



**REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL**  
MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS  
**INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL**

**CARTA PATENTE N° PI 1012300-8**

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 1012300-8

**(22) Data do Depósito:** 18/05/2010

**(43) Data da Publicação do Pedido:** 02/12/2010

**(51) Classificação Internacional:** C09D 5/00; B64D 45/02.

**(30) Prioridade Unionista:** US 12/474,965 de 29/05/2009.

**(54) Título:** MÉTODO PARA REDUÇÃO DE DANO ESTRUTURAL A UM SUBSTRATO COMPÓSITO E ESTRUTURA

**(73) Titular:** THE BOEING COMPANY, Norte Americana. Endereço: M/C 5003-1001, 100 N. Riverside, Chicago, IL 60606-1596, ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA(US)

**(72) Inventor:** MICHAEL M. LADD.

**Prazo de Validade:** 20 (vinte) anos contados a partir de 18/05/2010, observadas as condições legais

**Expedida em:** 11/12/2018

Assinado digitalmente por:

**Liane Elizabeth Caldeira Lage**

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

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "MÉTODO PARA REDUÇÃO DE DANO ESTRUTURAL A UM SUBSTRATO COMPÓSITO E ESTRUTURA".

CAMPO

[001] A presente invenção refere-se a revestimentos e métodos para resistir ao dano e degradação plasmática e, mais particularmente, a revestimentos e métodos associados para conferir a substratos a capacidade de suportar descargas elétricas e exposição a plasmas similares.

ANTECEDENTES

[002] Materiais plásticos reforçados de fibra de carbono (Carbon Fiber Reinforced Plastic - "CFRP") são crescentemente usados em lugar de alumínio para formar os painéis de revestimento e elementos estruturais de aeronaves comerciais. Materiais CFRP são vantajosos comparado ao alumínio em virtude das maiores proporções de resistência para peso conferidas por compósitos de carbono. Contudo, materiais CFRP parecem ser mais suscetíveis a dano catastrófico por descargas elétricas do que materiais de alumínio.

[003] Falhas relacionadas à descarga elétrica típicas em materiais CFRP parecem ser disparadas por altas temperaturas. As fibras de carbono nos materiais compósitos se tornam muito quentes quando submetidas a uma descarga elétrica. A temperatura pode exceder a temperatura de pirólise da resina, tornando a resina de um sólido para um gás. O aumento correspondente na pressão gasosa interna contribui para o dano à estrutura pela delaminação das camadas e, possivelmente, perfuração dos sistemas ou estrutura subjacente. As altas temperaturas também podem causar dano permanente às fibras, resultando em expansão do diâmetro da fibra. Aquecimento localizado em combinação com o coeficiente de expansão térmica do material também influencia o dano. Forças de impacto associadas à descarga elétrica são de origem acústica, eletromagnética e pneumática. Essas forças podem exceder os limites de resistência à tensão do material

em temperaturas elevadas correspondentes.

[004] Soluções atuais usam trajetos elétricos para conduzir e distribuir eficazmente a corrente elétrica para longe da zona de ataque de raios em um esforço para evitar fagulhas. Esses trajetos elétricos são integrados no design do material CFRP, tal como por baixo de uma camada de tinta externa (por exemplo, uma camada de poliuretano). Contudo, a despeito do uso de trajetos elétricos bem planejados para conduzir a corrente elétrica, dano estrutural substancial ainda está sendo observado.

[005] Consequentemente, aqueles versados na técnica continuam a buscar novas técnicas para evitar dano estrutural resultante de descargas elétricas.

## SUMÁRIO

[006] Em um aspecto, o método divulgado para redução de dano estrutural a um substrato resultante de interação entre o substrato e um plasma pode incluir as etapas de identificação de um comprimento de onda no qual uma radiação espectral do plasma está em um pico, o comprimento de onda sendo uma função de uma temperatura do plasma, preparo de um revestimento capaz de conferir ao substrato uma refletividade eletromagnética limiar sobre uma banda espectral em torno do comprimento de onda e aplicação do revestimento ao substrato.

[007] Em outro aspecto, o método divulgado para redução de dano estrutural a um substrato resultante de contato entre o substrato e uma descarga elétrica pode incluir as etapas de preparo de um revestimento capaz de conferir ao substrato uma refletividade eletromagnética limiar no espectro de ultravioleta a vácuo e aplicação do revestimento ao substrato.

[008] Outros aspectos dos revestimentos espectralmente seletivos divulgados e métodos associados para minimização dos efeitos de descargas elétricas se tornarão evidentes a partir da descrição a seguir, dos desenhos em anexo e das reivindicações em anexo.

### BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[009] A figura 1 é uma ilustração gráfica da radiação espectral de uma energia radiante modelo de corpo negro versus o comprimento de onda e temperatura;

[0010] A figura 2A é uma ilustração gráfica das temperaturas de superfície externa e interna versus o tempo para um substrato proporcionado com um coeficiente de absorção de aquecimento por radiação de 0,2;

[0011] A figura 2B é uma ilustração gráfica das temperaturas de superfície externa e interna versus o tempo para um substrato proporcionado com um coeficiente de absorção de aquecimento por radiação de 0,1;

[0012] A figura 3A é uma ilustração gráfica da capacidade de absorção de ultravioleta eficaz versus o comprimento de onda para várias temperaturas de descarga plasmática;

[0013] A figura 3B é uma ilustração gráfica de capacidade de emissão de infravermelho eficaz versus o comprimento de onda para várias temperaturas de revestimento;

[0014] A figura 4 é uma ilustração gráfica de comprimentos de onda plasmática para vários metais;

[0015] A figura 5A é uma vista seccional transversal esquemática de um substrato revestido com um revestimento espectralmente seletivo compreendendo pigmentos esféricos;

[0016] A figura 5B é uma vista seccional transversal esquemática de um substrato revestido com um revestimento espectralmente seletivo compreendendo pigmentos semelhantes à placa;

[0017] A figura 6 é uma ilustração gráfica da refletividade espectral e líquida para uma camada espessa de alumínio adjacente a um plasma de relâmpago de 20.000 K;

[0018] A figura 7 é uma ilustração gráfica da refletividade líquida versus a espessura para uma camada de alumínio posicionada entre um plasma de relâmpago de 20.000 K e um substrato de CFRP; e

[0019] A figura 8 é um diagrama de bloco de um substrato de CFRP dotado de um revestimento espectralmente seletivo de acordo com um aspecto da presente divulgação.

#### DESCRÍÇÃO DETALHADA

[0020] Raios têm efeitos diretos e indiretos sobre substratos. Especificamente, agora descobriu-se que aquecimento radiante tem um efeito direto significativo, além de outros efeitos diretos, tais como aquecimento de resistência elétrica, forças eletromagnéticas e acústicas e fagulha elétrica. Efeitos indiretos incluem um pulso eletromagnético (ElectroMagnetic Pulse - EMP) intenso, cargas ligadas e exposição à tensão induzida dos feixes de fios e componentes eletrônicos da aeronave.

[0021] Proteção contra efeitos diretos do relâmpago típicas, conferem ao substrato (por exemplo, a estrutura exterior de uma aeronave) a capacidade de suportar as fixações iniciais e subsequentes do plasma do relâmpago em correntes de até 200.000 amperes sem consequências adversas. Proteção típica contra efeitos diretos do relâmpago podem também assegurar que nenhuma fagulha ocorre em junções estruturais ou sobre acoplamentos hidráulicos e combustível à medida que a corrente elétrica trafega entre os pontos de fixação e saída de relâmpago.

[0022] Referente à presente divulgação, proteção contra os efeitos diretos do relâmpago pode também incluir proteção contra aquecimento radiante entre o plasma do relâmpago (ou qualquer outro plasma destrutivo em alta temperatura) e o substrato. Especificamente, em um aspecto da presente divulgação, um substrato pode ser dotado de um revestimento espectralmente seletivo que é projetado e fabricado para conferir um alto nível de refletividade da energia ultravioleta ("UV") incidente irradiada pela fonte de plasma do relâmpago. Em outro aspecto, o revestimento espectralmente seletivo pode também ser emissivo nas bandas de infravermelho ("IR"), desse modo, ajudando a dissipar a energia absorvida do plasma do relâmpago por meio de re-irradiação

da mesma de volta para o ambiente a fim de minimizar o superaquecimento no substrato o qual, conforme discutido acima, pode afetar adversamente o substrato.

[0023] Conforme usado aqui, "substrato" refere-se amplamente a qualquer substrato capaz de ser danificado por uma descarga elétrica ou outro plasma danoso. O substrato pode ser qualquer substrato que não é inherentemente refletivo da energia UV ou um substrato que requer refletividade adicional de UV. Materiais de CFRP são apenas um exemplo de substratos apropriados.

[0024] Acredita-se que o relâmpago tenha uma temperatura plasmática de cerca 28.000 K, talvez oscilando de cerca de 25.000 a cerca de 30.000 K. Portanto, fazendo referência à figura 1, a qual é uma ilustração gráfica da lei de Plank referente à radiação espectral da radiação eletromagnética que emana de um corpo negro, o comprimento de onda de pico do relâmpago ocorre em torno de 100 nm. Em maiores temperaturas plasmáticas, o comprimento de onda de pico se desvia para a esquerda (isto é, maior energia UV). Em menores temperaturas, o comprimento de onda de pico se desvia para a direita (isto é, menor energia UV).

[0025] Assim, em um aspecto, o revestimento espectralmente seletivo divulgado pode ser configurado para refletir ou re-dispersar a energia de UV incidente em um comprimento de onda mais curto (por exemplo, cerca de 100 nm) do plasma do relâmpago. Em outro aspecto, o revestimento espectralmente seletivo divulgado pode ser configurado para refletir ou re-dispersar a energia UV no regime de ultravioleta no vácuo ("VUV") (isto é, 200  $\mu$ m a 10 nm). Em ainda outro aspecto, o revestimento espectralmente seletivo divulgado pode ser configurado para refletir ou re-dispersar a energia UV incidente nos outros regimes de UV que afetam o desempenho da descarga elétrica, incluindo UVC (abaixo de 280 nm), UVB (320 nm - 280 nm) e UVA (400 nm - 320 nm). Em ainda outro aspecto, o revestimento espectralmente seletivo divulgado pode proporcionar uma alta refletividade abaixo de 500 nm.

[0026] As Figuras 2 A e 2B ilustram como as temperaturas de superfície interna e externa de um substrato são afetadas pelo coeficiente de absorção da energia UV. Um primeiro substrato é proporcionado com um revestimento de 20 milímetros de nióbio (um metal refletivo de alto ponto de fusão) para proporcionar um coeficiente de absorção de aquecimento radiante plasmático de 0,2 (20% da energia incidente são absorvidos na superfície do painel). Nióbio foi selecionado como a camada externa de forma a evitar os termos de energia associados à mudança de fase e oxidação do material, de modo que apenas os efeitos da capacidade de absorção são ilustrados nas tendências paramétricas. Quando de exposição a uma descarga elétrica simulada de 10,28 kA tendo uma temperatura plasmática de 30.500 K, a superfície externa do primeiro substrato atingiu uma temperatura de pico de cerca de 1.845,55 °C (3.354 °F) e a superfície interna atingiu uma temperatura de pico de cerca de 260 °C (500 °F) (vide figura 2A). Em contraste, um segundo substrato tendo um coeficiente de absorção de aquecimento radiante plasmático de 0,1 atingiu uma temperatura de pico da superfície externa de cerca de 1.020,55 °C (1.869 °F), com uma menor temperatura de pico da superfície interna correspondente (vide figura 2B). Portanto, a redução no coeficiente de absorção reduziu a temperatura de superaquecimento no lado de trás e, como tal, reduziu o dano relacionado ao aquecimento radiante.

[0027] Análises similares mostraram os benefícios de uma maior emissividade de IR após a descarga elétrica, onde a maior emissividade re-irradia eficazmente o calor da superfície pós-relâmpago do painel em virtude de temperaturas elevadas na superfície comparado com o ambiente circundante, mas em menores temperaturas do que o plasma do relâmpago.

[0028] O precedente estabelece os benefícios de controle da capacidade de absorção espectral do substrato. Nesse caso, se a capacidade de absorção de UV pode ser reduzida para 0,1, a temperatura de superfície externa de pico está limitada a 1.896 K. Se a emissivida-

de de IR é maximizada após a descarga elétrica, a temperatura de superaquecimento lateral é limitada. Baixa capacidade de absorção de UV e alta emissividade de IR são possíveis configurando seletivamente a emissividade do revestimento.

[0029] A figura 3A ilustra a capacidade de absorção efetiva do revestimento de uma superfície exposta à temperaturas de relâmpago de 10.000 K, 15.000 K e 20.000 K. Essa análise foi realizada integrando o produto da emissão de corpo negro espectral dependente da temperatura pela capacidade de absorção espectral e dividindo pelas emissões de corpo negro totais. A paramétrica inclui dois valores de capacidade de absorção, um abaixo do comprimento de onda de transição e um acima do comprimento de onda de transição, mostrado sobre o eixo x. Abaixo do comprimento de onda de transição, a capacidade de absorção é 0,3 e, acima do comprimento de onda de transição, a capacidade de absorção é 0,8 (uma função gradual). Para a faixa de maiores temperaturas plasmáticas mostradas, a capacidade de absorção efetiva de UV permanece próximo do baixo valor de 0,3 abaixo e acima do comprimento de onda de transição de 0,5 mícrons. Uma alta capacidade de absorção de IR (comprimento de onda maior do que cerca de 1,0 micron) não afeta adversamente a baixa capacidade de absorção de UV desejada. Isso é porque apenas uma pequena fração da energia fonte nessas temperaturas existe no IR.

[0030] A figura 3B mostra a emissividade de IR eficaz para temperaturas de revestimento de 1922 K, 1366 K e 811 K em comprimentos de onda de transição paramétrica ao longo do eixo x. Abaixo do comprimento de onda de transição, a capacidade de absorção é de 0,3 e, acima do comprimento de onda de transição, a capacidade de absorção é de 0,8. A temperatura ambiental é 21.11 °C (70 °F). Aqui, a emissividade de IR eficaz é pouco alterada para as maiores temperaturas de revestimento pelo comprimento de onda de transição.

[0031] Assim, a seletividade espectral do revestimento pode ser facilitada pelos regimes de temperatura das temperaturas do plasma

do relâmpago e subsequentes temperaturas de superfície as quais separam os regimes espectrais de energia de pico de cerca de 100 nm do pico de UV (baseado em uma temperatura da fonte de 2.897 K) a cerca de 1  $\mu\text{m}$  e acima, onde emissões de IR na superfície são significativas.

[0032] Em um aspecto, o revestimento espectralmente seletivo divulgado pode ser projetado e fabricado para ser refletivo nos comprimentos de onda de VUV e emissivo nos comprimentos de onda de IR mediante depósito de partículas sobre a superfície do substrato as quais são relativamente grandes comparado com os comprimentos de onda de UV e relativamente pequenas comparado com os comprimentos de onda de IR. Medições de refletividade de UV, incluindo medições de refletividade de VUV, são possíveis com instrumentos especiais disponíveis na indústria. Em um exemplo, essas partículas podem ser metálicas (por exemplo, partículas de nióbio). Como outro exemplo, essas partículas podem incluir  $\text{SiO}_2$  ou  $\text{TiO}_2$ , bem como combinações dos mesmos.

[0033] As partículas podem estar contidas em um aglutinante o qual pode ser transparente ou semitransparente à luz visual. Por exemplo, o aglutinante pode ser poliuretano. As interações do pigmento, aglutinante, ambiente e resposta visual humana resultam em brilho e cor percebidos. Essas características também podem ser decompostas em quantificação direcional e espectral.

[0034] Um fenômeno com metais expostos à região espectral VUV, onde a energia UV se propaga através dos metais é referido como a transparência ultravioleta dos metais. A figura 4 identifica metais candidatos (e não metais), mostrando as temperaturas e comprimentos de onda de corpo negro fonte onde propagação pode ocorrer dentro dos materiais. Por exemplo, a 30.000 K, o comprimento de onda de pico do corpo negro corresponde a um número de menos de 1,0 E-7 m (100 nm). Quando expostos ao plasma de 30.000 K, metais com comprimentos de onda plasmática acima desse comprimento de onda de

energia de pico de corpo negro propagarão a energia radiante. À medida que a energia se propaga através do metal, ela é também dispersa e absorvida, desse modo, resultando em uma alta capacidade de absorção radiante líquida. Portanto, esses metais não podem ser considerados candidatos apropriados para intensificação de refletividade UV. Antes, metais com comprimentos de onda plasmática metálica abaixo dos comprimentos de onda de energia de pico de corpo negro podem ser usados para proporcionar um material de revestimento que é refletivo em tais bandas de UV. Adicionalmente, as propriedades ópticas do metal permanecerão funcionais nas temperaturas de descarga elétrica resultantes.

[0035] Dois tipos de materiais os quais permanecem transmissivos em comprimentos de onda de submícrons são polímeros baseados em silicone e fluoropolímeros, embora atualmente esses não sejam transmissivos no VUV. Polímeros baseados em silicone têm transparências de 85 por cento a 250 nm para um filme com espessura de 60 microns. Em lugar dos materiais aglutinantes transmissivos de VUV disponíveis, o pigmento pode ser misturado em um aglutinante padrão, tal como poliuretano. Com frações volumétricas de pigmento/aglutinante apropriadamente sintonizadas, espera-se que o aglutinante deteriore apenas na profundidade das partículas de pigmento subjacentes (incluindo resíduo aglutinante), com pouca a nenhuma degradação de refletividade da superfície.

[0036] Nesse ponto, aqueles versados na técnica apreciarão que (1) as partículas de pigmento funcionais podem ser ligadas à superfície superior de um substrato e contidas sobre a superfície superior do substrato dentro de um material aglutinante, (2) as partículas de pigmento podem estar contidas dentro de um material aglutinante que é suficientemente transparente na VUV, (3) as partículas de pigmento podem estar contidas dentro de um material aglutinante que não é (ou não é substancialmente) transparente no VUV e (4) combinações dos mesmos.

[0037] Em outro aspecto, o revestimento espectralmente seletivo divulgado pode também limitar a refletividade no IR, desse modo, funcionando de uma maneira similar a um "espelho frio". Um espelho frio é um espelho dielétrico especializado, um filtro dícróico o qual reflete o espectro de luz visível, ao mesmo tempo em que transmite eficientemente comprimentos de onda de IR.

[0038] Tipicamente, espelhos frios que são feitos para fins ópticos são relativamente pequenos e caros comparado com a cobertura requerida para um revestimento de painel compósito comparado com o custo que seria permissível para um revestimento de painel compósito. Os espelhos frios são produzidos empilhando camadas de materiais as quais, por meio de propriedades ópticas e espessuras de camada, resultam em interferência construtiva e destrutiva da frente da onda. Filtros dícrôicos não estão, tipicamente, disponíveis para o comprimento de onda associado à energia radiante de descargas elétricas de pico (isto é, cerca de 100 nm).

[0039] Uma forma de obter a funcionalidade dícróica desejada do revestimento é mediante o uso de uma distribuição de partículas na superfície que são relativamente grandes comparado com o comprimento de onda UV e relativamente pequenas comparado com os comprimentos de onda de IR. Conforme mostrado na figura 5A, partículas de pigmento de revestimento esféricas 10 podem ser suspensas em um aglutinante 12 e em camadas sobre um substrato 14 (por exemplo, um substrato de CFRP) para formar um revestimento espectralmente seletivo. Similarmente, conforme mostrado na figura 5B, partículas de pigmento para revestimento semelhantes à placa 16 podem ser suspensas em um aglutinante 18 e em camadas sobre um substrato 20.

[0040] De acordo com a teoria MIE, dependendo das propriedades ópticas da partícula, pequenos comprimentos de onda serão dispersos para trás e comprimentos de onda maiores serão dispersos para a frente. Os materiais em partícula podem também ser fabricados de pi-

lhas de camadas múltiplas onde os materiais são produzidos através de vários processos de depósito, triturados e peneirados para produzir as distribuições de tamanho apropriadas.

[0041] Alumínio é um material refletivo de escolha comum para sensores ópticos baseado no espaço projetados para estudar a VUV solar. A figura 6 ilustra a refletividade espectral total de alumínio não oxidado adjacente a um plasma. A refletividade espectral total inclui polarizações Elétricas Transversais (Transverse Electric - TE) e Magnética Transversal (Transverse Magnetic - TM). Se uma fonte lamber-tiana estendida é colocada na frente do alumínio, os fótons irão refletir do alumínio como uma função do comprimento de onda e ângulo incidente. A superfície é questionada usando um método de Monte Carlo para simular a refletividade líquida de uma camada de alumínio espessa em um ambiente radiante de 20.000 K. A refletividade líquida é 0,87 baseado na refletividade espectral/espacial e função de probabilidade dos ângulos incidentes dos fótons incidentes.

[0042] A figura 7 mostra a refletividade líquida do alumínio versus a espessura quando em sanduíche entre plasma de relâmpago de 20.000 K e um substrato de CFRP. Um problema com o alumínio é que ele deve ter cerca de  $10 \mu\text{m}$  (isto é, cerca de 0,5 milímetros) para atingir uma refletividade líquida da ordem de 80 por cento. Portanto, como um pigmento para revestimento, o alumínio pode requerer uma espessura e peso substanciais do revestimento. Como tal, o alumínio pode ser mais aceitável como um filme aplicado com uma camada de passivação apropriada (o alumínio oxida rapidamente), embora um metal, tal como nióbio, se adapte melhor ao ambiente térmico.

[0043] A figura 8 ilustra um substrato com um revestimento exposto a um plasma de relâmpago de 20.000 K, em que o revestimento inclui uma camada com espessura de  $1 \mu\text{m}$  de alumínio tratada com uma pilha de um quarto de onda de 8 camadas de  $\text{SiO}_2$  e  $\text{TiO}_2$ . A espessura da subcamada de revestimento  $T_{\text{SiO}_2}$  de  $\text{SiO}_2$  pode ser determinada usando a Eq. 1, como segue:

$$T_{\text{SiO}_2} = \frac{\lambda_{\text{pico}}}{4 \cdot n_{\text{SiO}_2}(\lambda_{\text{pico}})} \quad (\text{Eq. 1})$$

[0044] e a espessura da subcamada de revestimento  $T_{\text{TiO}_2}$  de  $\text{TiO}_2$  pode ser determinada usando a Eq. 2, como segue:

$$T_{\text{TiO}_2} = \frac{\lambda_{\text{pico}}}{4 \cdot n_{\text{TiO}_2}(\lambda_{\text{pico}})} \quad (\text{Eq. 2})$$

[0045] em que  $\lambda_{\text{pico}}$  é o comprimento de onda de pico,  $n_{\text{SiO}_2}(\lambda_{\text{pico}})$  é o índice de refração de  $\text{SiO}_2$  como uma função do comprimento de onda e  $n_{\text{TiO}_2}(\lambda_{\text{pico}})$  é o índice de refração de  $\text{TiO}_2$  como uma função do comprimento de onda.

[0046] Aqueles versados na técnica apreciarão que a camada de alumínio pode, alternativamente, ser posicionada entre camadas de  $\text{TiO}_2$  e  $\text{SiO}_2$ . Também, aqueles versados na técnica apreciarão que outros metais que não alumínio podem ser usados.

[0047] Por exemplo, quando o comprimento de onda de pico é de 100 nanômetros, a composição e a espessura das camadas da partícula de pigmento pode ser conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1

Camada	Composição	Espessura (nm)
1A	Dióxido de titânio	26
1B	Dióxido de silício	15
2A	Dióxido de titânio	26
2B	Dióxido de silício	15
3A	Dióxido de titânio	26
3B	Dióxido de silício	15
4A	Dióxido de titânio	26
4B	Dióxido de silício	15
5A	Dióxido de titânio	26
5B	Dióxido de silício	15
6A	Dióxido de titânio	26
6B	Dióxido de silício	15

Camada	Composição	Espessura (nm)
7A	Dióxido de titânio	26
7B	Dióxido de silício	15
8A	Dióxido de titânio	26
8B	Dióxido de silício	15
9	Alumínio	100

[0048] A espessura total do pigmento pode ser menos de cerca de 1,4  $\mu\text{m}$  e pode conferir uma refletividade de cerca de 96 por cento. A espessura das camadas na pilha pode ser reduzida pelo índice real de componente de refração comparado com em um vácuo.

[0049] Consequentemente, os revestimentos espectralmente seletivos divulgados proporcionam um meio de eliminação ou redução de dano material e estrutural por aquecimento radiante extremo em virtude de descarga elétrica. Após à descarga elétrica, superaquecimento pode ser minimizado ao maximizar as emissões térmicas na banda de IR. Portanto, aqueles versados na técnica apreciarão que os revestimentos espectralmente seletivos divulgados podem ser usados em conjunto com designs de condutividade elétrica disponíveis, incluindo materiais aglutinantes adesivos condutivos, para minimizar ou impedir dano ao painel em virtude de descarga elétrica.

[0050] Além disso, aqueles versados na técnica apreciarão que a paramétrica mostrou que um comprimento de onda de transição espectral de cerca de 0,5  $\mu\text{m}$  com uma alta refletividade, tal como cerca de 0,1 abaixo de cerca de 0,5  $\mu\text{m}$ , e uma alta capacidade de emissão, tal como cerca de 0,8 acima de cerca de 0,5  $\mu\text{m}$ , reduz significativamente as temperaturas do material durante e após uma descarga elétrica.

[0051] Ainda, aqueles versados na técnica apreciarão que o revestimento de refletividade seletiva pode ser obtido mediante o desenvolvimento de um revestimento compreendendo uma distribuição de partículas dimensionadas para re-dispersar a energia UV, mas permitir dispersão dianteira de IR no revestimento. A dispersão dianteira de IR

resulta em absorção. O revestimento, da mesma forma, conferirá alta capacidade de emissão nas bandas de IR, a qual irá radiar eficazmente a energia radiante pós-descarga elétrica para o ambiente circundante. A alta refletividade de UV pode ser obtida mediante o uso de camadas em pilhas de quarto de onda sobre o alumínio.

[0052] Embora vários aspectos dos revestimentos espectralmente seletivos divulgados e métodos associados para minimização dos efeitos de descargas elétricas tenham sido mostrados e descritos, modificações podem ocorrer para aqueles versados na técnica quando de leitura do relatório descritivo. O presente pedido inclui tais modificações e está limitado apenas pelo escopo das reivindicações.

## REIVINDICAÇÕES

1. Método para redução de dano estrutural a um substrato compósito (14) resultante de interação entre o referido substrato e um plasma de relâmpago, o referido método compreende as etapas de:

identificar um comprimento de onda ultravioleta no qual uma radiação espectral do referido plasma de relâmpago é um pico, o referido comprimento de onda ultravioleta sendo uma função de uma temperatura do referido plasma de relâmpago;

**o método caracterizado pelo fato de que** ainda compreende:

fornecer uma pluralidade de partículas de pigmento tendo uma distribuição de tamanho compreendendo uma primeira porção de partículas de pigmento que são relativamente grandes comparadas ao comprimento de onda ultravioleta identificado, dessa forma, redispersando energia ultravioleta, e uma segunda porção de partículas de pigmento que são relativamente pequenas comparadas ao comprimento de onda infravermelho, dessa forma, dispersando para frente energia infravermelha,

preparar um revestimento espectralmente seletivos (10) compreendendo uma pluralidade de partículas de pigmentos em um aglutinante (12); e

aplicação do referido revestimento (10) ao referido substrato compósito (14).

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** o referido substrato compósito (14) inclui fibras de carbono.

3. Método de acordo, com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** o referido comprimento de onda é de no máximo 500 nm.

4. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** o referido comprimento de onda é de 100 nm.

5. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações

1 a 4, **caracterizado pelo fato de que** o referido revestimento (10) inclui partículas substancialmente esféricas.

6. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, **caracterizado pelo fato de que** o referido revestimento (10) inclui partículas substancialmente semelhantes à placa (16).

7. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, **caracterizado pelo fato de que** as referidas partículas de pigmento da referida pluralidade incluindo uma pilha de um quarto de onda incluindo dióxido de silício e dióxido de titânio.

8. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, **caracterizado pelo fato de que** as referidas partículas de pigmento da referida pluralidade incluindo uma pilha de um quarto de onda incluindo um primeiro material e um segundo material, em que o referido primeiro material tem um índice de refração diferente do referido segundo material.

9. Método, de acordo com a reivindicação 7 ou 8, **caracterizado pelo fato de que** a referida pilha de um quarto de onda é recebida sobre uma camada de alumínio.

10. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 9, **caracterizado pelo fato de que** a pluralidade de partículas de pigmento é disposta para transmitir para o referido substrato compósito (14) uma refletividade eletromagnética limiar de pelo menos 90 por cento sobre uma banda espectral sobre o referido comprimento de onda.

11. Método, de acordo com a reivindicação 10, **caracterizado pelo fato de que** a referida refletividade eletromagnética limiar é pelo menos 99 por cento.

12. Estrutura **caracterizado pelo fato de que** compreende:  
um substrato compósito (14); e  
um revestimento (10) para reduzir dano estrutura do substrato compósito (14) resultante de uma interação entre o referido substrato compósito (14) e um plasma de relâmpago, em que o revestimen-

to (10) compreende uma pluralidade de partículas de pigmento tendo uma distribuição de tamanho compreendendo uma primeira porção de partículas de pigmento que são relativamente grandes comparadas ao comprimento de onda ultravioleta, dessa forma, re-dispersando energia ultravioleta, e uma segunda porção de partículas de pigmento que são relativamente pequenas comparadas ao comprimento de onda infravermelho, dessa forma, dispersando para frente energia infravermelha.

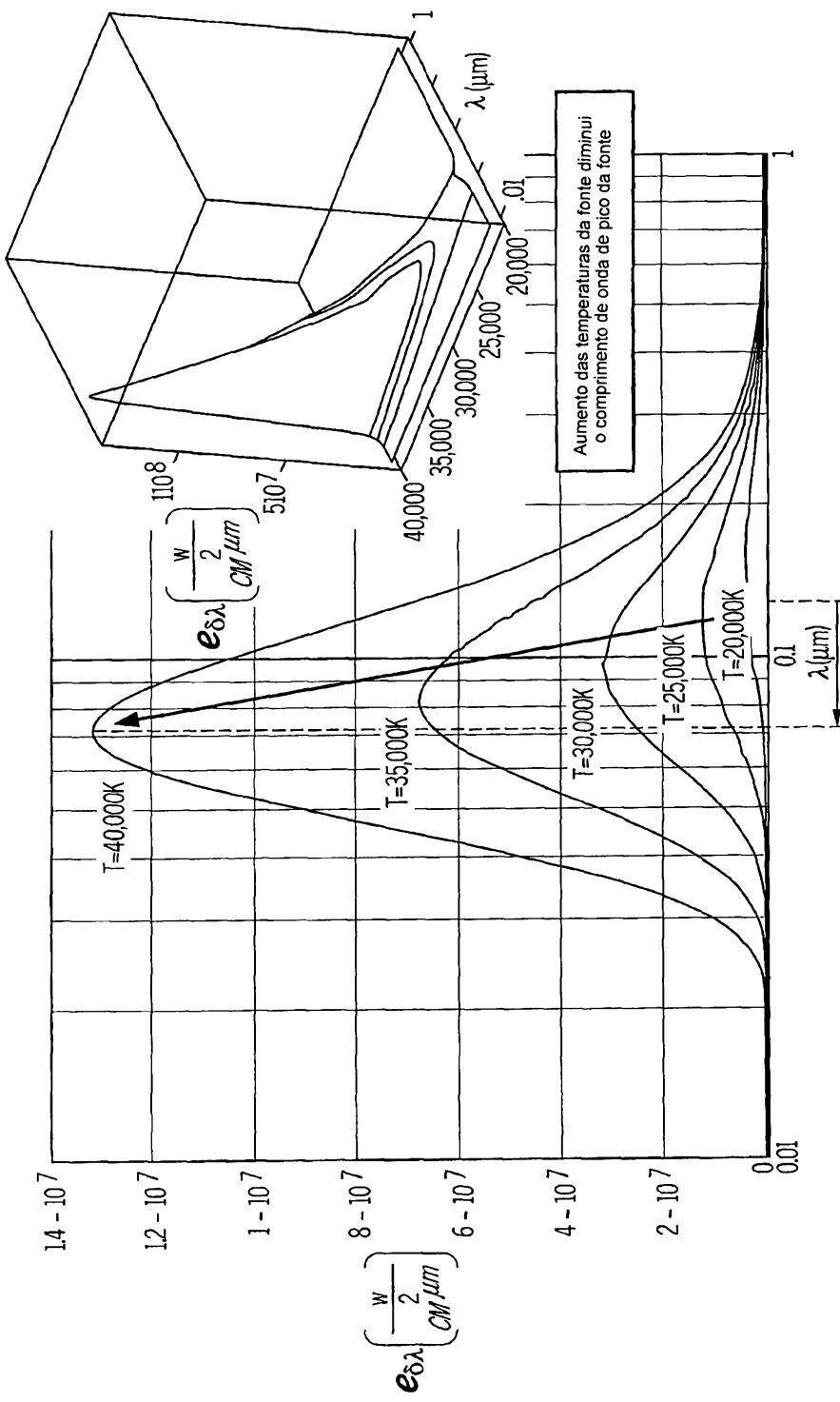


FIG. 1

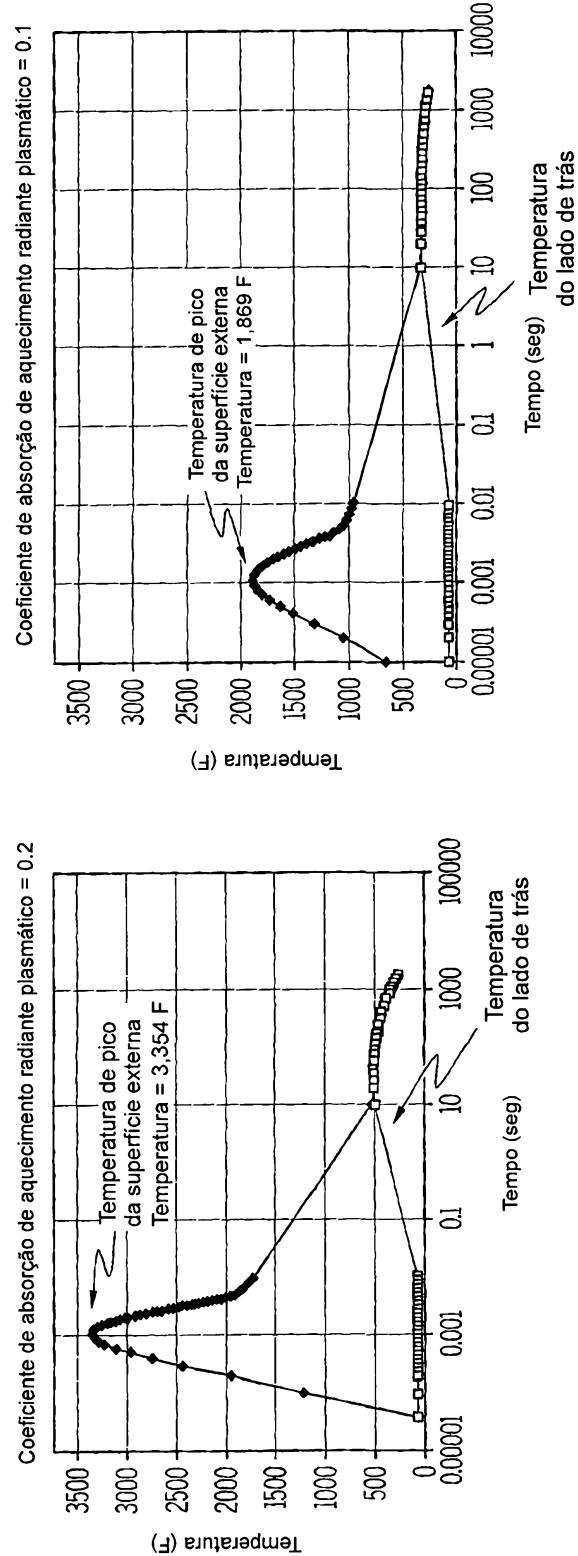


FIG. 2A

FIG. 2B

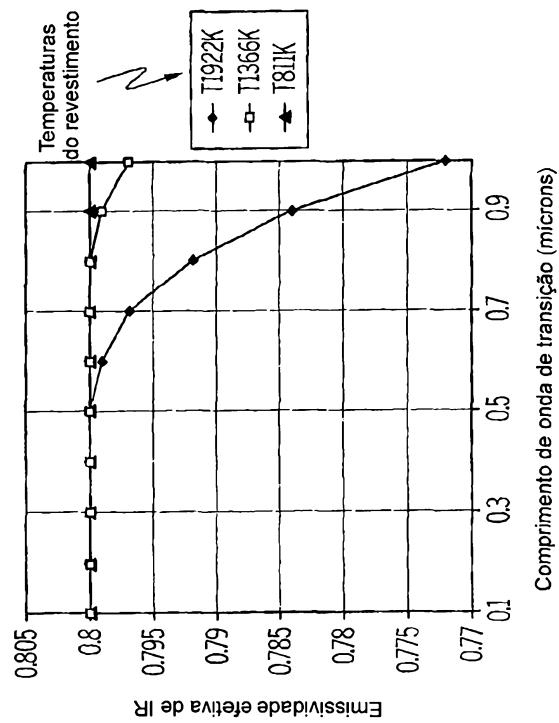


FIG. 3B

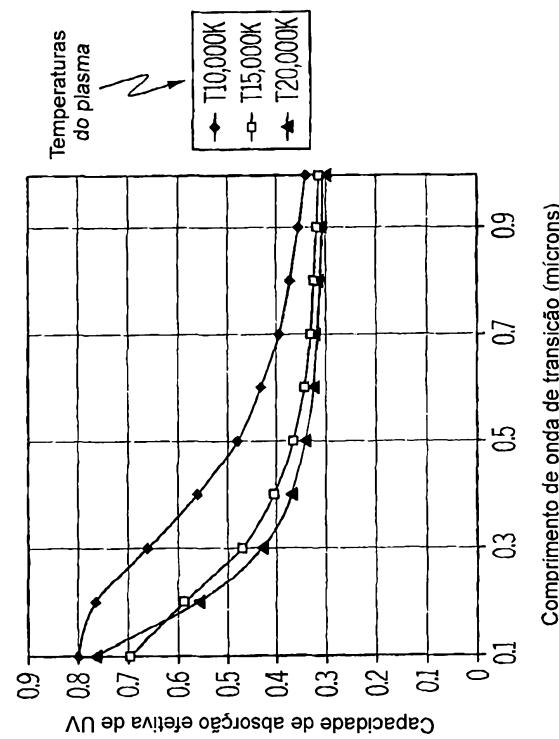


FIG. 3A

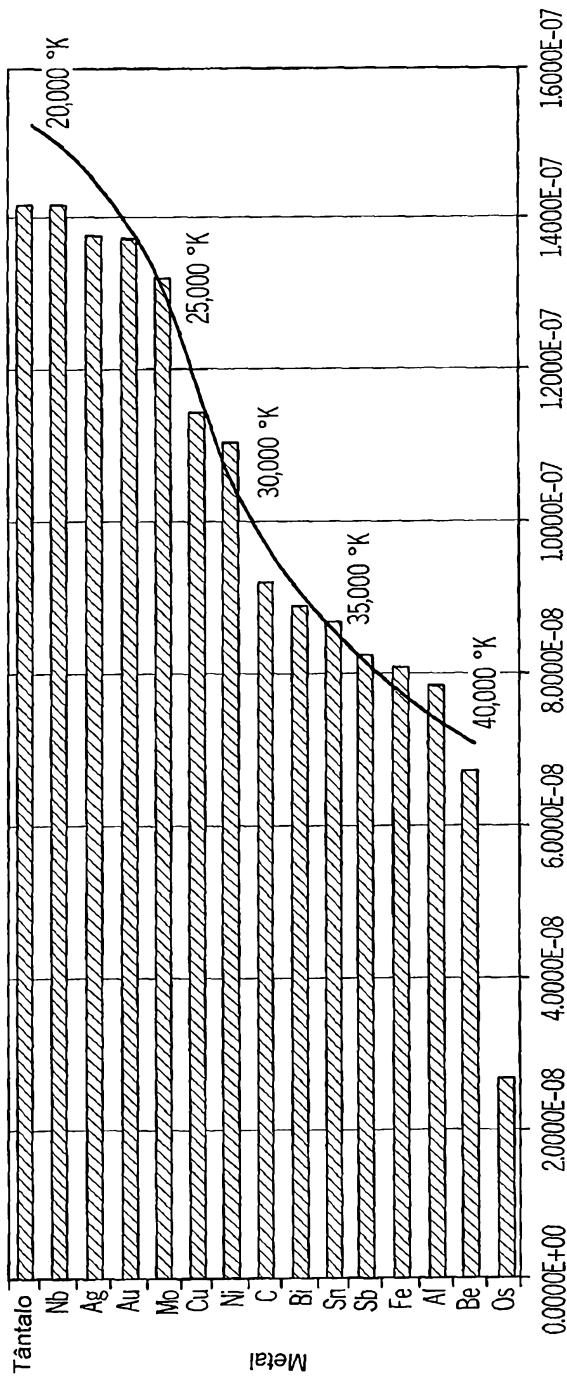


FIG. 4

Comprimento de onda do plasma de metal (m)

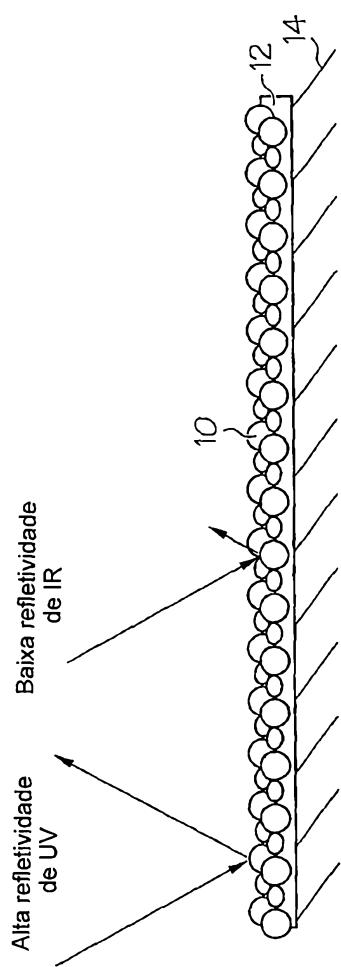


FIG. 5A

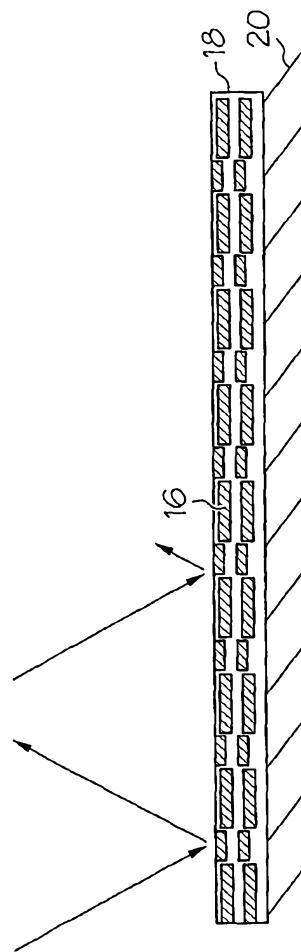


FIG. 5B

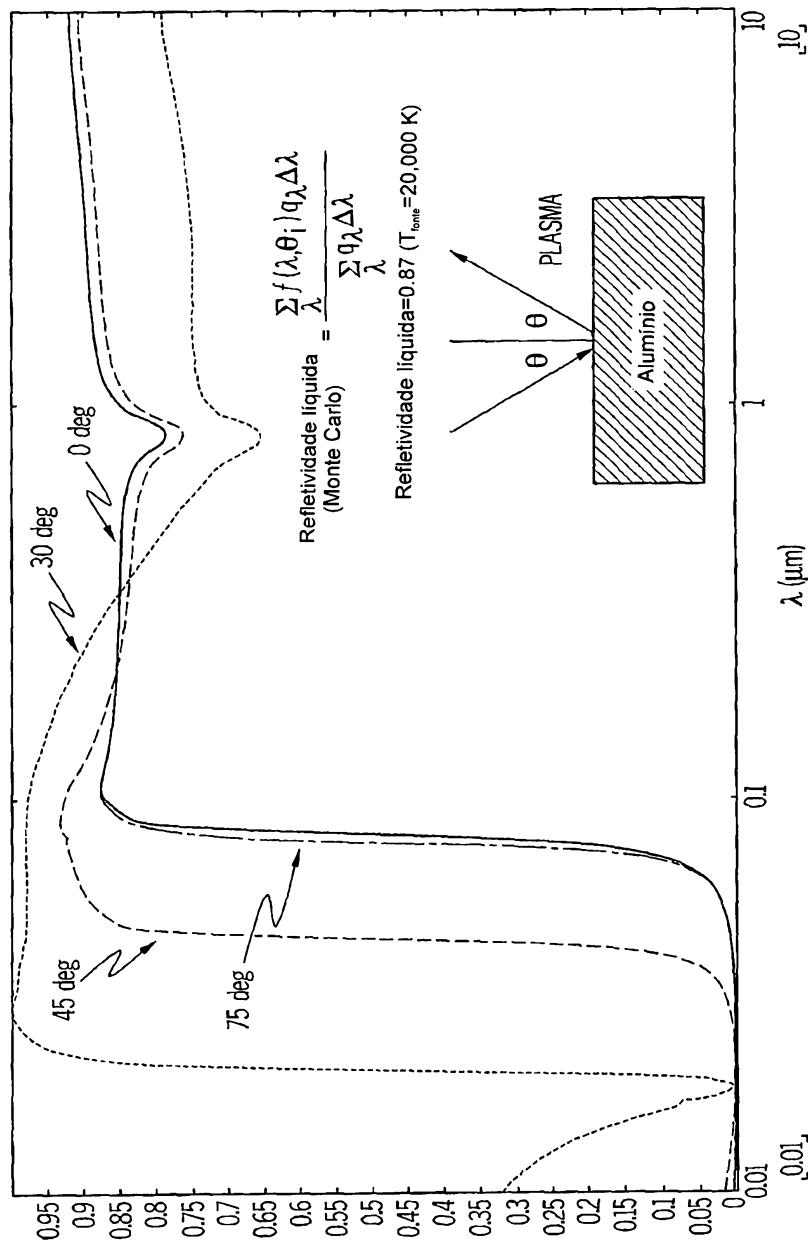


FIG. 6

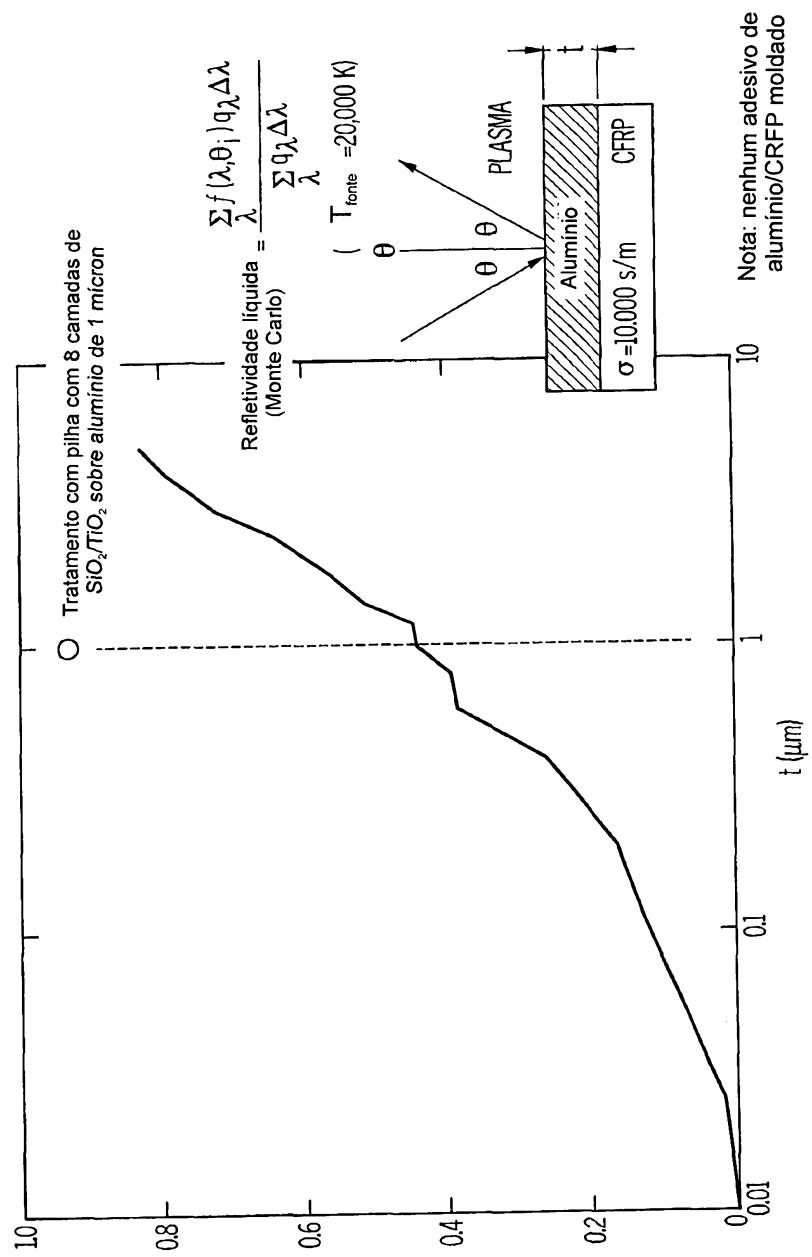


FIG. 7

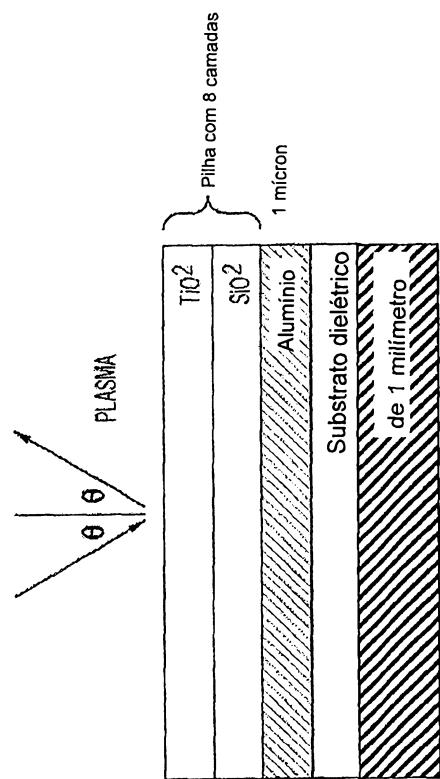


FIG. 8