



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

**(11) BR 102016019315-0 B1**



**(22) Data do Depósito:** 23/08/2016

**(45) Data de Concessão:** 14/12/2021

---

**(54) Título:** SISTEMA E MÉTODO PARA MEDIR A DEGRADAÇÃO TÉRMICA DE COMPÓSITOS

**(51) Int.Cl.:** G01K 17/08; G01K 3/10.

**(30) Prioridade Unionista:** 16/09/2015 US 14/855,892.

**(73) Titular(es):** THE BOEING COMPANY.

**(72) Inventor(es):** PAUL H. SHELLEY JR.; GREGORY J. WERNER; MILAN MILOSEVIC.

**(57) Resumo:** SISTEMA E MÉTODO PARA MEDIR A DEGRADAÇÃO TÉRMICA DE COMPÓSITOS. A presente invenção refere-se a um sistema para medir a degradação térmica de compósitos que pode incluir um alojamento que tem um interior com uma abertura formada para expor uma área de teste do compósito a ser testada no interior; sendo que um diodo emissor de luz emite radiação principalmente ultravioleta, o diodo é montado no alojamento para direcionar a radiação ultravioleta para o interior e através da abertura; um sensor de imagem é montado no alojamento e aberto para o interior para receber radiação emitida da área de teste que passa através da abertura para o interior; e um processador de imagem conectado para receber um sinal do sensor de imagem, sendo que o processador de imagem determina uma presença ou uma ausência de degradação térmica da área de teste em resposta ao sinal.

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**SISTEMA E MÉTODO PARA MEDIR A DEGRADAÇÃO TÉRMICA DE COMPÓSITOS**".

CAMPO DA TÉCNICA

[001] A presente invenção refere-se aos sistemas e métodos para realização de teste não destrutivo de materiais e, mais particularmente, aos sistemas e métodos para detectar e medir a degradação térmica de materiais compósitos.

ANTECEDENTES

[002] Os componentes estruturais de veículos, tal como aeronave, são compreendidos por quantidades crescentes de materiais compósitos, tal como plástico reforçado por fibra de carbono (CFRP). O dano por calor a tais materiais compósitos pode ocorrer a partir de várias causas, que inclui uma queda de relâmpago, um curto elétrico na fiação ou um componente superaquecido. Quando aquecidos a uma temperatura elevada por um período de tempo extenso, os materiais compósitos podem perder algumas das propriedades mecânicas desejáveis dos mesmos. Em particular, tal aquecimento pode reduzir a capacidade dos materiais compósitos de resistir às tensões mecânicas.

[003] Atualmente, a realização de teste não destrutivo de material compósito ocorre com um espectrômetro de FTIR portátil (Infravermelho por Transformada de Fourier) para identificar qualquer degradação potencial. Tais dispositivos portáteis são relativamente grandes e dispendiosos. Um espectrômetro de FTIR usa a absorbância de IR (infravermelho) seletiva de compostos químicos diferentes, de modo que o carbono oxidado seja facilmente distinguido do material não oxidado. A consistência relativamente granulosa do material compósito leva a resultados que podem ser altamente variáveis em uma escala da área de inspeção, que é tipicamente de 1 mm de diâmetro. Isso exige que medições sejam feitas em um número estatisticamente significativo

de pontos próximos diferentes, a fim de alcançar uma conclusão confiável no grau de dano.

[004] Tais espectrômetros de FTIR são relativamente grandes e dispendiosos. Adicionalmente, o tamanho dos mesmos não empresta o uso dos mesmos à inspeção de materiais compósitos em áreas de difícil alcance. Consequentemente, há uma necessidade de um sistema portátil, pequeno, para medir a degradação térmica de compósitos.

### SUMÁRIO

[005] Esta revelação é direcionada a um sistema e a um método para medir a degradação térmica de compósitos que utilizam um dispositivo de detecção portátil, pequeno, que é relativamente barato de fabricar e operar. Em um aspecto, um sistema para medir degradação térmica de compósitos pode incluir um alojamento que tem um interior com uma abertura formada para expor uma área de teste do compósito a ser testada no interior; um diodo emissor de luz que emite radiação principalmente ultravioleta, o diodo é montado no alojamento para direcionar a radiação ultravioleta para o interior e através da abertura; um sensor de imagem é montado no alojamento e se abre para o interior, para receber radiação emitida da área de teste que passa através da abertura para o interior; e um processador de imagem conectado para receber um sinal do sensor de imagem, sendo que o processador de imagem determina uma presença ou uma ausência de degradação térmica da área de teste em resposta ao sinal.

[006] Em outro aspecto, um sistema para medir a degradação térmica de compósitos pode incluir um alojamento que tem uma parede lateral, uma parede superior e uma parede inferior que formam um interior, sendo que o alojamento tem uma abertura formada para expor uma amostra a ser testada no interior; sendo que um diodo emissor de luz emite radiação principalmente ultravioleta, o diodo é montado na parede lateral do alojamento para direcionar radiação ultravioleta para

o interior e através da abertura e inclui um filtro passa-alto que permite que apenas a radiação ultravioleta do diodo emissor de luz entre no interior; um espelho elipsoide é montado na parede lateral no interior e formado e posicionado para receber a radiação ultravioleta e refletir a radiação ultravioleta através da abertura; um sensor de imagem é montado na parede superior do alojamento e aberto para o interior, para receber a radiação emitida a partir da amostra que passa através da abertura, um primeiro espelho parabólico é montado na parede superior no interior e um segundo espelho parabólico é montado na parede inferior no interior, sendo que o primeiro espelho parabólico está voltado para o segundo espelho parabólico, de modo que radiação emitida pela amostra seja refletida do primeiro espelho para o segundo espelho e do segundo espelho para o sensor de imagem; e um sensor de imagem é conectado para receber um sinal do sensor de imagem, sendo que o processador de imagem tem um monitor que indica uma presença ou uma ausência de degradação térmica da amostra, em resposta ao sinal.

[007] Ainda, em outro aspecto, um método para medir a degradação térmica de compósitos pode incluir atuar um diodo emissor de luz para emitir radiação principalmente ultravioleta para um interior de um alojamento; direcionar a radiação ultravioleta do interior do alojamento, através de uma abertura no alojamento, para uma porção de uma amostra, para fazer com que a amostra fosforesça radiação de luz visível; detectar a radiação de luz visível por um sensor de imagem montado no alojamento e aberto para o interior; receber um sinal do sensor de imagem por um processador de imagem indicativo de uma propriedade de radiação de luz visível detectada pelo sensor de imagem; e fornecer um monitor em resposta ao sinal recebido pelo processador de imagem indicativo de uma presença ou uma ausência de degradação térmica da porção da amostra.

[008] Outros objetivos e vantagens do sistema e método revelados

para medir a degradação térmica de compósitos serão evidentes a partir da descrição a seguir, dos desenhos anexos e das reivindicações anexas.

#### BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[009] A Figura 1 é uma elevação lateral esquemática de um aspecto do sistema para medir a degradação térmica de compósitos;

[0010] a Figura 2 é uma representação esquemática de um monitor de dados recebidos pelo sistema da Figura 1;

[0011] as Figuras 3A, 3B e 3C são gráficos da razão de intensidade de radiação fosforescida *versus* temperatura exposta de um primeiro lado de espécimes de teste reais de material compósito, nos quais os pontos de dados são razões de intensidades dos segmentos vermelho a verde, vermelho a azul e azul a verde do espectro de luz visível, com uso de dois métodos de calcular razões; e

[0012] as Figuras 4A, 4B, e 4C são gráficos da razão de intensidade de radiação fosforescida *versus* temperatura exposta de um segundo lado oposto dos espécimes de teste reais de material compósito nos quais os pontos de dados são razões de intensidades dos segmentos vermelho a verde, vermelho a azul e azul a verde do espectro de luz visível, com uso de dois métodos de calcular razões.

#### DESCRIÇÃO DETALHADA

[0013] Conforme mostrado na Figura 1, um sistema para medir a degradação térmica de compósitos, em geral, designado 10, pode incluir um alojamento 12 que forma um interior 14 com uma abertura 16 formada para expor uma área de teste 18 de um compósito 20 a ser testado. Um diodo emissor de luz (LED) 22 pode ser alimentado por uma fonte de alimentação 23 e emite radiação ultravioleta ou emite radiação principalmente ultravioleta. O diodo emissor de luz 22 pode ser montado no alojamento 12 e orientado para direcionar radiação ultravioleta para o interior 14, através de uma abertura lateral 24, para

direcionar a radiação ultravioleta para a abertura 16. Um sensor de imagem 26 é montado no alojamento 12 e aberto para o interior 14, para receber a radiação 28 emitida da área de teste 18 que passa através da abertura 16 para o interior 14. Um processador de imagem 30 pode ser conectado para receber um sinal do sensor de imagem 26. Conforme será descrito em detalhes abaixo, o processador de imagem pode determinar uma presença ou ausência de degradação térmica da área de teste 18, em resposta ao sinal do sensor de imagem 26.

[0014] Em uma modalidade, o alojamento 12 pode incluir uma parede lateral 32, uma parede superior 34 unida à parede lateral e uma parede inferior 36 unida à parede lateral. A parede lateral 32 pode ser, em geral, em formato cilíndrico e a parede superior 34 e a parede inferior 36 podem ser em formato de disco, que é compatível com a parede lateral em diâmetro. A parede lateral pode incluir a abertura lateral 24 que recebe o diodo 22. A parede lateral 32, a parede superior 34 e a parede inferior 36 podem se combinar para definir o interior 14 do alojamento 12. O diodo emissor de luz 22 pode ser montado dentro de um alojamento 38, que é unido ou montado na parede lateral 32. O sensor de imagem 26 pode ser montado em uma reentrância 40 formada na parede superior 34. A abertura 16 pode ser formada na parede inferior 36.

[0015] Em uma modalidade, o alojamento 12 pode incluir uma primeira superfície refletiva 42 posicionada no interior 14. A primeira superfície refletiva 42 pode ser formada e posicionada para receber a radiação 28 emitida da área de teste 18 e refletir a radiação emitida ou fosforescida a partir da área de teste para o sensor de imagem 26. Além disso, na modalidade, a primeira superfície refletiva 42 pode incluir um primeiro espelho parabólico 44 montado na parede superior 34 e um segundo espelho parabólico 46 montado na parede inferior 36. Os primeiro e segundo espelhos parabólicos 44, 46 podem ser formados e

posicionados de modo que o primeiro espelho parabólico receba a radiação 28 emitida ou fosforescida a partir da área de teste 18 e reflita a radiação emitida da área de teste para o segundo espelho parabólico 46. O segundo espelho parabólico pode ser formado e posicionado para refletir a radiação 28 emitida da área de teste 18 e refletida do primeiro espelho parabólico 44 para o sensor de imagem 26. Em uma modalidade, os primeiro e segundo espelhos parabólicos 44, 46 podem estar voltados um para o outro e, ainda, em outras modalidades, podem se encontrar em um eixo geométrico central comum e estar paralelos um ao outro.

[0016] O sistema 10 pode incluir uma segunda superfície refletiva 48 montada no interior 14 do alojamento 12 e posicionada para receber a radiação ultravioleta 50 a partir do diodo emissor de luz 22. A segunda superfície refletiva 48 pode ser posicionada para refletir a radiação ultravioleta 50 para a abertura 16 no alojamento 12, em que a mesma colide com a área de teste 18 do compósito 20 a ser testada. Em uma modalidade, a segunda superfície refletiva 48 pode incluir um espelho elipsoide 52. O espelho elipsoide 52 pode ser unido a um suporte 54 ou montado no mesmo que, por sua vez, pode ser unido à parede lateral 32 do alojamento 12. Além disso, em uma modalidade, a segunda superfície refletiva 48, o espelho elipsoide 52 e o suporte 54 podem ser posicionados entre os primeiro e segundo espelhos parabólicos 44, 46, respectivamente, no interior 14 do alojamento 12.

[0017] O sistema 10 também pode incluir um filtro passa-alto 56 que pode ser montado no alojamento 12 e, em particular, na abertura 24 na parede lateral 32. O filtro passa-alto 56 pode ser selecionado para permitir que apenas o componente ultravioleta da radiação principalmente ultravioleta 50 do LED 22 passe através do filtro passa-alto e entre no interior 14 do alojamento 12. O LED 22 pode incluir uma lente esférica integrada 58 formada e posicionada para focalizar a

radiação principalmente ultravioleta 50 emitida pelo LED 22. A radiação principalmente ultravioleta 50 pode ser focalizada pela lente esférica 58 para o primeiro ponto focal do espelho elipsoide 52, em que a mesma pode ser refletida através da abertura 16 na parede inferior 36 para o segundo ponto focal do espelho elipsoide, no qual a área de teste 18 do compósito 20 a ser testada é colocada.

[0018] O sistema 10 pode incluir um filtro de bloqueio ultravioleta 61 que é selecionado para permitir que a radiação de luz visível 28 passe, mas bloqueie a radiação ultravioleta. O filtro de bloqueio ultravioleta 61 pode ser montado no alojamento 12, de modo que apenas a radiação de luz visível 28 alcance o sensor de imagem 26 a partir do interior 14 do alojamento. Em uma modalidade, o primeiro espelho parabólico 44 pode incluir uma reentrância circular 63, e o filtro de bloqueio ultravioleta 61 pode ser formado para se encaixar na reentrância imediatamente adjacente ao sensor de imagem 26. Em uma modalidade, o sensor de imagem 26 pode ser uma câmera digital 62. Similarmente, em uma modalidade, o segundo espelho parabólico 46 pode incluir uma passagem circular 65 que conecta a abertura 16 com o interior 14 do alojamento 12.

[0019] Além disso, em uma modalidade, o processador de imagem 30 pode ser selecionado a partir do software carregado em um computador do tipo laptop e em um dispositivo móvel, tal como um computador portátil do tipo tablet, ou operado pelo mesmo. Nas modalidades, o computador do tipo laptop ou o dispositivo móvel também pode conter a fonte de alimentação 23 para o LED (Figura 1). A conexão entre o sensor de imagem 26 e o processador de imagem 30 pode ser com ou sem fio. O processador de imagem 30 pode ser programado para comparar uma razão de intensidades de cor da radiação 28 emitida da área de teste 18 de duas cores selecionadas a partir de vermelho e verde, vermelho e azul e azul e verde. O



processador de imagem 30 pode incluir um monitor 64 que indica a presença ou a ausência de degradação térmica da área de teste 18, dependendo da comparação das razões com os valores armazenados.

[0020] O sistema 10 pode operar energizando-se o LED ultravioleta 22, que emite radiação ultravioleta 50 através do filtro passa-alto 56 para o interior 14 do alojamento 12. A radiação ultravioleta 50 é refletida, pelo espelho elipsoide 52, para baixo, através da passagem circular 65 e da abertura 16, em que a mesma entra em contato com a área de teste 18 do material compósito 20. Essa irradiação pode fazer com que o material compósito 20, na área de teste 18, fosforesça na faixa de luz visível, emitindo radiação 28 na faixa de luz visível, que é refletida pelo primeiro refletor parabólico 44 para o segundo refletor parabólico 46, e do segundo refletor parabólico 46, ascendentemente através do filtro de bloqueio ultravioleta 61 para o sensor de imagem 26. Os pixels do sensor de imagem 26, que podem ser uma câmera digital 62, recebem a radiação de luz visível 28 fosforescida partir da área de teste 18.

[0021] As Figuras 3A, 3B e 3C e 4A, 4B e 4C mostram os resultados de testes do sistema revelado 10, que mede a intensidade da radiação 28 recebida pelo sensor de imagem 26, que, no teste, foi uma câmera digital 62, para cores diferentes da radiação de luz visível 28 para 8 espécimes diferentes de material de plástico reforçado por fibra de carbono compósito, sendo que cada um dos mesmos representaria a área de teste 18 (Figura 1). As Figuras 3A a 3C são os resultados obtidos de um primeiro lado obtidos em 4 pontos aleatórios em cada um dentre os 8 espécimes, e as Figuras 4A a 4C são os resultados obtidos do segundo lado, ou do lado oposto, dos mesmos 8 espécimes obtidos em cada um dos 4 pontos aleatórios. Cada um dentre os 8 espécimes foi aquecido a uma temperatura diferente pelo mesmo intervalo de tempo de uma hora. As temperaturas nas quais os 8 espécimes foram aquecidos variaram de 191°C (375°F) a 288°C (550°F), em aumentos

de -4°C (25°F).

[0022] A intensidade da fosforescência de cor de um espécime de teste de material compósito, com uso do sistema revelado 10, pode variar com a temperatura e a duração da exposição térmica do espécime de teste. As Figuras 3A a 3C e 4A a 4C mostram, cada uma, um arquivo de imagem criado pelo processador de imagem 30, a partir de um sinal recebido pelo sensor de imagem 26, que pode ser convertido pelo software no processador de imagem em três matrizes: vermelho, verde e azul, em que cada elemento de matriz pode exibir a intensidade de um pixel particular para as cores vermelha, verde e azul. A fim de evitar a variabilidade de luz de excitação e alinhamento, as razões de vermelho/ verde, vermelho/ azul e azul/ verde foram calculadas, tornando, assim, as razões insensíveis ao alinhamento, à intensidade do diodo emissor de luz 22, ao ganho ou aos tempos de exposição usados pela câmera 62. No eixo geométrico horizontal ou x de cada gráfico, a temperatura de um lado do espécime de teste de material compósito, que representa a área de teste 18, é representada graficamente. No eixo geométrico vertical ou y, a razão de intensidades das cores é indicada por aquela temperatura. A câmera 62 pode ler alguma intensidade, mesmo quando o LED 22 é desligado. Em tal caso, aquela intensidade é medida e subtraída a partir das leituras feitas quando o LED é ligado.

[0023] Na Figura 3A, os pontos de dados em formato de diamante e pequenos 66 conectados pela linha tracejada representam a razão de intensidade de luz visível vermelha para intensidade de luz visível verde, a partir dos 8 espécimes de teste, após as exposições a 191°C (375°F), 204°C (400°F), 218°C (425°F), 232°C (450°F), 246°C (475°F), 260°C (500°F), 274°C (525°F) e 288°C (550°F) por uma hora. Os pontos de dados representados pelos pontos de dados em formato de diamante e pequenos 66 são calculados com uso de um primeiro método,

estabelecendo-se a razão das intensidades pixel por pixel e, então, calculando-se a razão média sobre a imagem da câmera digital inteira. Os pontos de dados representados pelos quadrados maiores 68 na Figura 3A conectados por uma linha sólida representam a razão de intensidade de luz visível vermelha para a intensidade de luz visível verde para as mesmas temperaturas e o intervalo de tempo dos 8 espécimes, com uso de um segundo método, em que a razão foi calculada obtendo-se primeiro a média da intensidade de cor sobre todos os pixels da câmera digital 62 para a luz visível vermelha e para a luz visível verde e, então, calculando-se a razão dos dois valores médios.

[0024] Na Figura 3B, os pontos de dados são representados graficamente para os mesmos valores de temperatura para as razões de intensidade de luz visível vermelha *versus* intensidade de luz visível azul. Os pontos de dados em formato de diamante e pequenos 166 representam a razão da intensidade de vermelho para azul, com uso do primeiro método de estabelecimento de razão das intensidades pixel por pixel, calculando-se, então, a razão média sobre a imagem da câmera digital inteira, e os quadrados grandes 168 representam a razão de intensidade de vermelho para azul, com uso do segundo método de obtenção da média da intensidade de cor sobre todos os pixels para vermelho a azul, calculando-se, então, a razão dos dois valores médios para cada um dos 8 espécimes aquecidos às temperaturas que variam de 191°C (375°F) a 288°C (550°F) em aumentos de -4°C (25°F). Similarmente, a Figura 3C mostra os pontos de dados representados graficamente pela intensidade de azul a verde, para as 8 amostras, com uso do primeiro método de estabelecimento de razão, representado por diamantes pequenos 266, e com uso do segundo método de estabelecimento de razão, representado por quadrados grandes 268. A Figura 4A mostra os pontos de dados representados graficamente pela

intensidade de vermelho a verde para os segundos lados ou lados opostos das 8 amostras, com uso do primeiro método de estabelecimento de razão, representado por diamantes pequenos 366 e quadrados grandes 368, com uso do segundo método de estabelecimento de razão. A Figura 4B mostra os pontos de dados representados graficamente pela intensidade de vermelho a azul para os segundos lados ou lados opostos das 8 amostras, com uso do primeiro método de estabelecimento de razão representado por diamantes pequenos 466 e quadrados grandes 468, com uso do segundo método de estabelecimento de razão; e a Figura 4C mostra os pontos de dados representados graficamente pela intensidade de azul a verde para os segundos lados ou lados opostos das 8 amostras, com uso do primeiro método de estabelecimento de razão, representado por diamantes pequenos 566 e quadrados grandes 568, com uso do segundo método de estabelecimento de razão.

[0025] Os dados úteis podem ser obtidos a partir daqueles dos gráficos que mostram um aumento ou uma diminuição contínua com a temperatura. Consequentemente, os gráficos das Figuras 3B e 4B podem ser os mais úteis para determinar se o material compósito particular 20 que é medido foi danificado ou degradado por aquecimento. Em relação à Figura 3B, há uma diminuição notável na intensidade a uma temperatura de aproximadamente 232°C (450°F) no eixo geométrico  $x$  em A. Similarmente, na Figura 4B, há um aumento notável na intensidade que começa em cerca de 232°C (450°F) no eixo geométrico  $x$ . Aquela temperatura e intervalo de tempo podem ser considerados significativos para executar a degradação térmica de um material compósito. Consequentemente, tais valores de razão podem ser armazenados no processador de imagem 30 e comparados com um teste feito da área de teste 18. Medindo-se as intensidades e calculando-se as razões mencionadas anteriormente, a temperatura de

exposição pode ser calculada de volta pelo processador de imagem 30 (Figura 1). Outros tipos de materiais compósitos, que podem degradar em combinações diferentes de tempo e temperatura e que podem ser indicados por razões diferentes, podem ser armazenados em processador de imagem 30 também.

[0026] Conforme mostrado na Figura 2, um monitor 64 pode incluir a tela ilustrada na Figura, como hardware ou como uma tela virtual em uma tela de exibição de computador, e o software apropriado para operar a mesma. O monitor 64 pode incluir uma tela sensível ao toque ou um botão virtual 70, marcado "CARREGAR IMAGEM" para carregar uma imagem previamente salva para o quadro esquerdo 72. O botão real ou virtual 74 marcado "IMAGEM AO VIVO" pode comutar o quadro esquerdo 72 para a imagem ao vivo do sensor de imagem 26 montado no alojamento 12. O botão real ou virtual 76 marcado "TIRAR UM INSTANTÂNEO DE IMAGEM" atua o sensor de imagem 26 para obter um instantâneo a partir de uma imagem ao vivo da área de teste 18 e colocar o mesmo no quadro esquerdo 72. Na Figura 2, a imagem 78 mostrada no quadro esquerdo pode ser tal imagem ao vivo. O botão real ou virtual 80 marcado "SALVAR IMAGEM" pode ser atuado para salvar a imagem instantânea 78 em um disco ou em outra memória ou armazenamento não volátil.

[0027] O quadro direito 82 do monitor 64 pode exibir a imagem processada 84, que pode obter a forma de um mapa térmico da imagem instantânea ou carregada, mas não da imagem ao vivo. O monitor 64 também pode incluir uma saturação analógica para digital ou um aviso de superexposição 86 que pode indicar a porcentagem dos pixels superexpostos para o vermelho, o verde e o azul separadamente. As caixas de texto vermelha, azul e verde 88 podem exibir um valor médio de cor vermelho, verde e azul na imagem instantânea e carregada, e as caixas 90 podem exibir as razões de vermelho para verde, vermelho

para azul e azul para verde e exibir as razões correspondentes. O botão real ou virtual 92 marcado "DEFINIÇÃO" pode abrir uma janela de definição com acesso às definições de câmera para o sensor de imagem 26, salvar para a seleção de pasta e outros recursos do monitor 64. O mapa térmico 82 pode usar o modelo desenvolvido para atribuir e codificar a cor da temperatura de cada pixel.

[0028] Consequentemente, nas modalidades, o monitor 64 pode indicar a degradação térmica codificando-se a cor apropriada da imagem 84 no mapa térmico 82, se a razão de vermelho/ verde, vermelho/ azul ou azul/ verde for selecionada a partir de menos do que um valor armazenado ou mais do que um valor armazenado. Em uma modalidade, o monitor 64 pode ativar um primeiro indicador, tal como uma área de cor 94, se o processador de imagem 26 detectar a degradação térmica da área de teste 18, e o monitor 64 pode ativar um segundo indicador 96 se o processador de imagem não detectar a degradação térmica em uma porção da área de teste. Nas modalidades, o processador de imagem 26 pode atribuir uma primeira cor 96 a uma área sem degradação térmica, e uma segunda cor 94 a uma área de degradação térmica na área de teste 18. Conforme mostrado na Figura 2, o monitor 64 pode exibir na janela 82 uma imagem de compósito da área de teste 18 em que as áreas sem degradação térmica 96 são coloridas com uma primeira cor e as áreas de degradação térmica 94 são coloridas com uma segunda cor.

[0029] Um método incorporado no sistema 10 para medir a degradação térmica de compósitos pode incluir atuar o diodo emissor de luz 22 para emitir radiação principalmente ultravioleta 50 para um interior 14 do alojamento 12. A radiação ultravioleta 50 pode ser direcionada pelo espelho elipsoide 52, a partir do interior 14 do alojamento 12, através da abertura 16 no alojamento, até uma área de teste 18 do material compósito 20 a ser testada. Essa radiação

ultravioleta pode fazer com que o material compósito 20 fosforesça radiação de luz visível 28. A radiação de luz visível 28 pode ser refletida primeiro do primeiro espelho parabólico 44 até o segundo espelho parabólico 46, e do segundo espelho parabólico através do filtro ultravioleta 61 até o sensor de imagem 26. O sensor de imagem 26 detecta a radiação de luz visível e gera um sinal que corresponde à intensidade da radiação nas cores vermelho, azul e verde. Esse sinal pode ser processado pelo processador de imagem 30 para um monitor 64 que indica uma presença ou ausência de degradação térmica da área de teste 18 do compósito 20.

[0030] O sistema 10 e o método para medir a degradação térmica de compósitos descritos no presente documento podem ser fornecidos em um alojamento 12 que é pequeno e portátil. O processador de imagem 30, do mesmo modo, pode ser compacto e portátil, e pode ser na forma de um computador do tipo laptop, um dispositivo portátil ou um computador do tipo tablet. O monitor 64 pode fornecer uma indicação facilmente discernível e rápida da presença de degradação térmica de um material compósito 20.

[0031] Adicionalmente, a revelação compreende as modalidades de acordo com as sentenças a seguir:

[0032] Sentença 1. Um sistema para medir a degradação térmica de compósitos, sendo que o sistema compreende:

[0033] um alojamento que tem um interior com uma abertura formada para expor uma área de teste do compósito a ser testada no interior;

[0034] um diodo emissor de luz que emite radiação principalmente ultravioleta, o diodo é montado no alojamento para direcionar a radiação ultravioleta para o interior e através da abertura;

[0035] um sensor de imagem montado no alojamento e aberto para o interior, para receber radiação emitida da área de teste que passa

através da abertura para o interior; e

[0036] um processador de imagem conectado para receber um sinal do sensor de imagem, sendo que o processador de imagem determina uma presença ou uma ausência de degradação térmica da área de teste em resposta ao sinal.

[0037] Sentença 2. O sistema, de acordo com a sentença 1, em que o alojamento inclui uma parede lateral, uma parede superior unida à parede lateral e uma parede inferior unida à parede lateral, sendo que a parede lateral, a parede superior e a parede inferior definem o interior do alojamento.

[0038] Sentença 3. O sistema, de acordo com a sentença 2, em que o diodo emissor de luz é montado na parede lateral; o sensor de imagem é montado na parede superior; e a abertura é formada na parede inferior.

[0039] Sentença 4. O sistema, de acordo com a sentença 3, em que o alojamento inclui uma primeira superfície refletiva posicionada no interior que é formada e posicionada para receber a radiação emitida da área de teste e refletir a radiação emitida da área de teste para o sensor de imagem.

[0040] Sentença 5. O sistema, de acordo com a sentença 4, em que a primeira superfície refletiva inclui um primeiro espelho parabólico montado na parede superior e um segundo espelho parabólico montado na parede inferior; os primeiro e segundo espelhos parabólicos são formados e posicionados de modo que o primeiro espelho parabólico receba a radiação emitida da área de teste e reflita a radiação emitida da área de teste para o segundo espelho parabólico; e o segundo espelho parabólico é formado e posicionado para refletir a radiação emitida do primeiro espelho parabólico ou da área de teste para o sensor de imagem.

[0041] Sentença 6. O sistema, de acordo com a sentença 3, que



compreende adicionalmente uma segunda superfície refletiva montada no interior e posicionada para receber a radiação ultravioleta a partir do diodo emissor de luz e refletir a radiação ultravioleta para a abertura no alojamento.

[0042] Sentença 7. O sistema, de acordo com a sentença 6, em que a segunda superfície refletiva inclui um espelho elipsoide.

[0043] Sentença 8. O sistema, de acordo com a sentença 7, em que o espelho elipsoide é unido a um suporte que é unido à parede lateral.

[0044] Sentença 9. O sistema, de acordo com a sentença 1, que compreende adicionalmente um filtro passa-alto montado no alojamento, sendo que o filtro passa-alto permite que apenas o componente ultravioleta da radiação principalmente ultravioleta do diodo emissor de luz passe através do filtro passa-alto e entre no interior.

[0045] Sentença 10. O sistema, de acordo com a sentença 9, em que o diodo emissor de luz inclui uma lente esférica para focalizar a radiação principalmente ultravioleta emitida pelo diodo emissor de luz.

[0046] Sentença 11. O sistema, de acordo com a sentença 1, que compreende adicionalmente um filtro ultravioleta que permite que a radiação de luz visível passe, o filtro ultravioleta é montado no alojamento de modo que apenas a radiação de luz visível alcance o sensor de imagem do interior.

[0047] Sentença 12. O sistema, de acordo com a sentença 1, em que o sensor de imagem é uma câmera digital.

[0048] Sentença 13. O sistema, de acordo com a sentença 1, em que o processador de imagem é selecionado a partir de um computador do tipo laptop e de um dispositivo móvel.

[0049] Sentença 14. O sistema, de acordo com a sentença 1, em que o processador de imagem é programado para comparar uma razão de intensidades de cor da radiação emitida da área de teste de duas

cores selecionadas a partir de vermelho e verde, vermelho e azul e azul e verde; comparar a razão a um valor armazenado; e o processador de imagem inclui um monitor que indica a presença ou a ausência de degradação térmica na área de teste dependente da comparação da razão para o valor armazenado.

[0050] Sentença 15. O sistema, de acordo com a sentença 14, em que o monitor indica a degradação térmica, se a razão for selecionada a partir de menos do que o valor armazenado e mais do que o valor armazenado.

[0051] Sentença 16. O sistema, de acordo com a sentença 15, em que o monitor ativa um primeiro indicador, se o processador de imagem detectar a degradação térmica da área de teste, e o monitor ativa um segundo indicador, se o processador de imagem não detectar a degradação térmica da área de teste.

[0052] Sentença 17. O sistema, de acordo com a sentença 15, em que o processador de imagem atribui uma primeira cor a uma área sem degradação térmica, e uma segunda cor a uma área de degradação térmica.

[0053] Sentença 18. O sistema, de acordo com a sentença 17, em que o monitor exibe uma imagem de compósito da área de teste, em que as áreas sem degradação térmica são coloridas com a primeira cor e as áreas de degradação térmica são coloridas com a segunda cor.

[0054] Sentença 19. Um sistema para medir a degradação térmica de compósitos, sendo que o sistema compreende:

[0055] um alojamento que tem um interior com uma parede lateral, uma parede superior e uma parede inferior que forma um interior, sendo que o alojamento tem uma abertura formada para expor uma área de teste a ser testada no interior;

[0056] um diodo emissor de luz que emite radiação principalmente ultravioleta, sendo que o diodo é montado na parede lateral do

alojamento para direcionar a radiação ultravioleta para o interior e através da abertura e inclui um filtro passa-alto que permite que apenas a radiação ultravioleta do diodo emissor de luz entre no interior;

[0057] um espelho elipsoide montado na parede lateral no interior e formado e posicionado para receber a radiação ultravioleta e refletir a radiação ultravioleta através da abertura;

[0058] um sensor de imagem montado na parede superior do alojamento e aberto para o interior, para receber a radiação emitida da área de teste que passa através da abertura;

[0059] um primeiro espelho parabólico montado na parede superior no interior e um segundo espelho parabólico montado na parede inferior no interior, sendo que o primeiro espelho parabólico está voltado para o segundo espelho parabólico, de modo que a radiação emitida pela área de teste é refletida do primeiro espelho para o segundo espelho e do segundo espelho para o sensor de imagem; e

[0060] um processador de imagem conectado para receber um sinal do sensor de imagem, sendo que o processador de imagem tem um monitor que indica uma presença ou uma ausência de degradação térmica da área de teste em resposta ao sinal.

[0061] Sentença 20. Um método para medir a degradação térmica de compósitos, sendo que o método compreende:

[0062] atuar um diodo emissor de luz para emitir radiação principalmente ultravioleta em um interior de um alojamento;

[0063] direcionar a radiação ultravioleta do interior do alojamento, através de uma abertura no alojamento, até uma porção de uma área de teste para fazer com que a área de teste fosforesça radiação de luz visível;

[0064] detectar a radiação de luz visível por um sensor de imagem montado no alojamento e aberto para o interior;

[0065] receber um sinal do sensor de imagem por um processador

de imagem indicativo de uma propriedade de radiação de luz visível detectada pelo sensor de imagem; e

[0066] fornecer um monitor em resposta ao sinal recebido pelo processador de imagem indicativo de uma presença ou uma ausência de degradação térmica da porção da área de teste.

[0067] Embora os sistemas e os métodos para medir a degradação térmica de compósitos descritos no presente documento constituam modalidades preferenciais do método e do sistema, o escopo da revelação não se limita a esses métodos e sistemas precisos, e as mudanças podem ser feitas no mesmo sem se afastar do escopo das reivindicações anexas.

## REIVINDICAÇÕES

1. Sistema para medir a degradação térmica de compósitos, sendo que o sistema é **caracterizado pelo fato de** que compreende:

um alojamento (12) que tem um interior (14) com uma abertura (16) formada para expor uma área de teste (18) do compósito (20) a ser testada no interior (14);

um diodo emissor de luz (22) que emite radiação principalmente ultravioleta, sendo que o diodo é montado no alojamento (12) para direcionar a radiação ultravioleta para o interior (14) e através da abertura (16);

um sensor de imagem (26) montado no alojamento (12) e aberto para o interior (14) para receber radiação emitida da área de teste (18), em resposta à radiação ultravioleta, que passa através da abertura (16) para o interior (14) e gera um sinal em resposta ao mesmo,

um alojamento (12) que possui uma primeira superfície refletiva (42) posicionada no interior (14) que é modelada e posicionada para receber a radiação emitida da área de teste (18) e refletir a radiação emitida da área de teste (18) ao sensor de imagem (26), a primeira superfície refletiva (42) incluindo um primeiro espelho parabólico (44) montado na parede superior (34) e um segundo espelho parabólico (46) montado na parede inferior (36), o primeiro e segundo espelhos parabólicos sendo modelados e posicionados de modo que o primeiro espelho parabólico (44) recebe a radiação emitida a partir da área de teste (18) e reflete a radiação emitida a partir da área de teste (18) para o segundo espelho parabólico (46), e o segundo espelho parabólico (46) é modelado e posicionado para refletir a radiação refletida do primeiro espelho parabólico (44) para o sensor de imagem (26);

uma segunda superfície refletiva (48) montada no interior (14) e posicionada entre os primeiro e segundo espelhos parabólicos

para receber a radiação ultravioleta do diodo emissor de luz (22) e refletir a radiação ultravioleta para a abertura do alojamento (12), e

um processador de imagem (30) conectado para receber o sinal do sensor de imagem (26), sendo que o processador de imagem (30) é programado para determinar uma presença ou uma ausência de degradação térmica da área de teste (18) em resposta ao sinal, e o processador de imagem inclui um monitor (64) que exibe uma ou ambas de uma imagem ao vivo da área de teste (18) e um mapa térmico da área de teste (18).

2. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de** que o alojamento (12) inclui uma parede lateral (32), uma parede superior (34) unida à parede lateral (32) e uma parede inferior (36) unida à parede lateral (32), sendo que a parede lateral (32), a parede superior (34) e a parede inferior (36) definem o interior (14) do alojamento (12).

3. Sistema, de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado pelo fato de** que o diodo emissor de luz (22) é montado na parede lateral (32); o sensor de imagem (26) é montado na parede superior (34); e a abertura (16) é formada na parede inferior (36).

4. Sistema, de acordo com a reivindicação 3, **caracterizado pelo fato de** que o segundo espelho parabólico (46) inclui uma passagem circular que conecta a abertura com o interior do alojamento (12).

5. Sistema, de acordo com a reivindicação 4, **caracterizado pelo fato de** que o primeiro espelho parabólico (44) inclui um entalhe que recebe um filtro de bloqueio ultravioleta adjacente ao sensor de imagem (26).

6. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de** que o alojamento (12) inclui uma parede lateral geralmente cilíndrica, uma parede superior (34) em formato de disco e uma parede

inferior (36) em formato de disco que se combinam para definir o interior, e em que a parede lateral inclui uma abertura lateral que recebe o diodo emissor de luz (22).

7. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de** que a segunda superfície refletiva (48) inclui um espelho elipsoide (52).

8. Sistema, de acordo com a reivindicação 7, **caracterizado pelo fato de** que o espelho elipsoide é unido a um suporte (54) que é unido à parede lateral (32).

9. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de** que compreende adicionalmente um filtro passa-alto (56) montado no alojamento (12), sendo que o filtro passa-alto (56) permite que apenas o componente ultravioleta da radiação principalmente ultravioleta do diodo emissor de luz (22) passe através do filtro passa-alto (56) e entre no interior (14).

10. Sistema, de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado pelo fato de** que o diodo emissor de luz (22) inclui uma lente esférica (58) para focalizar a radiação principalmente ultravioleta emitida pelo diodo emissor de luz (22).

11. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de** que compreende adicionalmente um filtro ultravioleta (61) que permite que a radiação de luz visível passe, o filtro ultravioleta (61) é montado no alojamento (12) de modo que apenas a radiação de luz visível alcance o sensor de imagem (26) a partir do interior (14).

12. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de** que o sensor de imagem (26) é uma câmera digital (62).

13. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de** que o processador de imagem (30) é selecionado a partir de um computador do tipo laptop e um dispositivo móvel.

14. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado**

**pelo fato de** que o processador de imagem é programado para comparar uma razão de intensidades de cores da radiação emitida da área de teste (18) de duas cores selecionadas dentre vermelho e verde, vermelho e azul, e azul e verde; comparar a razão a um valor armazenado e o processador de imagem é programado adicionalmente para indicar a presença ou ausência de degradação térmica na área de teste (18) dependente da comparação da razão ao valor armazenado no monitor (64).

15. Sistema, de acordo com a reivindicação 14, **caracterizado pelo fato de** que o processador de imagem é programado para indicar a degradação térmica no monitor (64) se a razão for selecionada a partir de menos que o valor armazenado e maior que o valor armazenado.

16. Sistema, de acordo com a reivindicação 15, **caracterizado pelo fato de** que o processador de imagem é programado para ativar um primeiro indicador no monitor (64) se o processador de imagem detectar a degradação térmica da área de teste (18), e um segundo ativador no monitor (64) se o processador de imagem não detectar a degradação térmica da área de teste (18).

17. Sistema, de acordo com a reivindicação 15, **caracterizado pelo fato de** que o processador de imagem é programado para atribuir uma primeira cor a uma área de nenhuma degradação térmica e uma segunda cor a uma área de degradação térmica, no mapa térmico do monitor (64).

18. Sistema, de acordo com a reivindicação 17, **caracterizado pelo fato de** que o processador de imagem é programado para atuar o monitor (64) para mostrar uma imagem compósita da área de teste (18) na qual áreas de nenhuma degradação térmica são coloridas com a primeira cor e áreas de degradação térmica são coloridas com a segunda cor.



19. Sistema para medir a degradação térmica de compósitos, sendo que o sistema é **caracterizado pelo fato de** que compreende:

um alojamento (12) que tem um interior (14) com uma parede lateral (32), uma parede superior (34) e uma parede inferior (36) que forma um interior (14), sendo que o alojamento (12) tem uma abertura (16) formada para expor uma área de teste (18) a ser testada no interior (14);

um diodo emissor de luz (22) que emite radiação principalmente ultravioleta, sendo que o diodo é montado na parede lateral (32) do alojamento (12) para direcionar a radiação ultravioleta para o interior (14) e através da abertura (16) e inclui um filtro passa-alto (56) que permite que apenas a radiação ultravioleta do diodo emissor de luz (22) entre no interior (14);

um espelho elipsoide (52) montado na parede lateral (32) no interior (14) e formado e posicionado para receber a radiação ultravioleta e refletir a radiação ultravioleta através da abertura (16);

um sensor de imagem (26) montado na parede superior (34) do alojamento (12) e aberto para o interior (14), a fim de receber a radiação emitida da área de teste (18) que passa através da abertura (16) e gerar um sinal de resposta à mesma;

um primeiro espelho parabólico (44) montado na parede superior (34) no interior (14) e um segundo espelho parabólico (46) montado na parede inferior (36) no interior, sendo que o primeiro espelho parabólico (44) está voltado para o segundo espelho parabólico (46), de modo que a radiação emitida pela área de teste (18) seja refletida do primeiro espelho parabólico (44) para o segundo espelho parabólico (46), e do segundo espelho parabólico (46) para o sensor de imagem (26), e em que o espelho elipsoide é posicionado entre o primeiro espelho parabólico (44) e o segundo espelho parabólico (46),

e

um processador de imagem (30) conectado para receber um sinal do sensor de imagem (26), sendo que o processador de imagem (30) tem um monitor (64), o processados de imagem sendo programado para determinar uma presença ou uma ausência de degradação térmica da área de teste (18) em resposta ao sinal, e o processador de imagem é programado para atuar o monitor (64) para exibir um ou ambos de uma imagem ao vivo da área de teste (18) e um mapa térmico da área de teste (18).

20. Método para medir a degradação térmica de compósitos, **caracterizado pelo fato de** que o método compreende:

atuar um diodo emissor de luz (22) para emitir radiação principalmente ultravioleta para um interior (14) de um alojamento (12);

refletir a radiação ultravioleta do diodo emissor de luz (22) através de uma segunda superfície refletiva (48) montada no interior e posicionada entre um primeiro espelho parabólico (44) e um segundo espelho parabólico (46) posicionado no interior do alojamento (12) através de uma abertura no alojamento (12) a uma porção de uma área de teste (18) para fazer a área de teste (18) florescer radiação de luz visível;

refletir a radiação de luz visível através do primeiro espelho parabólico (44) que recebe a radiação de luz visível emitida da área de teste (18) para o segundo espelho parabólico (46);

refletir a radiação de luz visível do primeiro espelho parabólico (44) através do segundo espelho parabólico (46) para o sensor de imagem (26);

detectar a radiação de luz visível refletida pelo segundo espelho parabólico (46) por um sensor de imagem (26) montado no alojamento (12) e aberto para o interior (14) e gerar um sinal através do sensor de imagem (26) em resposta à mesma;

receber um sinal do sensor de imagem (26) por um processador de imagem (30) indicativo de uma propriedade de radiação de luz visível detectada pelo sensor de imagem (26); e

atuar um monitor (64) por meio do processador de imagem em resposta ao sinal recebido pelo processador de imagem indicativo de uma presença ou de uma ausência de degradação térmica da porção da área de teste (18).

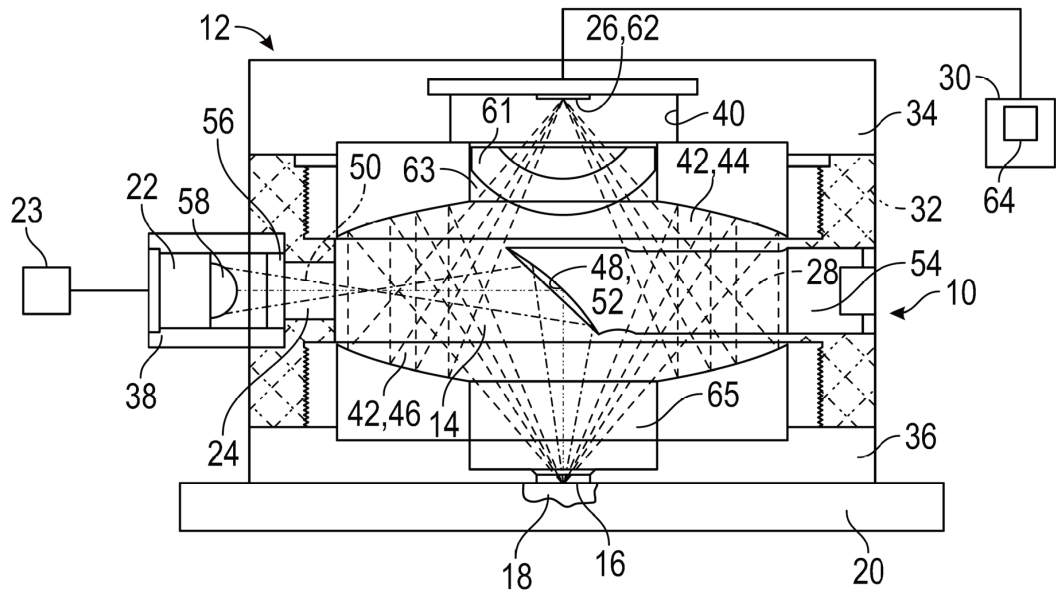


FIG. 1

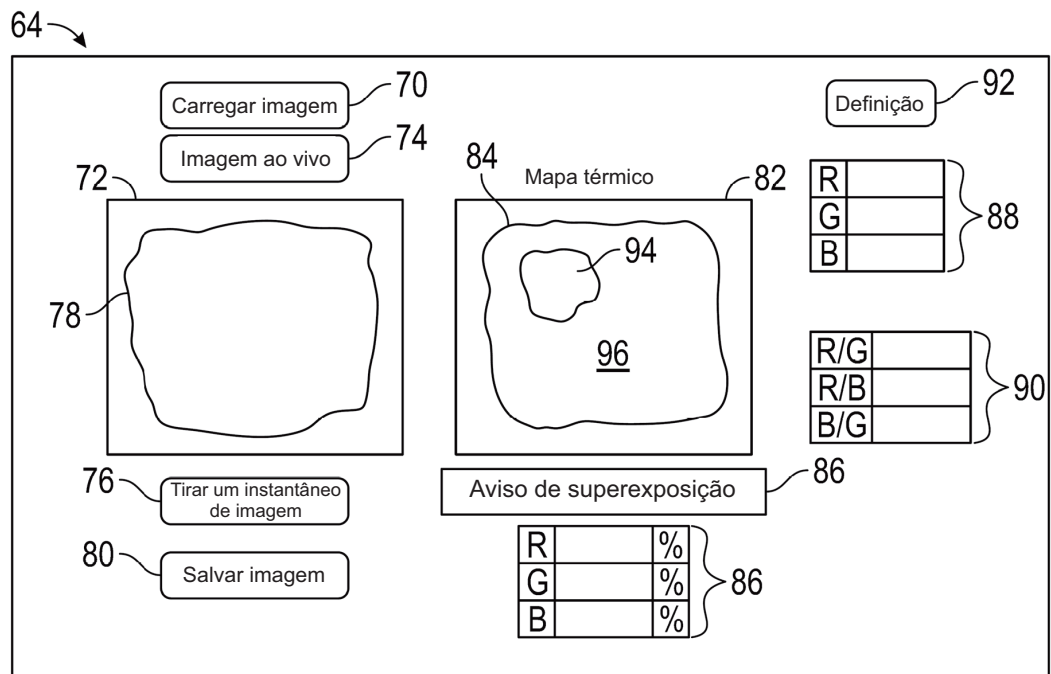


FIG. 2

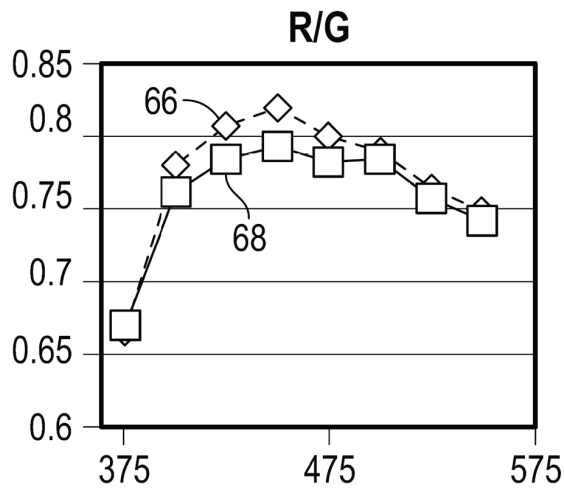


FIG. 3A

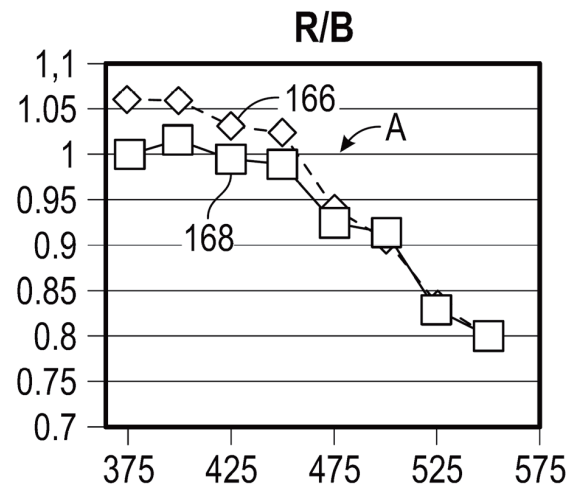


FIG. 3B

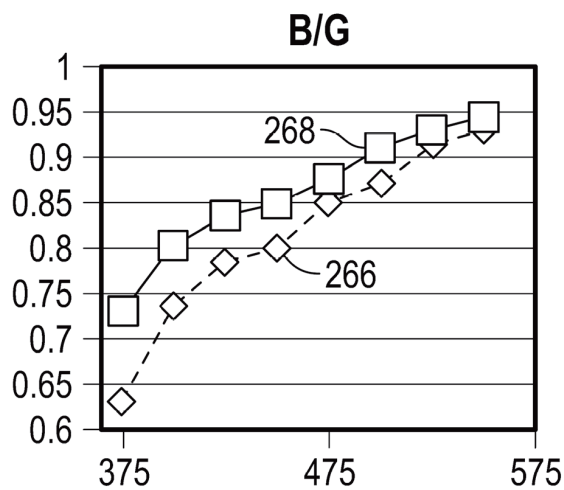


FIG. 3C

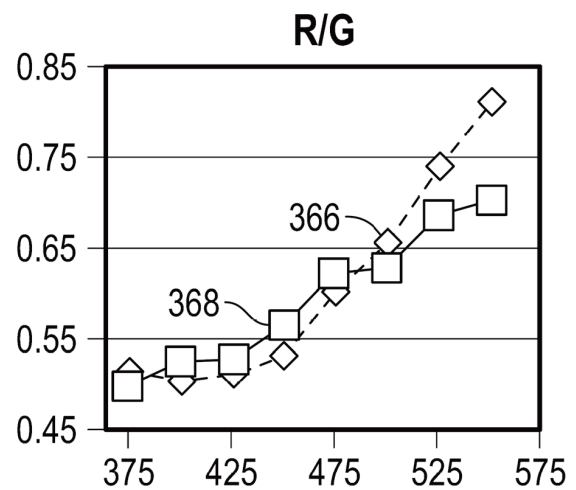


FIG. 4A

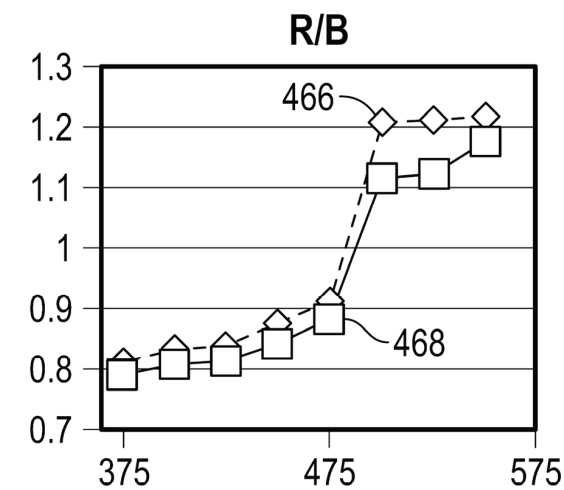


FIG. 4B

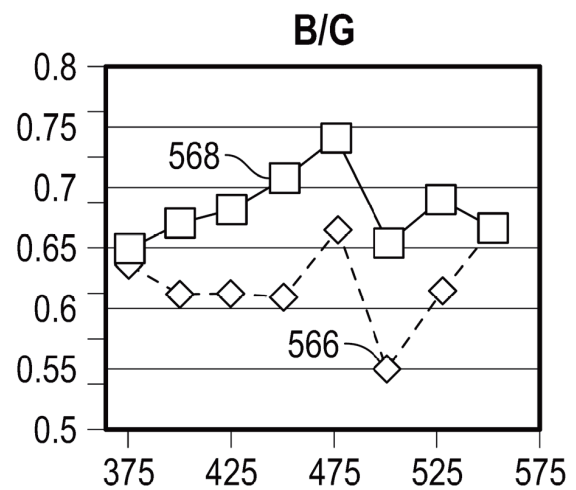


FIG. 4C