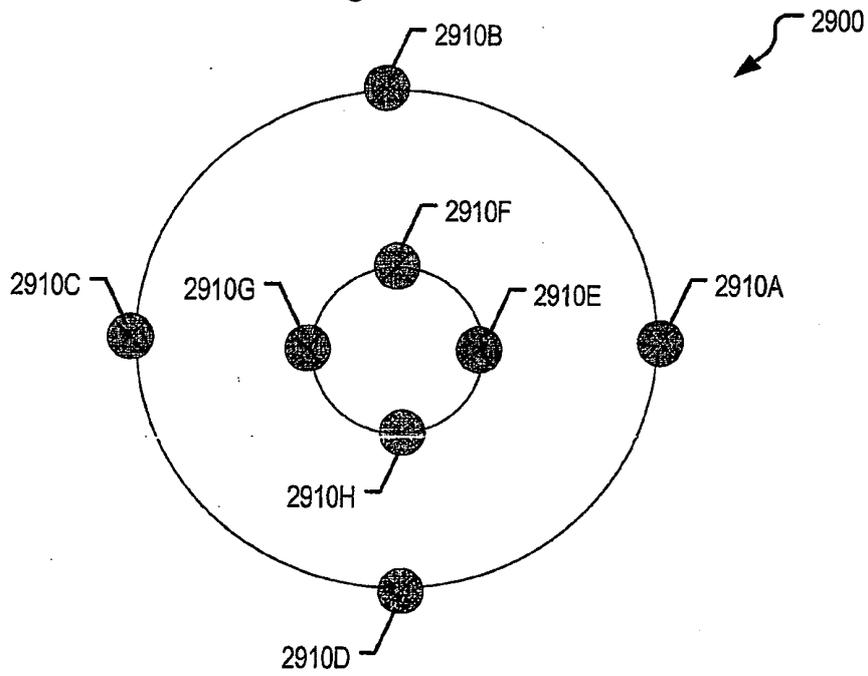
Fig. 28**Fig. 29**

Fig. 30

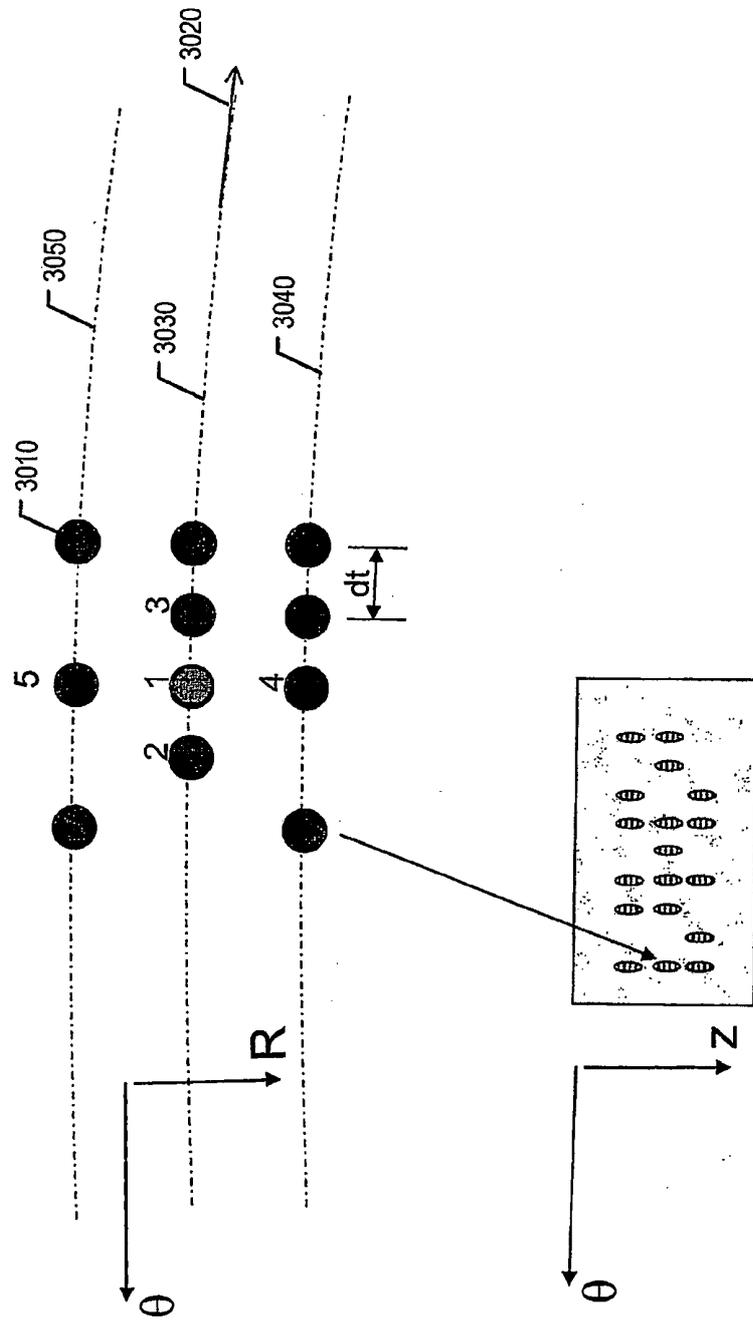


Fig. 31

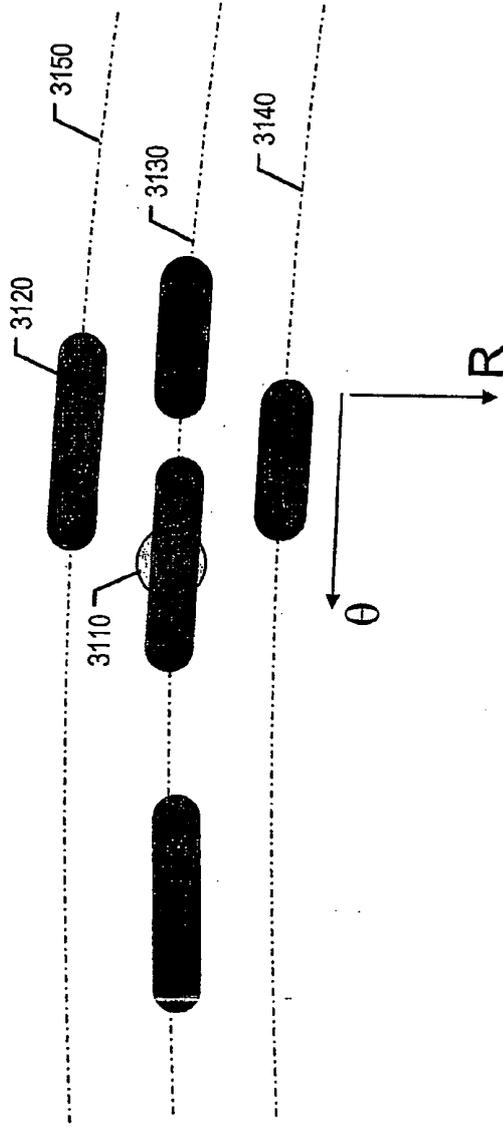


Fig. 32

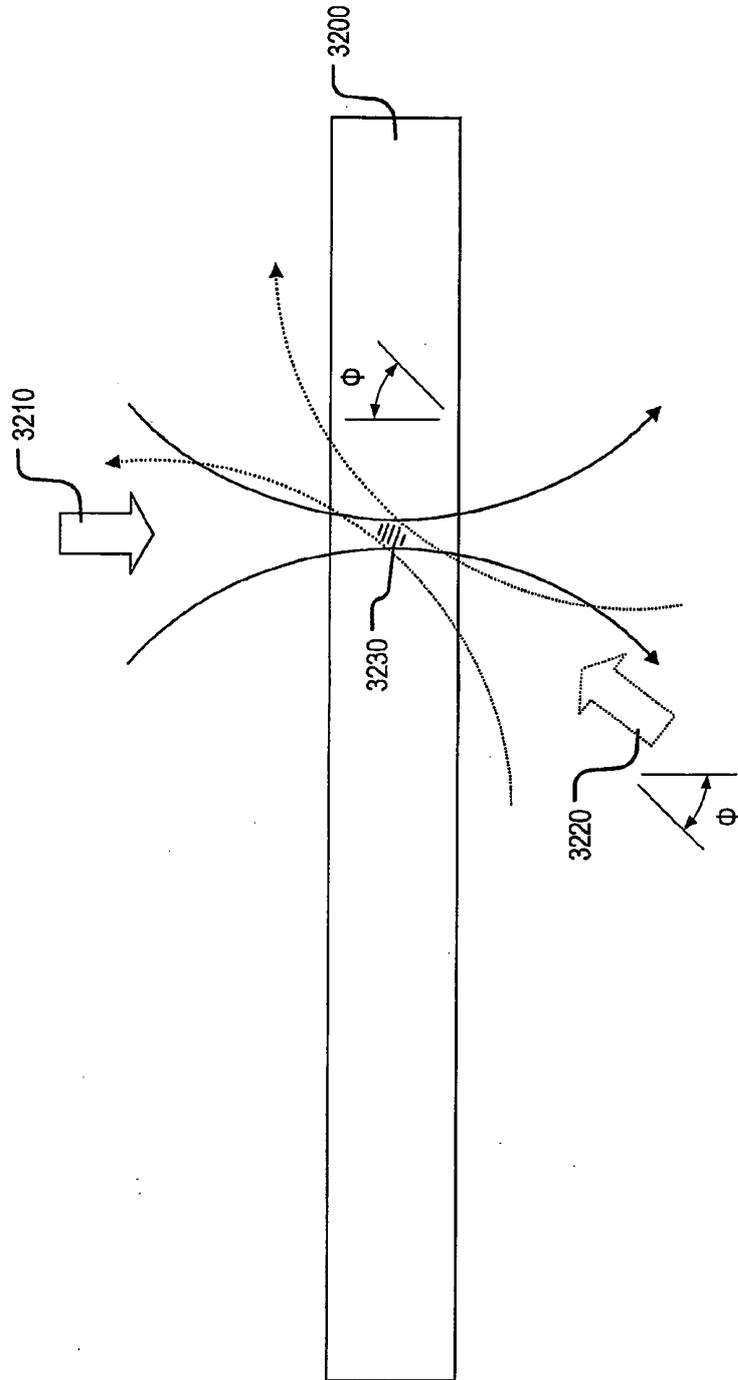


Fig. 33

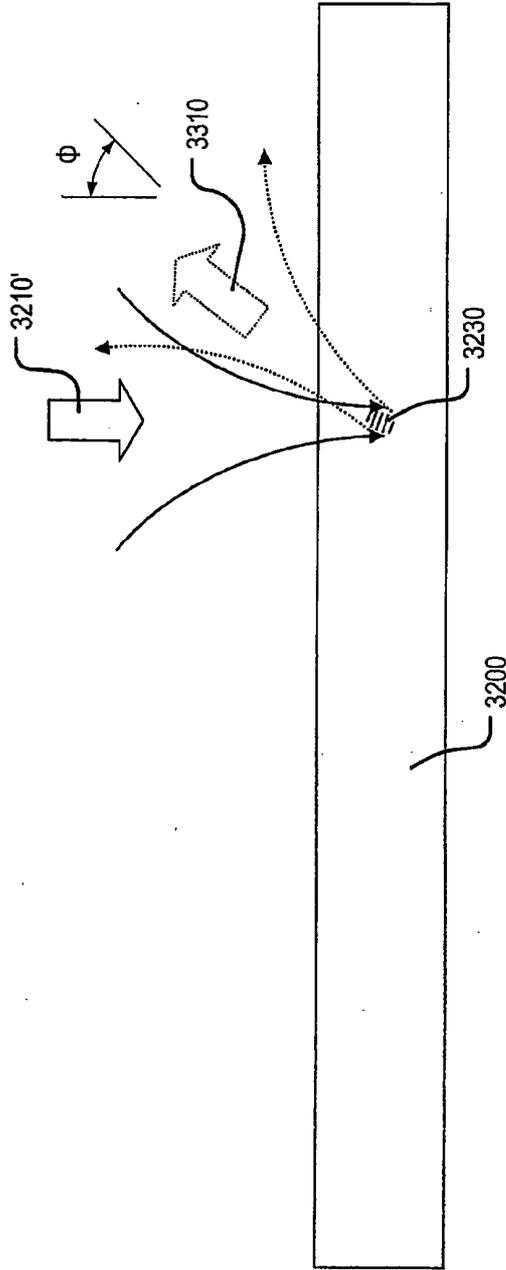


Fig. 34A

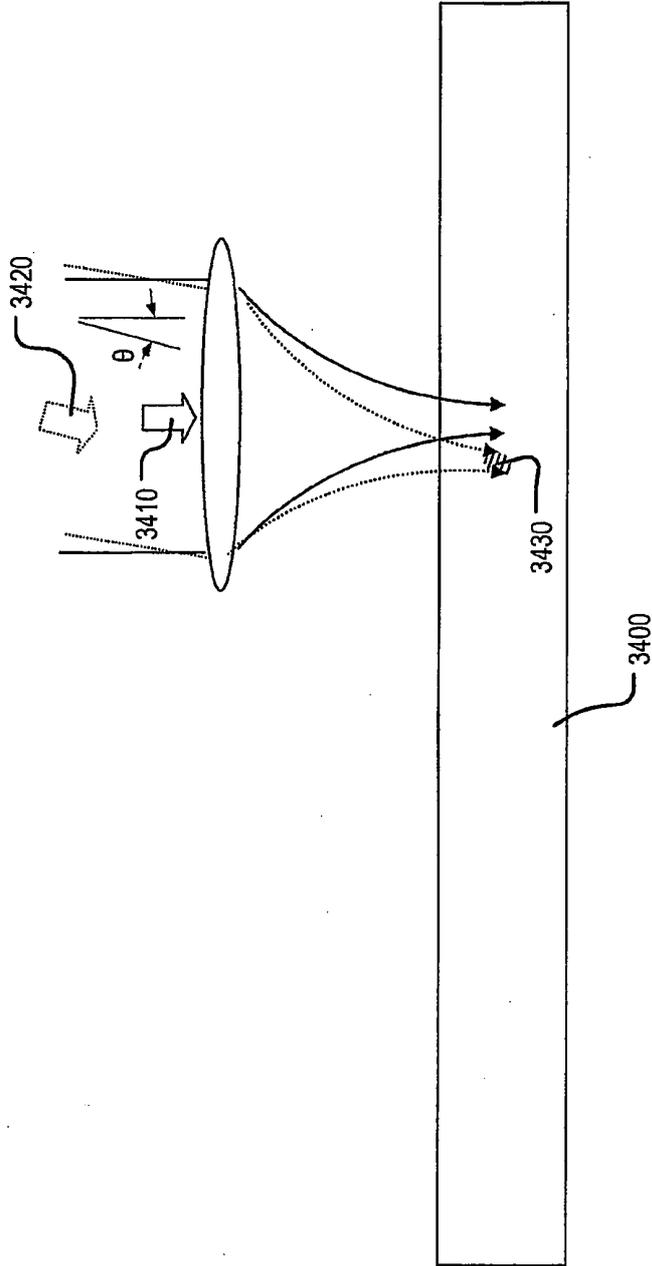


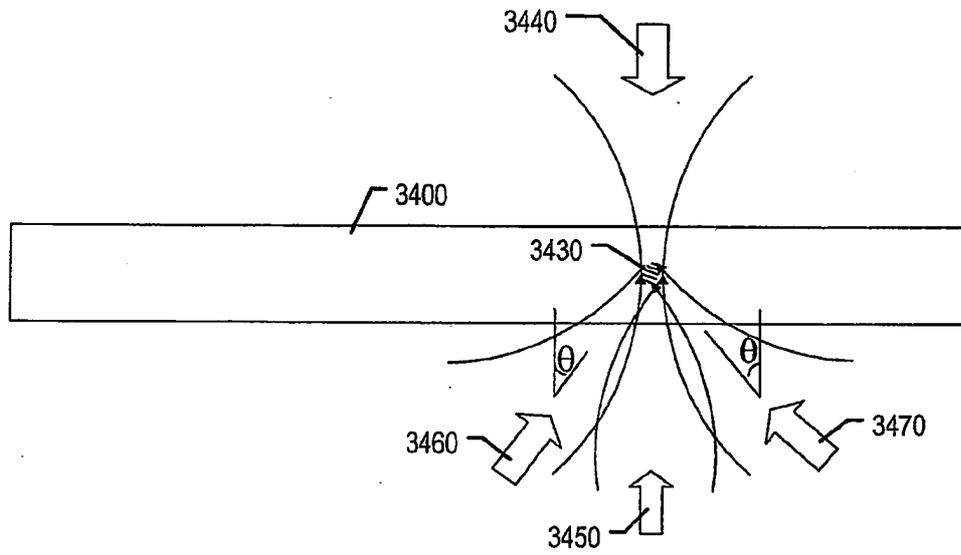
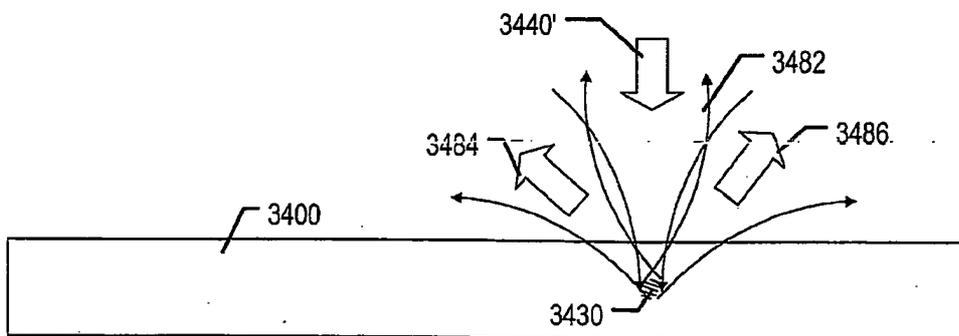
Fig. 34B**Fig. 34C**

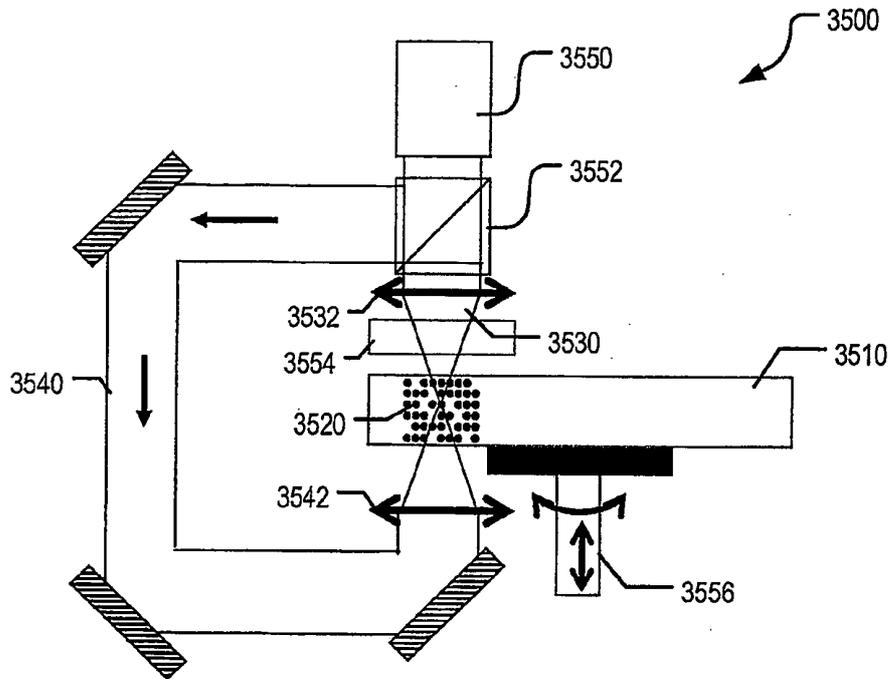
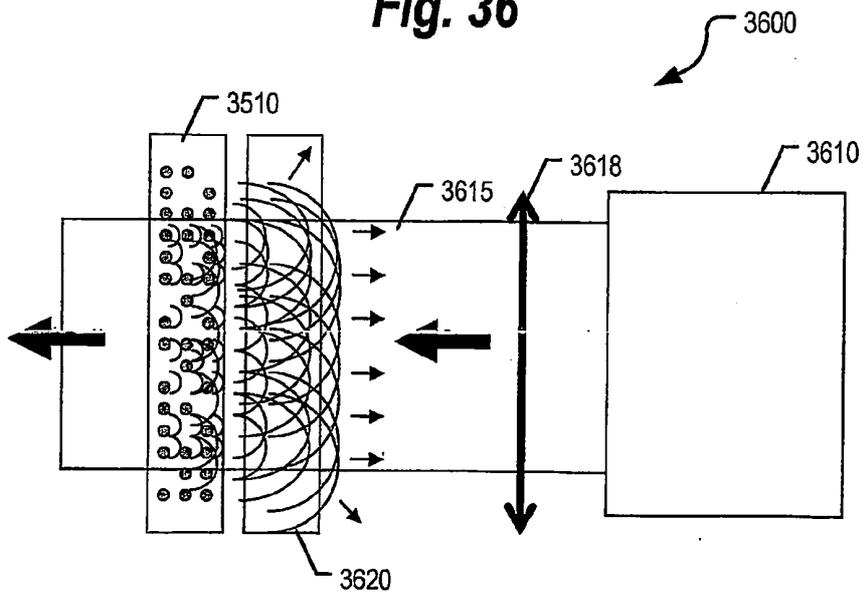
Fig. 35**Fig. 36**

Fig. 37

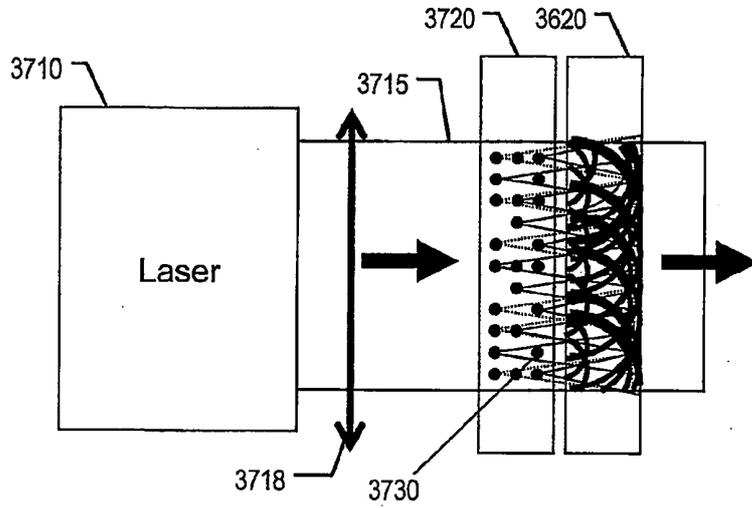


Fig. 38

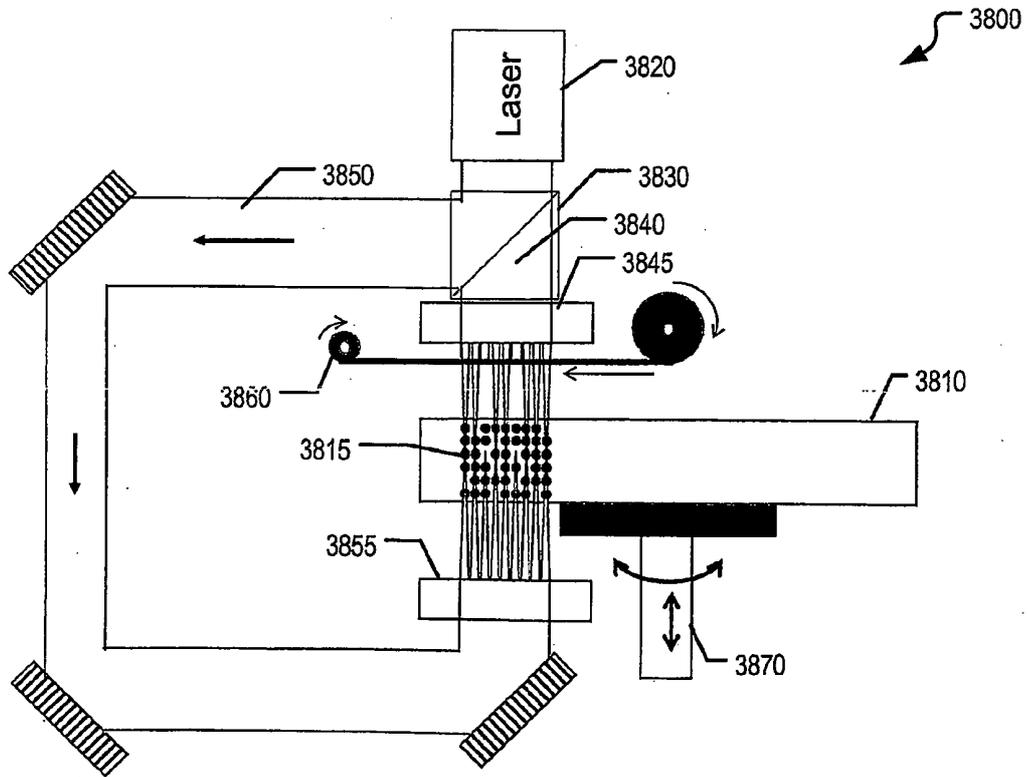


Fig. 39

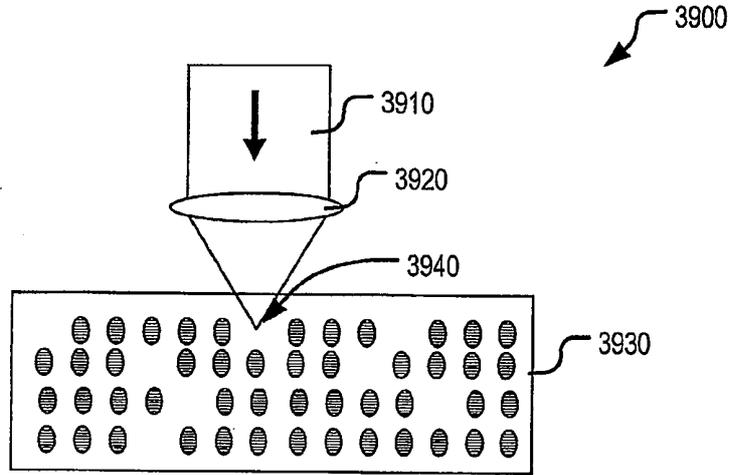
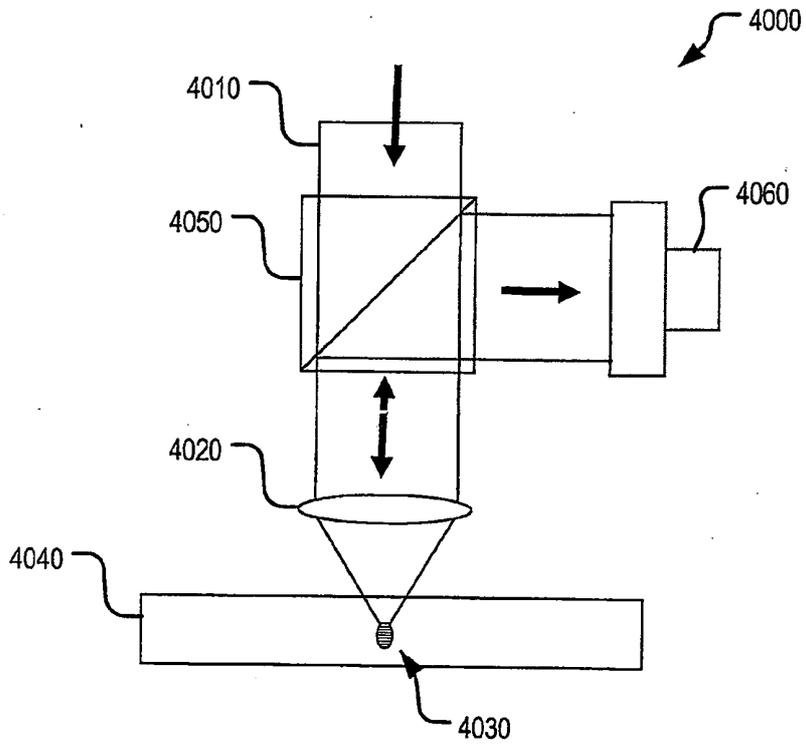


Fig. 40



RESUMO

"DISPOSITIVOS E MÉTODOS DE ARMAZENAMENTO DE DADOS"

Um dispositivo de armazenamento de dados incluindo: um substrato plástico tendo uma pluralidade de volumes
5 dispostos em trilhas, ao longo de uma pluralidade de camadas
estendendo-se lateralmente, empilhadas verticalmente; e uma
pluralidade de micro-hologramas, cada um deles contido em um
correspondente dos ditos volumes, em que a presença ou au-
sência de um micro-hograma em cada um dos ditos volumes é
10 indicativa de uma parte correspondente de dados armazenados.