



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

CARTA PATENTE Nº PI 0907207-1

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

(21) Número do Depósito: PI 0907207-1

(22) Data do Depósito: 28/01/2009

(43) Data da Publicação Nacional: 26/02/2019

(51) Classificação Internacional: G03B 21/56.

(30) Prioridade Unionista: US 61/024,138 de 28/01/2008.

(54) Título: TELA DE PROJEÇÃO DE PRESERVAÇÃO DE POLARIZAÇÃO E SISTEMA ÓPTICO

(73) Titular: REALD INC.. Endereço: 100 North Crescent Drive, Suite 120, Beverly Hills, ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA(US)

(72) Inventor: DAVID A. COLEMAN; GARY D. SHARP.

(87) Publicação PCT: WO 2009/097371 de 06/08/2009

Prazo de Validade: 10 (dez) anos contados a partir de 12/11/2019, observadas as condições legais

Expedida em: 12/11/2019

Assinado digitalmente por:

Liane Elizabeth Caldeira Lage

Diretora de Patentes, Programas de Computador e Topografias de Circuitos Integrados

**"TELA DE PROJEÇÃO DE PRESERVAÇÃO DE POLARIZAÇÃO E
SISTEMA ÓPTICO"**

REFERÊNCIA CRUZADA AOS PEDIDOS RELACIONADOS

[0001] Este pedido de patente está relacionado e reivindica prioridade para o pedido de patente provisório 61/024.138, intitulado "Polarization Preserving Front Projection Screen", depositado em 28 de janeiro de 2008, o qual se encontra aqui incorporado por referência para todos os fins.

ANTECEDENTES

CAMPO DA TÉCNICA

[0002] Esta revelação se refere em geral a telas de projeção frontal e mais especificamente se refere a telas de projeção frontal que conduzem a difusão de luz de modo que a polarização é preservada. Tais telas podem adicionalmente maximizar o brilho e contraste da imagem sujeitos aos ângulos de projetor e observação específicos.

ANTECEDENTES

[0003] Em sistemas 3D estereoscópicos que utilizam óculos de análise de polarização passiva, a tela é uma parte integral do sistema. Qualquer despolarização que ocorrer na tela resulta em diafonia, onde a imagem planejada para um olho é parcialmente transmitida para o olho oposto. Esta diafonia é manifestada como uma "imagem fantasma", que corrói a qualidade da experiência e cria fadiga nos olhos. Como tal, é desejável fornecer diafonia extremamente baixa sob as condições de iluminação e observação angular mais extremas.

[0004] Telas de projeção frontal conhecidas, tais como aquelas usadas no cinema 2D, são dispersadoras lambertianas virtuais. Devido às estatísticas da aspereza da

superfície de tais telas conhecidas, as mesmas têm preservação de polarização muito inferior e eficiência luminosa efetiva inferior (ou seja, ao mesmo tempo em que a dispersão total integrada, ou TIS, é alta, a utilização da luz em espaço angular é inferior).

[0005] Uma técnica conhecida para fornecer telas de preservação de polarização 3D estereoscópica é pintura pulverizada de flocos de alumínio em um aglutinante sobre um substrato PVC. Tais superfícies estatísticas fornecem controle limitado do perfil de ganho, direcionalidade, e polarização da tela. Além disso, processos de revestimento frequentemente mostram estruturas resolúveis (por exemplo, cintilante), e problemas de uniformidade, tal como texturas. Tais "telas prateadas" são frequentemente delicadas e não são capazes de resistir a um processo de limpeza moderadamente abrasivo.

[0006] Telas lambertianas propiciam aparência uniforme no brilho observado, mas fazem uso inferior da luz de projeção. Isto é, uma parte significativa da luz incidente é dispersa para fora do campo de visão, o que reduz a eficiência do sistema. Além disso, uma parte da luz dispersada é dirigida de volta para a tela, o que reduz o contraste e a saturação de cor.

[0007] Consequentemente existe uma demanda por uma tela de projeção frontal que seja projetada para dispersar luz ottimamente em uma extensão de ângulos de observação, de modo que o estado de entrada de polarização seja preservado com precisão.

BREVE SUMÁRIO

[0008] Esta revelação diz respeito a difusores refletivos de engenharia, e em particular a telas usadas em sistemas de projeção frontal. As telas propiciam ótima preservação de polarização para visualização 3D estereoscópico, bem como controle de luz aprimorado para brilho, uniformidade e contraste aumentados para sistemas tanto 2D como 3D. A presente revelação procura dirigir a luz para onde a mesma é desejada, ao mesmo tempo em que mantém ótimas características de ganho.

[0009] De acordo com a presente revelação, uma superfície de engenharia é usada para dispersar otimamente luz de iluminação dentro de uma extensão de ângulos de visualização, dentro de um lugar geométrico de difusão específico, com um perfil de ganho adequado, ao mesmo tempo em que preserva a polarização otimamente. Tal tela, quando combinada com óculos de análise de polarização correspondentes, proporciona diafonia extremamente baixa de qualquer ponto de observação.

[0010] Um método para fornecer um difusor refletivo de preservação da polarização é revelado no presente pedido, em que o difusor fornece luz para um lugar geométrico de difusão desejado, sujeito a condições de iluminação específicas de uma maneira de preservação da polarização. Um lugar geométrico de visualização que inclui substancialmente todas as localizações de visualização é localizado dentro do espaço geométrico de difusão.

[0011] De acordo com um aspecto, o presente pedido revela um método para fornecer uma tela de projeção frontal de preservação da polarização, em que a tela fornece luz para uma extensão desejada de visualização, ou um lugar

geométrico de observação em um auditório, sujeito às condições de iluminação do projetor. O método inclui determinar um lugar geométrico que considera os extremos de iluminação e ângulo de observação, que pode fornecer estados de polarização substancialmente ortogonal para todas as localizações de visualização no auditório. O método também inclui fornecer uma pluralidade de núcleos de geração de reflexo e distribuir a pluralidade de núcleos de geração sobre um substrato.

[0012] De acordo com outro aspecto, um conjunto de regras de concepção é usado para produzir uma função de geração para a topografia da superfície. A função de geração fornece os componentes básicos da microestrutura (que compreendem tanto um como uma pluralidade de núcleos de geração), que carregam com eles a estatística do conjunto (macroscópico) do difusor desejado. Tal concepção pode ter uniformidade superior na aparência, porque o mesmo é estatisticamente completo na dimensão fundamental. As regras de concepção adicionalmente prevêem substancialmente apenas reflexões singulares dentro de um espaço geométrico de difusão determinado. O espaço geométrico de difusão é definido de acordo com os extremos angulares em iluminação e detecção/observação. Em considerações de regras de concepção ainda adicionais, o núcleo de geração pode fornecer uma distribuição de intensidade específica (por exemplo, lambertiana) dentro do espaço geométrico de difusão, com uma queda angular determinada em intensidade no limite do espaço geométrico de difusão. Em uma modalidade preferencial que maximiza eficiência de luz, esta queda é representada por uma função degrau.

[0013] Outros aspectos ficarão evidentes com referência a revelação inclusa.

BREVE DESCRIÇÃO DAS FIGURAS

[0014] A Figura 1A é um diagrama esquemático que ilustra uma vista lateral de um cinema típico, de acordo com a presente revelação;

[0015] A Figura 1B é um diagrama esquemático que ilustra uma vista de cima para baixo de um cinema típico, de acordo com a presente revelação;

[0016] A Figura 2 A Figura 1A é um diagrama esquemático que ilustra a operação de um sistema de projeção de filme tridimensional, de acordo com a presente revelação;

[0017] A Figura 3 é um gráfico que ilustra o desempenho de preservação da polarização de uma tela prateada convencional como uma função do ângulo de visualização;

[0018] A Figura 4 é um gráfico que ilustra o desempenho do contraste de preservação da polarização de uma tela prateada convencional como uma função do ângulo de visualização;

[0019] A Figura 5 é um gráfico que ilustra a curva de ganho de uma tela prateada convencional como uma função do ângulo de visualização;

[0020] A Figura 6A é um gráfico polar que ilustra o espaço geométrico de visualização de um auditório específico definido pelo rastreamento do perímetro da tela a partir do assento frontal esquerdo, de acordo com a presente revelação;

[0021] A Figura 6B é um gráfico polar que ilustra o espaço geométrico de visualização de um auditório específico definido pelo rastreamento do perímetro da tela a partir do

assento traseiro esquerdo, de acordo com a presente revelação;

[0022] A Figura 7 é um gráfico polar que ilustra o espaço geométrico de difusão para uma amostragem randômica de auditórios de teatro, de acordo com a presente revelação;

[0023] A Figura 8 é um gráfico da taxa de contraste para polarização circular ou azimute do pior caso da polarização linear como uma função do ângulo de faceta de incidência, de acordo com a presente revelação;

[0024] A Figura 9 é um gráfico que ilustra as diferenças entre a taxa de contraste para polarizações linear e circular, de acordo com a presente revelação;

[0025] A Figura 10 é um gráfico de uma estrutura côncava com uma função de densidade de probabilidade uniforme, de acordo com a presente revelação;

[0026] A Figura 11 é um diagrama esquemático de uma estrutura periódica com uma função de densidade de probabilidade uniforme, de acordo com a presente revelação;

[0027] As Figuras 12A a 12D são diagramas esquemáticos de uma vista lateral de um teatro com um projetor, tela e área de assentos, de acordo com a presente revelação;

[0028] As Figuras 13A e 13B são gráficos de curvas de ganho ilustrativas para telas de engenharia nas quais a luz é dispersa dentro do lugar geométrico de difusão, de acordo com a presente revelação;

[0029] A Figura 14 é uma plotagem polar de um lugar geométrico normal a faceta, relativo à normal a superfície da tela, que substancialmente ilumina a região de

visualização inteira com luz a partir do projetor, de acordo com a presente revelação;

[0030] A Figura 15 é um gráfico que ilustra uma superfície Gaussiana ilustrativa, de acordo com a presente revelação;

[0031] A Figura 16 é um gráfico que ilustra a densidade de raios refletidos a partir de uma superfície Gaussiana ilustrativa, de acordo com a presente revelação;

[0032] A Figura 17 é um gráfico que ilustra uma plotagem de intensidade de raios que sofrem dupla reflexão a partir de uma superfície Gaussiana ilustrativa, de acordo com a presente revelação;

[0033] A Figura 18 é um gráfico que ilustra o contraste contra o ganho para uma série de simulações com diferentes amplitudes para superfícies difusoras Gaussianas, de acordo com a presente revelação;

[0034] As Figuras 19A a 19D fornecem diagramas esquemáticos que mostram plotagens de condições de reflexão para diferentes espaçamentos entre picos Gaussianos, de acordo com a presente revelação;

[0035] A Figura 20 é um diagrama gráfico que ilustra um lugar geométrico computado de separações de dois picos Gaussianos nos quais não ocorrem múltiplas reflexões, de acordo com a presente revelação;

[0036] As Figuras 21A a 21C são diagramas esquemáticos que mostram em cada caso, a sobreposição de dois picos Gaussianos com alturas e larguras variáveis, de acordo com a presente revelação;

[0037] A figura 22 é um gráfico de um padrão de ruído simulado, de acordo com a presente revelação;

[0038] As Figuras 23A a 23D são gráficos de ganhos e contrastes tanto de um difusor composto de dois padrões como tamanhos característicos diferentes versus um difusor composto de um padrão e sem tamanhos característicos diferentes, de acordo com a presente revelação;

[0039] As Figuras 24A e 23B são gráficos que ilustram funções que se sobrepõem, de acordo com a presente revelação;

[0040] As Figuras 25A a 25C são gráficos que ilustram núcleos de geração ilustrativos, de acordo com a presente revelação;

[0041] A Figura 26 é um gráfico que ilustra o ganho calculado para um núcleo de geração lambertiano bidimensional, de acordo com a presente revelação;

[0042] A Figura 27 é um gráfico que ilustra a média calculada radialmente do ganho para um núcleo de geração, de acordo com a presente revelação;

[0043] A Figura 28 é um diagrama esquemático que ilustra uma configuração reticulada hexagonal ilustrativa, de acordo com a presente revelação;

[0044] A Figura 29 é um diagrama esquemático que ilustra a sobreposição de células de um reticulado hexagonal de núcleos de geração, de acordo com a presente revelação;

[0045] A Figura 30 é um diagrama esquemático que ilustra a sobreposição de células de um reticulado quadrado, de acordo com a presente revelação;

[0046] A Figura 31 é um diagrama esquemático de um reticulado hexagonal com centros randomizados, de acordo com a presente revelação;

[0047] A Figura 32 é um diagrama esquemático de um reticulado hexagonal com células menores dispersas

interpostas a células maiores com randomização de pontos de reticulado, de acordo com a presente revelação;

[0048] A Figura 33 é um diagrama esquemático de um reticulado de um agrupamento semi-regular, de acordo com a presente revelação;

[0049] A Figura 34 é um diagrama de randomização com deslocamento horizontal, de acordo com a presente revelação;

[0050] A Figura 35 é um gráfico de distribuição de probabilidades para deslocamento de centro de célula para centro de célula para uma superfície com deslocamento horizontal randomizado, de acordo com a presente revelação;

[0051] A Figura 36 é um gráfico de ângulo de difusão como uma função de separação de picos Gaussianos, de acordo com a presente revelação;

[0052] A Figura 37 é um gráfico que ilustra o limite de ângulo de difusão para sobreposição de características gaussianas, de acordo com a presente revelação;

[0053] As Figuras 38A e 38B são gráficos que ilustram a sobreposição de difusor lambertiano de engenharia em duas configurações, de acordo com a presente revelação;

[0054] As Figuras 39A e 39B ilustram um método de pré-correção dos núcleos de geração para endereçar a sobreposição, de acordo com a presente revelação;

[0055] A Figura 40 é um gráfico da célula pré-corrigida com sobreposição do difusor lambertiano, de acordo com a presente revelação;

[0056] As Figuras 41A e 41B são gráficos de perfis de ganho, de acordo com a presente revelação;

DESCRICAÇÃO DETALHADA

[0057] A Figura 1A é um diagrama esquemático que ilustra uma vista lateral de um cinema 100 e a Figura 1B é um diagrama esquemático que mostra uma vista de cima para baixo de um cinema 100. O cinema inclui uma tela refletiva 110, uma plataforma de projetor 120, e uma área de visualização 130. A plataforma do projetor 120 pode incluir projetor 121 e comutador de polarização 122. A área de visualização 130 pode fornecer assentos organizados em fileiras para longe da tela, que definem a área de visualização ou observação para os espectadores que podem sentar (ou ficar em pé) em diferentes lugares dentro da área de observação 130. Por exemplo, um primeiro espectador pode ser localizado na posição de observação frontal esquerda 132 do cinema 100, e receber luz refletida 142. Um segundo espectador pode ser localizado na posição de observação traseira esquerda 134 e receber luz refletida 144. Um terceiro espectador pode ser localizado em uma posição de observação central 136.

[0058] Com os recentes desenvolvimentos da tecnologia de polarização, houve um ressurgimento de filmes tridimensionais, decodificados com óculos combinados. Sistemas de projeção tridimensionais conhecidos projetam imagens de olho esquerdo e direito sequencialmente usando polarizações ortogonais. Para aplicações de filme tridimensional que usam uma única plataforma de projetor 120, um comutador de polarização 122 pode ser colocado no caminho da luz do projetor 121 depois das lentes de projeção. Tais comutadores de polarização são conhecidos, tal como a Patente Americana de N° US 4.792.850 (expirada) à mesma cessionária, intitulada "Method and system employing a pouch

-pull liquid crystal modulator" para L.Lipton e outros, a Patente Americana de No. US 11/424.087 à mesma cessionária, intitulada "Achromatic polarization switches" para M. Robinson, ambas incorporadas abaixo por referência para todos os fins. Em plataformas de projetor alternativas, dois ou mais projetores podem ser usados, um para fornecer o conjunto de imagens do olho esquerdo com um estado de polarização e o outro para fornecer o conjunto de imagens do olho direito com o estado de polarização ortogonal. Telas refletivas convencionais incluem telas prateadas que refletem a luz polarizada do projetor 120 para o frequentador de cinema.

[0059] Sistemas de cinema 3D típicos são relativamente famintos por luz. Um brilho de quatorze lumens por metro quadrado para a audiência tipicamente fornecerá brilho menor em modo 3D. Uma razão para isto, por exemplo, é que sistemas sequenciais tipicamente sofrem tanto uma perda de polarização (usualmente maior do que 50%) como uma perda de tempo compartilhado (usualmente maior do que 50%), assim tais sistemas tipicamente estão entregando 25% abaixo de brilho, ou 3,5 lumens por metro quadrado sem uma tela de ganho. Recentes desenvolvimentos para endereçar o problema, tal como o sistema ReakD XL e o Pedido de Patente Americano de No. US 11/864.198 de propriedade da mesma cessionária intitulado "Polarization conversion system for cinematic projection", por M. Schuck, G. Sharp e M. Robinson, depositado em 28 de setembro de 2007 (o qual se encontra aqui incorporado por referência para todos os fins), fornece uma função de recuperação de polarização, mas ainda permanece

uma demanda para aumentar o brilho ao mesmo tempo em que se preserva a polarização.

[0060] Em sistemas que apelam para a preservação da polarização, a dispersão total integrada (TIS) de uma típica tela prateada é de aproximadamente 40%, o que reduz adicionalmente a eficiência. Ao mesmo tempo em que o ganho da tela é alto (2,2 a 2,5 no eixo), a partir de uma posição de observação centrada, o brilho da imagem percebido total é impactado devido à rápida queda como ângulo de observação. Ao contrário, telas opacas entregam alto TIS (>90%), mas fazem mau uso da luz no espaço angular. Geralmente, as modalidades reveladas procuram maximizar o brilho da imagem através da exploração tanto da dispersão total integrada (maior do que aproximadamente 85%), bem como do controle do ângulo de visão. Tais telas podem melhorar a eficiência de ambas as experiências 2D e 3D.

[0061] A Figura 2 é um diagrama esquemático que ilustra a operação de um sistema de projeção de filmes tridimensional estereoscópico ilustrativo 200 que usa uma plataforma de projetor único (sequencial) 220. Em operação, as imagens de olho esquerdo 202 e imagens de olho direito 204 podem ser projetadas sequencialmente a partir do projetor 220 através do comutador de polarização 222 em direção a uma tela de preservação da polarização 210. A tela de preservação de polarização 210 permite que a luz polarizada a partir do projetor 220 e comutador de polarização 222 seja refletida para o frequentador de cinema 240. As imagens de olho esquerdo e direito são visionadas pelo frequentador de cinema 240 que usa óculos 250 que decodifica a respectiva luz

polarizada ortogonalmente para criar a experiência de profundidade para o objeto 206.

[0062] Geralmente, a qualidade da experiência de observação estereoscópica depende da habilidade da tela 210 de preservar o alto grau de polarização transmitido pela plataforma do projetor 220. Telas de cinema foscas (quase lambertianas) típicas geralmente não são adequadas para uso com tais sistemas 3D porque a dispersão é amplamente difusa. Devido às estatísticas de tamanho/altura de característica e densidade da probabilidade de inclinação relativa ao tamanho de onda de iluminação, tais telas são quase completamente despolarizantes. Entretanto, uma experiência 3D estereoscópica de alta qualidade usa preferencialmente uma taxa de contraste entre as imagens transmitidas e bloqueadas respectivamente de pelo menos 100:1, e mais preferencialmente 200:1 ou maior.

[0063] Até hoje, a fim de preservar a polarização, as assim chamadas "telas prateadas" tem sido usadas. Telas prateadas envolvem pintura pulverizada de um substrato de poli-vinil-cloreto (PVC), que pode ou não ter características de superfície em relevo, com flocos de alumínio dispersos em um aglutinante transparente. A tendência é que as facetas ou flocos repousem quase paralelos ao substrato plano, em que desta forma geram uma refletância especular e ganho relativamente alto com um substrato opaco. Esforços para suavizar pontos de radiação intensa, ou sobre-saturação em certos pontos de uma tela com periferias mais escuras, e para reduzir ganho frequentemente resultam em um compromisso entre aparência, uniformidade, e diafonia. Por exemplo, podem ser incluídos agentes de entrelaçamento que

randomizam a interface ar/aglutinante, em que desta forma se reduz a radiação intensa associada com a reflexão especular. Quando se avalia o desempenho na direção normal a tela 110 (ou seja, em direção a posição de observação 136 da Figura1), é comum ter taxa de contraste de polarização linear acima de 150:1. Mas esta cai rapidamente com o ângulo, predominantemente devido à perda no brilho da imagem. Como resultado, frequentemente existem assentos em um cinema para os quais o contraste pode algumas vezes cair abaixo de 20:1 em certas localizações, tais como as posições de observação 132 e 134.

[0064] Outros problemas associados com as telas de flocos de metal correntes são a "granularidade" e "pontilhado" provenientes do dimensionamento finito e disposição estatística não controlada dos flocos. Para a tela opaca convencional, a dispersão é alcançada através de uma alta densidade de centros de dispersão extremamente pequenos. Consequentemente, estatísticas ergódicas são obtidas sobre uma região espacial relativamente pequena do difusor e a aparência é uniformemente branca. Ao contrário, uma tela de flocos consiste de recursos macroscópicos (maiores do que um micrôn) e assim exigem uma região consideravelmente maior para abranger as mesmas estatísticas ergódicas. Tipicamente esta região é maior do que a resolução do olho humano e assim a variação espacial na intensidade dispersada é facilmente visível, ou seja, a superfície parece "granulada". Conforme o ângulo de dispersão aumenta, a quantidade relativa de facetas contribui para reduzir a intensidade, desta forma exacerbando os problemas de "granularidade" e "pontilhado".

[0065] Uma contribuição coerente para a uniformidade também fica aparente na tela de flocos. A despeito da natureza incoerente da fonte de luz de projeção original, depois da propagação sobre o comprimento do auditório, a iluminação alcança um alto grau de colimação e desta forma uma coerência espacial transversal relativamente grande (tão grande quanto algumas centenas de microns). As facetas localizadas dentro deste tamanho de coerência podem interferir construtivamente ou destrutivamente para modular a intensidade percebida de uma forma substancialmente cromática. Isto é observável em uma tela prateada convencional como um padrão pontilhado fracamente colorido que é superposto na granulação geral da tela. Entretanto, devido a o efeito de interferência depender muito sensivelmente do ângulo de reflexão, o padrão pontilhado parece se mover relativamente a tela quando o observador desloca sua cabeça. A coerência temporal da luz permanece pequena, entretanto e, portanto a fim de experimentar um efeito de interferência, as facetas contribuintes devem ser localizadas aproximadamente coplanares as frentes de ondas incidentes e refletidas, ou seja, o efeito é maximizado na direção retro refletida e reduzido conforme o ângulo dispersado aumenta.

TAXA DE CONTRASTE DE POLARIZAÇÃO E GANHO

[0066] O contraste associado com diafonia é dado como a relação do brilho observada para a luz que passa através das lentes transmissoras para aquele que passa através das lentes de bloqueio. As variáveis que afetam a relação de contraste de polarização (PCR) incluem vetor básico de polarização, geometria da projeção, posição de observação,

e ponto observado na tela. Com uma tela lambertiana, o termo no numerador é virtualmente constante com a posição de observação. Mas com telas prateadas convencionais, o ganho é suficientemente alto tal que a queda no termo numerador frequentemente domina a dependência angular da PCR. Uma forma de caracterizar uma tela é medir a função de distribuição bidirecional da refletância sensitiva (BRDF), que é a refletividade por ângulo sólido.

[0067] A Figura 3 é um gráfico 300 que ilustra o desempenho de preservação de polarização de uma tela prateada convencional como uma função do ângulo de observação. O gráfico 300 mostra uma medição BRDF de uma tela prateada convencional que usa uma fonte colimada (laser HeNe com um tamanho de onda de 0,633 μm), onde um polarizador P-orientado é inserido no trajeto da iluminação, e ou um polarizador P- ou S-orientado é usado no trajeto de detecção. P e S são vetores unitários paralelo e perpendicular ao plano de incidência no sistema de coordenadas global (substrato), respectivamente. Isto não deve ser confundido com o sistema de coordenadas local, que é associado com as facetas refletivas individuais incorporadas na tela. Para obter estas medições, a tela foi iluminada a -5° fora da normal (que corresponde a -10° na plotagem), de modo que a direção espelular corresponde a 0° . O detector varreu os ângulos no plano, onde ocorreram quedas devido ao tamanho finito do módulo de detecção.

[0068] Na Figura 3, a plotagem PP 302 corresponde ao polarizador paralelo BRDF, que rastreia proximamente o perfil de ganho. A plotagem OS 304 é o polarizador cruzado BRDF, que corresponde a energia convertida para polarização-

S através da combinação de alguns mecanismos, como uma função do ângulo de dispersão. Este termo é relativamente "branco" em ângulo espacial, como deve ser esperado para um componente de dispersão difusa.

[0069] A Figura 4 é um gráfico que ilustra o desempenho do contraste de preservação de polarização de uma tela prateada convencional como uma função do ângulo de observação. A relação de contraste de polarização (PCR) 402 é plotada como uma função do ângulo de observação e é uma relação da plotagem BRDF PP 302 para a plotagem BRDF PS 304 mostradas na Figura 3. Será mostrado posteriormente que este corresponde ao "melhor caso" de contraste para polarização linear a partir de um ponto de vista de Fresnel, visto que a polarização de entrada é contida no plano de incidência.

[0070] A Figura 5 é um gráfico que ilustra a curva de ganho de uma tela prateada convencional como uma função do ângulo de observação. A curva de ganho 502 mostra a relação do BDRF PP para aquele de uma dispersão lambertiana, e como tal é independente de polarização. Para esta tela, o contraste reduzido à metade a aproximadamente 20°. Devido a o PCR rastrear o ganho, telas de alto ganho tipicamente mostram a maior não uniformidade espacial na diafonia observada.

[0071] As medições acima mostradas nas Figuras 3 a 5 ilustram que com telas prateadas convencionais, o BRDF é quase independente do ângulo de incidência na direção espelhada. O numerador do PCR de uma tela de ganho, portanto depende primariamente da diferença angular entre o raio de observação e a direção espelhada. A direção espelhada

corresponde à direção que o raio percorreria se a superfície da tela fosse um espelho.

[0072] Fatores que determinam o termo de vazamento de diafonia (denominador) incluem:

2. Despolarização devido à dispersão difusa a partir das características muito menores do que o tamanho de onda da iluminação. Isto pode incluir superfícies das partículas refletivas que são bordas agudas, irregulares nano-escalares das partículas, e vazios nos revestimentos que expõem o substrato opaco subjacente.

3. Mudança de polarização devido à anisotropia local de material aglutinante ou aditivo.

4. Mudança de polarização na reflexão (especular) a partir de uma única superfície.

5. Múltiplas reflexões que, em uma escala ótica, resultam de superfícies que são altamente inclinadas com relação à direção da iluminação.

[0001] A presente revelação busca superar as limitações em contraste associadas com superfícies estatísticas convencionais tal como telas prateadas convencionais. Superfícies de engenharia de acordo com a presente revelação podem fornecer perfis de ganho mais desejáveis com o uso de meios de dispersão totalmente refletivos que não exibem reflexão excessiva na direção especular. Contribuições devidas aos mecanismos listados acima podem ser severamente minimizadas, se não virtualmente eliminadas. Além disso, o controle da função de densidade de probabilidade de inclinação permite que cada observador tenha uma experiência similar de alto contraste através de uniformidade aprimorada no brilho. Finalmente, superfícies

de engenharia podem permitir brilho de imagem melhorado, através do direcionamento da luz de projeção para os locais de assento. Isto adicionalmente melhora a saturação de cor e o contraste da imagem através da redução da luz difusa. Com o uso de processos descritos aqui, pode ser fabricado material de tela com a mais alta qualidade ao preço mais baixo possível.

[0002] Fator 1 - despolarização devido à dispersão difusa a partir de características muito menores do que o tamanho de onda de iluminação - se refere à despolarização associada com interação da luz incidente com as superfícies que são aproximadamente na escala de uns poucos nanômetros, a umas poucas centenas de nanômetro. A contribuição deste termo tende a ser virtualmente branca (projeção e observação) em espaço angular e insensibilidade ao vetor base de polarização. Quando observado sob um microscópio polarizador cruzado, a contribuição parece com uma "incandescência" de fundo. Este termo pode ser virtualmente eliminado através do uso de revestimentos óticos de alta qualidade (baixa aspereza rms) que são substancialmente livres de vazios e são conformais a topografia de uma superfície em relevo que é livre de características neste nível.

[0003] Fator 2 - mudança de polarização devido à anisotropia local de material aglutinante ou aditivo - é associado com revestimentos "transparentes" oticamente espessos. Tais revestimentos podem ter anisotropia, que modifica o estado local da polarização. Os ensinamentos da presente revelação podem eliminar esta contribuição pelo uso de reflexão de superfície única a partir de um revestimento de metal semelhante a espelho. Quaisquer camadas adicionais

podem ser dielétricas semelhantes a óxido de baixa birrefrigênci a que são aplicadas relativamente finas, que têm retardamento virtualmente zero.

[0004] Fator 3 - mudança de polarização na reflexão (especular) a partir de uma única superfície - se refere à geometria da superfície de reflexão local e é um resultado de diferenças fundamentais na reflexão complexa das polarizações S e P. A perda associada em PCR é relativamente insignificante para os ângulos típicos entre projeção/observação para a maioria dos ambientes de cinema, mas podem se tornar significativos em situações mais exigentes. Será mostrado que revestimentos dielétricos conformais adicionais sobre a superfície de metal podem adicionalmente reduzir esta contribuição.

[0005] Fator 4 - múltiplas reflexões que resultam de superfícies que são altamente inclinadas com relação à direção da iluminação - se refere a múltiplas reflexões que podem ocorrer (e em certas situações estão em um máximo) em incidência/observação normal. As mesmas são usualmente associadas com estruturas difusoras altamente inclinadas. Isto é, um raio que continua na direção para frente depois de uma reflexão simples, ou não ilumina estruturas adjacentes depois de uma reflexão única, sofre uma reflexão secundária. O trajeto livre de meios entre tais eventos pode ser muito maior do que o tamanho da característica de reflexão, em que neste modo leva a outros efeitos indesejáveis (qualidade da imagem). Um raio duplamente refletido pode ter um estado de polarização alterado, em que neste modo degrada a relação de contraste de polarização. Além disso, o impacto de tais

reflexões é uma função do vetor base de polarização, como será demonstrado.

DISPERSÃO DIFUSA

[0006] O fator 1 pode ser virtualmente eliminado pelo uso contínuo de estruturas micro-refletivas que contém pequena ou nenhuma contribuição nas frequências espaciais altas associadas com a dispersão difusa. Teoricamente, isto pode ser parcialmente alcançado com o uso de alguns recursos de concepção descritos por Morris e outros na Patente Americana de No. US 7.033.736 (a qual se encontra aqui incorporada por referência para todos os fins), onde podem ser geradas funções de densidade de probabilidade de inclinação arbitrárias, típicas de dispersores difusos, usando meios totalmente refletivos. Adicionalmente, estas estruturas podem ter distribuições pseudo-randômicas em tamanho, localização, inclinação e altura o que garante uma aparência opaca sem comprometer o desempenho.

[0007] De um ponto de vista prático, as estruturas de engenharia (difusores) da presente revelação devem preferencialmente ser consistentemente produzidas em massa em um ambiente de fabricação. Isto pode envolver gravação em alto relevo rolo a rolo de núcleos geradores consistentes com as especificações descritas aqui. Além disso, revestimentos subsequentes deveriam preferencialmente ser aplicados com um nível alto de qualidade similar, por exemplo, através de evaporação ou pulverização catódica. Embora a revelação descreva o uso do difusor/telas em um ambiente de cinema, é contemplado que os mesmos possam alternativamente ser usados em outros ambientes onde mídia visual é vista, tal como, mas não limitado a cinema

doméstico, sistemas de jogos, realidade virtual, simuladores de vôo, etc.

[0008] As superfícies estatísticas atuais (por exemplo, telas prateadas convencionais) têm invariavelmente fator de preenchimento refletor abaixo dos desejados 100%, onde fator de preenchimento é definido como a relação da área metalizada para a área total. Aqui a área metalizada é assumida como tendo transmissão zero. Mas no caso em que o refletor está transmitindo parcialmente, outro mecanismo de despolarização entra em jogo. Mais tipicamente com telas prateadas, pequenos furos no revestimento expõem o substrato opaco despolarizante (o qual frequentemente é branco). No caso em que os furos são inevitáveis, é desejável usar um substrato base altamente absorvente (por exemplo, preto opaco) uma vez que isto levará a uma transmissão significativamente reduzida da luz despolarizada. Telas que são fabricadas com o uso de, por exemplo, processos de impressão de gravura usualmente têm baixo fator de preenchimento, de modo que seu PCR é dominado pela despolarização do substrato.

[0009] Em uma implementação prática, a dispersão difusa é frequentemente o resultado de tentativas de eliminar pontos de radiação intensa. Devido à tendência das facetas de repousar em paralelo ao substrato com superfícies estatísticas, devem ser feitos esforços para deteriorar a reflexão na direção especular. Isto pode ser feito pelo aumento da dispersão difusa, mas isto se dá a custa de brilho e PCR. De acordo com a presente revelação, a função de densidade de probabilidade é projetada de tal modo a ser uniforme na proximidade da direção especular. Isto permite

preservação da polarização enquanto ao mesmo tempo aumenta o brilho da tela.

GEOMETRIA DO TEATRO E MUDANÇA DA POLARIZAÇÃO NA REFLEXÃO

[0010] Um aspecto importante de concepção de uma superfície estatística otimizada é um completo entendimento da extensão das geometrias associadas com auditórios de cinema. Em cabines de projeção modernas, as lentes de projeção são (nominalmente) centradas horizontalmente com respeito a tela, mas são tipicamente instaladas acima do centro verticalmente. Isto pode variar de zero a um deslocamento de mais do que meia tela. É típico para a tela ter uma curvatura de eixo único (em volta da vertical) com um raio de curvatura igual a (otimamente) ou maior que a distância de projeção. Isto de fato é uma exigência para conformidade com SMPTE quando se usa tela com ganho acima de 1,3.

[0011] É típico encontrar assentos de estádio em duas seções com a seção frontal inclinada a aproximadamente 8 a 10°, e a seção traseira maior inclinada a aproximadamente 20 a 22°. A seção frontal é tipicamente curvada (como a tela), enquanto a seção traseira é tipicamente retangular. Frequentemente existem assentos adicionais adicionados nas filas mais próximas do projetor, o que aumenta a largura efetiva da seção traseira. Em um típico cinema, a relação de projeção média (relação da distância de projeção para a largura da tela) é aproximadamente 1:8.

[0012] Em termos de definições, o desempenho pode ser descrito para diferentes posições de observação do ponto de vista do "espectador ideal" hipotético. O espectador ideal

representa a localização do assento para o qual o pico de brilho de um quadro branco ocorre no centro da tela (quando se usa uma tela com ganho). Outras posições de interesse incluem os assentos no perímetro para os quais o sistema deveria atuar satisfatoriamente. Estes assentos de perímetro definem o lugar geométrico de difusão, tomado juntamente com as outras considerações geométricas discutidas acima.

[0013] De vinte e um auditórios de cinema testados randomicamente, o ângulo de deslocamento vertical médio de um raio axial é aproximadamente oito graus abaixo. O deslocamento vertical influencia a direção especular para baixo, o que é benéfico para o brilho com uma tela de ganho. Quando concebido apropriadamente, isto posiciona o espectador ideal em uma posição central dos assentos. Ao contrário, com deslocamento zero, o local com observação ótimo com uma tela de ganho é no projetor, o que claramente não é prático. Dependendo do deslocamento do projetor e do ângulo associado com um espectador ideal desejado, pode ser construída uma inclinação no ângulo de difusão dentro da concepção do difusor, de acordo com a presente revelação.

[0014] Os piores casos de ângulos de visão são associados com os assentos do perímetro (ou para um subconjunto dos assentos para os quais o sistema deve atuar adequadamente). Estes assentos definem o lugar geométrico da visualização. Sob circunstâncias ideais para brilho e contraste, de acordo com a presente revelação, nenhuma luz é projetada para fora do lugar geométrico de difusão. Além disso, a relação de contraste de polarização otimizada requer que ocorram apenas reflexões singulares dentro do espaço

geométrico de difusão. No caso de ocorrerem múltiplas reflexões, as mesmas deveriam ocorrer preferencialmente para condições de reflexão fora do lugar geométrico de difusão.

[0015] As Figuras 6A e 6B são gráficos polares 600 e 650 respectivamente que ilustram plotagens ilustrativas para o espaço geométrico de observação de um auditório específico em diferentes posições de observação. A Figura 6A mostra uma plotagem 602 que representa o raio de ângulo de observação no sistema de coordenadas global), definido através do rastreamento do perímetro da tela no assento frontal esquerdo (por exemplo, posição de observação 132 da Figura 1). A Figura 6B representa a plotagem correspondente 652 para o assento traseiro esquerdo (por exemplo, posição de observação 134 da Figura 1). Neste caso, o último (652) é contido dentro do anterior (602). Em uma disposição de assentos de estádio típica, entretanto, os assentos traseiros definem a parte do lugar geométrico que corresponde ao fundo da tela.

[0016] A Figura 7 é um gráfico polar 700 que mostra o lugar geométrico, similar a aqueles descritos acima nas Figuras 6A e 6B, para uma amostragem randômica de vinte e um auditórios e teatro. Tais dados 704 são contidos dentro de um perímetro 702, que, para condições de iluminação/observação simétrico em volta do eixo vertical, define um lugar geométrico de difusão que também é simétrico em volta da vertical. É um objetivo da concepção limitar substancialmente a difusão dentro da região definida pelo perímetro 702, para incluir o lugar geométrico de observação, que inclui substancialmente todas as posições de observação

mais uma margem de segurança arbitrária, por exemplo, cinco graus.

[0017] Na análise a seguir, é assumido que a tela inclui uma coleção de micro-refletores que, ainda que virtualmente co-planares em uma escala macroscópica, são randomicamente distribuídos em orientação de acordo com a função de densidade de probabilidade inclinada. Um sistema de coordenadas local é definido aqui por um vetor de raio de projeção, e um vetor de raio de observação. Isto define um plano local de incidência, que contém o vetor normal da faceta local (onde um modelo de faceta é tipicamente usado para ilustração, ainda que a superfície desejada possa ter propriedades micro-refletivas contínuas). Devido à polarização ser substancialmente preservada pela tela, é razoável assumir que a luz defletida pela faceta é o resultado de uma reflexão especular. A probabilidade de que exista uma faceta com a orientação desejada é dada pela função de densidade de probabilidade inclinada, a qual é relacionada ao ganho da tela.

[0018] O plano local de incidência também define os vetores locais S e P (ou autovetores locais), os quais obedecem às equações de Fresnel para reflexão. Neste caso, o revestimento funcional é tipicamente um metal (por exemplo, alumínio), o qual tem um índice refrativo complexo, e, portanto é absorutivo. Assumindo que a "área de faceta" é grande com respeito ao tamanho de onda de iluminação (ou mais realisticamente, que a inclinação é variada lentamente com respeito ao tamanho de onda da iluminação) pode ser considerado que luz reflete especularmente a partir da superfície, o que preserva a polarização. Como tal, não

existe virtualmente nenhuma despolarização associada com o evento, ainda que em geral ocorra uma mudança no estado de polarização (SOP) devida aos coeficientes de reflexão complexos distintos associados com S e P.

[0019] Considerando o caso específico onde a luz incidente polarizada linearmente inclui ambas as projeções S e P. Uma diferença de fase na reflexão tende a induzir elipticidade, ao mesmo tempo em que uma diferença na refletividade tende a girar a orientação. Para um sistema 3D baseado em polarização linear no pior caso de ângulo de azimute (polarização a $\pm 45^\circ$ para o plano de incidência da faceta), ou um sistema baseado em polarização circular a qualquer ângulo de azimute, a contribuição da reflexão de Fresnel para a relação de contraste de polarização é dada por

$$[0020] \quad PCR = \frac{\left(\sqrt{R_p}/2 + \sqrt{R_s}/2\right)^2 - \sqrt{R_p R_s} \sin^2(\Gamma/2)}{\left(\sqrt{R_p}/2 - \sqrt{R_s}/2\right)^2 + \sqrt{R_p R_s} \sin^2(\Gamma/2)}$$

[0021] onde $\sqrt{R_p}e^{-i\Gamma/2}$ e $\sqrt{R_s}e^{i\Gamma/2}$ são os quocientes de reflexão complexa associados com as polarizações P e S respectivamente (abandonando a fase comum), onde Γ é o deslocamento de fase entre os componentes R e P. De primeira ordem, o primeiro termo no denominador calcula a perda de contraste devido a diferença de refletividade, enquanto o segundo termo no denominador calcula a perda de contraste devido ao retardamento de fase.

[0022] Fundamentalmente, o ângulo de incidência da faceta deve ser menor do que 45° , tendo uma distância de projeção (com um projetor centrado) infinita (por exemplo, uma tela plana) e um espectador localizado no plano da tela. Mais tipicamente em auditórios de teatros, os ângulos de

incidência de faceta associados com o espectador no pior caso são abaixo de 35°.

[0023] A Figura 8 é um gráfico de PCR de Fresnel para polarização circular (ou pior caso de azimute de polarização linear) como uma função do ângulo de incidência da faceta. O contraste 802 é acima de 1.000:1 para ângulos abaixo de 25° (o que considera a maior parte da audiência), permanecendo acima de 270:1 para ângulos fora até 35°. Assim, a contribuição de Fresnel é relativamente pequena nos presentes ambientes de cinema.

[0024] Em termos de contribuição relativa (novamente de primeira ordem), o contraste devido a diferença de refletividade sozinha é 24.000:1 a 35°, enquanto o contraste associado com o retardamento sozinho é 273:1. Assim, a perda de contraste associada com Fresnel é em sua maior parte devida ao deslocamento de fase entre S e P. Existe a oportunidade para corresponder mais proximamente às fases de S e P, ao mesmo tempo em que se aumenta a refletividade geral pela adição de camadas conformais dielétricas transparentes (que ao mesmo tempo servem para evitar o crescimento de óxido nativo) sobre o metal. Isto tipicamente é feito com os assim chamados revestimentos de espelho de "alumínio protegido". Lippey e outros na Patente Americana de No. US 7.110. 175 (a qual se encontra aqui incorporado por referência para todos os fins) revela a deposição de uma camada de alumínio para endereçar a diferença de refletividade pelo uso de uma camada dielétrica para tornar a refletividade de S- e P- iguais. Entretanto, Lippy não reconhece que o contraste é muito mais impactado pela diferença de fase do que pela diferença de refletividade. Devido à despolarização ser assumida como

sendo apenas uma consequência da diferença entre as refletividades S e P, o objetivo natural para o contraste é minimizar os ângulos de incidência locais, e assim ter um ganho maior. Entretanto, como revelado aqui, têm-se demonstrado que o mecanismo de despolarização dominante é de múltiplos eventos de dispersão, o que Lippey nem sequer menciona. Em outras palavras, Lippey não reconhece o mecanismo dominante que contribui para o desempenho do contraste ou as técnicas para tal otimização do desempenho do contraste. Além disso, o segundo objetivo identificado por Lippey é igualar as amplitudes refletivas das polarizações S e P. Entretanto, com os ensinamentos da presente revelação, é possível tanto igualar as amplitudes refletivas de S e P como maximizar a diferença de fase entre os dois componentes, em que desta forma é fornecido desempenho superior nas propriedades de preservação de polarização.

[0025] Frequentemente, coberturas dielétricas são depositadas sobre espelhos de metal para proporcionar durabilidade e aumentar a refletividade. Se alumínio opaco não é revestido, o mesmo é facilmente arranhado e eventualmente formará uma camada fina (70 a 90 Å) de óxido nativo (Al_2O_3). Óxido nativo (índice $n=1,66$) tenderá a reduzir a refletividade ao longo do tempo. Se em vez disso, uma camada de MgF_2 ($n=1,38$) que tenha aproximadamente uma espessura ótica de um quarto de onda for depositada sobre o alumínio opaco, a refletividade pode ser aumentada uma pequena porcentagem. Ao mesmo tempo em que MgF_2 representa uma escolha ideal de cobertura dielétrica, pode ser obtida uma melhoria substancial com o uso de outro de menor índice

dielétrico tal como SiO_2 . Em ambos os casos, a primeira restrição é minimizar a diferença de fase complexa entre as refletividades de S e P.

[0026] Na presente revelação, a preservação da polarização é provavelmente mais importante do que aumentar a eficiência. Como discutido acima, reduzir a diferença de fase entre os componentes S e P através de um fino filme de compensação ajuda a preservar a polarização. Um filme dielétrico de espessura e índice arbitrários, em que a métrica de desempenho é a PCR a 589 nm (onde a polarização de entrada é a 45° para o plano de incidência), produz os melhores resultados quando o índice refrativo é minimizado (por exemplo, com MgF_2). Quando um óxido nativo de 70 Å de espessura é usado, o PCR a um ângulo de incidência de 35° é 139:1 (o que é menor do que alumínio opaco). Adicionando uma camada de espessura de 0,34 da onda de MgF_2 , produz um contraste de 23.915:1. A 28° o contraste é menor para o caso compensado (1.934:1), mas ainda, o contraste permanece significativamente maior do que o caso não compensado (360:1). Para ângulos menores, o contraste geralmente aumenta, mas o caso compensado permanece pelo menos a um fator de três vezes maior do que o caso não compensado.

[0027] Devido a faceta inclinada ter polarização eigen linear, o desempenho de um sistema baseado em polarização linear é dependente do azimute. Se a polarização de entrada é contida no plano de incidência da faceta, então a polarização é preservada na reflexão. Se este mecanismo é importante na determinação de contraste, então pode ser selecionado o óculos para otimizar o desempenho geral. Por exemplo, os cantos das telas tendem a corresponder aos

maiores ângulos de incidência da faceta, que pode tender a ficar próximo ao ângulo de azimute $\pm 45^\circ$ do que do azimute $0/90^\circ$. Nestas circunstâncias, um sistema baseado em um óculos de polarização linear de $\pm 45^\circ$ pode ser usado. Como para os sistemas que usam base circular, não existe nenhum alívio a partir da mudança de polarização na reflexão para qualquer azimute porque, de fato, o contraste é independente do ângulo de azimute. No caso em que o contraste é dominado por múltiplas reflexões, então o argumento acima pode não ser uma consideração relevante na concepção.

[0028] REFLEXÕES DUPLAS

[0029] Dependendo da estrutura da tela, a mudança de polarização depois de uma única reflexão pode não ser o fator mais importante a influenciar a diafonia. Difusores altamente direcionais, tais como aqueles fabricados pela Wavefront Technologies, têm cumes altamente inclinados que tendem a produzir reflexões secundárias. Sob o microscópio de polarização cruzada, os difusores holográficos padronizados exibem tipicamente polarizações eigen lineares devido as retro-reflexões quando iluminados e detectados normalmente. Em um teste de três amostras de produtos normalmente usados na transmissão, mas revestidos com alumínio para o teste, todas as amostras dispersaram substancialmente mais em uma dimensão do que na direção ortogonal ($8^\circ/21^\circ$, $10^\circ/68^\circ$, $12^\circ/44^\circ$). As amostras revestidas comprovaram que o contraste foi algumas centenas para um quando a polarização de entrada era paralela ao eixo da estrutura, mas foi substancialmente menor quando a amostra foi girada, com contrastes de apenas dezenas para um no

azimute de 45° . Note-se que estas medições foram feitas em uma disposição de retro-reflexão.

[0030] Superfícies estáticas, tais como telas de flocos de metal, também são propensas a reflexões duplas. Frequentemente, o trajeto livre de meios entre pares de facetas é substancialmente maior do que os tamanhos de características de reflexão reais. Quando uma amostra de tela é girada sob um microscópio polarizador linear cruzado em uma disposição de retro-reflexão, os brilhos dos pares de facetas podem ser observados mudar em uníssono. Isto se dá igualmente devido a luz de polarização convertida que emerge das direções de propagação opostas. Ao longo das direções eigen, os pares são em grande parte extintos. Devido ao alto grau de conversão de polarização com retro-reflexão, os pares se tornam muito brilhantes no azimute $\pm 45^\circ$. A geometria efetiva dos pares é frequentemente muito similar (decretada pela área de sobreposição das facetas), que é outro fator que as torna facilmente identificáveis.

[0031] As disposições de retro-reflexão têm benefícios potenciais a partir de um ponto de vista de brilho. Ou seja, se a direção de difusão de pico é, em geral, contra a direção incidente, então a luz a partir do projetor terá uma maior tendência a ser lançada em direção a audiência. Telas frisadas, por exemplo, podem ter o benefício de funcionar como um retro-refletor de olho de gato. Devido a os mesmos terem uma propriedade de auto-correção, os retro-refletores podem virtualmente eliminar a necessidade de controle local das propriedades de difusão como um meio de dispersar a luz otimamente. Entretanto, deve ser tomado cuidado para garantir que tais retro-reflexões não

comprometam a polarização, como ocorre com certos retro-refletores (por exemplo, cubo de canto). No caso de reflexões duplas a partir de pares de facetas, a polarização é convertida substancialmente para o estado ortogonal.

[0032] No passado, estruturas periódicas semelhantes à lenticular foram usadas em telas de cinema para dispersar mais na direção horizontal relativo à vertical. No caso em que as superfícies estruturadas são usadas para dispersar a luz para um grau maior na horizontal do que na vertical, as quais são propensas a reflexões secundárias, pode ser usado um sistema baseado em óculos de polarização $0/90^\circ$. Entretanto, é mais provável que estruturas de tela que são propensas a reflexões secundárias não irão desempenhar adequadamente.

CONTRIBUIÇÃO DE CADA TERMO PARA O PCR

[0033] Medições específicas podem ser usadas para extrair a contribuição de cada mecanismo físico para o PCR. Baseado na discussão acima, o termo dispersão difusa é provável de ser branco no espaço angular, e independente do vetor base de polarização. Este é o termo de vazamento de fundo. Como tal, os resultados de PCR versus o ângulo de incidência de faceta poderiam ser os mesmos para as polarizações tanto linear como circular. Se não, então outro mecanismo físico é apropriado para contribuir significativamente.

[0034] A contribuição Fresnel é zero na direção de retro-reflexão (para reflexões singulares), e se torna significativa conforme o ângulo de incidência da faceta se aproxima de 20° , e aumenta conforme o ângulo cresce. A mesma é claramente dependente da polarização, desaparecendo quando

a entrada é paralela/perpendicular ao plano de incidência da faceta, e máximo a $\pm 45^\circ$. A contribuição para o PCR é independente de azimute quando se usa polarização circular. Assim, se os resultados de PCR lineares são uma função forte do azimute (ou se existe uma diferença significativa entre PCR linear e circular) em ângulos de incidência grandes, então o termo Fresnel pode ser importante. Isto assume que a contribuição a partir de múltiplas reflexões se torna relativamente insignificante a tais ângulos grandes (ou é separável).

[0035] No caso em que vetores base linear e circular dão PCR diferentes na direção da retro-reflexão, a razão provavelmente é a reflexão dupla. Com uma superfície estatística, onde a densidade de probabilidade inclinada é uniforme em azimute, a probabilidade de um evento de reflexão dupla é igualmente uniforme em azimute. Para polarização circular, a contribuição para o PCR é, portanto também uniforme em azimute. Mas devido à dependência do azimute da polarização linear, a contribuição ao PCR média sobre o azimute inteiro é metade daquela do caso circular.

[0036] Como uma forma para testar esta contribuição, foram feitas medições de BRDF sensíveis a polarização para os casos tanto linear como circular, onde o caso linear é ao longo de uma direção Eigen.

[0037] A Figura 9 é um gráfico que mostra que o contraste do caso linear 902 é acima de 160:1, onde o caso circular 904 é apenas 110:1. Devido à diferença ser observada ao longo da direção de retro-reflexão, qualquer diferença no PCR pode ser atribuída às múltiplas reflexões, a menos que o PCR do caso circular seja inherentemente mais baixo. Para

obter estes resultados, um laser de 532 nm foi direcionado através de um par de polarizadores ortogonais linear e circular para testar o patamar de desempenho na incidência normal. O patamar de PCR foi medido para ser 888:1 para o caso linear e 895:1 para o caso circular, a diferença dos quais fica bem dentro do erro experimental e limitada pelo polarizador. Assim, podem ser fornecidos PCR substancialmente mais altos pela superfície de engenharia da presente revelação através da eliminação de reflexões duplas.

[0038] Outro aspecto condenável das superfícies estatísticas é a falta de controle espacial das características BRDF. A variação espacial na função de densidade de probabilidade pode produzir uma aparência não uniforme. O tamanho da característica associada com tais variações pode ser altamente dependente dos processos de fabricação e dos aspectos de controle estatístico de cada um. Dado que o tamanho de um pixel em uma tela média para um projetor HD-total 2k (1024x2048 pixel) é aproximadamente 7 mm, variação significativa na intensidade refletida sobre estes tamanhos (ou maiores) provavelmente é problemática. Para demonstrar isto, uma amostra de tela foi iluminada normalmente a uma distância de 305 mm, com um laser de amplitude estável de 532 nm. O laser e o módulo de detecção foram montados com uma separação de 45 mm no mesmo trilho de suporte (em plano), e foram transladados em incrementos de 1 mm ao longo do eixo da tela. A abertura do detector é de 5 mm, o que virtualmente elimina a contribuição do pontilhado. É assumido que ocorre alguma suavização do perfil

como uma consequência do cálculo da média sobre o ângulo sólido de detecção associado.

[0039] A amplitude de varredura total em uma posição particular foi de 100 mm, com nenhuma diferença significativa nos resultados para outras posições na tela. Foram testadas amostras de telas de dois vendedores. Para amostras A e B, o desvio padrão na energia refletida foi de 6,8% e 5,2% respectivamente. O desvio máximo foi de +21% e -16% para a amostra A, e +11% e -14% para amostra B.

[0040] Uma estimativa da variação no brilho de pixels percebido, devido a BRDF não uniforme, é obtida pela comparação da energia coletada em segmentos de 7 mm da varredura. Para a amostra A, o desvio médio foi de 4,6%, enquanto para a amostra B o desvio médio foi de 6,7%. O desvio máximo correspondente foi de 8% e 7% respectivamente. Um benefício da superfície de engenharia de acordo com a presente revelação é que tais variações de padrão fixo podem ser virtualmente eliminadas em todas as escalas relevantes.

EFEITOS DE INTERFERÊNCIA

[0041] Após a propagação do projetor para a tela, e assumindo coerência espacial da luz de projeção da ordem de um tamanho de onda, a luz de iluminação pode exibir coerência espacial sobre áreas que são significativamente relativas à área de resolução da tela. Isto pode exacerbar problemas de uniformidade de aparência da tela através da superposição coerente na retina. De acordo com a presente revelação, a microestrutura de engenharia pode ter uma estrutura de ruído de frequência espacial sobreposta na topografia desejada. Tal estrutura não tem impacto na exigência de reflexão única, mas randomiza a fase de tal forma que a luz coletada pelo

olho contém uma representação substancialmente uniforme no espaço de fase. Se a amplitude do ruído é algum múltiplo de um tamanho de onda e o tamanho de onda é similar ao tamanho de coerência espacial da luz, então a randomização de fase deve ser suficiente para reduzir substancialmente o pontilhado.

APARÊNCIA OPACA

[0042] O olho resolve aproximadamente um minuto de arco abaixo do que a intensidade percebida pode ser considerada uma integração ponderada da densidade da probabilidade que os núcleos geradores dispersam da direção de iluminação para a direção de observação sobre a área associada. Esta probabilidade é relacionada à densidade de probabilidade de inclinação local. No caso em que a probabilidade integrada varia espacialmente, o que significa que a área amostrada não se ajusta às estatísticas do conjunto, a tela terá uma textura granulada, que é condenável. Isto pode acontecer tanto como uma consequência de tamanhos de características grandes, bem como de sua distribuição específica sobre a superfície da tela. Frequentemente, as flutuações de intensidade relativas aumentam com o ângulo de observação, onde a probabilidade de que exista a área de inclinação exigida é substancialmente diminuída relativa à direção especular.

[0043] Em telas convencionais de cinema, a aparência opaca é o resultado de características, que produzem múltiplos eventos de dispersão que contribuem para um espaço angular médio. De acordo com a presente revelação, o difusor de engenharia é analisado e modificado espacialmente para criar distribuição de intensidade mais uniforme depois de

reflexões simples. Isto reduz substancialmente a granulação da aparência ao mesmo tempo em que preserva a polarização. Em grande parte, isto é obtido pela forma do difusor de engenharia de acordo com a presente revelação. Localmente, cada característica de dispersão preenche o lugar geométrico de observação inteiro ergodicamente. Flutuações espaciais são devidas principalmente aos efeitos de randomização e agrupamento. A porcentagem da área sujeita a tais efeitos pode ser pequena relativa à região não afetada, ou seja, a mesma pode ser limitada a regiões onde os núcleos geradores de engenharia estão se sobrepondo. Através do uso de núcleos geradores com inclinação zero e altura zero nas bordas, este efeito é substancialmente limitado a região especular do perfil de ganho onde a mesma é muito menos condenável.

CONCEPÇÕES DE TELAS ILUSTRATIVAS

[0044] No caso de a tela conter uma distribuição estatisticamente homogênea de núcleos geradores, é necessário que os núcleos satisfaçam substancialmente as condições extremas de iluminação e observação. Todo ponto na superfície da tela recebe iluminação a partir de um (ou mais) ângulo discreto. Sobre as áreas associadas com as estatísticas do conjunto, esta iluminação pode ser considerada tipicamente colimada. Para cada área de iluminação semelhante, a luz poderia ser dispersa em uma amplitude de ângulos associada com o lugar geométrico de difusão, sujeita a exigências de ganho. Para cada ponto semelhante, uma quantidade importante é o ângulo extremo formado entre a direção especular e a direção de observação. Quando as exigências de dispersão para cada ponto na tela são sobrepostas, o perímetro, denominado aqui como o "lugar

geométrico de difusão" define as exigências de difusão da microestrutura da tela. O lugar geométrico de difusão é relacionado à densidade de probabilidade inclinada da microestrutura da tela.

[0045] Quando se descreve um difusor microestruturado, é conveniente considerar a menor unidade estrutural fundamental (ou unidades) que é replicada para formar uma macroestrutura. Esta estrutura é aqui referida como o núcleo gerador, e para uma superfície difusora a mesma terá algumas formas topográficas que determinam o perfil de difusão da luz refletida da mesma. Em uma situação ideal, este núcleo gerador conduz as estatísticas de conjunto inteiras do difusor exigido de modo que a variação ponto a ponto na difusão é minimizada a menor escala possível. Em um caso mais geral, o núcleo gerador pode não satisfazer integralmente estas estatísticas, mas um conjunto de tais estruturas pode.

[0046] Um aspecto da presente revelação é conceber um perfil de um núcleo gerador (ou microestrutura que compreende uma pluralidade de núcleos geradores) para eliminar reflexões secundárias dentro dos ângulos de incidência da faceta associados com a amplitude total dos ângulos de iluminação/observação. Em uma modalidade, isto é alcançado pela determinação do lugar geométrico de difusão da iluminação/observação para fornecer luz a todos os assentos necessários no auditório (baseado nas considerações geométricas discutidas previamente) e conceber um núcleo gerador (ou microestrutura que compreende uma pluralidade de núcleos geradores) que obtém pelo menos o seguinte: (1) uma função de densidade de probabilidade de inclinação que é

uniforme por todo o lugar geométrico de difusão (virtualmente lambertiano), com pequeno, se não nenhum, "pico" na direção especular; (2) uma função de densidade de probabilidade de inclinação que é espacialmente uniforme (por exemplo, $\pm 1\%$) de modo que existe pequena, se não nenhuma, modulação percebida no brilho; (3) uma função de densidade de probabilidade de inclinação que tem um corte agudo no espaço angular no perímetro do lugar geométrico de difusão; (4) uma composição de núcleos geradores que seja livre de características menores do que uns poucos microns, em que esta suavidade garante que o grau de polarização é preservado; (5) tamanhos de características de núcleos geradores que são menores do que algumas centenas de microns (o que poderia resultar em, por exemplo, aparência "granulada" ou "cintilante"); e (6) raios incidentes dentro do perímetro do lugar geométrico de difusão não sofrem qualquer reflexão secundária substancial antes de entrar no lugar geométrico de difusão.

[0047] Ao fornecer um corte agudo na densidade de probabilidade inclinada, é possível eliminar raios que tendem a dispersar na direção da luz incidente (dispersão para frente), ou de estruturas adjacentes. Tal luz sofrerá duas ou mais reflexões, geralmente com mudança significativa na polarização. Adicionalmente, luz que ao contrário não deve entrar no lugar geométrico de difusão pode ser usada para aumentar o brilho da imagem, e eliminar perda na saturação de cor e contraste que resultam da luz espúria dispersa a partir das superfícies do auditório.

[0048] A Figura 10 é um gráfico 1000 de um exemplo unidimensional de uma estrutura côncava 1002 que tem uma

função de densidade de probabilidade uniforme com um corte abrupto a 80° . Matematicamente, as exigências para tal estrutura são como segue. Primeiro, a relação de mudança de θ é proporcional ao inverso da probabilidade de dispersão desejada, $\mathcal{D}(\theta)$: $\partial\theta/\partial x = c1/\mathcal{D}(\theta)$ (onde c tem unidades da distância inversa e estabelece a escala para os núcleos geradores). Segundo, o corte abrupto na distribuição de probabilidades é determinado por atribuir os limites de integração de θ . Finalmente, a inclinação em qualquer ponto da superfície é igual à tangente da metade do ângulo de dispersão: $\partial z/\partial x = \text{Tan}(\theta/2)$.

[0049] A Figura 11 é um diagrama que ilustra uma estrutura 1D 1100 que tanto é periódica como satisfaz os mesmos critérios. Os elementos convexos 1102 na estrutura podem ter tamanho arbitrário uma vez que a relação de aspecto seja preservada, o tamanho permanece pequeno suficiente para ser visivelmente irresolvível, mas grande o suficiente para evitar dispersão difusa (por exemplo, menor do que algumas centenas de microns e maior do que uns poucos microns), e não ocorrem reflexões múltiplas dentro do lugar geométrico de difusão. A luz incidente a ângulos de até 10° não sofre múltiplas reflexões como mostrado pelo raio refletido 1104, que ilumina o pico adjacente. Uma superfície randomizada pode ser gerada fazendo um agrupamento de múltiplas células de unidade com diferentes larguras como mostrado em 1106.

[0050] De forma mais geral, uma superfície estatística pode ser gerada pela eliminação da equação diferencial, $\partial\theta/\partial x = c1/\mathcal{D}(\theta)$, mas mantendo a densidade de probabilidade em declive, $\mathcal{D}(\theta)$. Estruturas refletivas podem ter diferentes formas desde que a densidade dos elementos de

superfície com inclinação θ seja igual a $\mathcal{D}(\theta)$. Em particular, isto permite que a concepção acomode diferentes exigências de dispersão diferentes em diferentes regiões da tela.

[0051] As Figuras 12A a 12D são diagramas esquemáticos que mostram uma vista lateral de um teatro arbitrário que inclui o projetor, tela, e área de assentos.

[0052] Na Figura 12A, em operação, o raio 1204 se desloca do projetor 1202 para a parte inferior da tela 1206. A fim de iluminar a área de assentos 1208, o mesmo deve ser disperso dentro do lugar geométrico de difusão 1210. O lugar geométrico de difusão é definido de acordo com os extremos angulares na iluminação e detecção/observação. Dentro do lugar geométrico de difusão, substancialmente apenas reflexões simples ocorrem a partir da tela em direção ao lugar geométrico de difusão, ao passo que fora do lugar geométrico de difusão podem ocorrer reflexões múltiplas.

[0053] A Figura 12B é um diagrama esquemático que mostra uma microestrutura de exemplo 1222 na superfície da tela na Figura 12A. Os raios 1224, 1226 e 1232 são todos aproximadamente paralelos ao raio 1204, mas iluminam partes diferentes da microestrutura. Os raios 1224 e 1226 experimentam reflexões especulares únicas 1230 e 1228 antes de entrar no lugar geométrico de difusão 1210. O raio 1232 experimenta duas reflexões especulares, mas o raio de saída 1234 não entra no lugar geométrico de difusão 1210 e desta forma não estará apto a provocar uma redução no PCR.

[0054] Ao contrário, a Figura 12C mostra um raio que se desloca para cima a partir do projetor para o topo da tela 1206 que ilumina uma localização de observação substancialmente diferente dentro do lugar geométrico de

difusão. A Figura 12D ilustra reflexões 1268 a partir de uma microestrutura 1262 localizada no topo da tela 1206 que mostra que nenhum raio incidente na parte do topo da tela experimenta múltiplas reflexões embora alguns raios refletidos 1270 não entrem no lugar geométrico de difusão 1240.

[0055] Desta forma, comparados aos raios que se deslocam para cima a partir do projetor 1202 para o topo da tela 1206, os raios que se deslocam para baixo a partir do refletor 1202 e colidem na parte inferior da tela 1206 devem preferencialmente se dispersar em uma parte substancialmente diferente do lugar geométrico de difusão a fim de iluminar a área de assentos, ou seja, a densidade de probabilidade de inclinação também é uma função do ângulo incidente. Além disso, devido a ângulos de incidência diferentes iluminarem diferentes localizações de observação, algumas reflexões duplas podem ser toleradas uma vez que as mesmas resultem em luz que não entra no lugar geométrico de difusão. Estes efeitos aumentam conforme a distância de projeção do projetor é reduzida. Embora uma microestrutura única 1222, 1262 seja mostrada, consistente com a presente revelação, uma microestrutura única pode ser compreendida de um ou mais núcleos geradores.

[0056] As Figuras 13A e 13B são gráficos 1300, 1350 de algumas curvas de "ganho" possíveis para telas de engenharia nas quais a luz é apenas dispersa dentro do lugar geométrico de difusão mostrado na Figura 7. Aqui, o ganho é calculado dentro do lugar geométrico de difusão e é assumido ser simétrico sobre o eixo vertical, mas com um corte agudo, como mostrado na Figura 7. O gráfico 1300 ilustra que um

perfil uniforme 1310 (semelhante à lambertiano) dentro do lugar geométrico de difusão deve resultar em um aumento de eficiência de quase 30% sobre um típico perfil de tela branca opaca 1320. O gráfico 1350 ilustra que se o perfil de ganho tem a mesma forma funcional que a tela de ganho prateada existente, o aumento na eficiência 1360 é quase 100%. Alternativamente, a curva de ganho pode ser achatada, mostrado pela linha 1340, de modo que a uniformidade geral é melhor do que a tela prateada convencional, mostrada pela linha 1330, ou seja, amplia o perfil de ganho da tela prateada corrente, com substancialmente o mesmo brilho máximo.

[0057] A Figura 14 é uma plotagem polar 1400 do lugar geométrico normal a faceta, relativo à normal a superfície da tela, que ilumina substancialmente a região de observação inteira com luz a partir do projetor. A cada ponto da tela, existe um conjunto de normais a faceta 1410 que direciona luz do projetor para cada assento individual. A união de todos estes conjuntos por toda a superfície da tela define o lugar geométrico de normais a faceta 1420 para garantir que cada espectador receba luz de substancialmente todas as partes da tela. Quaisquer normais a faceta que cai fora deste lugar geométrico resulta em luz perdida. Os pontos pretos 1410 são computados a partir dos assentos de localização de observação extremo do lado esquerdo a partir de uma seleção randômica de teatros. O lugar geométrico ou curva 1420 é estendido para conter também os ângulos de observação para os assentos mais a direita.

[0058] As propriedades geométricas desejadas para uma tela de projeção de preservação da polarização foram

identificadas como: (1) Preenchimento do lugar geométrico de difusão com intensidade de luz uniforme; (2) Evitar reflexões múltiplas da luz por (a) introduzir um ângulo de corte na distribuição da luz para evitar que luz refletida bata na tela uma segunda vez e (b) manter características com inclinações íngremes bem separadas de modo que luz dispersa em ângulos grandes não encontre uma segunda superfície; (3) Obter ergodicidade dentro de uma região menor do que um pixel, ou seja, todo o lugar geométrico de difusão deve ser amostrado uniformemente por uma área da tela que seja menor do que um pixel de modo que a intensidade da tela seja espacialmente uniforme; (4) Garantir que todas as características sejam significativamente maiores do que um tamanho de onda ótico para evitar dispersão; e (5) Evitar estruturas periódicas que poderiam combinar com a pixilação do projetor para produzir moiré, ou interferência entre conjuntos de padrões de grades finos. Foi encontrada uma curva que satisfez estas exigências para dispersão 1D.

[0059] Como usado aqui, "ergodicidade" é a condição em que a média do valor de algum parâmetro sobre uma região finita convergiu para a média do conjunto da região inteira. Quando uma região de certo tamanho é dita ser ergódica, a mesma não é estatisticamente diferente de qualquer região de tamanho semelhante ou maior no conjunto.

[0060] Existem duas estratégias gerais para efetuar uma superfície difusora 2D. A primeira é determinar um conjunto de regras que podem ser usadas para processos randômicos (estocástica) que na média satisfazem as exigências. Identificar processos totalmente randômicos que irão satisfazer todas as exigências de concepção em geral

pode ser complicado, mas a fabricação destas superfícies pode, em geral, ser mais fácil. A estratégia secundária é conceber uma estrutura personalizada que satisfaça explicitamente todas as exigências acima. Isto garante o melhor desempenho, mas exige uma técnica de fabricação que pode transferir esta concepção para a superfície da tela com alta fidelidade.

CONCEPÇÃO ESTOCÁSTICA

[0061] Existe uma profusão de técnicas disponíveis com as quais se faz uma superfície difusora a partir de estruturas randômicas. Estas incluem gravação holográfica de pontilhado de laser, gravação química a água forte, gravação mecânica (por exemplo, jateamento de esferas), e revestimento com flocos de metal encapsulados em polímero aglutinante. A geometria local das características de dispersão individuais nestes difusores é definida pelo processo no qual o difusor é criado. Por exemplo, um difusor holográfico será composto de picos Gaussianos 2D ao passo que pintura de flocos será composta de uma coleção de facetas planares com bordas agudas. Desconsiderando quaisquer bordas agudas, o limite de uma grande quantidade de tais características é esperado para se enquadrar as estatísticas Gaussianas. Portanto, um difusor estocástico pode ser aproximado como uma coleção distribuída randomicamente de características de dispersão Gaussiana em que as características têm alguma altura característica d , e com σ .

[0062] Em princípio, os valores médios de d e σ podem frequentemente ser controlados independentemente. Por exemplo, para um padrão pontilhado a laser, σ é o tamanho de pontilhado característico e pode ser ajustado pela

modificação da distância para a abertura ou o tamanho da abertura. Se o padrão pontilhado é gravado em fotorresiste, então d pode ser controlado pela modificação do tempo de exposição e/ou as condições de desenvolvimento. De maneira similar, em um processo de jateamento de esferas, σ será relacionado ao tamanho das partículas de ablação e d será proporcional a suas velocidades de chegada (de primeira ordem). Portanto, regras de concepção de construção para a geração de difusores estocásticos dependem de um entendimento do relacionamento entre d , σ , e a preservação da polarização, ou seja, reflexões duplas.

[0063] A Figura 15 é um diagrama esquemático que ilustra uma vista de cima para baixo 1500 de uma superfície Gaussiana ilustrativa e respectivas vistas laterais 1502 e 1504 que foram simuladas com estatísticas Gaussianas para verificar o modelo computacional contra experimentos em amostras físicas. Um difusor 2D com estatísticas Gaussianas é simulado pela população de um plano com Gaussianas posicionadas randomicamente (por exemplo, Gaussianas 1506 e 1508). De primeira ordem, é suficiente usar Gaussianas idênticas (σ, d são constantes). É fornecida cobertura relativamente uniforme pela localização de picos em um reticulado hexagonal e então alterando suas posições por uma distância ponderada Gaussiana. Se o desvio padrão da alteração é grande suficiente então a ordem hexagonal subjacente é apagada e as correlações par a par se tornam Gaussianas. Isto resulta em uma distribuição de ruído Gaussiana como mostrado na Figura 15. Nesta simulação ilustrativa, $\sigma = 30 \mu\text{m}$, $d = 16 \mu\text{m}$, a constante do reticulado subjacente é $60 \mu\text{m}$ e a largura total da estrutura é 2 mm .

[0064] A distribuição de dispersão e ganho desta estrutura 1500 foi simulada com o uso de software de pesquisa de raio não sequencial (ASAP). A iluminação foi uma fonte de luz colimada uniforme que tirou amostras de toda a superfície a incidência normal. Para acelerar a computação e simplificar a análise, a polarização de raios individuais foi negligenciada e efeitos não geométricos foram ignorados (por exemplo, refletividade Fresnel, dispersão a partir de características menores que o tamanho de onda). Para computar o ganho, todos os raios que refletiram da superfície somente uma vez foram coletados.

[0065] A Figura 16 fornece um gráfico 1600 que ilustra a densidade dos raios refletidos a partir da superfície Gaussiana ilustrativa da Figura 15, plotada como uma função do ângulo. O Gráfico 1600 retrata esta amostra de raio 2D como uma superfície de ruído Gaussiano e os gráficos 1602 e 1604 ilustram o perfil dos aspectos vertical e horizontal respectivamente. No gráfico 1600, os raios simulados refletiram a partir da superfície apenas uma vez e a intensidade foi colocada em escala através do $\cos(\theta)$ para mostrar novamente. Um plotagem de ganho de todos os raios que refletiram a partir da superfície duas vezes pode ser usado para computar o efeito de despolarização de múltiplas reflexões.

[0066] A Figura 17 fornece um gráfico 1700 que ilustra uma plotagem de intensidade dos raios que sofreram uma dupla reflexão a partir da superfície Gaussiana ilustrativa da Figura 15. O gráfico 1700 e as vistas laterais 1702, 1704 revelam que a superfície Gaussiana não é completamente ergódica, ou seja, devido à distribuição

dispersa não ser uniforme radialmente esta superfície não é plana estatisticamente. Isto é consistente com experimentos em difusores holográficos com tamanhos de característica similares nos quais é vista uma variação de intensidade significativa entre trechos adjacentes de 3 mm x 3 mm. Entretanto, uma média radial da distribuição é uma boa aproximação da distribuição total. A relação de contraste de polarização devido às reflexões múltiplas é a relação da intensidade devido às reflexões singulares, como mostrado na Figura 16, para a intensidade devido a reflexões duplas, como mostrado na Figura 17.

[0067] A Figura 18 é um gráfico 1800 que ilustra contraste contra ganho para uma série de simulações com diferentes amplitudes para superfícies difusoras Gaussianas. Através do aumento de amplitude da distribuição de ruído, o ganho da estrutura é reduzido. Isto aumenta a probabilidade de múltiplas reflexões e, como resultado, o contraste diminui. A tendência é qualitativamente similar a tendência medida em uma série de difusores holográficos. A linha 1802 que mostra o resultado simulado tem consistentemente contraste mais alto do que a linha 1804 que mostra o resultado experimental devido à falta de ponto de dispersão, efeitos Fresnel e sensibilidade de polarização finita do sistema de medição. Esta série de experimentos realça algumas das limitações de uma superfície estatística como um difusor para uma tela de cinema. Existe um compromisso intrínseco em tais estruturas entre ganho (e, portanto uniformidade de iluminação) e contraste. Na medida em que pode ser tolerado alto ganho, pode ser obtido maior contraste. Entretanto,

deve ser observado que obter tanto alto contraste como baixo ganho exige uma superfície projetada cuidadosamente.

[0068] A fim de diagnosticar estes resultados, as propriedades de dispersão de uma superfície randômica podem ser calculadas. Considera um pico Gaussiano com altura d e largura σ .

$$[0069] \quad z(r) = d e^{-\frac{r^2}{\sigma^2}} \quad 1)$$

[0070] A inclinação máxima nesta característica ocorre a $r = \sigma/\sqrt{2}$ e dá origem a um ângulo de reflexão θ de

$$[0071] \quad \theta = 2 \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{2}}{\sigma} d e^{-\frac{1}{2}} \right) \quad 2)$$

[0072] Portanto para uma dada altura de característica, uma largura de característica mínima σ_m pode ser estabelecida, de modo que para características de dispersão isoladas, produzem um ângulo de corte θ_c .

[0073] As Figuras 19A a 19D fornecem diagramas esquemáticos que mostram plotagens de condições de reflexão para diferentes espaçamentos entre picos Gaussianos. A Figura 19A é um diagrama esquemático que mostra a reflexão de um raio 1904 para fora de uma característica de dispersão única 1902. Para uma característica de dispersão única, uma vez que θ_c é menor do que 90° , o raio refletido 1906 será direcionado para longe da superfície e não haverá reflexão secundária. A Figura 19B é um diagrama esquemático que mostra as propriedades refletivas quando características adjacentes 1922 e 1924 se aproximam. Entretanto, quando características adjacentes 1922 e 1924 se aproximam, existe alguma região na qual para grandes ângulos de reflexão, ocorre uma segunda reflexão. A Figura 19C é um diagrama esquemático que mostra a situação quando os picos 1932 e 1934 se aproximam cada vez mais. Aqui, a dupla reflexão desaparece porque a superposição

dos dois picos reduz a inclinação máxima na região entre eles. A Figura 19D é um diagrama esquemático que mostra o cenário de dois picos 1942 e 1944 se sobrepondo, de modo que a inclinação máxima é aumentada, o que em muitos casos leva a uma múltipla reflexão. Portanto, para picos Gaussianos adjacentes, existe um lugar geométrico de regiões nas quais ocorre múltipla reflexão.

[0074] A Figura 20 é um gráfico 2000 que ilustra que para dois picos Gaussianos com alturas e ângulos de corte θ_c iguais, existe um lugar geométrico de separações computado no qual não ocorrem reflexões múltiplas. A fim de que seja zero (ou próxima a zero) a probabilidade de uma reflexão dupla na superfície definida pelos dois picos, o θ_c da Gaussiana é preferencialmente menor do que 52° . Para θ_c menor do que 80° , não ocorrem múltiplas reflexões entre os picos, mas isto pode ocorrer quando os picos começam a se sobrepor. A possibilidade de três picos se sobrepondo deve ser considerada, então θ_c deve ser ainda menor. Infelizmente, θ_c é consideravelmente menor do que o lugar geométrico de difusão desejado para um teatro típico. A luz será dispersa para ângulos maiores conforme os picos se aproximam uns dos outros, mas para usar este comportamento para preencher o lugar geométrico de difusão, é necessária uma alta densidade de características de dispersão. Neste caso, a probabilidade de mais do que duas características se sobreponham aumenta drasticamente. Em suma, uma tentativa de eliminar reflexões duplas, pela redução de θ_c para menos do que 52° resulta em que a luz não atinge o lugar geométrico inteiro.

[0075] Uma forma de resolver o problema acima é usar picos Gaussianos com alturas e larguras diferentes. As

Figuras 21A a 21C são diagramas esquemáticos que mostram a superposição de dois picos Gaussianos com $d_1=1$, $\sigma_1=1$ e $d_2=1/5$, $\sigma_2=1/5$. O ângulo refletido como uma função da posição é calculado para diferentes separações pico a pico. Quando os picos são bem separados (ver, por exemplo, Figura 21A), o ângulo de reflexão na superfície é localmente aquele dos Gaussianos individuais ($\theta_c = 50^\circ$). Entretanto, quando os picos se aproximam, a inclinação máxima entre eles é aumentada. A Figura 21B mostra que o menor pico é localizado aproximadamente na base do pico maior. A inclinação máxima então diminui quando os picos se sobrepõem exatamente (ver, por exemplo, Figura 21C). O efeito geral é similar à superposição de características de tamanhos iguais com uma diferença importante: a mesma condição de inclinação máxima é obtida, mas a profundidade média da superfície não é aumentada significativamente. Consequentemente as dispersões de ângulo grande permanecem relativamente bem separadas e a probabilidade de uma segunda reflexão é menor.

[0076] A Figura 22 é um gráfico de um padrão de ruído simulado 2200 que ilustra dois padrões compostos de estruturas com alturas e larguras diferentes, mas de ângulo de corte substancialmente idêntico.

[0077] As Figuras 23A a 23D são gráficos que mostram uma comparação dos ganhos e contrastes tanto de um difusor composto de dois padrões como de diferentes tamanhos característicos versus um difusor composto de um padrão e sem tamanhos característicos diferentes. O ganho calculado a partir do difusor com diferentes tamanhos característicos produz uma curva mais suave 2302 (ver Figura 23A) do que a curva de ganho 2352 calculada a partir de apenas uma

estrutura periódica única (ver Figura 23C). Isto é porque o tamanho menor da característica da primeira estrutura permite que a curva 2302 se torne quase ergódica em uma pequena área, mas o ganho das duas estruturas é aproximadamente o mesmo. Mais importante, o pico de contraste do difusor de dois padrões (ver Figura 23B, que mostra uma parte aumentada da Figura 23A) é substancialmente cinco vezes maior do que o pico de contraste do difusor de padrão único (ver Figura 23D, que mostra uma parte aumentada da Figura 23B). O contraste médio é mais do que duas vezes maior.

[0078] Em conclusão, uma técnica prática de aumentar o contraste máximo em uma estrutura puramente estatística é sobrepor dois padrões com periodicidades diferentes. As limitações práticas desta técnica são que as características menores devem preferencialmente permanecer grandes relativas ao tamanho de onda da luz (por exemplo, na ordem de dezenas de μm) e a maior característica deve preferencialmente permanecer pequena relativa a um pixel (por exemplo, na ordem de centenas de μm). Com difusores holográficos, isto pode ser alcançado realizando duas exposições nas quais a segunda exposição é ajustada para ter aproximadamente 1/5 da altura e 5 vezes a frequência. Outra técnica para alcançar isto deve ser aplicar uma pintura de flocos de metal de alto ganho em um substrato em relevo.

CONCEPÇÃO PERSONALIZADA

[0079] Dada a capacidade de projetar com precisão a altura da superfície em uma base ponto a ponto, uma técnica para conceber aquela superfície também é revelada aqui. Em princípio, é possível tratar a superfície do difusor como uma rede de polígonos conectada. Então se pode realizar uma

simulação de Monte Carlo para descobrir a orientação e altura ótimas destes polígonos que otimizam as características de difusão da superfície. Entretanto, uma vez que é desejada ergodicidade sobre uma pequena região, limitação no tamanho mínimo de característica, bem como restrições a reflexões múltiplas torna esta uma computação desnecessariamente cara. É mais prático em vez disso usar uma função de geração específica que é então replicada por toda a superfície do difusor. Esta função pode ser genérica, tal como uma Gaussiana, em cujo caso as estatísticas devem ser preferencialmente restritas em uma forma essencialmente não Gaussiana para satisfazer as restrições de concepção. Alternativamente, a função pode ser um núcleo gerador que satisfaz localmente a propriedade de ergodicidade desejada.

[0080] Uma vez que uma função de geração é identificada, a função pode ser replicada em duas dimensões a fim de preencher a superfície. Qualquer superfície curvada 2D pode ser representada por uma matriz 2D de valores que representam a altura da superfície. Por exemplo, os valores de pixel na Figura 22 representam a altura da superfície em cada ponto. Para preencher a matriz inteira, podem ser agrupadas funções geradoras. Dois métodos computacionalmente baratos e diretos para preencher uma matriz com múltiplas cópias da função geradora são substituição e adição. A substituição consiste em substituir os valores de pixel dentro de uma seção da matriz final com valores de pixel da função geradora. Em regiões onde podem se sobrepor duas funções geradoras, uma delas pode ser truncada. A Figuras 24A é um gráfico 2400 que ilustra funções sobrepostas truncadas 2410 e 2420. Os resultados de sobreposição em uma

faceta vertical 2430 que tem que ser corrigida para evitar fontes de dispersão múltiplas. Isto pode ser obtido pela substituição da faceta vertical com uma faceta 2440 que direciona luz para fora do lugar geométrico de difusão, ou seja, com inclinação maior do que θ_c , mas ainda suficientemente pequena para evitar uma segunda reflexão. Adição consiste de somar os valores de pixel da função geradora aos valores de pixel da matriz total. A Figura 24B é um gráfico 2450 que ilustra a adição de valores de pixel das funções geradoras 2460 e 2470 aos valores de pixel da matriz total. Deve ser notado que a altura da função geradora é negativa e que a altura=0 é indicada pela linha 2490. Para garantir transição suave e contínua a altura e inclinação da função geradora devem se aproximar de zero na borda 2480. A vantagem desta técnica é que não existem facetas nas bordas e assim em princípio é possível fazer melhor uso da luz disponível. Entretanto, em média a adição leva a uma redução na relação de aspecto média e, por conseguinte a um aumento no ganho do difusor e, portanto tem que ser corrigida para isso como discutido abaixo.

[0081] Informado pela exploração de difusores randômicos, mesmo quando a característica de dispersão de geração tem um ângulo de corte que evita uma segunda reflexão com a superfície, ocorrem múltiplas reflexões quando dois picos interagem de uma forma previsível (ou seja, quando eles se sobrepõem exatamente ou quando eles se aproximam muito). Com estatísticas Gaussianas estas situações são passíveis de ocorrer para alguma porcentagem finita das características. Portanto, uma técnica direta para aumentar o contraste é modificar as estatísticas das posições de pico

de uma forma essencialmente não Gaussiana para evitar os eventos não desejados. A forma mais simples de fazer isto é limitar a translação randômica dos picos de modo que eles não possam se sobrepor. A translação ainda tem que ser grande o suficiente para esconder estatisticamente a característica básica hexagonal do reticulado.

[0082] A derivação de uma lente difusora 2D é ligeiramente mais complicada do que girar a curva 1D. Assumindo uma distribuição simétrica axialmente, a equação diferencial que descreve θ como uma função de r é:

$$\frac{\text{flux}}{\text{steradian}} = \frac{I_0 r dr}{\sin \theta d\theta} = \alpha \mathcal{D}(\theta) \quad 3)$$

[0083] onde $\mathcal{D}(\theta)$ é a função de distribuição desejada, I_0 é o fluxo incidente por unidade de área, e α é uma proporcionalidade constante. Para computar α , o fluxo incidente total no núcleo gerador é igual a integral da função de distribuição sobre todos os ângulos sólidos:

$$I_0 \pi (r_M^2 - r_m^2) = 2\pi \int_0^{\theta_c} \alpha \mathcal{D}(\theta) \sin \theta d\theta \quad 4)$$

onde r_m é o raio interno do núcleo gerador (que pode ser igual a 0), r_M é o ângulo externo do núcleo gerador, e θ_c é o ângulo de corte da função de distribuição. Uma vez que θ é conhecido como uma função de r , o próximo passo é integrar a inclinação da superfície para descobrir a altura da superfície:

$$\frac{dz}{dr} = \tan \frac{\theta}{2} \quad 5)$$

[0084] Em geral, esta integração é bastante difícil de realizar analiticamente, mas pode ser alcançada numericamente de forma relativamente fácil. As Figuras 25A a 25C são gráficos de várias soluções ilustrativas para as equações 3 a 5 para $\mathcal{D}(\theta) = \cos(\theta)$, ou seja, um núcleo gerador ou difusor lambertiano. A Figura 25A é um gráfico 2500 de

uma solução gerada em uma região circular de raio máximo $r_M=1$, com a inclinação máxima em sua borda externa. A Figura 25B é um gráfico 2510 de uma solução ilustrativa gerada em uma região anelar com raio interno $r_m=1$ e raio externo $r_M=1,5$. A inclinação máxima na região 2510 ocorre na superfície interna e assim as duas soluções podem ser unidas sem emendas para formar uma solução 2550. A Figura 25C é um gráfico 2550 de um núcleo gerador ilustrativo gerado pela combinação das soluções 2500 e 2510. Seguindo este procedimento, perfis de difusão arbitrários, $\mathcal{D}(\theta)$, são possíveis, sujeitos às limitações mencionadas acima no ângulo de corte.

[0085] A Figura 26 é um gráfico 2600 que ilustra o ganho simulado através do rastreamento não sequencial de um raio para um núcleo gerador lambertiano 2D.

[0086] A Figura 27 é um gráfico 2700 da média calculada radialmente do ganho para o núcleo gerador da Figura 26. Preencher completamente uma tela com uma solução 2550 (como mostrado na Figura 25C) apresenta os problemas de eliminar substancialmente espaços vazios, mas com distorção mínima para o núcleo gerador.

AGRUPANDO OS NÚCLEOS GERADORES

[0087] Uma forma de preencher uma tela com núcleos geradores de engenharia é agrupar os núcleos geradores em uma configuração reticulada, por exemplo, um reticulado quadrado, hexagonal ou de qualquer outra forma regular.

[0088] A Figura 28 é um diagrama esquemático que ilustra uma configuração reticulada hexagonal ilustrativa 2800. Como discutido acima, entretanto, é indesejável espaço vazio a fim de usar otimamente a luz disponível para evitar um aumento na refletividade especular ("pico" na

refletividade). Para eliminar substancialmente o espaço vazio, os núcleos geradores 2802 em um reticulado hexagonal 2800 podem ser submetidos à sobreposição. Por exemplo, para eliminar espaço vazio em uma tela que usa um reticulado hexagonal 2800 de núcleos geradores com um diâmetro de célula unitária de $2/\sqrt{3}$, aproximadamente 20,9% das áreas de célula unitária devem se sobrepor.

[0089] A Figura 29 é um diagrama esquemático que ilustra a sobreposição de célula unitária 2910 do reticulado hexagonal 2900 dos núcleos geradores.

[0090] A Figura 30 é um diagrama que ilustra a sobreposição de célula unitária 3010 de uma rede cruzada quadrada 3000. Um reticulado quadrado 3000 pode exigir uma célula unitária adicional menor 3020 para preencher espaço, com o raio da célula unitária menor sendo uma função do raio da célula unitária maior 3030. No reticulado quadrado 3000 as configurações mostradas na Figura 30, uma sobreposição de 17,9% é ótima. Como discutido abaixo, a sobreposição de núcleos geradores modifica o ganho da estrutura combinada. A mudança no ganho é uma função da distância centro a centro dos núcleos geradores individuais vizinhos mais próximos que, por sua vez, é uma função do azimute dentro do reticulado. Portanto, um reticulado perfeito tem um desvio na distribuição de dispersão que reflete a disposição local dos núcleos geradores. Por exemplo, um reticulado hexagonal tem simetria de seis vezes nas quais os vizinhos mais próximos de um dado ponto são distribuídos em volta daquele ponto a cada 60° . Consequentemente, a distribuição dispersa terá uma modulação azimutal com uma periodicidade de 60° cuja amplitude é proporcional a quantidade de sobreposição

dos núcleos geradores. Malhas cruzadas regulares de núcleos geradores podem levar a moiré, difração e outros efeitos não desejados. Modificar o reticulado regular para obter mais randomização, por exemplo, através do uso de um reticulado hexagonal com pontos de reticulado randomizados, reduz estes efeitos. Sobreposição adicional pode resultar da randomização de um reticulado regular. Também, neste caso se torna praticamente impossível pré-corrigir a sobreposição das estruturas.

[0091] A Figura 31 é um diagrama esquemático de um reticulado hexagonal 3100 que permite $0,1\ell$ de randomização do ponto central. Esta configuração produz uma área de sobreposição 3110 de 60%.

[0092] A Figura 32 é um diagrama 3200 de um reticulado hexagonal com células menores 3220 dispersas intermediárias as células maiores 3230, o que resulta em uma área de sobreposição muito menor 3210 de 9,4%. A disposição das células na Figura 32 permite maior randomização.

[0093] Outras técnicas também podem ser usadas para reduzir o efeito do reticulado. Por exemplo, pelo uso de uma célula unitária maior compreendida de múltiplos núcleos geradores para o agrupamento inicial, a quantidade de randomização necessária para esconder a estrutura do reticulado no perfil de dispersão pode ser reduzida. O reticulado hexagonal tem uma simetria rotacional de seis vezes, mas se elementos de dois reticulados hexagonais separados são combinados com uma rotação de 30° entre eles, então a simetria é aumentada para 12 vezes. Isto pode ser obtido por qualquer quantidade de conjuntos finitos de mosaicos semi- e meio-regulares. Mosaicos semi- e meio-

regulares tipicamente compreendem múltiplos polígonos (por exemplo, triângulos e quadrados) e, por conseguinte tamanhos das características para preencher o reticulado, o que fornece variação adicional da altura e orientação das características de dispersão e reduz interferência. A Figura 33A é um diagrama esquemático 3300 que ilustra um padrão de mosaico semi-regular. A Figura 33B é um diagrama esquemático 2250 que ilustra a célula unitária deste agrupamento, a qual consiste de dois componentes de reticulado hexagonal 3360 e 3370 bem como três reticulados quadrados 3380. Os vértices dos polígonos indicam os centros de funções geradoras. A orientação angular das direções dos vizinhos mais próximos neste mosaico é 0, 30, 60, 90, 120...330 ao contrário de 0, 60, 120...300 para o reticulado hexagonal regular. Além disso, os elementos quadrados introduzem um conjunto de ângulos adicional: 15, 45, 75...345. As Figuras 33C e 33D são diagramas esquemáticos que ilustram vértices dos polígonos 3390 e 2296 (e centros de funções geradoras). A distância de repetição da estrutura é ainda significativamente menor do que um pixel.

[0094] Agrupamentos pseudo randômicos arbitrariamente grandes podem ser gerados pela execução de uma simulação de Monte Carlo 2D de fusão de cristal. Tais métodos são bem conhecidos para o estudo de interações de discos rígidos bem como as partículas com potenciais arbitrários de interação atrativa/repulsiva. O ponto de início da simulação para gerar um reticulado 2D de partículas em uma grade regular. O ponto de início da simulação é gerar um reticulado 2D de partículas em uma grade regular. Uma partícula randômica então é selecionada do conjunto e

transladada uma pequena quantidade fixa. Se a translação resulta em uma região que não é coberta por qualquer disco, então o movimento é rejeitado. Se a translação resulta em uma redução na quantidade total de sobreposição das partículas então esta é aceita. Se a quantidade total de sobreposição aumenta, então o movimento é aceito com uma probabilidade que é inversamente proporcional a quantidade de aumento. Este processo é repetido até que o sistema alcance equilíbrio. Tipicamente, quando restrições de arrumação são enfatizadas em tal simulação, esta irá convergir para um reticulado hexagonal. Portanto, a fim de suprimir cristalinidade ao mesmo tempo em que minimiza a sobreposição de partículas, é útil adicionar uma mudança randômica no tamanho da partícula para a etapa de Monte Carlo (sujeita a restrições similares).

[0095] A Figura 34 é um diagrama esquemático 3400 de randomização através de deslocamento horizontal. Deslocamentos gerados uniformemente podem garantir que a superfície seja totalmente coberta, como mostrado em 3400.

[0096] A Figura 35 é um gráfico 3500 da distribuição de probabilidade para o deslocamento de centro a centro da célula para uma superfície com deslocamento horizontal randomizado como mostrado na Figura 34. Como mostrado no gráfico 3500, o deslocamento máximo para estruturas adjacentes é 2,0 e o deslocamento médio é 0,905.

[0097] Uma estrutura genérica, por exemplo, um pico Gaussiano, não produz necessariamente a distribuição de dispersão ideal. Em vez disso, as estatísticas do tamanho e posição da estrutura podem ser controladas de modo que a distribuição é obtida por algumas quantidades relativamente

grandes de características. Para casos onde é difícil projetar especificamente a célula unitária de um difusor, por exemplo, difusores holográficos ou gravados, uma característica genérica tal como um pico Gaussiano é útil para determinar parâmetros de concepção. Uma célula, de núcleo gerador, ou microestrutura que compreende uma pluralidade de núcleos geradores, deve idealmente ter uma inclinação de aproximação zero a certo raio de corte, a fim de permitir que células sejam unidas sem emendas. Um núcleo gerador ideal, um núcleo gerador projetado, ou microestrutura que compreende uma pluralidade de núcleos geradores, também deve preferencialmente ser ergódica, pelo fato de que o núcleo gerador produz individualmente a função de distribuição inteira desejada. Um núcleo gerador que produz uma distribuição lambertiana é localmente ergódica. Uma função geradora ergódica ajuda a garantir as variações de intensidade sobre a superfície do difusor são minimizadas.

[0098] As características de difusão de um pico Gaussiano isolado são modeladas pela equação a seguir:

$$z(r) = z_0 e^{-r^2}$$

[0099] A inclinação máxima do pico Gaussiano isolado ocorre a $r = \frac{1}{2}$. O ângulo refletido máximo é:

$$\theta_{\max} = 2 \tan^{-1}(\sqrt{2} z_0 e^{-1/2})$$

[0100] Para produzir uma inclinação de corte de θ_c , seleciona-se z_0 :

$$z_0 = \frac{\tan(\theta_c / 2)}{\sqrt{2}} e^{-1/2}$$

[0101] Novamente, picos adjacentes podem causar reflexões duplas dependendo de θ_c e proximidade, mas para θ_c menor do que $\sim 80^\circ$, não existem reflexões múltiplas (exceto por picos que se sobreponem) como mostrado na Figura 20.

[0102] A Figura 36 é um gráfico 3600 de ângulo de difusão como uma função de separação dos picos Gaussianos.

[0103] A Figura 37 é um gráfico 3700 que ilustra o ângulo de corte de uma estrutura com características Gaussianas de sobreposição.

[0104] No caso de núcleos de geração de engenharia, as células unitárias sobrepostas e randomização da localização de células unitárias pode resultar em problemas similares revelados acima, por exemplo, reflexões duplas e mudanças no perfil de ganho. Pela escolha do método aditivo de posicionar células unitárias dentro da matriz, a chance de reflexões duplas é substancialmente eliminada, deixando a mudança no perfil de ganho para corrigir.

[0105] As Figuras 38A e 38B são gráficos 3800 e 3850 que ilustram sobreposição de difusores lambertianos de engenharia em duas configurações de amostra. As linhas 3810, 3811 e 3812 representam superfícies lambertianas. A linha 3820 representa a soma das linhas 3811 e 3812, que indicam que o ganho da superfície de soma seja muito alta na configuração 3800. Quando os núcleos geradores são movidos ainda mais próximos na configuração 3850, a linha 3820 é empurrada ainda adicionalmente para baixo, o que indica que o ganho é ainda maior.

[0106] Uma forma de endereçar este problema é pré-corrigir os núcleos geradores para sobreposição. As Figuras 39A e 39B ilustram um método de pré-correção dos núcleos geradores para endereçar sobreposição. O núcleo gerador A, gerado pela linha giratória a, é ergódico; o núcleo gerador B, gerado pela linha giratória b, é ergódico; e o núcleo

gerador C, gerado pela linha giratória c, é tão próximo de ergódico quanto possível, sujeito a restrição

$$c'(r_{\text{Max}}) = 0$$

onde

$$b(r) + b(r-1) = c(r); \quad (r < 1/2).$$

$$b'(r) + b'(r_{\text{Max}} - (r - r_{\text{Min}})) = c(r)$$

$$(b'(r) - b(r))2 + (b' r_{\text{Max}} - (r - r_{\text{Min}}) - b(r_{\text{Max}} - r_{\text{Min}}))2.$$

[0107] A Figura 40 é um gráfico 4000 da célula pré-corrigida com sobreposição de difusor lambertiano. As linhas 4010 e 4020 representam o objetivo de forma do difusor. A Linha 4030 é a solução que produz a linha 4020 ao mesmo tempo em que minimiza o desvio da linha 4010. Embora o cálculo não pré-corrija completamente a sobreposição em um perfil de ganho arbitrário, os resultados são altamente suficientes. Neste caso, a inclinação é zero nas bordas do núcleo gerador. O perfil de ganho tem um corte agudo a 80° , que resulta em substancialmente nenhuma difusão abaixo de 80° .

1. Na medida em que a pré-correção de sobreposição do perfil de núcleo gerador não é suficiente, uma etapa adicional pode ser tomada para chegar ao perfil de difusão desejado. A Figura 41A é um gráfico 4100 de um perfil de ganho de exemplo 4110 que mostra separadamente as contribuições a partir das regiões de sobreposição 4120 e regiões sem sobreposição 4130 depois da estrutura ter sido randomizada. Na medida em que a pré-correção da região de sobreposição é imperfeita, o ganho total não segue o ganho alvo como mostrado pelas linhas 4110. As regiões sem sobreposição também podem ser pré-corrigidas explicar o erro. A Figura 41B mostra um gráfico de um exemplo de perfil de ganho no qual as regiões de sobreposição e sem

sobreposição tem correções complementares de modo que o ganho total é igual a ganho alvo. O ganho total pode ser escrito:

$$G(\theta) = G_a(\theta)A_a + G_b(\theta)A_b,$$

onde $G(\theta)$ é o ganho alvo, $G_a(\theta)/G_b(\theta)$ são curvas de ganho associadas com regiões de sobreposição e sem sobreposição do núcleo gerador, e A_a/A_b são as áreas das regiões de sobreposição e sem sobreposição respectivamente. Na medida em que $G_b(\theta) \neq G(\theta)$, pode-se resolver uma contribuição de ganho corrigido na região sem sobreposição, $G'_a(\theta)$

$$G'_a(\theta) = \frac{G(\theta) - G_b(\theta)A_b}{A_a}.$$

[0108] As equações 3 a 5 têm que ser resolvidas a fim de achar a forma correta para a região do núcleo gerador não sujeita a sobreposição. A soma 4160 de ambas as regiões pré-corrigidas, as regiões de sobreposição 4170 e sem sobreposição 4180, substancialmente iguala o perfil de ganho alvo. Em contraste ao método de concepção iterativo descrito por Morris, este é um procedimento determinístico que alcança a concepção ótima em uma quantidade fixa de etapas, ou seja, concepção de núcleo gerador na região de sobreposição, pré-correção de núcleo gerador na região de sobreposição, e concepção de núcleo gerador na região sem sobreposição.

[0109] O uso de núcleo gerador de engenharia como descrito acima reduz significativamente o problema de aparência granulada associado com telas prateadas convencionais. Devido a cada núcleo gerador individual mapear substancialmente o perfil de difusão inteiro, as flutuações espaciais em larga escala devido a variação estatística são largamente evitadas, mesmo para ângulos de inclinação grandes, ou seja, cada núcleo gerador individual

tem pelo menos duas regiões que contribuem para a intensidade em qualquer dado ângulo azimutal.

[0110] A randomização da altura da superfície do difusor pela adição de alguma forma de ruído pode ser usada para endereçar o problema de pontilhado coerente próximo à direção de retro-reflexão. A amplitude desta randomização deve ser algum múltiplo pequeno de um tamanho de onde a fim de subir a fase da luz refletida.

[0111] Os benefícios práticos e considerações associados com fornecer uma tela de acordo com a presente revelação incluem custo mínimo por área, uniformidade espacial em desempenho, confiabilidade de desempenho consistente em fabricação, e robustez no manuseio e limpeza.

[0112] O custo do material de tela pode ser minimizado alavancando os processos rolo a rolo existentes tanto quanto possível. A infra-estrutura para fabricar bobina de material de tela otimizado pode incluir aparelho que realiza micro gravação em relevo, metalização, revestimentos dielétricos transparentes (revestimento rígido), corte e perfuração de precisão (para transmissão acústica). Existem atualmente processos de gravação em relevo rolo a rolo que são livres de (na direção transversal) emendas abaixo da trama associado com calços de níquel convencionais. De acordo com o processo de fabricação preferencial, gravação em relevo UV com um tambor de gravação em relevo sem emenda produz material difusor contínuo. De acordo com este processo, bobina de difusor é facilmente convertida para telas acabadas pela junção de tais tiras. Usando corte rolo a rolo de precisão, tais tiras podem ser unidas com juntas de topo que dão frestas suficientemente

pequenas que parecem ser substancialmente não visíveis no teatro. Com esta abordagem, um processo auxiliar de junção de filme pode ser usado para fabricar telas de cinema acabadas. Este processo deve preferencialmente fornecer junta com resistência e confiabilidade suficientes quando a tela é montada ou esticada na moldura. A emenda (e qualquer área circundada impactada pelo processo de junção) deve preferencialmente ser suficientemente pequena que não seja perceptível para a audiência.

[0113] Um potencial benefício da junção do filme antes do revestimento (por exemplo, pintura pulverizada de flocos de metal) é que camadas oticamente espessas podem aplinar pequenas características. Na prática, juntas em tais telas são frequentemente perceptíveis porque existe um "degrau" assimétrico na emenda. Devido à alta reflexão espelhada, a faceta macroscópica associada cria uma grande ruptura na dispersão angular da luz. Quando o material é liso ao longo da junta (por exemplo, como uma junta de topo), emendas são geralmente não perceptíveis quando a fresta fica abaixo de 50 microns, e na maioria dos casos, até 100 microns. Esta provavelmente pode ser até maior quando são feitas etapas adicionais para mascarar a junta, tais como randomização do perfil da borda.

[0114] No caso em que o corte de precisão rolo a rolo não fornece precisão suficiente, outra técnica preferencial para a fabricação da tela acabada a partir de tiras revestidas, onde tiras presas verticalmente por razões de resistência, é cortar simultaneamente as lâminas de modo que elas possam ser juntadas facilmente. Isto pode ser feito pela sobreposição das lâminas e com o uso de uma única faca,

ou com o uso de um par de facas com separação fixa. Ao mesmo tempo em que isto dá relevo a partir da restrição de retidão da borda, o mesmo é um processo em lote que é substancialmente mais intensivo em mão de obra do que a abordagem de corte rolo a rolo de precisão.

[0115] Após o corte, as duas lâminas podem ser unidas, seja pela fixação das lâminas juntas localmente com um sistema de roletes de perfil adequado, ou pela translação de uma lâmina que usa uma mesa de vácuo para juntar os materiais globalmente. Com as superfícies revestidas voltadas para baixo, os filmes podem ser unidos com o uso de qualquer um dos diversos métodos, que incluem processos adesivos, químicos, ou de soldagem. Adesivos podem incluir curas UV, cura por feixe de elétrons, ou vários processos termo acionados. Ligação química pode incluir solventes, ou solventes aditivados. Processos de soldagem podem incluir vários meios de entregar energia térmica para a junta, preferencialmente laser.

[0116] Dada a ausência de área de superfície associada com uma junta de topo, é provável que possa ser usado suporte mecânico adicional para garantir resistência a junta. Isto pode ser fornecido com o uso de alguma forma de tira de suporte que cria uma junta T. A espessura e tamanho da tira de suporte podem ser selecionados para garantir que a superfície frontal da tela acabada (esticada) seja uniforme ao longo da divisão. Em alguns casos, pode ser preferível laminar a tela inteira para uma lâmina de suporte secundária, tal como um pano, que adicionalmente melhora a resistência e aparência.

[0117] Uma concepção de tela mais sofisticada de acordo com a presente revelação pode envolver controle local (específico a posição) das propriedades de difusão. Isto pode ser feito através da fabricação de rolos de material que são dedicados a locais específicos na tela. Tipicamente, isto envolve um ângulo de inclinação na direção de difusão, ou no caso de uma tela semelhante à lambertiana, uma inclinação (de primeira ordem) na localização do centróide do lugar geométrico.

[0118] Assumindo que o material da tela é feito com o uso de processamento rolo a rolo, e que as tiras são novamente presas verticalmente, é provável que a correção local seja na direção horizontal. A concepção do perfil de difusão de qualquer lâmina pode variar adiabaticamente, de modo que não existe mudança abrupta no perfil de difusão nos limites entre as lâminas. Isto permite telas muito grandes com propriedades otimizadas de difusão que variam quase continuamente na direção horizontal.

[0119] Uma tela fabricada como descrito acima poderia ter o mesmo desempenho que uma tela curvada sobre a vertical, mas em forma plana. Além disso, o desempenho efetivo de uma tela de curva composta (por exemplo, toroidal) poderia ser obtido ao curvar a tela acima referenciada em volta do eixo geométrico horizontal. Isto elimina as complicações de fabricar uma grande tela curva composta (por exemplo, fazer vácuo no volume atrás do material de tela liso/flexível).

[0120] Ao mesmo tempo em que várias modalidades de acordo com os princípios revelados aqui foram descritas acima, deveria ser entendido que as mesmas foram apresentadas

a título de exemplo apenas, e não de limitação. Desta forma, a amplitude e escopo da(s) invenção(ões) não deveria ser limitado por qualquer das modalidades ilustrativas descritas acima, mas deveria ser definida apenas de acordo com qualquer reivindicação e suas equivalentes publicadas a partir desta revelação. Além disso, as vantagens e características acima são fornecidas nas modalidades descritas, mas não devem limitar a aplicação de tais reivindicações publicadas para processos e estruturas que realizam qualquer ou todas as vantagens acima.

[0121] Adicionalmente, seções de orientações neste documento são fornecidos para consistência com as sugestões sob 37 CRF 1,77 ou de outra forma para fornecer sugestões organizacionais. Estas orientações não devem limitar ou caracterizar a(s) invenção(ões) exibida(s) em quaisquer reivindicações que possam emanar desta revelação. Especificamente e a título de exemplo, embora as orientações façam referência a um "Campo da Técnica", as reivindicações não devem ser limitadas pela língua escolhida sob esta orientação para descrever o campo assim chamado. Adicionalmente, uma descrição de uma tecnologia é técnica anterior a qualquer invenção(ões) nesta revelação. Nem o "Sumário" é para ser considerado com uma caracterização da(s) invenção(ões) demonstrada nas reivindicações publicadas. Além disso, qualquer referência nesta revelação a "invenção" no singular não deve ser usada para argumentar que existe apenas um único ponto de inovação nesta revelação. Múltiplas invenções pode ser demonstradas de acordo com as limitações das múltiplas reivindicações emitidas a partir desta revelação, e tais reivindicações definem a(s) invenção(ões)

adequadamente, e suas equivalentes, que são protegidas desse modo. Em todas as instâncias, o escopo de tais reivindicações deve ser considerado em seus próprios méritos a luz desta revelação, mas não deve ser restrito pelas orientações apresentadas neste documento.

REIVINDICAÇÕES

1. Tela de projeção **caracterizado por** compreender:

uma superfície refletiva delineada (210) que tem um perfil de dispersão predeterminado, em que a superfície refletiva delineada (210) tendo o perfil de dispersão predeterminado é operável para refletir luz incidente a partir de uma extensão de ângulo incidente predeterminada para dentro de um lugar geométrico de difusão,

em que a luz refletida a partir da extensão de ângulo incidente predeterminada para dentro do lugar geométrico de difusão sofre substancialmente não mais do que uma reflexão a partir da superfície refletiva delineada.

2. Tela de projeção, de acordo com a reivindicação 1, em que a luz incidente é luz polarizada, e **caracterizada por** a luz refletida a partir da extensão de ângulo incidente predeterminada para dentro do lugar geométrico de difusão manter o mesmo estado de polarização.

3. Tela de projeção, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, **caracterizada por** a superfície refletiva delineada compreender uma pluralidade de núcleos geradores (2500), em que cada uma da pluralidade de núcleos geradores é uma unidade estrutural da superfície refletiva delineada (210).

4. Tela de projeção, de acordo com a reivindicação 3, **caracterizada por** cada núcleo gerador satisfazer o perfil de dispersão predeterminado.

5. Tela de projeção, de acordo com a reivindicação 4, **caracterizada por** cada núcleo gerador ser operável para minimizar variação ponto a ponto na difusão.

6. Tela de projeção, de acordo com a reivindicação 3, **caracterizada por** a pluralidade de núcleos geradores satisfaçor o perfil de dispersão predeterminado.

7. Tela de projeção, de acordo com a reivindicação 6, **caracterizada por** a pluralidade de núcleos geradores ser operável para minimizar variação ponto a ponto na difusão.

8. Tela de projeção, de acordo com qualquer uma das reivindicações 3 a 7, **caracterizada por** a pluralidade de núcleos geradores satisfaçor um modelo estatístico para minimizar reflexões duplas entre núcleos geradores.

9. Tela de projeção, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 8, **caracterizada por** o lugar geométrico de difusão ser definido por uma extensão de ângulo de reflexão predeterminado.

10. Tela de projeção, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 9, em que o lugar geométrico de difusão é definido por uma região na qual reflexões dentro do lugar geométrico de difusão sofram substancialmente não mais do que uma reflexão na superfície refletiva delineada (210), e **caracterizada por** a luz refletida fora do lugar geométrico de difusão sofrer uma ou mais reflexões na superfície refletiva delineada (210).

11. Tela de projeção, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 10, **caracterizada por** a superfície refletiva delineada (210) ser operável para eliminar a luz

que sofre múltiplas reflexões de ser distribuída para dentro do lugar geométrico de difusão.

12. Tela de projeção, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 11, **caracterizada por** toda a luz que sofre mais do que uma reflexão ser distribuída para fora do lugar geométrico de difusão.

13. Tela de projeção, de acordo com qualquer uma das reivindicações 3 a 8, **caracterizada por** a pluralidade de núcleos geradores ser distribuída sobre a superfície refletiva delineada (210) para otimizar a visualização a partir de uma localização no lugar geométrico de difusão.

14. Tela de projeção, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 13, **caracterizada por** o lugar geométrico de difusão incluir substancialmente todas as localizações de visualização em um auditório.

15. Tela de projeção, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 14, **caracterizada por** a luz refletida para o lugar geométrico de difusão ser de brilho aumentado.

16. Tela de projeção, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 15, **caracterizada por** a luz refletida para o lugar geométrico de difusão ser uniforme.

17. Tela de projeção, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 16, **caracterizada por** a luz refletida para o lugar geométrico de difusão ser de contraste aumentado.

18. Tela de projeção, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 17, **caracterizada por** a superfície refletiva delineada (210) ser configurada de tal modo que a

luz refletida para o lugar geométrico de difusão satisfaz um perfil de ganho predeterminado.

19. Tela de projeção, de acordo com qualquer uma das reivindicações 3 a 8, **caracterizada por** adicionalmente compreender uma cobertura dielétrica, sendo que a cobertura dielétrica distribuída sobre a pluralidade de núcleos geradores.

20. Tela de projeção, de acordo com qualquer uma das reivindicações 3 a 8, **caracterizada por** a pluralidade de núcleos ser distribuída em um reticulado regular (2800).

21. Tela de projeção, de acordo com a reivindicação 20, **caracterizada por** o reticulado regular compreender um reticulado hexagonal.

22. Tela de projeção, de acordo com a reivindicação 20, **caracterizada por** a pluralidade de núcleos geradores ser distribuída em um padrão de mosaico.

23. Tela de projeção, de acordo com a reivindicação 20, **caracterizada por** o reticulado regular compreender centros randomizados.

24. Tela de projeção, de acordo com a reivindicação 20, **caracterizada por** pelo menos dois dos núcleos geradores serem sobrepostos.

25. Tela de projeção, de acordo com qualquer uma das reivindicações 3 a 8, **caracterizada por** pelo menos um dos núcleos geradores ser disposto para pré-corrigir um deslocamento resultante da sobreposição dos núcleos geradores adjacentes.

26. Sistema óptico, em que o sistema óptico é **caracterizado por** compreender:

uma tela de projeção conforme definida na reivindicação 1; e

um sistema de projeção que fornece luz codificada por polarização na direção da tela de projeção.

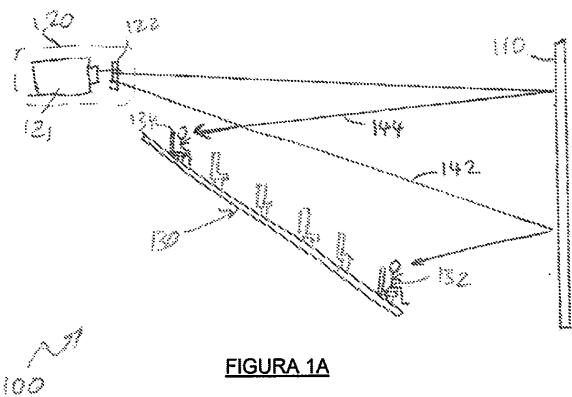


FIGURA 1A

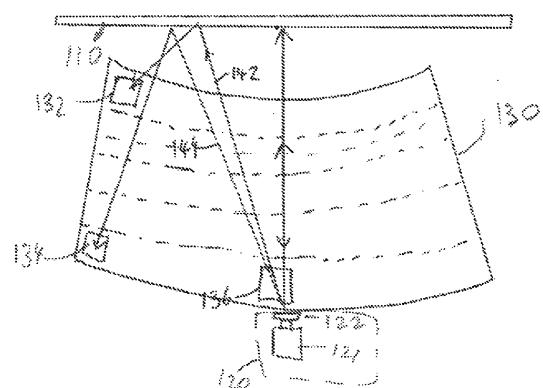


FIGURA 1B

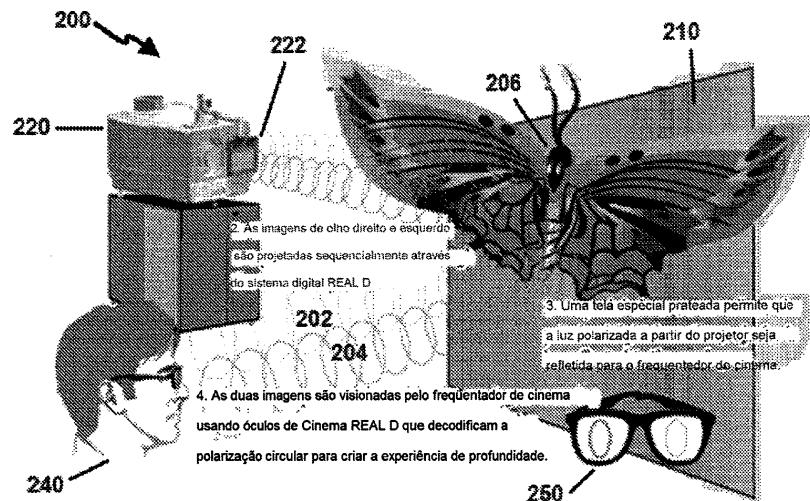
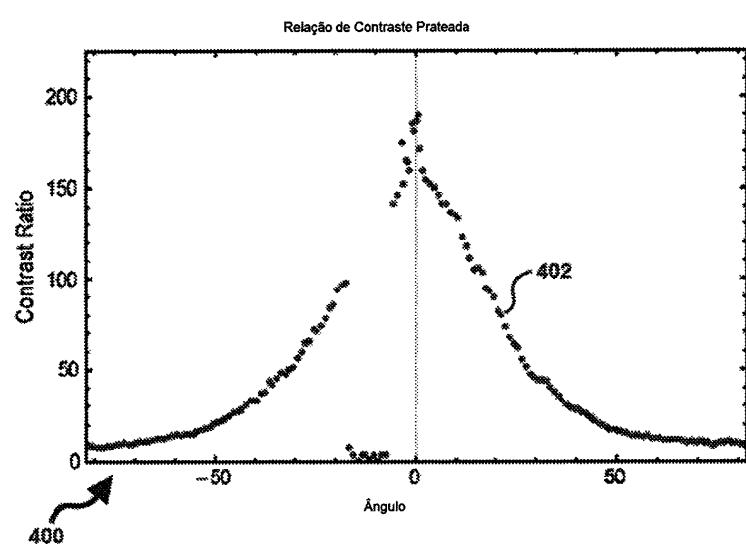
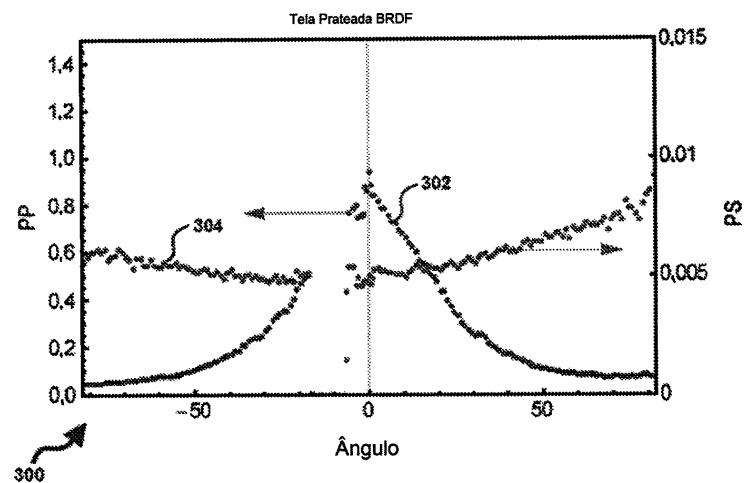


FIGURA 2



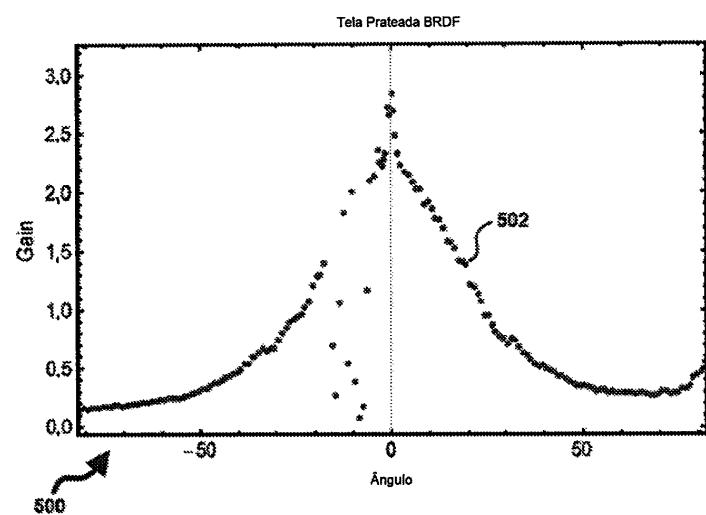


FIGURA 5

Ângulos Polares de Visualização

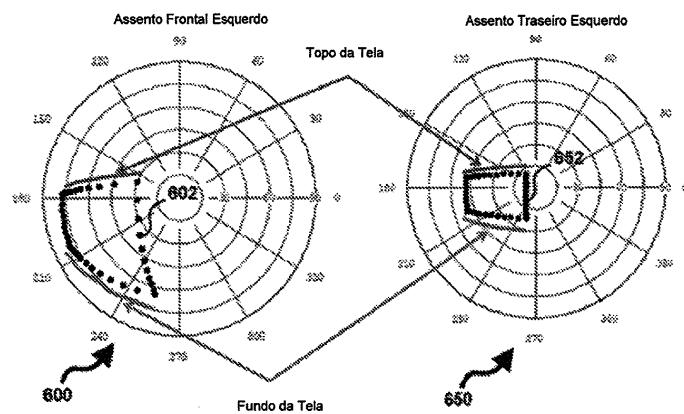


FIGURA 6A

FIGURA 6B

Composição de Todos os Auditórios
(Apenas os assentos esquerdos são
mostrados)

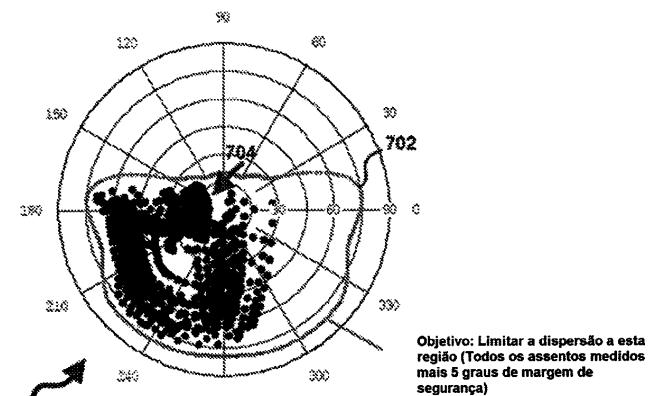


FIGURA 7

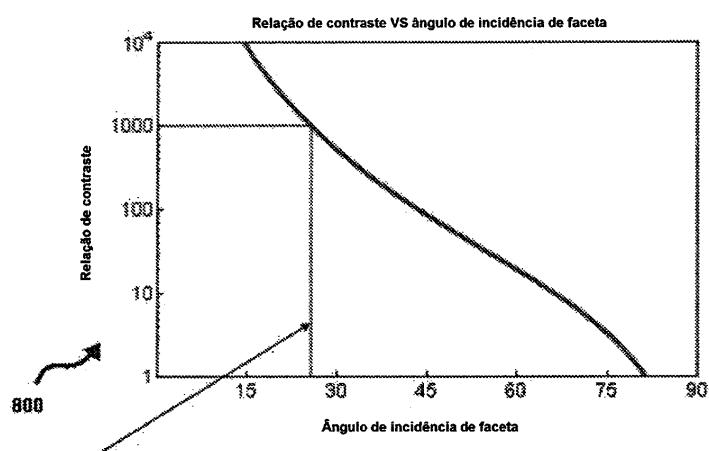
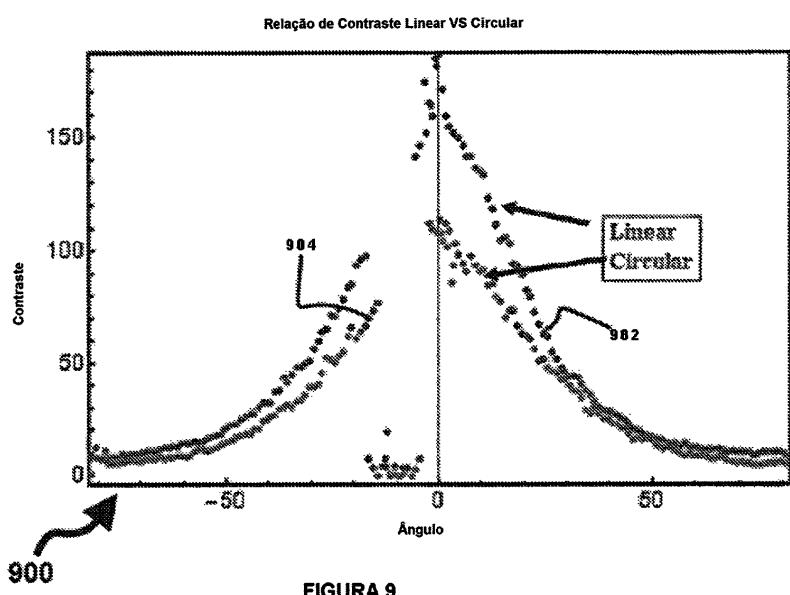
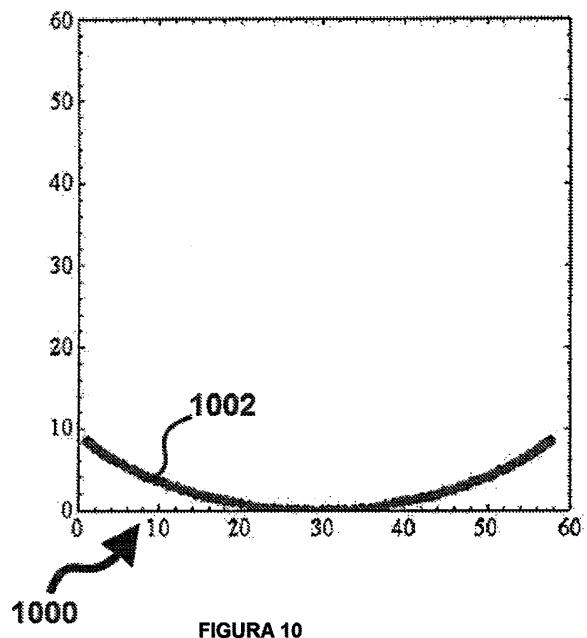


FIGURA 8





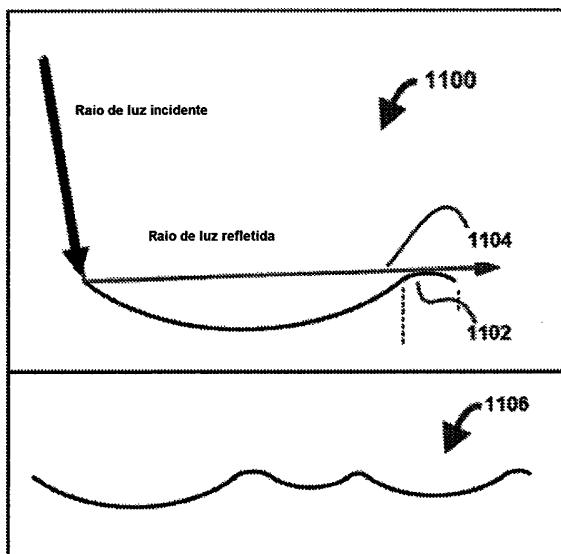


FIGURA 11

FIGURA 12A

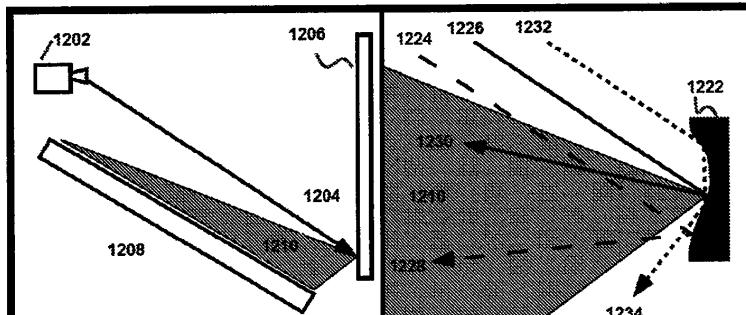


FIGURA 12B

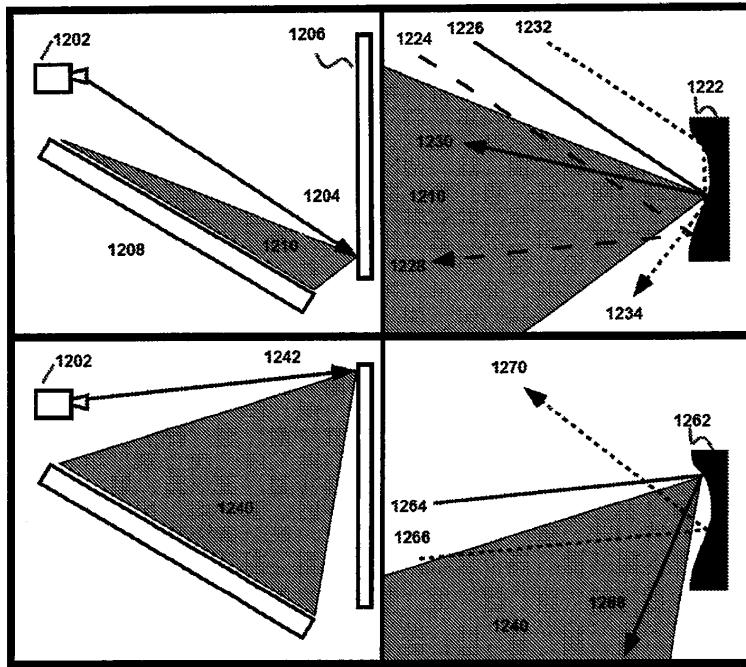


FIGURA 12C

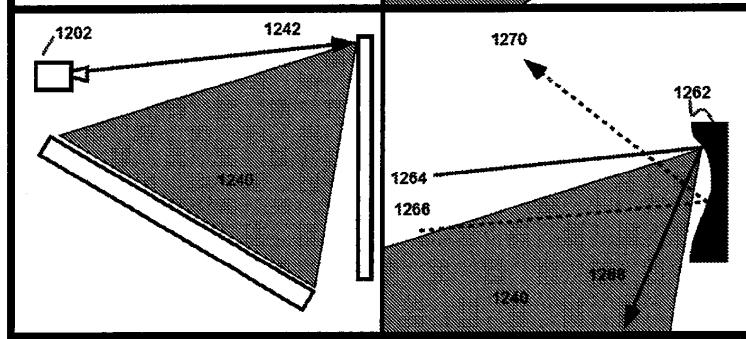
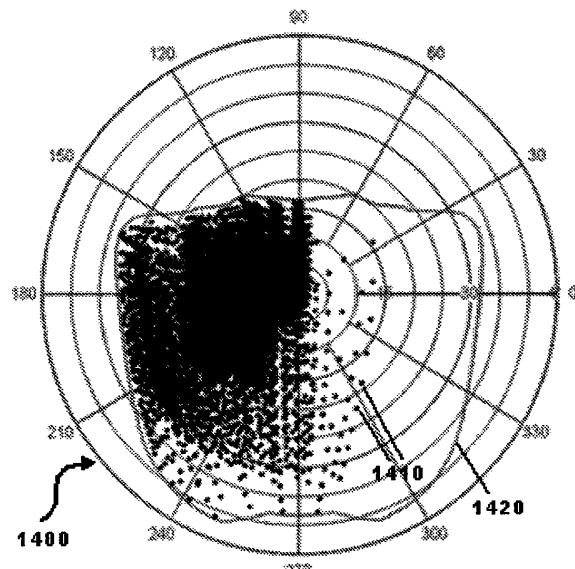
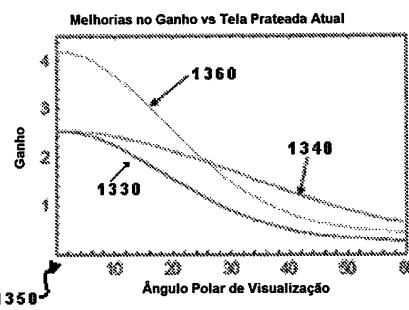
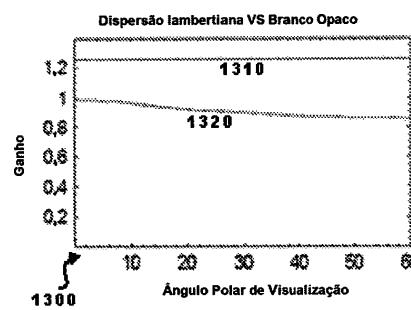


FIGURA 12D



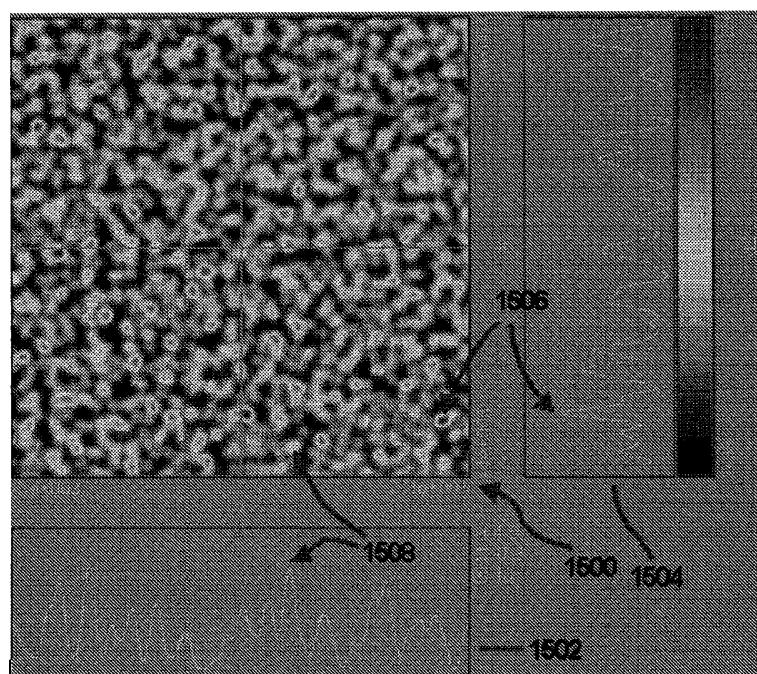


FIGURA 15

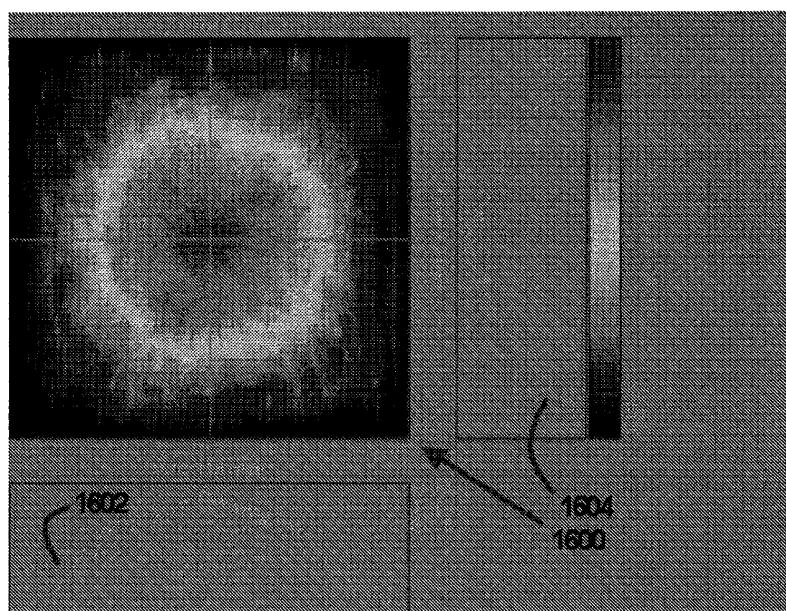


FIGURA 16

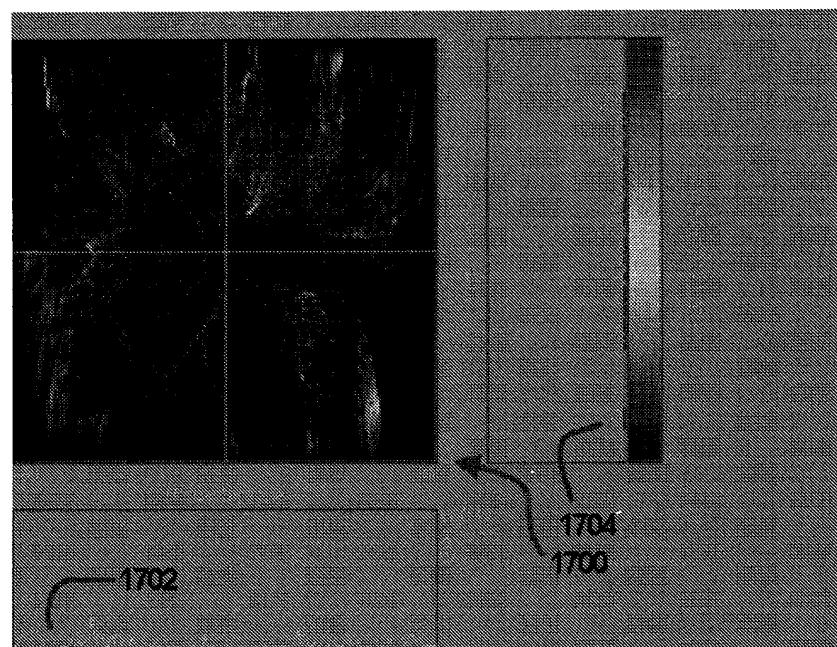


FIGURA 17

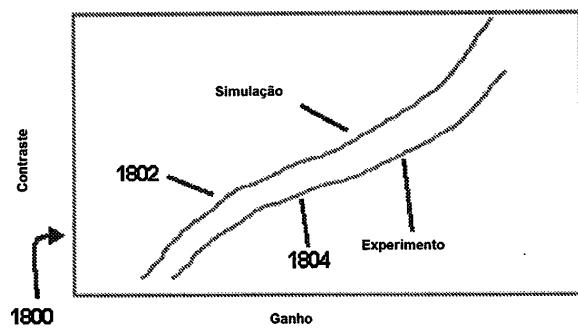
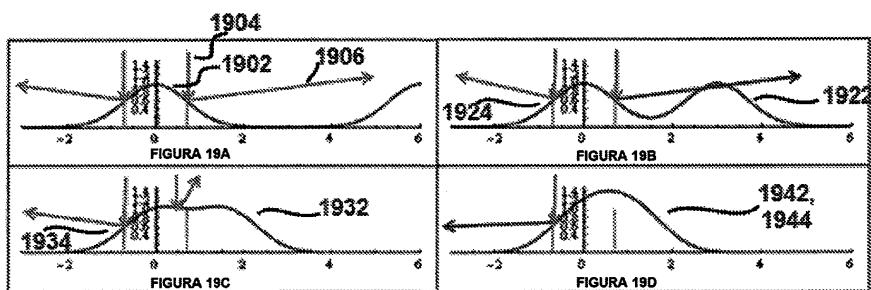


FIGURA 18



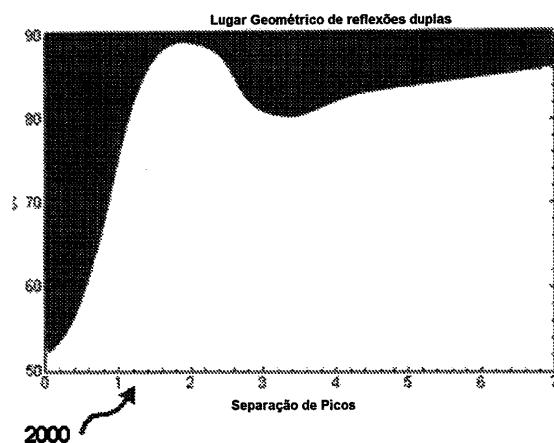
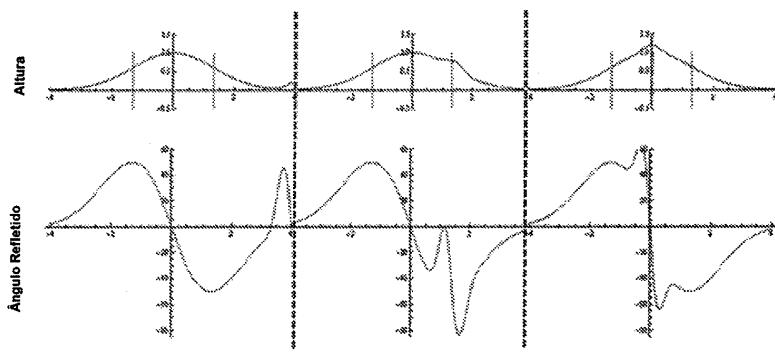


FIGURA 20



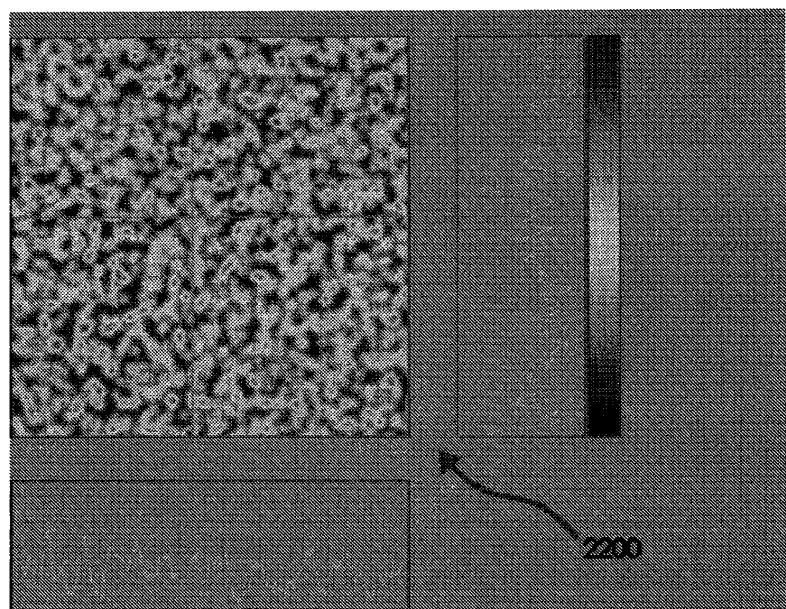
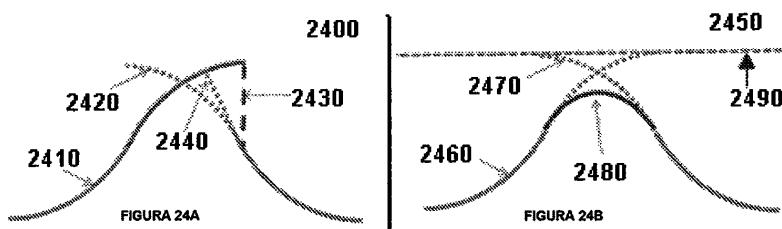
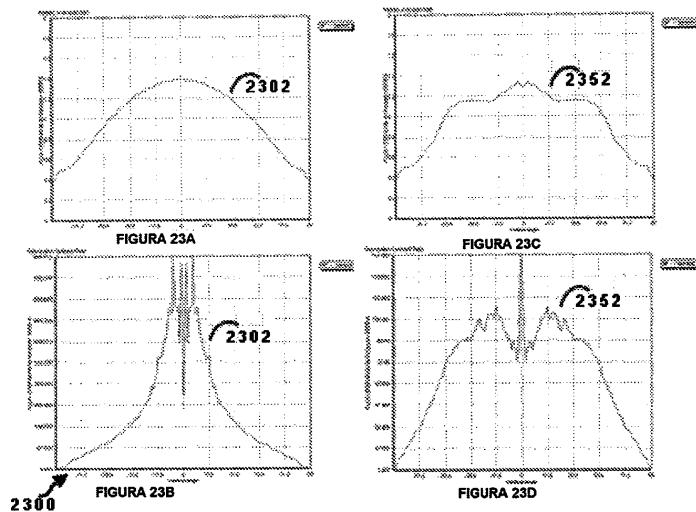
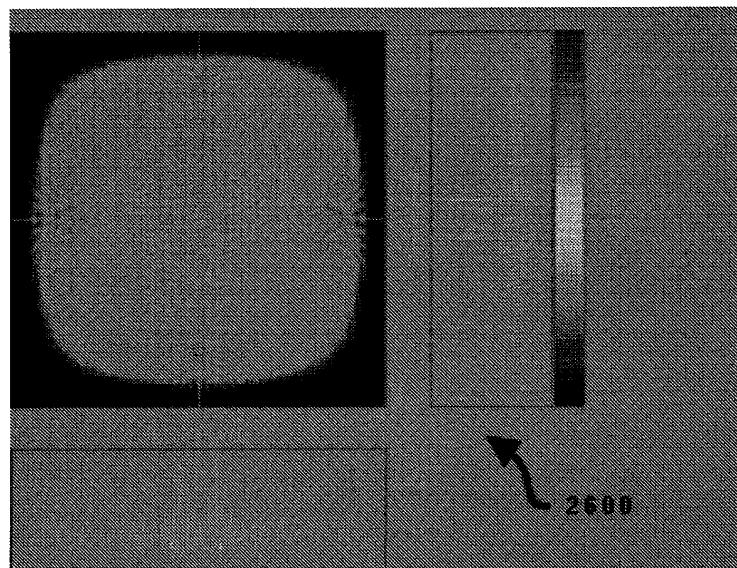
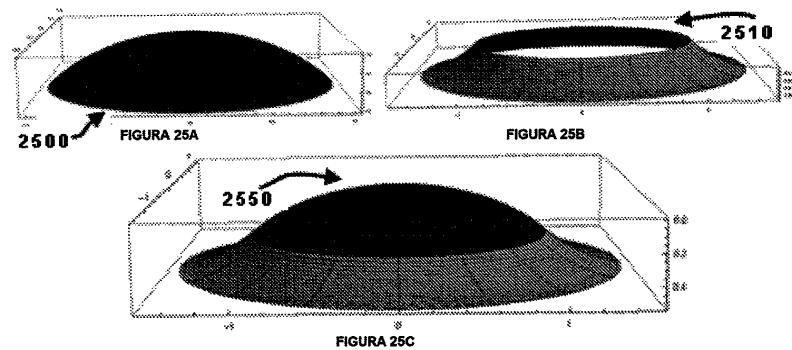


FIGURA 22





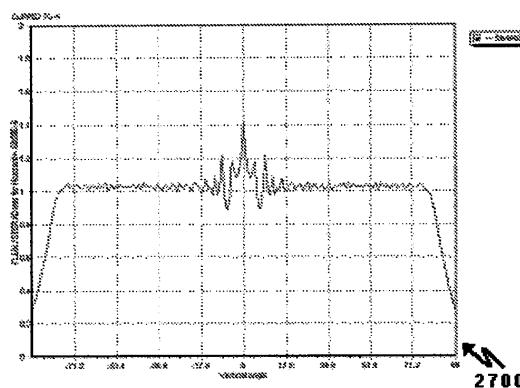


FIGURA 27

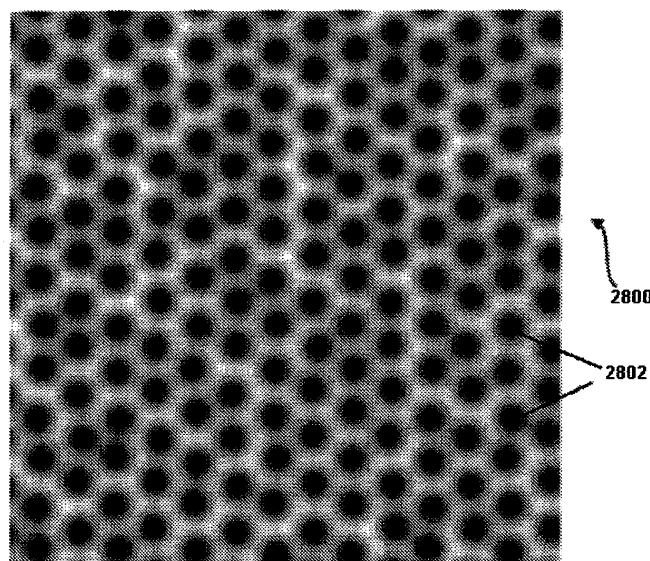


FIGURA 28

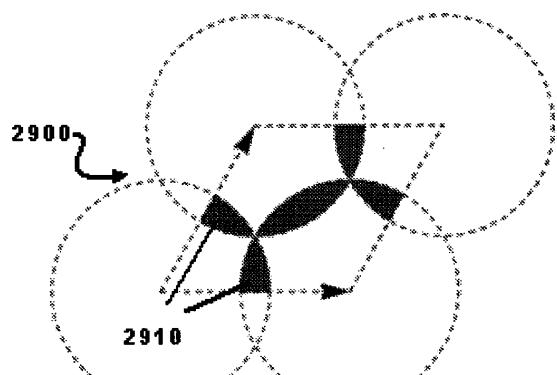


FIGURA 29

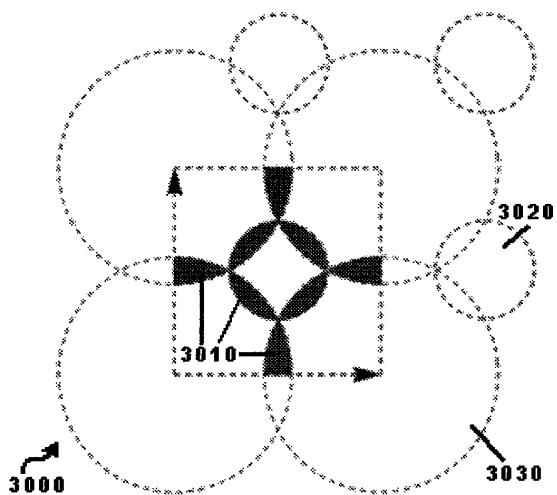


FIGURA 30

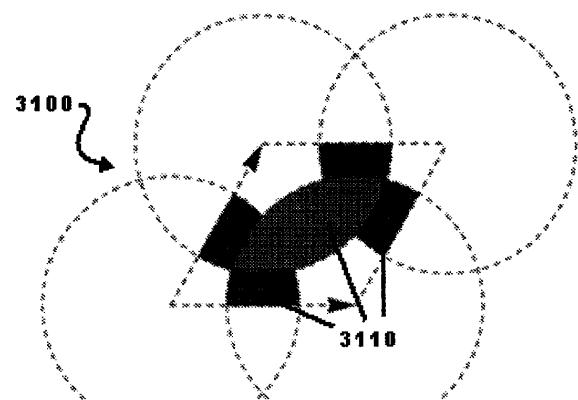


FIGURA 31

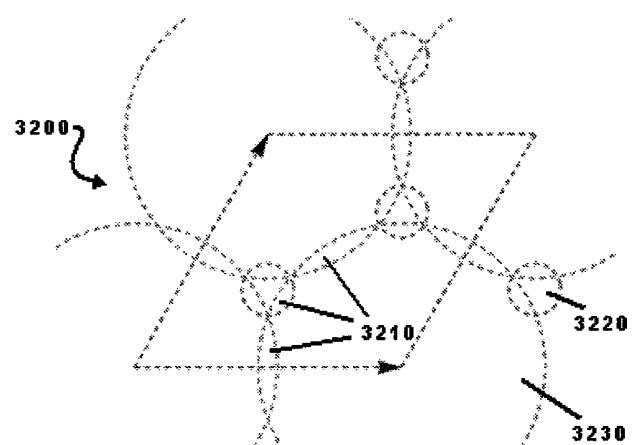
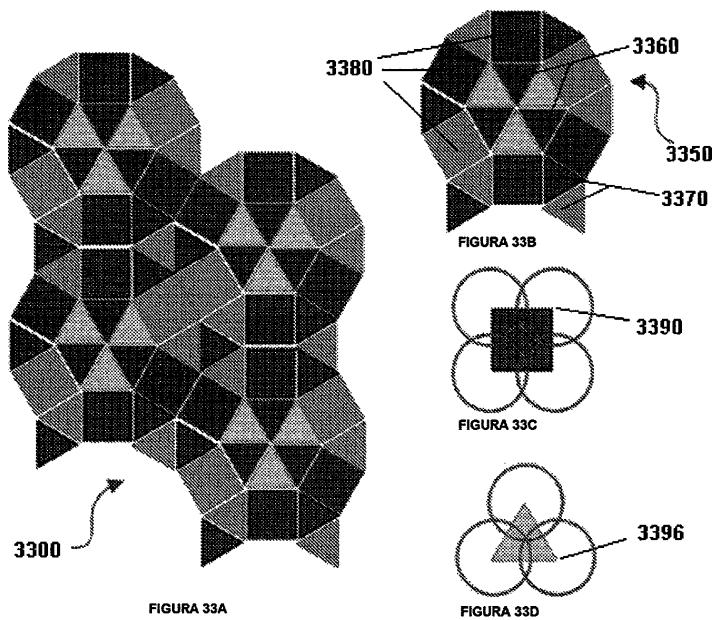


FIGURA 32



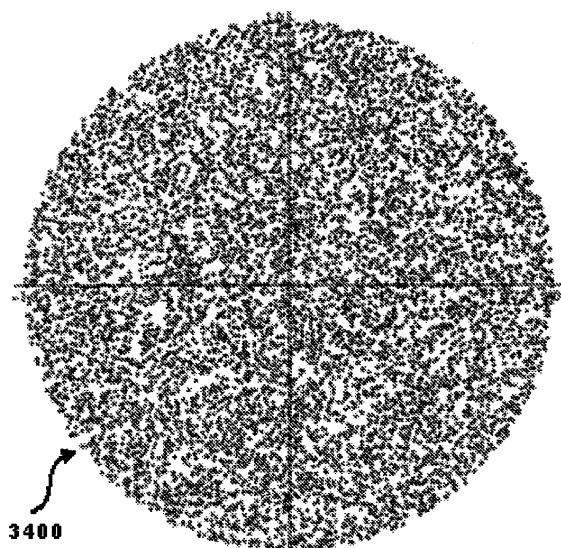


FIGURA 34

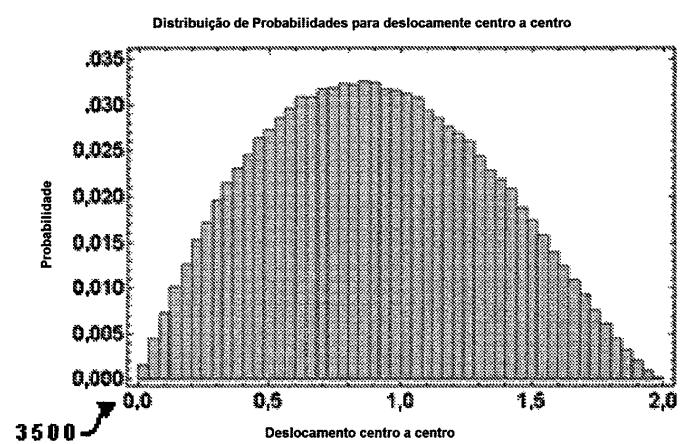


FIGURA 35

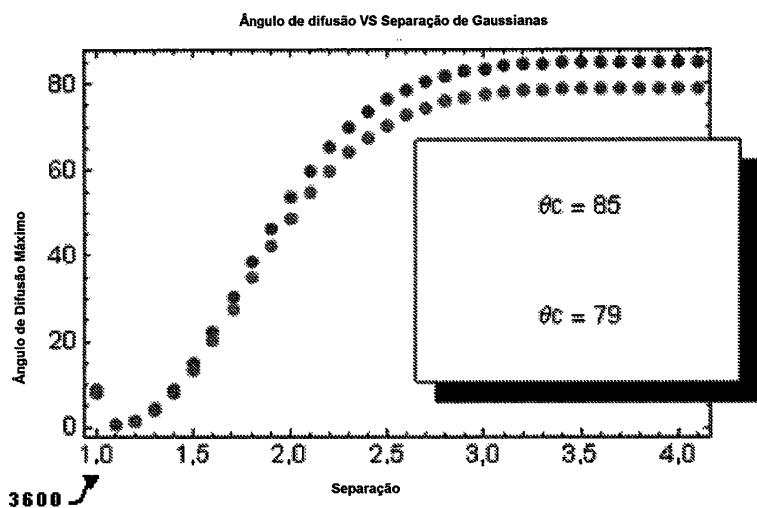


FIGURA 36

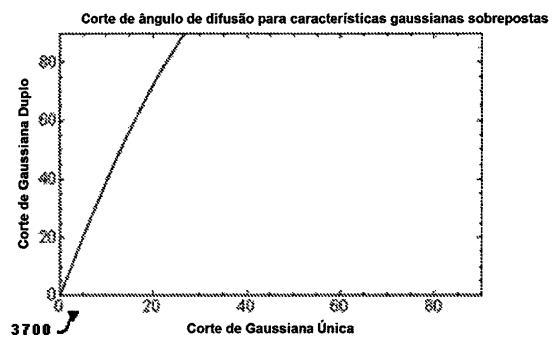


FIGURA 37

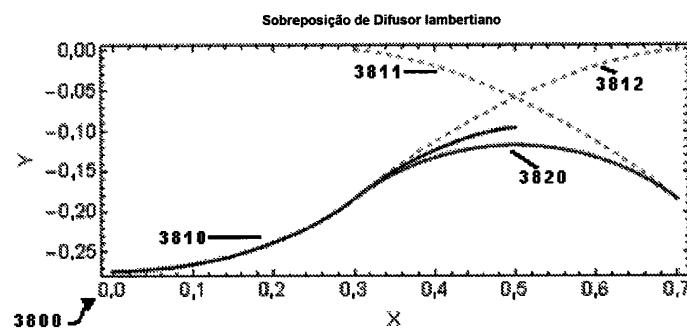


FIGURA 38A

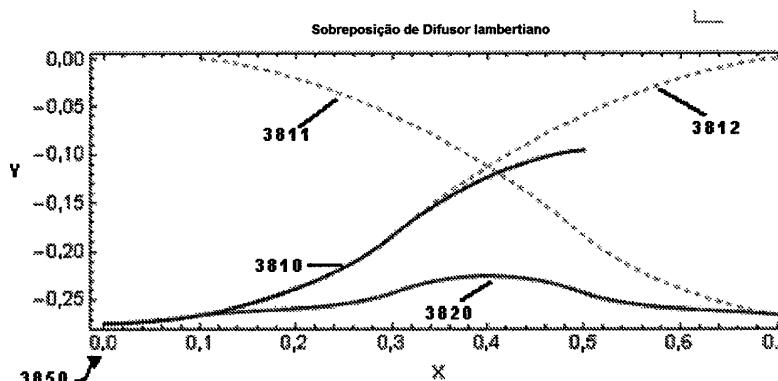


FIGURA 38B

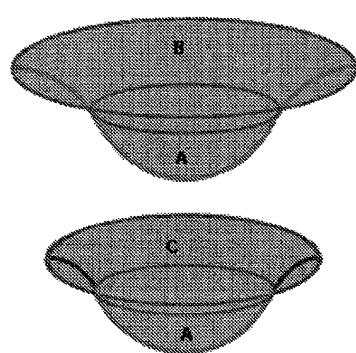


FIGURA 39A

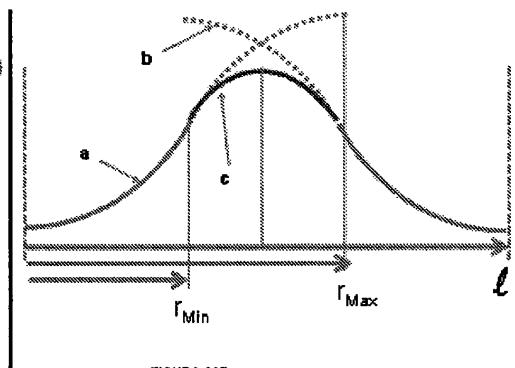


FIGURA 39B

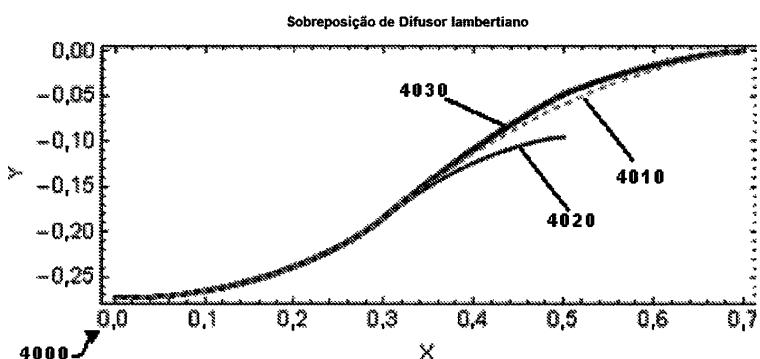


FIGURA 40

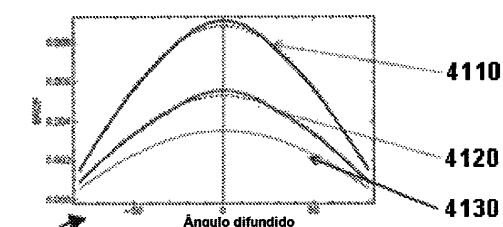


FIGURA 41A

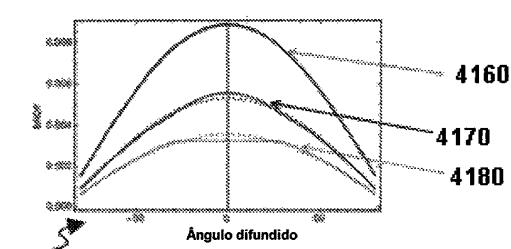


FIGURA 41B

Ganho Total
 Chave :
 ----- Ganho Alvo
 ----- Ganho Real

Região Sobreposta
 ----- Contribuição para ganho alvo
 ----- Contribuição para ganho incluindo sobreposição

Região não sobreposta
 ----- Contribuição para ganho original
 ----- Contribuição para ganho pré-corrigida

FIGURA 41