



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

**(11) BR 112017013680-5 B1**



**(22) Data do Depósito:** 16/12/2015

**(45) Data de Concessão:** 26/07/2022

**(54) Título:** SISTEMA ÓPTICO

**(51) Int.Cl.:** G02B 27/00; F21V 8/00; G02B 27/14.

**(30) Prioridade Unionista:** 25/12/2014 IL 236490.

**(73) Titular(es):** LUMUS LTD..

**(72) Inventor(es):** YAAKOV AMITAI; YUVAL OFIR.

**(86) Pedido PCT:** PCT IL2015051222 de 16/12/2015

**(87) Publicação PCT:** WO 2016/103251 de 30/06/2016

**(85) Data do Início da Fase Nacional:** 23/06/2017

**(57) Resumo:** Um sistema óptico inclui um substrato transmissor de luz tendo pelo menos duas superfícies e bordas principais externas e um elemento óptico para acoplamento de ondas de luz dentro do substrato, por reflexão interna total. Pelo menos uma superfície refletiva parcial está localizada no substrato para acoplamento de ondas de luz fora do substrato e, pelo menos, uma camada transparente, tendo um índice refrativo substancialmente menor do que o índice refrativo do substrato de transmissão de luz é opticamente anexada a pelo menos uma das superfícies principais do substrato, definindo um plano de interface. As ondas de luz acopladas dentro do substrato são, de forma total e substancial, refletidas a partir do plano de interface entre a superfície principal do substrato e a camada transparente.

## "SISTEMA ÓPTICO"

### Campo de invenção

[0001] A presente invenção refere-se a dispositivos ópticos de substrato guiado e, particularmente, a dispositivos que incluem uma pluralidade de superfícies refletivas carregadas através de um substrato transmissor de luz comum, também referido como um elemento de guia de luz.

### Antecedentes da invenção

[0002] Uma aplicação importante para os elementos ópticos compactos é em mostradores montados na cabeça (HMDs), onde um módulo ótico serve tanto como uma lente de imagem e um combinador, onde uma fonte de imagem bidimensional é representada por imagem ao infinito e refletida dentro do olho de um observador. A fonte de exibição pode ser diretamente obtida a partir de tanto um modulador de luz espacial (SLM), tal como um tubo de raios catódicos (CRT), um mostrador de cristal líquido (LCD), um conjunto de diodos emissores de luz orgânicos (OLED), uma fonte de varrimento ou dispositivos semelhantes, ou indiretamente, por meio de uma relay lens ou um feixe de fibras ópticas. A fonte de exibição compreende um conjunto de elementos (pixels), representado ao infinito por uma lente de colimação, e é transmitida para o olho do observador por meio de uma superfície refletora, ou parcialmente refletora, atuando como um combinador para aplicações de visualização transparente e não transparente, respectivamente. Tipicamente, um módulo óptico livre de espaço convencional é usado para estes fins. No entanto, conforme o campo de visão (FOV) desejado do sistema aumenta, tal módulo óptico convencional torna-se maior, mais pesado e mais volumoso e, conseqüentemente, mesmo para um dispositivo

de desempenho moderado tal como um sistema, é impraticável. Esta é uma grande desvantagem para todos os tipos de mostradores e, especialmente em aplicações montadas na cabeça, onde o sistema deve ser necessariamente o mais leve e o mais compacto possível.

[0003] O esforço para compacidade levou a várias soluções ópticas complexas diferentes todas as quais, por um lado, ainda não são suficientemente compactas para a maioria das aplicações práticas, e por outro lado, sofrem grandes desvantagens em termos de fabricação. Além disso, a caixa de movimento ocular (EMB) dos ângulos de visualização ópticos resultantes desses modelos é normalmente muito pequena, tipicamente inferior a 8 mm. Assim, o desempenho do sistema óptico é muito sensível, mesmo para pequenos movimentos do sistema óptico em relação ao olho do observador e não permitindo o movimento suficiente da pupila para a leitura confortável de textos a partir de tais mostradores.

[0004] Os ensinamentos incluídos nas Publicações N<sup>os</sup>. WO 01/95027, WO 03/081320, WO 2005/024485, WO 2005/024491, WO 2005/024969, WO 2005/124427, WO 2006/013565, WO 2006/085309, WO 2006/085310, WO 2006/087709, WO 2007/054928, WO 2007/093983, WO 2008/023367, WO 2008/129539, WO 2008/149339, WO 2013/175465, IL 232197 e IL 235642, todas em nome da Requerente, são aqui incorporados por referência.

#### Divulgação da invenção

[0005] A presente invenção facilita a exploração de um elemento óptico de guia luz (LOE) muito compacto para, entre outras aplicações, os HMDs. A invenção permite FOVs relativamente largos junto com valores de EMB relativamente grandes. O sistema óptico resultante oferece uma imagem

grande, de alta qualidade, que também acomoda grandes movimentos do olho. O sistema óptico oferecido pela presente invenção é particularmente vantajoso porque é substancialmente mais compacto do que as implementações do estado da técnica e ainda, pode ser facilmente incorporado, mesmo em sistemas ópticos tendo configurações especializadas.

[0006] Um amplo objetivo da presente invenção é, conseqüentemente, moderar os inconvenientes dos dispositivos de visualização óptica compactos da técnica anterior e prover outros sistemas e componentes ópticos tendo desempenho melhorado, de acordo com exigências específicas.

[0007] A invenção pode ser implementada com vantagem em um grande número de aplicações de imagem, tais como DVDs portáteis, telefones celulares, receptores de TV móvel, jogos de vídeo, aparelhos de reprodução de mídia portáteis ou quaisquer outros dispositivos de visualização móveis.

[0008] O princípio físico principal da operação do LOE é que as ondas de luz sejam capturadas dentro do substrato por reflexões internas totais a partir das superfícies externas do LOE. Existem situações, no entanto, onde é necessário anexar outro elemento óptico a pelo menos uma das superfícies externas. Nesse caso, é essencial para confirmar que, por um lado, a reflexão das ondas de luz a partir das superfícies externas não irá ser degradada por esta anexação e, por outro lado, que os arranjos ópticos de desacoplamento e de acoplamento das ondas de luz a partir de e para o LOE não serão interrompidos. Como um resultado, é necessário adicionar nas superfícies externas de um arranjo óptico refletivo sensível angular que, por um lado, substancialmente refletirá todas as ondas de luz que estão

acopladas dentro do LOE e incidem sobre as superfícies em ângulos oblíquos e, por outro lado, substancialmente transmitirá as ondas de luz que incidem sobre as superfícies próximas a uma incidência perpendicular.

[0009] Em invenções anteriores (por exemplo, WO 2005/024491), um arranjo óptico refletivo, onde uma película fina sensível angular de revestimento dielétrico é aplicada às superfícies do LOE, foi ilustrada. Na presente invenção, um arranjo óptico refletivo alternativo utiliza materiais transparentes dielétricos tendo um índice refrativo extremamente baixo.

[0010] Consequentemente, a invenção proporciona um sistema óptico, incluindo um substrato transmissor de luz tendo pelo menos duas superfícies principais externas e bordas, um elemento óptico para o acoplamento das ondas de luz dentro do substrato, através da reflexão interna total, pelo menos uma superfície refletindo parcialmente localizada no substrato, para acoplamento das ondas de luz fora do substrato e pelo menos uma camada transparente, tendo um índice refrativo substancialmente menor que o índice refrativo do substrato transmissor de luz, opticamente anexado a pelo menos uma das superfícies principais do substrato, definindo um plano de interface, onde as ondas de luz acopladas dentro do substrato sejam, de forma substancial e total, refletidas a partir do plano de interface entre a superfície principal do substrato e a camada transparente.

#### Breve descrição dos desenhos

[0011] A invenção é descrita em conexão com certas concretizações preferidas, com referência às figuras ilustrativas a seguir, de modo que possa ser mais

completamente compreendida.

[0012] Com referência específica às figuras em detalhe, destaca-se que as particularidades mostradas apenas são a título de exemplo e para fins de discussão ilustrativa das concretizações preferidas da presente invenção e estão apresentadas com o objetivo de fornecer o que acredita ser a descrição mais útil e facilmente compreendida dos princípios e aspectos conceituais da invenção. Neste aspecto, nenhuma tentativa é feita para mostrar detalhes estruturais da invenção em mais detalhes do que é necessário para uma compreensão fundamental da invenção. A descrição feita com os desenhos se destina a servir como orientação para os técnicos no assunto sobre a forma como as diversas formas da invenção podem ser concretizadas na prática.

Nos desenhos:

[0013] A Figura 1 é uma vista lateral de um exemplo de LOE da técnica anterior;

[0014] A Figura 2 é um diagrama esquemático ilustrando um dispositivo óptico da técnica anterior para a colimação da entrada das ondas de luz a partir de uma fonte de luz de exibição;

[0015] A Figura 3 é um diagrama esquemático ilustrando um sistema para a colimação e acoplamento da entrada de ondas de luz a partir de uma fonte de luz da exibição dentro de um n LOE, de acordo com a presente invenção;

[0016] A Figura 4 é um diagrama esquemático ilustrando outra concretização para a colimação e acoplamento da entrada de ondas de luz a partir de uma fonte de luz da exibição dentro de um substrato, onde o módulo de colimação está anexado ao substrato, de acordo com a presente invenção;

[0017] A Figura 5 ilustra um exemplo de concretização onde uma lente negativa está anexada a uma superfície externa do elemento óptico de guia de luz, de acordo com a presente invenção;

[0018] A Figura 6 ilustra um exemplo de concretização onde as lentes positiva e negativa estão anexadas às superfícies externas do elemento óptico de guia de luz, de acordo com a presente invenção;

[0019] A Figura 7 ilustra um exemplo de concretização onde uma lente negativa é cimentada a uma superfície externa do elemento óptico de guia luz utilizando adesivo de baixo índice refrativo, de acordo com a presente invenção;

[0020] A Figura 8 ilustra um exemplo de concretização onde um substrato fabricado de um material de baixo índice refrativo está opticamente anexado a uma superfície externa do elemento óptico de guia luz, de acordo com a presente invenção;

[0021] A Figura 9 ilustra um exemplo de concretização onde as lentes negativas e positivas são cimentadas às superfícies externas do elemento óptico de guia luz utilizando duas camadas transparentes, de acordo com a presente invenção;

[0022] A Figura 10 é um gráfico ilustrando a curva de refletância para (a) um LOE não-cimentado; (b) um LOE cimentado a um substrato de material de baixo índice de e revestido com um revestimento antirreflexo e (c) um LOE cimentado ao substrato de material de baixo índice e revestido com um revestimento refletivo sensível angular, de acordo com a presente invenção;

[0023] A Figura 11 ilustra um exemplo de concretização da presente invenção, onde os elementos de acoplamento bem como

de desacoplamento são elementos ópticos difrativos; e

[0024] A Figura 12 ilustra um exemplo de concretização da presente invenção, onde o módulo óptico é embutido em um sistema de exibição portátil.

#### Descrição detalhada das concretizações

[0025] A Figura 1 ilustra uma vista em corte de um substrato 20 da técnica anterior e componentes associados (daqui em diante também referido como um "LOE"), utilizável na presente invenção. Um meio óptico, por exemplo, uma superfície refletora 16, é iluminada por um mostrador colimado de ondas de luz 18 a partir de uma exibição de uma fonte de luz (não mostrada). A superfície refletora 16 reflete as ondas de luz incidente a partir da fonte, de tal modo que as ondas de luz são capturadas dentro de um substrato plano 20 do LOE, por reflexão interna total. Após várias reflexões fora das superfícies superior e inferior principais 26, 28 do substrato 20, as ondas de luz capturadas alcançam um arranjo de superfícies refletoras seletivas 22, que acoplam as ondas de luz fora do substrato dentro de um olho 24, tendo uma pupila 25, de um observador. Aqui, a superfície de entrada do LOE será considerada como a superfície através da qual as ondas de luz de entrada entram no LOE e a superfície de saída do LOE será considerada como a superfície através da qual as ondas de luz capturadas saem do LOE. No caso do LOE ilustrado na Figura 1, ambas as superfícies de entrada e de saída estão sobre a superfície inferior 26. Outras configurações, no entanto, são previstas nas quais as ondas de luz de imagem e de entrada poderiam estar localizadas em lados opostos do substrato 20, ou quando as ondas de luz estão acopladas dentro do LOE através de uma



borda inclinada do substrato.

[0026] Conforme ilustrado na Figura 2, as ondas de luz de entrada s-polarizadas 2 a partir da fonte de luz da exibição 4 são acopladas dentro de um módulo de colimação 6, o qual é geralmente composto de um material transmissor de ondas de luz, através de sua superfície inferior 30. Seguindo fora da reflexão de um divisor de feixe de polarização 31, as ondas de luz são acopladas fora do substrato através da superfície 32 do módulo de colimação 6. As ondas de luz em seguida passam através de uma placa de retardamento de quarto de comprimento de onda 34, sendo refletidas por um elemento óptico de reflexão 36, por exemplo, um espelho plano, retornando a passar novamente através da placa de retardamento 34, e reentrando no módulo de colimação 6 através da superfície 32. As ondas de luz p-polarizadas agora passam através do divisor de feixe de polarização 31 e estão acopladas fora do guia de luz através da superfície 38 do módulo de colimação 6. As ondas de luz, em seguida, passam através de uma segunda placa de retardamento de quarto de comprimento de onda 40, sendo colimada por um componente 42, por exemplo, uma lente, na sua superfície refletora 44, retornando a passar novamente através da placa de retardamento 20, e reentrando no módulo de colimação 6 através da superfície 38. As ondas de luz s-polarizada são refletidas fora do divisor de feixe de polarização 31 e saem do módulo de colimação através da superfície superior 46. As superfícies refletoras 36 e 44 podem ser materializadas por qualquer um revestimento metálico ou um dielétrico.

[0027] A Figura 3 ilustra como um módulo de colimação 6, constituído pelos componentes detalhados em relação à Figura

2, pode ser combinado com um LOE, para formar um sistema óptico. A saída das ondas de luz 48 a partir do módulo de colimação 6 entra no substrato 20 através da sua superfície inferior 26. As ondas de luz que entram (em comparação ao substrato 20) são refletidas a partir do elemento óptico 16 e capturadas no substrato, conforme ilustrado na Figura 2. Agora, o módulo de colimação 6, compreendendo a fonte de luz de exibição 4, os prismas de dobragem 52 e 54, o divisor de feixe de polarização 31, as placas de retardamento 34 e 40 e os elementos ópticos refletores 36 e 42, podem ser integrados dentro de um único módulo mecânico, os quais podem ser montados de forma independente do substrato, mesmo com tolerâncias mecânicas não precisas. Adicionalmente, as placas de retardamento 34 e 40 e os elementos ópticos refletores 36 e 42 podem ser cimentados juntos, respectivamente, para formar elementos individuais.

[0028] Seria vantajoso fixar todos os vários componentes do módulo de colimação 6 ao substrato 20 para formar um único elemento compacto com um módulo mecânico muito simplificado. A Figura 4 ilustra tal módulo, onde a superfície superior 46 do módulo de colimação 6 é fixada, no plano de interface 58, na superfície inferior 26 do LOE. O principal problema desta configuração é que o procedimento de fixação elimina o afastamento 50 previamente existente (ilustrado na Figura 3) entre o LOE e o módulo de colimação 6. Este afastamento é essencial para capturar a entrada das ondas de luz 48 dentro do LOE 20. Conforme ilustrado na Figura 4, as ondas de luz capturadas 48 devem ser refletidas nos pontos 62 e 64 no plano de interface 58. Deste modo, um arranjo óptico de reflexão deve ser aplicado neste plano, tanto na superfície

principal 26 do LOE ou na superfície superior 46 do módulo de colimação 6. Um simples revestimento refletor não pode, no entanto, ser facilmente aplicado, uma vez que estas superfícies também devem ser transparentes para as ondas de luz que entram e saem do LOE nos pontos demonstrativos 66. As ondas de luz devem passar através do plano 64 em ângulos de incidência pequenos, e refletir em ângulos de incidência principais. Normalmente, os ângulos de incidência de passagem estão entre  $0^{\circ}$  e  $15^{\circ}$  e os ângulos de incidência refletores estão entre  $38^{\circ}$  e  $80^{\circ}$ .

[0029] Em todas as concretizações acima descritas da presente invenção, a imagem que é acoplada dentro do LOE é colimada para o infinito. Existem aplicações, no entanto, onde a imagem transmitida deve ser focada a uma distância mais próxima, por exemplo, para pessoas que sofrem de miopia e não podem ver corretamente imagens localizadas em longas distâncias.

[0030] A Figura 5 ilustra um método para implementação de uma lente, baseado com a presente invenção. Uma imagem 80 a partir do infinito é acoplada em um substrato 20 por uma superfície refletora 16 e depois refletida por um conjunto de superfícies parcialmente refletoras 22 dentro do olho 24 do observador. A lente oftálmica 82 foca as imagens a uma distância conveniente e, opcionalmente, corrige outras anomalias do olho do observador, incluindo astigmatismo. A lente de plano côncavo 82 pode ser anexada à superfície do substrato na sua superfície plana 84. Como explicado acima em relação à Figura 4, um pequeno afastamento deve ser preservado entre a lente 82 e o substrato 20, para garantir a captura dos feixes da imagem dentro do substrato através da

reflexão interna total.

[0031] Adicionalmente, na maioria das aplicações relacionadas com a presente invenção, supõe-se que a cena externa está localizada no infinito. No entanto, existem aplicações, tais como, para finalidades profissionais ou médicas, onde a cena externa está localizada a uma distância mais próxima.

[0032] A Figura 6 ilustra um método para a implementação de uma configuração de lente dupla, com base na presente invenção. Uma imagem 80 a partir do infinito é acoplada dentro de um substrato 20 por uma superfície refletora 16 e, em seguida, refletida por um arranjo de superfícies parcialmente refletoras 22 dentro do olho 24 do observador. Outra imagem 86 da cena, a partir de uma distância mais próxima, é colimada ao infinito por uma lente 88 e, em seguida, passada através do substrato 20 dentro do olho. A lente 82 foca as imagens 80 e 86 a uma distância conveniente, geralmente a distância original da cena externa 86, e corrige outras anomalias do olho do observador, se necessário.

[0033] As lentes 82 e 88 ilustradas nas Figuras 5 e 6 são lentes plano-côncavas e plano-convexas simples, respectivamente. No entanto, para manter a forma plana do LOE é possível ao contrário de utilizar lentes de Fresnel, as quais podem ser feitas de placas finas de plástico moldado com pequenos degraus. Além disso, uma forma alternativa para materializar as lentes 82 ou 88, ao contrário de utilizar lentes fixas conforme descrito acima, é a utilização de lentes dinâmicas controladas eletronicamente. Existem aplicações onde é requerido que o usuário seja capaz de não apenas ver uma imagem não colimada, mas também controlar

dinamicamente o foco da imagem. Demonstrou-se que um modulador de luz espacial (SLM) de alta resolução pode ser utilizado para formar um elemento dinâmico. Atualmente, as fontes mais populares para essa finalidade são dispositivos LCD, mas outros dispositivos SLM dinâmicos podem ser também usados. Lentes dinâmicas de alta resolução tendo várias centenas de linhas/mm são conhecidas. Este tipo de lentes controladas eletro-ópticamente pode ser utilizado como os elementos dinâmicos desejados na presente invenção, ao contrário das lentes fixas acima descritas em conjunto com as Figuras 5 e 6. Consequentemente, em tempo real, a operação pode determinar e definir os planos focais exatos de ambas a imagem virtual projetada pelo LOE e a imagem real da vista externa. Naturalmente, as lentes que estão ilustradas nas Figuras 5 e 6 podem facilmente serem montadas dentro de uma armação de óculos 83, conforme mostrado na Figura 5.

[0034] Conforme ilustrado acima na Figura 6, seria vantajoso fixar todas as lentes 82 e 88 ao LOE 20, para formar um elemento compacto simples com um módulo mecânico muito simplificado. O principal problema, conforme anteriormente descrito, é que o processo de fixação elimina o afastamento pré-existente entre o LOE 20 e as lentes 82 e 88, no qual é essencial para a captura das ondas de luz de entrada 80 dentro do LOE 20. Conforme ilustrado adicionalmente na Figura 6, as ondas de luz 80 retidas devem ser refletidas no ponto 90 do plano de interface 84 e transmitidas através do mesmo plano no ponto 92. Deste modo, um arranjo óptico de reflexão semelhante, ao descrito acima em relação à Figura 4, deve ser aplicado neste plano.

[0035] Uma abordagem possível para conseguir a disposição

óptica de refração necessária consiste em anexar opticamente uma camada transparente, tendo um índice refrativo que é substancialmente menor do que a do LOE, nas superfícies principais do LOE. Um método para materializar esta abordagem é cimentar o LOE ao elemento óptico necessário utilizando um adesivo de baixo índice refrativo. Existem adesivos ópticos disponíveis no mercado tendo um índice refrativo de  $-1,3$ .

[0036] Conforme ilustrado na Figura 7, o índice refrativo baixo 100 é utilizado para cimentar a lente corretora 82 ao LOE. Os raios de luz que estão presos dentro do LOE agora estão totalmente refletidos a partir da superfície da interface 101 entre o adesivo 100 e o LOE. Este procedimento de cimentação não pode simplesmente substituir o afastamento necessário. Por exemplo, em um LOE que é fabricado de BK7, tendo um índice refrativo de  $1,52$ , o ângulo crítico é  $41,8^\circ$ . Substituindo o afastamento com um adesivo de índice baixo irá aumentar o ângulo crítico para  $58,8^\circ$ . Com tal ângulo crítico alto, apenas uma FOV muito limitada pode ser capturada dentro do LOE através da reflexão interna total. No entanto, através da utilização de materiais de alto índice refrativo para a fabricação do LOE, o FOV alcançável pode ser aumentado. Utilizando um material óptico tendo um índice refrativo de  $1,8$  para a fabricação do LOE, por exemplo, reduzirá o ângulo crítico para  $46,2^\circ$ , o qual pode agora permitir um FOV mais razoável.

[0037] Uma concretização alternativa para aumentar o FOV é inserir uma fina camada intermediária de um material dielétrico sólido tendo um índice refrativo baixo entre o LOE e o elemento óptico anexado. Foi desenvolvida uma família de materiais de Aerogel tendo um índice refrativo muito baixo

(na faixa de 1,1-1,2), bem como propriedades mecânicas estabilizadas. Outra alternativa possível para esta finalidade é um material dielétrico sólido poroso fabricado por deposição de ângulo oblíquo.

[0038] A Figura 8 ilustra uma placa fina 104 de material de baixo índice (LIM) que é inserida entre o LOE e a lente corretora 82. Esta placa 104 de LIM pode tanto ser depositada diretamente sobre a superfície externa 26 do LOE ou cimentada a esta superfície utilizando uma camada adesiva fina 106. Para evitar reflexões múltiplas a partir de superfícies diferentes é preferível, neste caso, utilizar um adesivo tendo um índice refrativo semelhante ao do LOE. As reflexões internas dos raios retidos dentro do LOE serão a partir da superfície superior 107 da placa 104. Consequentemente, para evitar imagens múltiplas, esta superfície deve ser paralela à superfície externa 26 do LOE. Como um resultado, e também para evitar as tiras pretas na imagem, a espessura da camada adesiva 106 deve ser minimizada e, em qualquer caso, não mais do que algumas micra. Adicionalmente, a qualidade óptica e o nivelamento da superfície 107 deve ser muito elevada. Anexando uma placa de LIM à superfície principal do substrato para conseguir a disposição óptica sensível angular requerida, pode ser aplicada não apenas a uma das duas superfícies externas do LOE, mas bem como para a outra superfície.

[0039] A Figura 9 ilustra uma segunda placa fina 108 de LIM, que é inserida entre o LOE 20 e a lente positiva 88, sendo que a superfície inferior 110 da placa está opticamente anexada à superfície superior 28 do LOE.

[0040] Outro procedimento que pode melhorar o desempenho

de ambas as concretizações descritas acima, é adicionar um revestimento refletivo sensível angular (ASR), que aprisiona todo o FOV dentro do substrato, mesmo para ângulos menores do que o ângulo crítico da interface da superfície refletiva. Mesmo para aplicações não transparentes, onde uma das superfícies do substrato pode ser opaca e, conseqüentemente, pode ser revestida com uma superfície refletiva convencional, a superfície externa, a qual está próxima dos olhos do espectador, deve ser transparente, pelo menos para os ângulos do FOV externo requerido. Portanto, o revestimento refletivo necessário deve ter refletância muito elevada para a região de ângulos menores do que o ângulo crítico, e muito elevada refletância para todo o FOV da imagem.

[0041] A Figura 10 ilustra as curvas de refletância para um exemplo de concretização onde o LOE é fabricado de um material óptico tendo um índice refrativo de 1,6 e o comprimento de onda  $\lambda=550$  nm. Três gráficos diferentes são mostrados:

a) A linha sólida representa a curva de refletância de um LOE não cimentado, ou seja, um LOE onde o material externo é ar e as superfícies externas do mesmo estão revestidas com um revestimento antirreflexo comum (AR). Conforme ilustrado, o ângulo crítico é de  $38,7^\circ$  e abaixo desse valor a refletância cai rapidamente.

b) A linha pontilhada mostra a curva de refletância de um LOE que está cimentado a um substrato de LIM tendo um índice refrativo de 1,1 e a superfície de interface é revestida com um revestimento antirreflexo comum AR. Aqui, o ângulo crítico é aumentado para  $43,4^\circ$ . O FOV potencial que pode ser acoplado dentro do LOE é diminuído, mas ainda é razoável e semelhante



ao LOE não cimentado fabricado de BK7 onde o ângulo crítico é  $41,8^\circ$ .

c) A linha tracejada representa a curva de refletância de um LOE, o qual é cimentado a um substrato de LIM, tendo um índice refrativo de 1,1. Aqui, a superfície de interface, no entanto, é revestida com um revestimento ASR especial. O arranjo óptico da reflexão dos raios retidos dentro do LOE a partir da superfície de interface, em ângulos de incidência menores que  $43,4^\circ$ , não está afastado de uma reflexão interna total, mas, ao contrário, de uma reflexão a partir do revestimento ASR. A refletância dos raios que incidem sobre a superfície da interface em ângulos de incidência principais que  $34,7^\circ$  é superior que 99%, e os raios são praticamente, de forma total, refletidos a partir da superfície da interface. Como um resultado, o FOV potencial que pode ser retido dentro deste LOE é consideravelmente mais elevado do que a de um LOE não cimentado, o qual é ilustrado no gráfico (a).

[0042] Existem duas regiões significativas neste gráfico: entre  $34^\circ$  e  $90^\circ$ , onde a refletância é muito elevada, e entre  $0^\circ$  e  $29^\circ$  (equivalente a  $0^\circ$ - $46^\circ$  do lado de fora do substrato), onde a refletância é muito baixa. Assim, enquanto se pode assegurar que todo o espectro angular das ondas ópticas retidas, onde reflexões muito elevadas são desejadas, será localizado dentro da primeira região, enquanto todo o espectro angular do FOV externo onde, essencialmente, quaisquer reflexões são necessárias, será localizado dentro da segunda região, para um dado FOV, todo o FOV será retido dentro do substrato através das reflexões internas e de modo que o espectador possa ver a imagem inteira.

[0043] Quando um substrato LIM é cimentado à superfície superior do LOE o revestimento ASR pode ser aplicado à superfície externa 107 (Figura 9) da placa de LIM, a qual está localizada adjacente ao LOE como explicado acima. Se a camada de LIM é, no entanto, depositada diretamente sobre o LOE, a única maneira de aplicar o revestimento ASR necessário é sobre a superfície externa 26 do LOE. Uma vez que o processo de fabricação do LOE geralmente envolve elementos ópticos de cimentação, e uma vez que o revestimento ASR necessário é aplicado à superfície do substrato apenas após o corpo do LOE estar completo, não é possível utilizar os procedimentos de revestimento a quente convencionais que podem danificar as áreas cimentadas. Novas tecnologias de película fina, tais como, procedimentos de revestimento assistida por íons, podem também ser usadas para o processamento à frio, eliminando a necessidade de aquecer as peças as quais permitem que as peças cimentadas, tais como LOES, sejam revestidas com segurança.

[0044] Em todas as concretizações ilustradas até agora o elemento para o acoplamento das ondas de luz fora do substrato é pelo menos uma superfície de reflexão parcialmente plana localizada no referido substrato, que é geralmente revestido com um revestimento dielétrico de reflexão parcial e não sendo paralelo às superfícies principais do referido substrato. No entanto, o arranjo óptico refletor particular, de acordo com a presente invenção, pode ser também explorado para outras tecnologias de acoplamento de saída.

[0045] A Figura 11 ilustra um substrato 20, onde o elemento de acoplamento de entrada 102, ou o elemento de

acoplamento de saída 104 são elementos difrativos e um substrato fino LIM está opticamente cimentado à superfície superior 28 do substrato. Além disso, outros elementos de acoplamento de saída, tal como uma superfície de reflexão parcialmente curvada, e outros meios, podem ser utilizados.

[0046] Os elementos das Figuras 5-9 são apenas alguns exemplos ilustrando a simples implementação da presente invenção dentro de uma armação de óculos. Uma vez que o elemento óptico de substrato guiado, constituindo o núcleo do sistema, é muito compacto e leve, podendo ser instalado em uma grande variedade de arranjos. Muitas outras concretizações são também possíveis, incluindo um visor, um mostrador dobrável, um monóculo, e muitos outros. Esta concretização é concebida para aplicações onde o mostrador deve estar próximo-ao-olho, montado na cabeça, vestido na cabeça ou carregado na cabeça. Existem, no entanto, aplicações onde o mostrador está localizado de forma diferente. Um exemplo de tal aplicação é um dispositivo portátil para aplicação móvel, tal como, por exemplo, um smartphone ou smartwatch. O principal problema destes dispositivos inteligentes é a contradição entre o tamanho e o volume pequeno necessários e a imagem de alta qualidade desejada.

[0047] A Figura 12 ilustra uma concretização alternativa, com base na presente invenção, que elimina o compromisso necessário entre o tamanho reduzido de dispositivos móveis e o desejo de ver o conteúdo digital em um mostrador de formato completo. Esta aplicação é um mostrador portátil (HHD) que resolve os requisitos previamente opostos, de alcançar pequenos dispositivos móveis, e o desejo de visualizar o

conteúdo digital em um mostrador de formato completo, projetando imagens de alta qualidade diretamente no olho do usuário. Um módulo óptico incluindo a fonte de exibição 4, a óptica de dobragem e colimação 108 e o substrato 20 é integrado no corpo de um dispositivo inteligente 110, onde o substrato 20 substitui a janela de cobertura protetiva existente do telefone. Especificamente, o volume dos componentes de suporte, incluindo a fonte 4 e óptica 108, é suficientemente pequeno para encaixar dentro do tamanho aceitável para os dispositivos inteligentes modernos. A fim de visualizar o mostrador completo transmitido pelo dispositivo, a janela do dispositivo é posicionada na frente do olho do usuário 24, observando a imagem com alto FOV, uma grande caixa de movimento ocular e um confortável relevo de olho. Também é possível visualizar todo o FOV em um relevo de olho maior ao inclinar o dispositivo para exibir diferentes partes da imagem. Além disso, uma vez que o módulo óptico possa operar em configuração transparente, uma operação dupla do dispositivo é possível, ou seja, não é uma opção manter o mostrador convencional 112 intacto. Desta forma, o mostrador padrão pode ser visto através do substrato 20 quando a fonte de exibição 4 é desligada. Em um segundo modo virtual, designado pela maciça navegação na internet, ou operações de vídeo de alta qualidade, a visualização convencional 112 é desligada, enquanto a fonte de exibição 4 projeta a imagem FOV larga necessária no olho do observador por meio do substrato 20. Geralmente, na maioria dos dispositivos inteligentes portáteis, o usuário pode operar o dispositivo inteligente utilizando uma tela sensível ao toque que é incorporada na janela frontal do dispositivo. Conforme

ilustrado na Figura 12, a tela sensível ao toque 114 pode ser anexada a um dispositivo inteligente pela sua cimentação direta sobre as superfícies externas de uma camada 120 de LIM que estão localizadas no substrato 20.

### REIVINDICAÇÕES

#### 1. Sistema óptico, compreendendo:

- um substrato (20) transmissor de luz tendo pelo menos duas superfícies (26, 28, 30, 32) e bordas principais externas;
  - um elemento óptico (36) para o acoplamento de ondas de luz (18) dentro do substrato (20), por meio de reflexão interna total;
  - pelo menos uma superfície (26, 28, 30, 32) de reflexão parcial localizada no substrato (20), para acoplamento de ondas de luz (18) fora do substrato (20); e
  - pelo menos uma camada transparente, opticamente ligada a pelo menos uma das superfícies (26, 28, 30, 32) principais do substrato (20), definindo um plano de interface, dito sistema sendo caracterizado pelo fato de a pelo menos uma camada transparente ter um índice refrativo inferior ao índice refrativo do substrato (20) transmissor de luz, de modo a definir um ângulo óptico, de modo que as ondas de luz (18) acopladas dentro do substrato (20) em ângulos maiores que o ângulo crítico são afunilados dentro do substrato (20) por uma reflexão interna total a partir do plano de interface, entre a superfície principal do substrato (20) e a camada transparente,
- e compreender ainda um dos revestimentos definidos por um revestimento anti-reflexo e um revestimento reflexivo angular sensível no plano de interface entre o referido substrato (20) e dita pelo menos uma camada transparente.

2. Sistema óptico, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de compreender adicionalmente uma segunda camada transparente tendo um índice refrativo substancialmente menor que o índice refrativo do substrato

(20) transparente, sendo que a segunda camada transparente está opticamente anexada à outra das superfícies (26, 28, 30, 32) principais do substrato (20).

3. Sistema óptico, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de a camada transparente ser constituída por um adesivo óptico.

4. Sistema óptico, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de a camada transparente ser composta de um material dielétrico sólido.

5. Sistema óptico, de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de o material dielétrico sólido pertencer a uma família de materiais de Aerogel.

6. Sistema óptico, de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de o material dielétrico sólido ser um material dielétrico sólido poroso fabricado através da deposição do ângulo incidência.

7. Sistema óptico, de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de a camada transparente ser diretamente depositada sobre uma superfície (26, 28, 30, 32) principal do substrato (20).

8. Sistema óptico, de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de a camada transparente ser opticamente cimentada a uma superfície (26, 28, 30, 32) principal do substrato (20).

9. Sistema óptico, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de o revestimento anti-reflexo ser aplicado a uma superfície (26, 28, 30, 32) principal do substrato (20).

10. Sistema óptico, de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de o revestimento ser anti-reflexo

aplicado utilizando uma técnica de revestimento a frio.

11. Sistema óptico, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de o revestimento anti-reflexo ser aplicado a uma superfície externa da camada transparente.

12. Sistema óptico, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de o substrato (20) e a camada transparente serem montados dentro da armação dos óculos.

13. Sistema óptico, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de a superfície (26, 28, 30, 32) de reflexão parcial para acoplamento de ondas de luz (18) fora do substrato (20) ser uma superfície plana.

14. Sistema óptico, de acordo com a reivindicação 13, caracterizado pelo fato de a superfície de reflexão parcial para acoplamento de ondas de luz (18) fora do substrato (20) ser revestida com um revestimento dielétrico de reflexão parcial.

15. Sistema óptico, de acordo com a reivindicação 13, caracterizado pelo fato de a superfície de reflexão parcial para acoplamento de ondas de luz (18) fora do substrato (20) não ser paralela às superfícies (26, 28, 30, 32) principais do referido substrato.

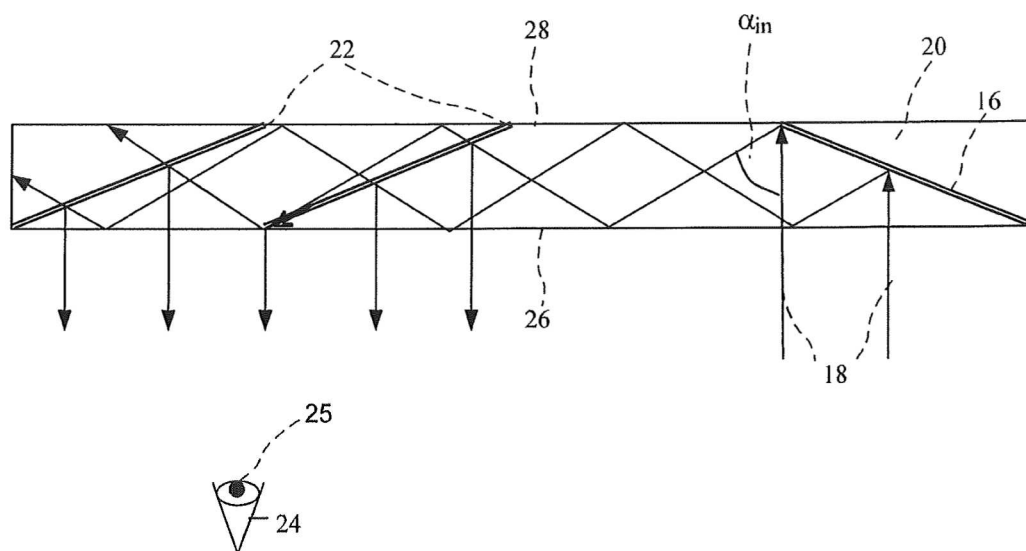
16. Sistema óptico, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de o elemento óptico para o acoplamento de ondas de luz dentro do substrato (20) por reflexão interna ser um elemento difrativo.

17. Sistema óptico, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de a superfície de reflexão parcial para acoplamento de ondas de luz (18) fora do substrato (20) ser um elemento difrativo.

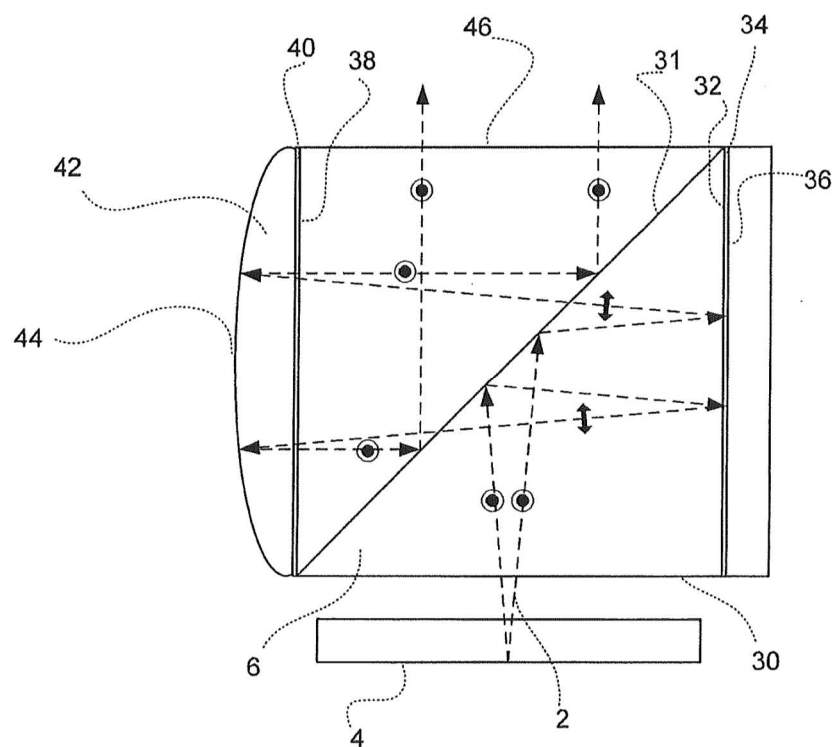
18. Sistema óptico, de acordo com a reivindicação 1,



caracterizado pelo fato de a superfície de reflexão parcial para acoplamento de ondas de luz fora (18) do substrato (20) ser uma superfície curvada.



**FIG.1**  
(Técnica Anterior)



**FIG.2**  
(Técnica Anterior)

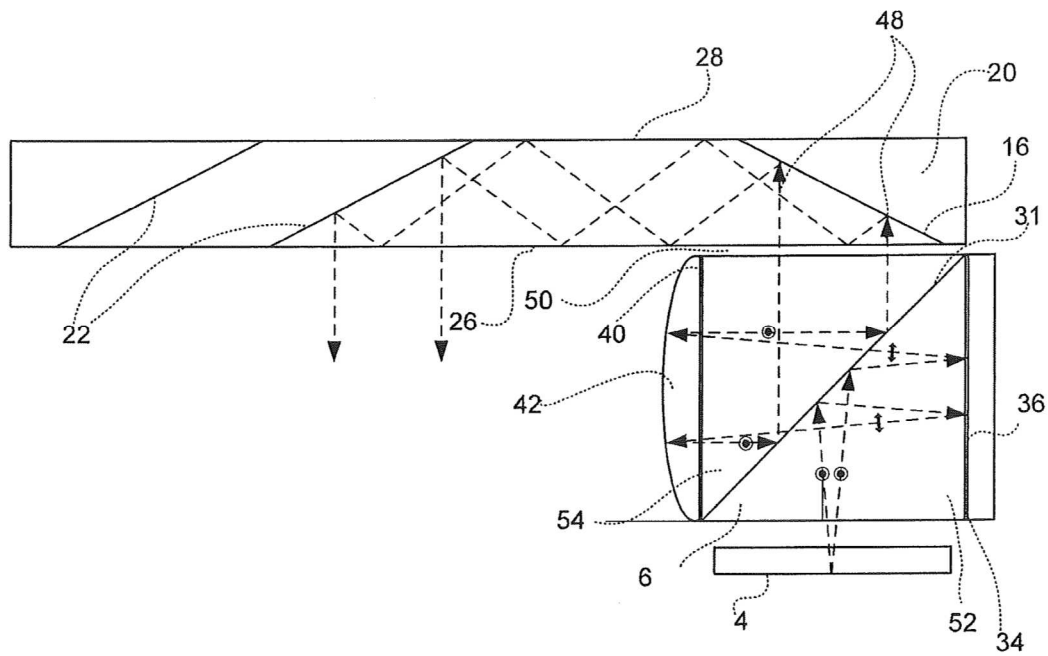


FIG.3

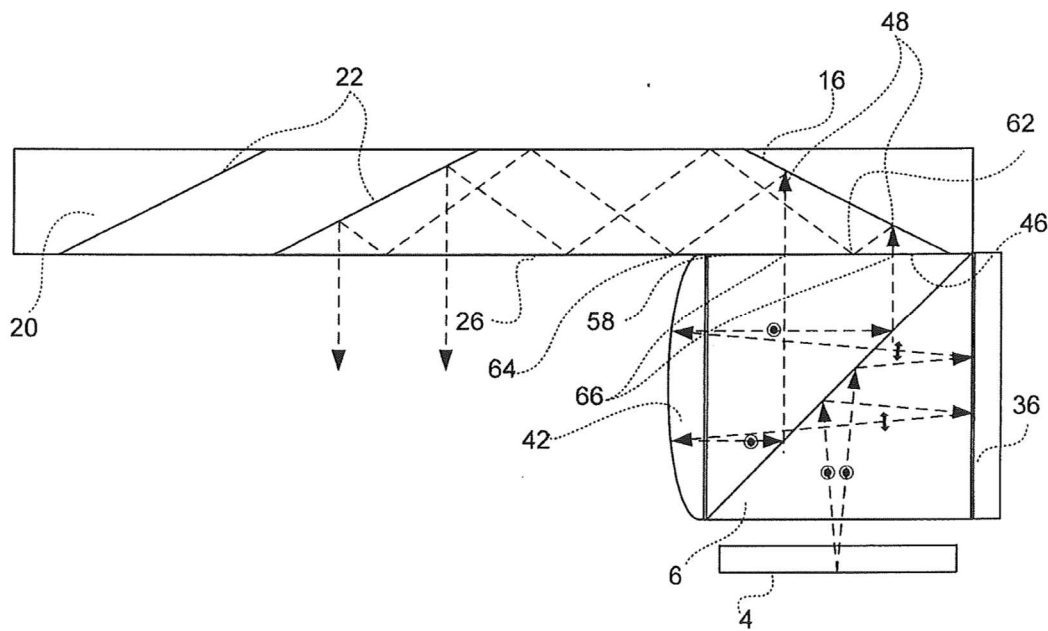


FIG.4

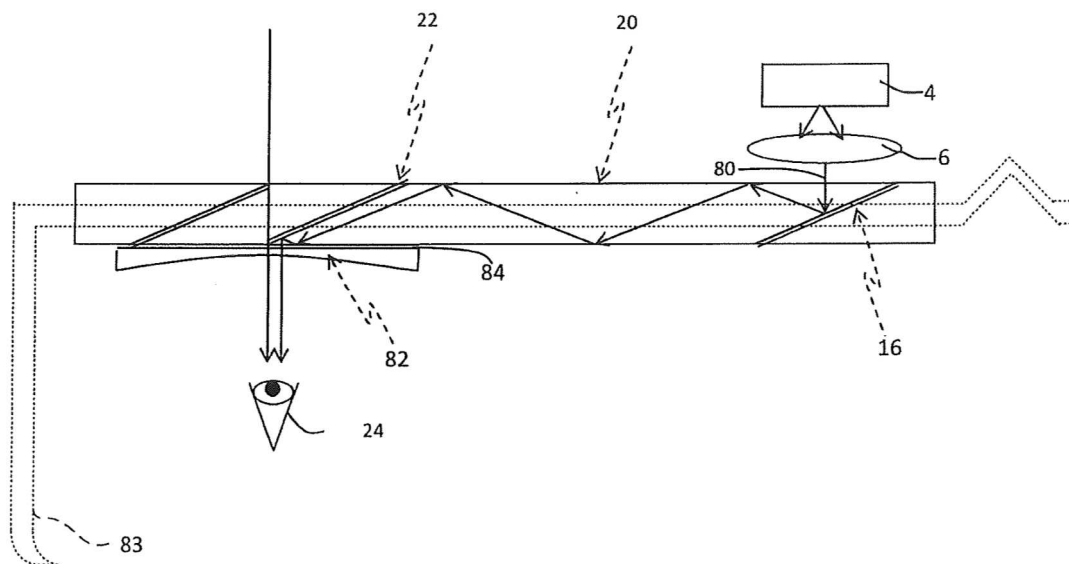


FIG. 5

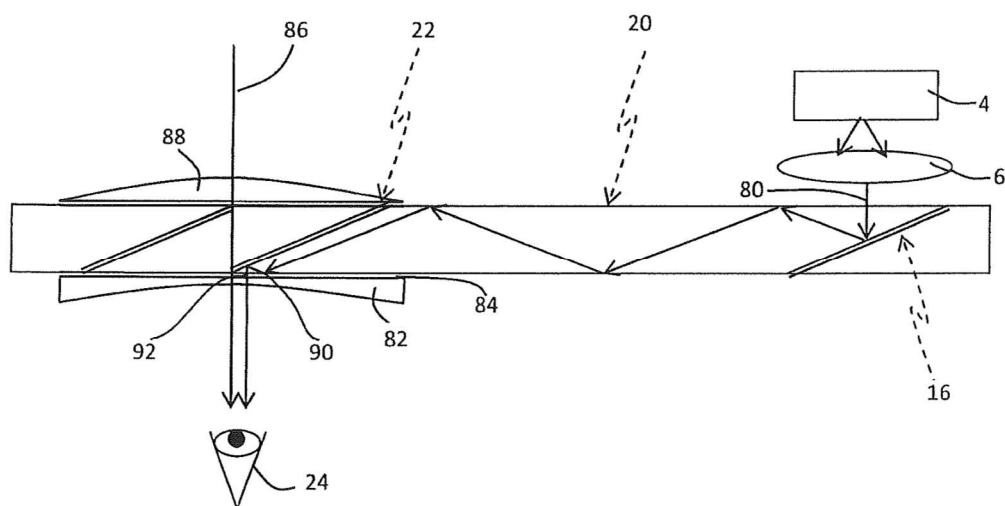


FIG. 6

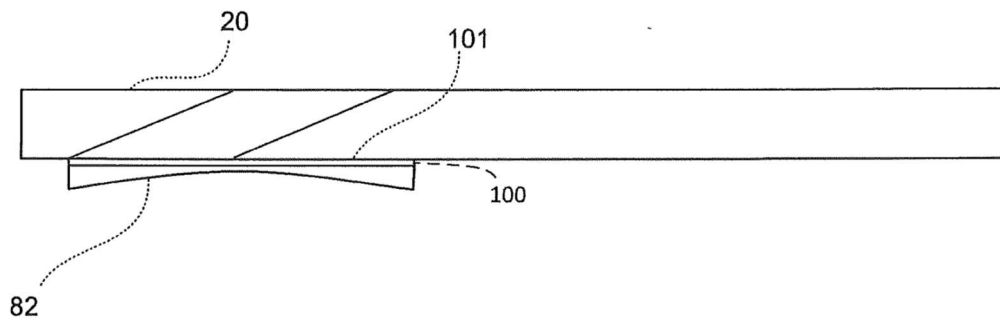


FIG. 7

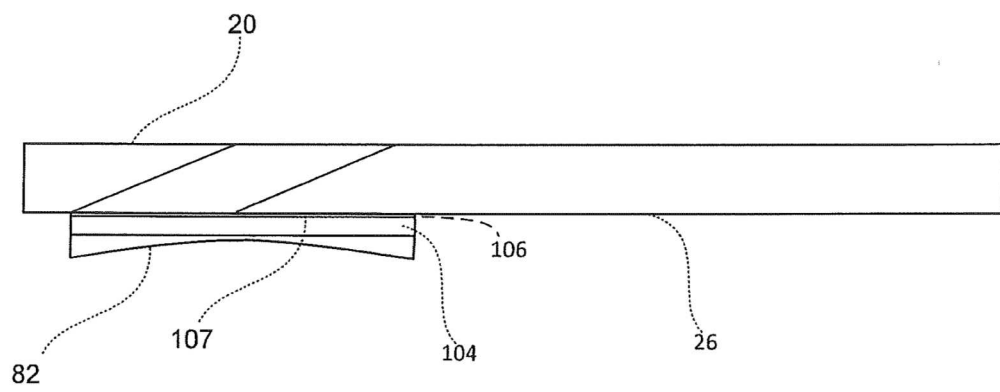


FIG. 8

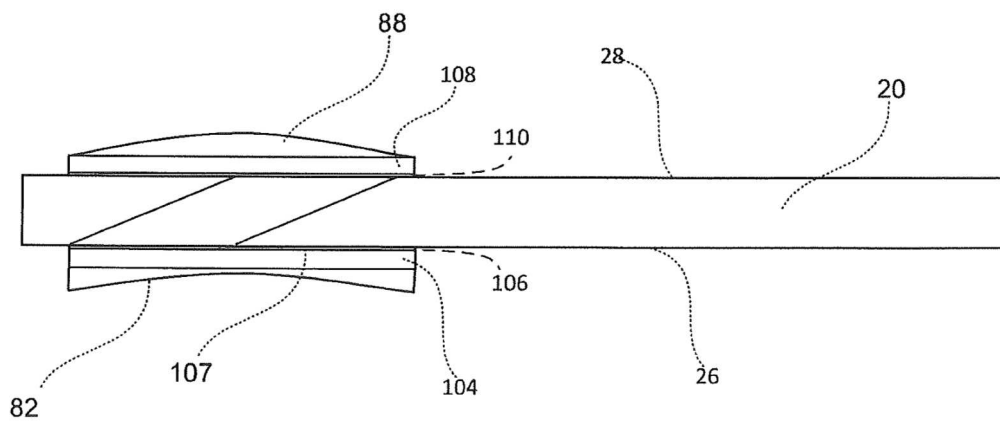


FIG. 9

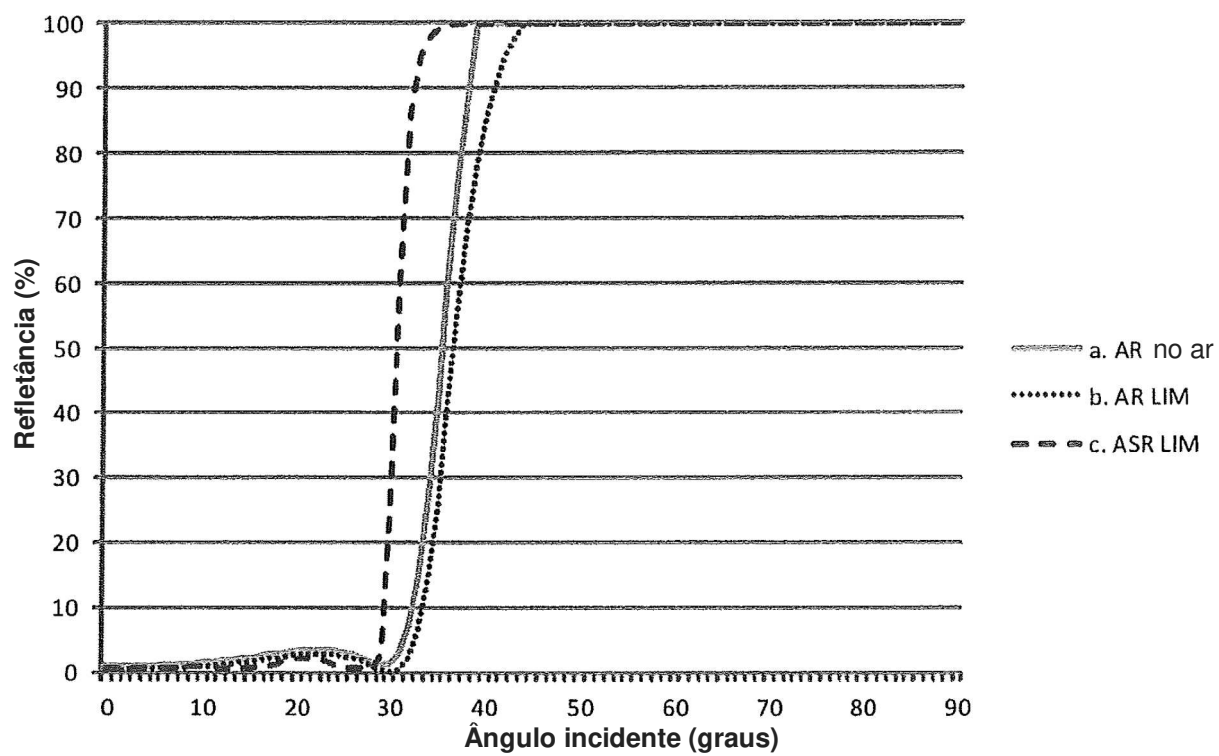


FIG.10

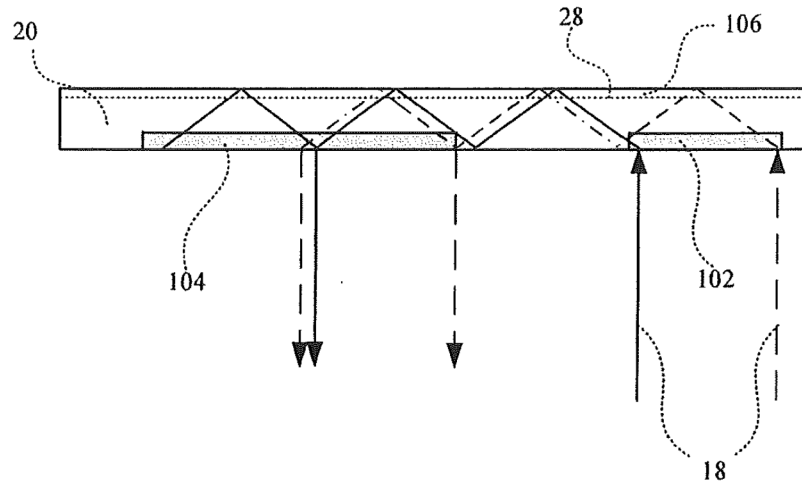


FIG. 11

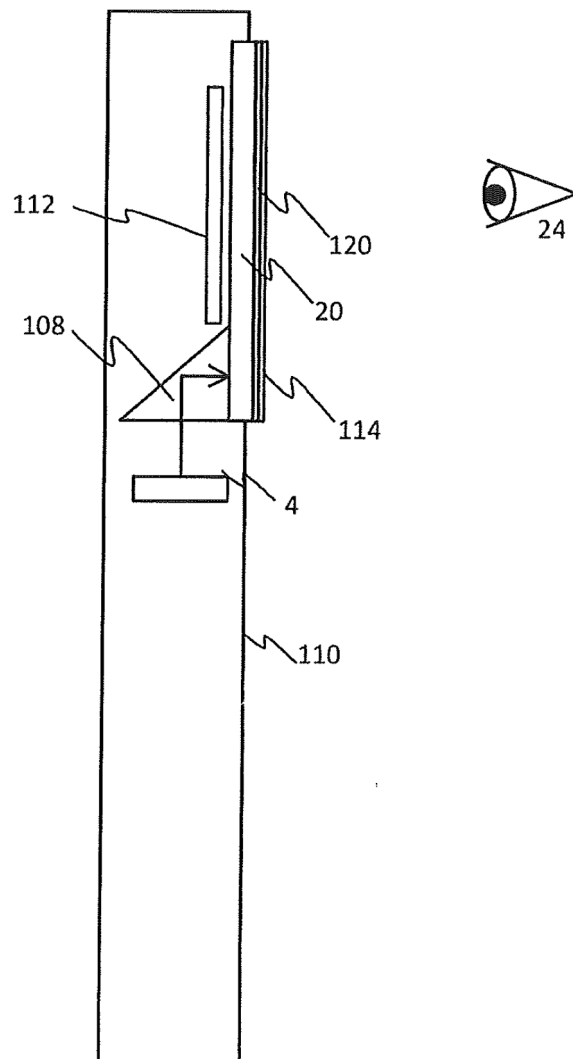


FIG. 12