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

(11) BR 112014024247-0 B1

(22) Data do Depósito: 15/04/2013

(45) Data de Concessão: 25/05/2021

(54) Título: PROCESSO PARA A OBTENÇÃO DE UM SUBSTRATO E DISPOSITIVO PARA O TRATAMENTO TÉRMICO DE UM REVESTIMENTO DEPOSITADO SOBRE UM SUBSTRATO

(51) Int.Cl.: C23C 14/58; C03C 17/00; B23K 26/08.

(30) Prioridade Unionista: 17/04/2012 FR 1253524.

(73) Titular(es): SAINT-GOBAIN GLASS FRANCE.

(72) Inventor(es): EMMANUEL MIMOUN; MATTHIEU BILAINE.

(86) Pedido PCT: PCT FR2013050813 de 15/04/2013

(87) Publicação PCT: WO 2013/156721 de 24/10/2013

(85) Data do Início da Fase Nacional: 29/09/2014

(57) Resumo: MÉTODO PARA A PRODUÇÃO DE UM SUBSTRATO REVESTIDO. O objetivo da invenção é um processo para a obtenção de um substrato fornecido pelo menos com uma porção pelo menos de um dos seus lados com um revestimento, que é constituído por uma etapa de deposição do referido revestimento sobre o referido substrato, e então uma etapa de tratamento térmico do referido revestimento usando-se uma radiação a laser pulsativa ou contínua focada sobre o referido revestimento na forma pelo menos de uma linha a laser, o comprimento do qual está dentro de uma faixa que se estende de 400 a 1500 nm, o referido tratamento térmico sendo tal que é criado um movimento de deslocamento relativo entre o substrato e a ou cada linha a laser, a velocidade do qual é pelo menos 3 m por minuto, ou cada linha a laser tendo um fator de qualidade do feixe (BPP) no máximo de 3 mm.mrad, medido no local onde a ou cada linha a laser é focada sobre o referido revestimento, uma densidade de potência linear dividida pela raiz quadrada do ciclo de trabalho pelo menos do que 200 W/cm, um comprimento pelo menos de 20 mm e uma distribuição de largura ao longo (...).

“PROCESSO PARA A OBTENÇÃO DE UM SUBSTRATO E DISPOSITIVO PARA O TRATAMENTO TÉRMICO DE UM REVESTIMENTO DEPOSITADO SOBRE UM SUBSTRATO”

[0001] A invenção refere-se ao tratamento térmico de substratos fornecidos com revestimentos, usando-se uma radiação a laser.

[0002] É conhecido no campo de microeletrônicos o tratamento térmico de revestimentos (por exemplo, feitos de silício) depositado sobre substratos usando-se linhas focadas a laser, tipicamente laser excímero que emite em ultravioleta. Estes processos são utilizados comumente para a obtenção de silício policristalino a partir de silício amorfo, através da fusão local do silício e a sua recristalização com o resfriamento. Convencionalmente, a excelente condição plana dos substratos usados em micro- eletrônicos, o seu pequeno tamanho, e o ambiente industrial típico neste tipo de indústria faz com que seja possível colocar-se um substrato com muita precisão no local focado pelo laser, para tratar todo o substrato homogeneamente e otimamente. As baixas velocidades de tratamento permitem usar, para o deslocamento dos substratos, sistemas de medição amortecidos a ar. Se necessário, os sistemas que fazem com que seja possível o controle da posição do substrato em relação ao local do foco do laser, poderão corrigir possíveis defeitos da condição plana ou a presença de vibrações de baixa frequência. Os sistemas de controle são compatíveis com as baixas velocidades de tratamento utilizadas.

[0003] Os tratamentos a laser são usados atualmente para o tratamento térmico de camadas sobre vidro ou um substrato orgânico polimérico para várias aplicações industriais: deve ser feita menção, para fins de exemplo, da produção de vidros que são limpos por si próprios, constituídos por revestimentos com base em TiO_2, a produção de vidros com baixa capacidade de emissão contendo um substrato de vidro revestido com uma pilha de camadas múltiplas contendo pelo menos uma camada de prata, descritos na solicitação WO 2010/142926, ou a produção de substratos com grande tamanho para células fotovoltaicas contendo filmes finos transparentes e condutores (RCO), descritos na solicitação WO 2010/139908.

[0004] O contexto industrial e econômico aqui é totalmente diferente. Tipicamente,

os substratos a serem tratados poderão ser grandes placas de vidro, a área superficial das quais é da ordem de 6*3 m², e, portanto, a condição plana das quais não pode ser controlada com precisão (por exemplo, dentro de ± 1 mm), que se movimentam em alta velocidade (algumas vezes da ordem de 10 m/min ou mais) em correias transportadoras industriais, na saída das máquinas de deposição (por exemplo, máquinas de deposição de bombardeio), e assim sendo, em um ambiente industrial que gera vibrações que poderiam ser grandes. Assim sendo, a posição de cada ponto do revestimento a ser tratado com relação ao plano focal do laser poderá variar significativamente, resultando em grandes heterogeneidades de tratamento. As altas velocidades de deslocamento dos substratos fazem com que seja extremamente arriscado ou mesmo impossível ajustar-se os sistemas para controle mecânico da posição do substrato.

[0005] Existe, portanto, a necessidade de se criar um processo de tratamento a laser que faça com que seja possível o tratamento econômico de substratos que apresentam defeitos na sua condição plana, homogeneamente, e em alta velocidade, em um ambiente industrial desafiador.

[0006] Para este fim, um objetivo da invenção é um processo para a obtenção de um substrato contendo pelo menos sobre uma porção de pelo menos um dos seus lados, um revestimento, que é constituído por uma etapa de deposição do referido revestimento sobre o referido substrato, e então uma etapa de tratamento térmico do referido substrato usando-se uma radiação a laser pulsativa ou contínua, com foco sobre o referido revestimento na forma pelo menos de uma linha de laser, o comprimento de onda da qual está dentro de uma faixa que se estende de 400 a 1500 nm, o referido tratamento térmico sendo tal que é criado um movimento de deslocamento relativo entre o substrato e a ou cada linha de laser, a velocidade do qual é pelo menos 3 m por minuto, a ou cada linha a laser tendo um fator de qualidade do feixe (BPP) pelo menos de 3 mm.mrad, medido no local onde a ou cada linha a laser é focada sobre o referido revestimento, uma densidade de potência linear dividida pela raiz quadrada do ciclo de serviço pelo menos de 200 W/cm, um comprimento pelo menos de 20 mm e uma distribuição de largura ao longo da ou de

cada linha tal que a largura média seja pelo menos de 30 micrometros, e a diferença entre a maior largura e a menor largura seja no máximo 15% do valor da largura média.

[0007] Outro objetivo da invenção é um dispositivo para o tratamento térmico de um revestimento depositado sobre um substrato, usando-se uma radiação a laser pulsativa ou contínua, o comprimento de onda da qual está dentro de uma faixa que se estende de 400 a 1500 nm, focada sobre o referido revestimento na forma pelo menos de uma linha, constituída por:

[0008] - uma ou mais fontes de laser e também a formação e o redirecionamento de dispositivos óticos capaz de gerar pelo menos uma linha a laser que seja capaz de exibir, em operação, um fator de qualidade do feixe (BPP) no máximo de 3 mm.mrad, medido no local onde a ou cada linha a laser é focada sobre o referido revestimento, uma densidade de potência linear dividida pela raiz quadrada do ciclo de trabalho sendo pelo menos 200 W/cm, um comprimento pelo menos de 20 mm e uma distribuição da largura ao longo da ou de cada linha tal que a largura média seja pelo menos 30 micrometros e a diferença entre a largura maior e a largura menor seja no máximo 15% do valor da largura média, e

- meio de deslocamento capaz de criar, em operação, um movimento de deslocamento relativo entre o substrato e a ou cada linha a laser, a velocidade da qual é pelo menos 3 m por minuto.

[0009] Os inventores foram capazes de demonstrar que a escolha combinada de um comprimento de onda adequado, um fator de qualidade de feixe adequado, uma densidade de potência linear adequada e uma largura da linha a laser adequada, faz com que seja possível tratar-se os substratos homogeneamente, ao mesmo tempo tolerando grandes variações de distância com relação ao local de foco do laser. Um tratamento homogêneo é entendido como significando um tratamento tal que a temperatura obtida em cada ponto durante o tratamento não varia mais do que 15%, especialmente 10%, ou mesmo 5% em termos relativos, com relação à temperatura visada. Deste modo, as propriedades obtidas (resistividade, capacidade de emissão, atividade fotocatalítica, aparência visual na reflexão ou na absorção, dependendo do tipo de camadas tratadas) são fortemente homogêneas ao longo da superfície inteira

do substrato. Vantajosamente, e devido à escolha mencionada anteriormente, a largura da ou de cada linha a laser e/ou a temperatura alcançada pelo revestimento, varia no máximo 10% em termos relativos, quando a distância do revestimento até o plano focal do laser varia ± 1 mm.

[0010] De preferência, o substrato, que geralmente é horizontal, viaja sobre uma esteira transportadora, virado para a ou para cada linha a laser, cada linha a laser sendo fixada e colocada substancialmente perpendicular à direção do deslocamento. A ou cada linha a laser poderá ser colocada acima e/ou abaixo do substrato.

[0011] É claro que são também possíveis outras realizações. Por exemplo, o substrato poderá ser fixado a ou cada linha a laser sendo movimentada na direção oposta ao substrato, especialmente usando-se um pórtico móvel. A ou cada linha a laser também poderá não ser colocada perpendicularmente à direção de deslocamento, mas ao contrário, ser em qualquer ângulo possível. O substrato também poderá ser movido sobre um plano que não é horizontal, mas sim vertical, ou ao longo de qualquer orientação possível.

[0012] A radiação a laser, de preferência, é gerada por módulos contendo uma ou mais fontes de laser e também formando ou redirecionando os dispositivos óticos.

[0013] As fontes de laser, tipicamente são diodos a laser ou laser de fibra. Os diodos a laser fazem com que seja possível obterem-se economicamente altas densidades de potência com relação à potência de suprimento elétrico para um requisito de espaço pequeno. O requisito de espaço de laser a fibra é ainda menor, e a densidade de potência linear obtida poderá ser ainda maior, com custo que é, no entanto, maior.

[0014] A radiação resultante das fontes a laser poderá ser contínua ou pulsativa, de preferência, contínua. Conforme é costume, o ciclo de trabalho é definido como sendo a relação entre a duração de uma pulsação a laser e o tempo entre duas pulsações sucessivas. Quando a radiação é contínua, o ciclo de trabalho é igual a 1, de forma que a densidade de potência linear dividida pela raiz quadrada do ciclo de trabalho é igual à densidade de potência linear. Quando a radiação é pulsativa, a frequência de repetição, vantajosamente, é pelo menos 10 kHz, especialmente 15

kHz, e mesmo 20 kHz, para ser compatível com as altas velocidades de deslocamento usadas.

[0015] O comprimento de onda da radiação da ou de cada linha a laser, de preferência, está dentro de uma faixa que se estende de 800 a 1100 nm, e especialmente, de 800 a 1000 nm. Os diodos a laser de alta potência que emitem em um comprimento de onda escolhido de 808 nm, 880 nm, 915 nm, 940 nm ou 980 nm, provaram ser especialmente adequados.

[0016] A formação e o redirecionamento dos dispositivos óticos, de preferência, são constituídos por lentes e espelhos, e são usados como meios para a colocação, homogeneização e focagem da radiação.

[0017] O objetivo dos meios de colocação, onde for apropriado, é a colocação da radiação emitida pelas fontes a laser ao longo de uma linha. De preferência, eles são constituídos por espelhos. A finalidade dos meios de homogeneização é sobrepor-se aos perfis espaciais das fontes a laser para obter uma densidade de potência linear homogênea ao longo de toda a linha. Os meios de homogeneização, de preferência, são constituídos por lentes que permitem a separação dos feixes incidentes no feixe secundário e a recombinação dos referidos feixes secundários em uma linha homogênea. Os meios de focagem da radiação fazem com que seja possível que o foco da radiação sobre o revestimento a ser tratado, seja na forma de uma linha do comprimento e largura desejados. Os meios de focagem, de preferência, são constituídos por lentes convergentes.

[0018] O termo "comprimento" da linha é entendido como significando a maior dimensão da linha, medida sobre a superfície do revestimento, e o termo "largura" é entendido como significando a dimensão em uma direção transversal à direção da maior dimensão. Conforme é costume no campo de laser se a largura w da linha corresponde à distância (ao longo da sua direção transversal) entre o eixo do feixe (onde a intensidade da radiação é máxima) e o ponto onde a intensidade da radiação é igual a $1/e^2$ vezes a intensidade máxima. Se o eixo longitudinal da linha a laser é referido como x, é possível definir-se uma distribuição de largura ao longo deste eixo, que é referido como w(x).

[0019] A largura média da ou de cada linha a laser, de preferência, é pelo menos 35 micrometros, especialmente dentro de uma faixa que se estende de 40 a 100 micrometros ou de 40 a 70 micrometros. Em todo o texto atual, o termo "média" é entendido como significando a média aritmética. Ao longo do comprimento inteiro da linha, a distribuição de largura é estreita para evitar qualquer heterogeneidade de tratamento. Assim sendo, a diferença entre a maior largura e a menor largura, de preferência é no máximo 10% do valor da largura média. Este número, de preferência, é no máximo 5%, e mesmo 3%.

[0020] O comprimento da ou de cada linha a laser, de preferência é pelo menos 10 cm ou 20 cm, especialmente dentro de uma faixa que se estende de 20 ou 30 a 100 cm, especialmente, de 20 ou 30 a 60 cm.

[0021] A formação e o redirecionamento de dispositivos óticos, especialmente dos meios de posicionamento, poderão ser ajustados manualmente ou com a ajuda de atuadores que fazem com que seja possível o ajuste da sua colocação de forma remota. Estes atuadores (tipicamente motores ou blocos piezoelétricos) poderão ser controlados manualmente e/ou ser ajustados automaticamente. No último caso, os atuadores, de preferência, serão ligados a detectores e também a um circuito de resposta.

[0022] Pelo menos parte dos módulos a laser, ou mesmo todos eles, de preferência, são colocados em uma caixa a prova de vazamento, que é vantajosamente resfriada, especialmente ventilada, para assegurar a sua estabilidade térmica.

[0023] Os módulos a laser, de preferência, são montados sobre uma estrutura rígida referida como uma "ponte", com base em elementos metálicos, tipicamente feitos de alumínio. A estrutura, de preferência, não contém uma laje de mármore. A ponte, de preferência, é colocada em paralelo com os meios de deslocamento, de forma que o plano focal da ou de cada linha a laser permanece paralelo com a superfície do substrato a ser tratado. De preferência, a ponte é constituída por pelo menos de 4 pés, a altura da qual pode ser ajustada individualmente para assegurar uma colocação em paralelo em todas as circunstâncias. O ajuste poderá ser fornecido

por motores instalados em cada pé, manualmente ou automaticamente, em conexão com um sensor de distância. A altura da ponte poderá ser adaptada (manualmente ou automaticamente), para levar em consideração a espessura do substrato a ser datado, e assim assegurar que o plano do substrato seja coincidente com o plano focal da ou de cada linha a laser.

[0024] A densidade de potência linear dividida pela raiz quadrada do ciclo de trabalho, de preferência, é pelo menos 300 W/cm, vantajosamente, 350 ou 400 W/cm, e especialmente, 450 W/cm, ou 500 W/cm e mesmo 550 W/cm. A densidade de potência linear dividida pela raiz quadrada do ciclo de trabalho é vantajosamente mesmo de pelo menos 600 W/cm, especialmente, 800 W/cm, ou mesmo 1000 W/cm. Quando a radiação a laser é contínua, o ciclo de trabalho é igual a 1, de forma que este número corresponde à densidade de potência linear. A densidade de potência linear é medida no local onde a ou cada linha a laser é focada sobre o revestimento. Ela poderá ser medida colocando-se um detector de potência ao longo da linha, por exemplo, um medidor de potência calorimétrica, como especialmente o medidor de potência “Beam Finder S/N 2000716” da Companhia Coherent Inc. A potência, é vantajosamente distribuída homogeneamente sobre o comprimento inteiro da ou de cada linha. De preferência, a diferença entre a maior potência e a menor potência é igual a menos de 10% da potência média.

[0025] A densidade de energia fornecida para o revestimento dividida pela raiz quadrada do ciclo de trabalho, de preferência, é pelo menos 20 J/cm², ou mesmo 30 J/cm². Aqui também, o ciclo de trabalho é igual a 1 quando a radiação a laser é contínua.

[0026] O fator de qualidade do feixe, frequentemente referido como produto do parâmetro do feixe, ou BPP, corresponde ao produto da largura média da linha e a sua divergência. O fator de qualidade do feixe, de preferência, é no máximo 2,6 mm.mrad, e especialmente, 2 mm.mrad, ou mesmo 1,5 ou 1 mm.mrad. De acordo com certas realizações, o fator de qualidade do feixe é no máximo 0,7 mm.rad, especialmente 0,6 mm.mrad, e mesmo 0,5 mm.mrad, ou mesmo 0,4 mm.mrad ou mesmo 0,3 mm.rad.

[0027] O tratamento térmico de acordo com a invenção é especialmente bem adequado ao tratamento de camadas que são fracamente absorventes no comprimento de onda do laser. A absorção do revestimento no comprimento de onda do laser, de preferência, é pelo menos 5%, especialmente 10%. Ela vantajosamente é no máximo 90%, e especialmente, 80% ou 70%, ou mesmo 60% ou 50%, e mesmo 40% ou mesmo 30%.

[0028] A temperatura na qual o revestimento é submetido durante o tratamento térmico, de preferência é pelo menos 300 ° C, especialmente, 350 ° C, ou mesmo 400 ° C.

[0029] De preferência, a temperatura do substrato sobre o lado oposto ao lado do revestimento não excede a 100 ° C, especialmente, 50 ° C e mesmo 30 ° C durante o tratamento térmico.

[0030] Quando são usadas diversas linhas a laser, é preferível que elas sejam colocadas de forma que seja tratada a área superficial inteira da pilha de camadas múltiplas.

[0031] A radiação a laser é parcialmente refletida pelo revestimento a ser tratado e parcialmente transmitida através do substrato. Por razões de segurança, é preferível colocar-se meios de interrupção da radiação no caminho destas radiações refletidas e/ou transmitidas. Estes meios de interrupção da radiação, tipicamente serão caixas metálicas resfriadas através de circulação de fluido, especialmente de água. Para evitar que a radiação refletida danifique os módulos a laser, os eixos de propagação da ou de cada linha a laser formam um ângulo de preferência diferente de zero com a normal do substrato, tipicamente um ângulo entre 5 ° e 20 °.

[0032] Para melhorar a efetividade do tratamento, é preferível que pelo menos uma porção da radiação a laser (a principal) transmitida através do substrato e/ou refletida pelo revestimento seja redirecionada na direção do referido substrato para formar pelo menos uma radiação a laser secundária, que de preferência impacta o substrato no mesmo local que a radiação a laser principal, vantajosamente com a mesma profundidade de foco e o mesmo perfil. A formação da ou de cada linha a laser de radiação, vantajosamente usa um conjunto de dispositivos óticos contendo

somente elementos óticos escolhidos de espelhos, prismas e lentes, especialmente um conjunto ótico que consiste de dois espelhos e uma lente, ou de um prisma e uma lente. Recuperando-se pelo menos uma porção da radiação principal perdida através do redirecionamento da mesma para o substrato, o tratamento térmico é consideravelmente melhorado. A escolha do uso da porção da radiação principal transmitida através do substrato (modo de "transmissão") ou a porção da radiação principal refletida pelo revestimento (modo de "reflexão"), ou opcionalmente usando-se ambas, depende da natureza da camada e do comprimento de onda da radiação a laser.

[0033] Quando o substrato está em movimento, especialmente o translacional, ele poderá ser movido usando-se quaisquer meios de direcionamento mecânico, por exemplo, usando-se correias, rolos ou bandejas que se deslocam translacionalmente. Os sistemas de transporte fazem com que seja possível controlar-se e regular-se a velocidade da corrida. Os meios de transporte, de preferência, são constituídos por um chassi rígido e uma quantidade de rolos. O passo dos rolos, vantajosamente, está dentro de uma faixa que se estende de 50 a 300 mm. Os rolos, de preferência, são constituídos por anéis metálicos, tipicamente feitos de aço, cobertos com um envoltório de plástico. Os rolos, de preferência, são montados sobre suportes com folga reduzida, tipicamente em uma proporção de três rolos por suporte. Para assegurar uma qualidade plana perfeita do meio de transporte, a colocação de cada um dos rolos, vantajosamente, é ajustável. Os rolos, de preferência, são movidos usando-se pinhões ou correntes, de preferência, correntes tangenciais, acionadas pelo menos por um motor.

[0034] Os meios de direcionamento, de preferência, são tais que na ou em cada linha a laser, o valor absoluto da distância entre cada ponto do substrato e o plano focal da ou de cada linha a laser é no máximo 1 mm, especialmente, 0,5 mm, ou mesmo 0,3 mm, e mesmo 0,1 mm.

[0035] Se o substrato é feito de um material orgânico polimérico flexível, ele poderá ser movimentado usando-se um sistema de deslocamento de filme na forma de uma sucessão de rolos. Neste caso, a condição plana poderá ser assegurada

através de uma escolha apropriada da distância entre os rolos, levando-se em consideração a espessura do substrato (e, portanto, a sua flexibilidade) e o impacto que o tratamento térmico poderá ter na criação de uma depressão possível.

[0036] Quando a linha a laser está em movimento, é necessário fornecer-se um sistema para a movimentação dos módulos a laser (fontes de laser e formação e redirecionamento dos dispositivos óticos), localizado acima ou no meio do substrato. O tempo de tratamento é regulado pela velocidade da corrida da linha a laser. Os módulos a laser poderão ser movimentados, por exemplo, usando-se um robô, em qualquer direção, permitindo, quando for apropriado, um tratamento dos substratos curvos, tais como, por exemplo, substratos de vidro curvo.

[0037] A velocidade do movimento de deslocamento relativo entre o substrato e a ou cada linha a laser, vantajosamente, é pelo menos de 4 m/min, especialmente, 5 m/min e mesmo 6 m/min ou 7 m/min, ou mesmo 8 m/min e mesmo 9 m/min ou 10 m/min. De acordo com certas realizações, especialmente quando a absorção do revestimento no comprimento do laser é alta ou quando o revestimento poderá ser depositado com taxas elevadas de deposição, a velocidade de movimentação de deslocamento relativo entre o substrato e a ou cada linha a laser, é pelo menos 12 m/min ou 15 m/min, e especialmente, 20 m/min e mesmo 25 ou 30 m/min. Para assegurar um tratamento que seja tão homogêneo quanto possível, a velocidade do movimento de deslocamento relativo entre o substrato e a ou cada linha a laser varia durante o tratamento pelo menos no máximo 10% em termos relativos, especialmente, 2% e mesmo 1% com relação ao seu valor nominal.

[0038] É claro que todas as posições relativas do substrato e do laser são possíveis, desde que a superfície do substrato possa ser irradiada de forma adequada. Mais genericamente, o substrato será colocado horizontalmente ou substancialmente horizontalmente, mas ele poderá também ser colocado verticalmente, ou em qualquer inclinação possível. Quando o substrato é colocado horizontalmente, as fontes a laser, geralmente são colocadas para irradiar o lado do topo do substrato. As fontes a laser também poderão irradiar o lado de baixo do substrato. Neste caso, é necessário que o sistema de suporte do substrato,

opcionalmente o sistema de transporte do substrato quando o substrato está em movimento, deixe a radiação passar para dentro da zona a ser irradiada. Este é o caso, por exemplo, quando são utilizados rolos de movimentação: como os rolos não são conectados, é possível colocar-se as fontes a laser em uma zona localizada entre dois rolos sucessivos.

[0039] Quando ambos os lados do substrato devem ser tratados, é possível usar-se várias fontes a laser localizadas em qualquer lado do substrato, se o último está na posição horizontal, vertical ou em qualquer posição inclinada. Estas fontes de laser poderão ser idênticas ou diferentes, especialmente os seus comprimentos de onda poderão ser diferentes, adaptados especialmente a cada um dos revestimentos a ser tratado. Para fins de exemplo, um primeiro revestimento (por exemplo, um revestimento de baixa capacidade de emissão) localizado sobre um primeiro lado do substrato poderá ser tratado por uma primeira radiação a laser que emite, por exemplo, na região visível ou próxima de infravermelho, enquanto um segundo revestimento (por exemplo, um revestimento fotocatalítico) localizado sobre o segundo lado do referido substrato poderá ser tratado por uma segunda radiação a laser que emite, por exemplo, na região do infravermelho.

[0040] O dispositivo de tratamento térmico de acordo com a invenção poderá ser integrado em uma linha de deposição de camada, por exemplo, uma linha de deposição de bombardeio de magnetron, uma linha de deposição de vapor químico (CVD), e especialmente, uma linha enriquecida com plasma (PECVD), sob vácuo ou na pressão atmosférica (APPECVD). Em geral, a linha inclui dispositivos de manuseio do substrato, uma unidade de deposição, dispositivos de controle ótico e dispositivos de empilhamento. Por exemplo, os substratos se deslocam sobre rolos transportadores, em uma sucessão sobre cada dispositivo ou cada unidade.

[0041] O dispositivo de tratamento térmico de acordo com a invenção, de preferência, é localizado imediatamente depois da unidade de deposição de revestimento, por exemplo, na saída da unidade de deposição. O substrato revestido poderá então ser tratado em linha depois que o revestimento for depositado, no fim da unidade de deposição e antes dos dispositivos de controle ótico, ou depois dos

dispositivos de controle ótico e antes dos dispositivos de empilhamento do substrato.

[0042] O dispositivo de tratamento térmico poderá também ser integrado na unidade de deposição. Por exemplo, o laser poderá ser introduzido em uma das câmaras de uma unidade de deposição bombardeio, especialmente para dentro de uma câmara na qual a atmosfera é rarefeita, especialmente em uma pressão entre 10^{-6} mbar e 10^{-2} mbar. O dispositivo de tratamento térmico poderá também ser colocado fora da unidade de deposição, mas para tratar o substrato localizado dentro da referida unidade. Para este fim, tudo que é requerido é dispor-se de uma janela transparente ao comprimento de onda da radiação usada, através da qual passa a radiação a laser para tratar a camada. É, portanto, possível tratar-se uma camada (por exemplo, uma camada de prata) antes da deposição seguinte de outra camada na mesma unidade.

[0043] Se o dispositivo de tratamento térmico está fora da unidade de deposição ou integrado na mesma, estes processos "em linha" são preferidos a um processo que envolve operações fora de linha nas quais seria necessário o empilhamento dos substratos de vidro entre a etapa de deposição e o tratamento térmico.

[0044] No entanto, os processos que envolvem operações fora de linha poderão ter uma vantagem em casos nos quais o tratamento térmico de acordo com a invenção é executado em um local diferente daquele onde é feita a deposição, por exemplo, em um local onde acontece a conversão do vidro. O dispositivo de tratamento térmico, portanto, poderá ser integrado nas linhas ao invés da linha de deposição de camada. Por exemplo, ele poderá ser integrado em uma linha de fabricação de vidros múltiplos (especialmente de vidros duplos ou triplos) ou em uma linha de fabricação de vidros laminados, ou mesmo em uma linha de fabricação de vidros curvos e/ou temperados. Os vidros laminados ou curvos ou temperados poderão ser usados tanto como vidros arquitetônicos como vidros de veículos motorizados. Nestes vários casos, o tratamento térmico de acordo com a invenção, de preferência, é executado antes que os vidros múltiplos ou vidros laminados sejam produzidos. No entanto, o tratamento térmico poderá ser executado depois do vidro duplo ou vidro laminado ter sido produzido.

[0045] O dispositivo de tratamento térmico, de preferência, é colocado em uma

câmara fechada que faz com que seja possível proteger pessoas, evitando qualquer contato com a radiação a laser e evitando qualquer poluição, especialmente do substrato, dispositivos óticos ou zona de tratamento.

[0046] A pilha de camadas múltiplas poderá ser depositada sobre o substrato por qualquer tipo de processo, especialmente processos que geram predominantemente camadas amorfas ou nanocristalinas, tais como a do processo de bombardeio, especialmente de bombardeio de magnetron, o processo de deposição de vapor químico melhorado com plasma (PECVD), o processo de evaporação a vácuo ou o processo sol-gel.

[0047] De preferência, a pilha de camadas múltiplas é depositada através de aplicação, especialmente de bombardeio de magnetron.

[0048] Para uma maior simplicidade, o tratamento térmico da pilha de camadas múltiplas, de preferência, acontece ao ar e/ou na pressão atmosférica. No entanto, é possível que o tratamento térmico da pilha de camadas múltiplas seja feito dentro da câmara de deposição a vácuo real, por exemplo, antes de uma deposição subsequente.

[0049] O substrato, de preferência, é feito de vidro ou de um material orgânico polimérico. Ele, de preferência, é transparente, incolor (ele é, portanto, um vidro claro ou extra-claro) ou é colorido, por exemplo, azul, cinza, verde ou bronze. O vidro, de preferência, é do tipo de soda-cal-sílica, mas ele também poderá ser de boro- silicato ou do tipo de alumina-boro-silicato. Os materiais orgânicos poliméricos preferidos, são policarbonato, polimetil metacrilato, polietileno tereftalato (PET), polietileno naftalato (PEN), ou mesmo flúor-polímeros tais como etileno tetrafluoretileno (ETFE). O substrato, vantajosamente, tem pelo menos uma dimensão maior ou igual a 1 m, ou 2 m ou mesmo 3 m. A espessura do substrato geralmente varia entre 0,5 mm e 19 mm, de preferência, entre 0,7 e 9 mm, especialmente, entre 2 e 8 mm, ou entre 4 e 6 mm. O substrato poderá ser plano ou curvo, ou mesmo flexível.

[0050] O substrato de vidro, de preferência, é do tipo de vidro flutuante, quer dizer, que é capaz de ter sido obtido por um processo que consiste no derramamento do vidro fundido sobre um banho de estanho fundido (banho "flutuante"). Neste caso, o

revestimento a ser tratado poderá ser depositado igualmente no lado do "estanho" assim como sobre o lado da "atmosfera" do substrato. Os termos lado da "atmosfera" ou do "estanho" não devem ser entendidos como significando os lados do substrato que estiveram, respectivamente, em contato com a atmosfera no banho flutuante e em contato com o estanho fundido. O lado de estanho contém uma pequena quantidade superficial de estanho que foi difundida para dentro da estrutura do vidro. O substrato do vidro também poderá ser obtido pela rolagem entre dois rolos, uma técnica que faz com que seja possível especialmente a impressão de padrões sobre a superfície do vidro.

[0051] O tratamento térmico, de preferência, se destina a melhorar a cristalização do revestimento, especialmente, através do aumento do tamanho dos cristais e/ou da fase cristalina. O tratamento térmico também poderá se destinar à oxidação de uma camada de um metal ou de um óxido metálico que é sub-estequiométrico em oxigênio, opcionalmente através da promoção do crescimento de uma fase cristalina específica.

[0052] De preferência, a etapa de tratamento térmico não utiliza fusão, mesmo fusão parcial do revestimento. Nos casos onde o tratamento se destina a melhorar a cristalização do revestimento, o tratamento térmico faz com que seja possível produzir-se energia suficiente para promover a cristalização do revestimento por um mecanismo físico-químico de crescimento cristalino ao redor do núcleo já presente no revestimento, ao mesmo tempo permanecendo no estado sólido. Este tratamento não utiliza um mecanismo de cristalização por resfriamento partindo de um material fundido, por um lado porque isto requereria temperaturas extremamente elevadas e, por outro lado, porque isto seria capaz de modificar a espessura ou os índices de refração do revestimento, e, portanto, as suas propriedades, através da modificação, por exemplo, da sua aparência ótica.

[0053] O revestimento tratado, de preferência, é constituído por uma camada fina escolhida de camadas metálicas (especialmente baseadas em ou consistindo de prata ou molibdênio), camadas de óxido de titânio e camadas condutivas eletricamente transparentes.

[0054] As camadas condutivas eletricamente transparentes tipicamente são

baseadas em óxidos de mistura de estanho e índio (referidos como "ITOs"), baseados em óxidos misturados de zinco e de índio (referidos como "IZOs"), baseados em óxido de zinco dopado com um gálio ou dopado com alumínio, óxido de titânio dopado com nióbio, baseado em estanato de cádmio ou zinco, ou baseado em óxido de estanho dopado com flúor e/ou com antimônio. Estas várias camadas apresentam a característica distinta de serem camadas que são transparentes e, no entanto, são condutivas ou semi-condutivas, e são utilizadas em muitos sistemas onde estas duas propriedades são necessárias: telas de cristal líquido (LCDs), coletores solares ou fotovoltaicos, dispositivos eletro-crômicos ou eletro-luminescentes (especialmente LEDs, OLEDs), etc. A sua espessura, geralmente determinada pela resistência de chapa desejada, tipicamente é entre 50 e 1.000 nm, os limites incluídos.

[0055] As camadas metálicas finas, por exemplo, baseadas em prata metálica, mas também baseadas em molibdênio metálico ou nióbio metálico, têm propriedades de condução elétrica e de reflexão de radiação infravermelha, e portanto o seu uso em vidros de controle solar, especialmente em vidros de proteção solar (que se destinam a reduzir a quantidade de energia solar que entra) ou vidros de baixa emissividade (que se destinam a reduzir a quantidade de energia dissipada para o lado de fora de um prédio ou de um veículo). A sua espessura física, tipicamente é entre 4 e 20 nm (limites incluídos). As pilhas de camadas múltiplas de baixa emissividade com frequência conterão várias camadas de prata, tipicamente duas ou três. Cada camada de prata geralmente é cercada por camadas dielétricas que protegem a mesma de corrosão ou fazem com que seja possível o ajuste da aparência do revestimento na reflexão. O molibdênio é, com frequência, usado como um material eletrodo para células fotovoltaicas o baseadas em um $CuIn_xGa_{1-x}Se_2$, onde x varia de 0 a 1. O tratamento de acordo com a invenção faz com que seja possível a redução da sua resistividade. Outros materiais poderão ser tratados de acordo com a invenção, como por exemplo, titânio, com o objetivo específico de oxidação do mesmo e a obtenção de uma camada de óxido de titânio fotocatalítico.

[0056] Quando o revestimento a ser tratado é uma pilha de camadas múltiplas de baixa emissividade, de preferência, ela é constituída, começando pelo substrato, por

um primeiro revestimento contendo pelo menos uma primeira camada dielétrica, pelo menos uma camada de prata, opcionalmente uma camada superior bloqueadora e um segundo revestimento contendo pelo menos uma segunda camada dielétrica.

[0057] De preferência, a espessura física da ou de cada camada de prata é entre 6 e 20 nm.

[0058] A camada de bloqueador de coberturas se destina a a proteger a camada de prata em durante a deposição do de uma camada subsequente (por exemplo, se a última é depositada em uma atmosfera oxidante ou nitrificante) e durante um tratamento térmico opcional de têmpera ou tipo de dobrar a.

[0059] A camada de prata poderá também ser depositada sobre o e em contato com uma camada de bloqueador inferior. A pilha de camadas múltiplas, pode, portanto, ser constituída por uma camada de bloqueador de cobertura e/ou uma camada de bloqueador inferior ladeando a ou cada camada de prata.

[0060] As camadas de bloqueador (bloqueador inferior e/ou bloqueador de cobertura) geralmente são baseadas em um metal escolhido de níquel, cromo, titânio, nióbio ou uma liga destes vários metais. Poderá ser feita menção, especialmente, de ligas de níquel-titânio (especialmente aquelas contendo cerca de 50% de cada metal em peso) ou ligas de níquel-cromo (especialmente aquelas contendo 80% de níquel em peso e 20% de cromo em peso). A camada de bloqueador de cobertura também poderá consistir de várias camadas superpostas; por exemplo, saindo do substrato, uma camada de titânio e então uma camada de liga de níquel (especialmente em uma liga de níquel-cromo), ou vice-versa. Os vários metais ou ligas citados também poderão ser parcialmente oxidados, e especialmente poderão ser sub-estequiométricos em oxigênio (por exemplo, TiO_x ou $NiCrO_x$).

[0061] Estas camadas de bloqueador (bloqueador inferior e/ou bloqueador de cobertura) são muito finas, normalmente tendo uma espessura de menos de 1 nm, de forma que não afetem a transmissão de luz da pilha de multicamadas, e podem ser parcialmente oxidadas durante o tratamento térmico de acordo com a invenção. Em geral, as camadas de bloqueador são camadas de sacrifício capazes de capturarem oxigênio proveniente da atmosfera ou do substrato, evitando dessa forma que a

camada de prata seja oxidada.

[0062] A primeira e/ou a segunda camada dielétrica, tipicamente é um óxido (especialmente óxido de estanho), ou de preferência um nitreto, e especialmente nitreto de silício (especialmente no caso de uma segunda camada dielétrica, aquele mais longe do substrato). Em geral, o nitreto de silício poderá ser dopado, por exemplo, com alumínio ou boro, para fazer com que seja mais fácil depositar o mesmo por técnicas de bombardeio. O grau de dopagem (correspondente à percentagem atômica relativa a quantidade de silício) geralmente não excede a 2%. A função destas camadas dielétricas é proteger a camada de prata contra ataque químico ou mecânico e elas também influenciam as propriedades óticas, especialmente na reflexão da pilha de camadas múltiplas, através do fenômeno de interferência.

[0063] O primeiro revestimento poderá conter uma ou várias camadas dielétricas, tipicamente duas a quatro camadas dielétricas. O segundo revestimento poderá conter uma ou várias camadas dielétricas, tipicamente duas a três camadas dielétricas. Estas camadas dielétricas, de preferência, são feitas de um material que é escolhido de nitreto de silício, óxido de titânio, óxido de estanho e óxido de zinco, ou qualquer mistura ou solução sólida dos mesmos, por exemplo, um óxido de zinco e estanho, ou um óxido de zinco e titânio. A espessura física da camada dielétrica, ou a espessura física geral de todas as camadas dielétricas, se são no primeiro revestimento ou no segundo revestimento, de preferência, é entre 15 e 60 nm, especialmente, entre 20 e 50 nm.

[0064] O primeiro revestimento, de preferência, é constituído, imediatamente em baixo da camada de prata ou embaixo da camada de bloqueador inferior opcional, por uma camada de umidificação, a função da mesma sendo aumentar a umidificação e a adesão da camada de prata. O óxido de zinco, especialmente quando dopado com alumínio, prova ser especialmente vantajoso a este respeito.

[0065] O primeiro revestimento poderá também conter, diretamente sob a camada de umidificação, uma camada de amaciamento, que é parcialmente ou completamente óxido misturado amorfo (e, portanto, um tendo uma rugosidade muito baixa), a função do qual é promover o crescimento da camada de umidificação em

uma orientação cristalográfica preferencial, dessa forma promovendo a cristalização da prata através do fenômeno epitaxial. A camada de amaciamento, de preferência, é constituída por um óxido misturado de pelo menos dois metais escolhidos de Sn, Zn, In, Ga e Sb. Um óxido preferido é o óxido de estanho e índio dopado com antimônio.

[0066] No primeiro revestimento, a camada de umidificação ou a camada de amaciamento opcional, de preferência, é depositada diretamente sobre a primeira camada dielétrica. A primeira camada dielétrica, de preferência, é depositada diretamente sobre o substrato. Para a adaptação ótima das propriedades óticas (especialmente a aparência na reflexão) da pilha de camadas múltiplas, a primeira camada dielétrica, como alternativa, poderá ser depositada sobre a camada de nitreto ou óxido, por exemplo, uma camada de óxido de titânio.

[0067] Dentro do segundo revestimento, a segunda camada dielétrica poderá ser depositada diretamente sobre a camada de prata ou de preferência, sobre um bloqueador de cobertura, ou sobre a outra camada de óxido ou nitreto destinadas à adaptação das propriedades óticas da pilha de camadas múltiplas. Por exemplo, uma camada de óxido de zinco, especialmente uma dopada com alumínio, ou uma camada de óxido de estanho, poderão ser colocadas entre um bloqueador de cobertura e a segunda camada dielétrica, que de preferência, é feita de nitreto de silício. O óxido de zinco, especialmente o óxido de zinco dopado por alumínio, ajuda a melhorar a adesão entre a prata e as camadas superiores.

[0068] Assim sendo, a pilha de camadas múltiplas tratada de acordo com a invenção, de preferência, é constituída pelo menos por uma sucessão de ZnO/Ag/ZnO. O óxido de zinco poderá ser dopado com alumínio. Uma camada de bloqueador inferior poderá ser colocada entre a camada de prata e a camada subjacente. Alternativamente ou adicionalmente, uma camada de bloqueador de cobertura poderá ser colocada entre a camada de prata e a camada super-adjacente.

[0069] Finalmente, a segunda cobertura poderá ser montada por cima por meio de uma camada de cobertura, algumas vezes referida como um revestimento de cobertura na Arte. Esta última camada da pilha de camadas múltiplas, que portanto é aquela em contato com o ar ambiente, se destina a proteger a pilha de camadas

múltiplas contra qualquer ataque mecânico (arranhões, etc) ou ataque químico. Esta camada de cobertura geralmente é muito fina para não atrapalhar a aparência na reflexão da pilha de camadas múltiplas (a sua espessura, tipicamente é entre 1 e 5 nm). De preferência, ela é baseada em um óxido de titânio ou um óxido misturado de zinco e estanho, especialmente um dopado com antimônio, depositado na forma sub-estequiométrica.

[0070] A pilha de camadas múltiplas poderá ser constituída por uma ou mais camadas de prata, especialmente duas ou três camadas de prata. Quando está presente mais de uma camada de prata, a arquitetura geral apresentada acima poderá ser repetida. Neste caso, o segundo revestimento relativo a uma determinada camada de prata (e, portanto, localizado acima desta camada de prata) geralmente coincide com o primeiro revestimento relativo à camada de prata seguinte.

[0071] As camadas finas baseadas em um óxido de titânio têm uma característica distinta de serem limpas por si próprias, facilitando a degradação de compostos orgânicos sob a ação de radiação ultravioleta e a remoção de sujeira mineral (poeira) sob a ação da água da chuva. A sua espessura física, de preferência, é entre 2 e 50 nm, especialmente, entre 5 e 20 nm, limites incluídos.

[0072] As várias camadas mencionadas possuem a característica comum distinta de verem algumas das suas propriedades serem melhoradas quando estão pelo menos parcialmente no estado cristalizado. Geralmente procura-se maximizar o grau de cristalização destas camadas (a proporção de material cristalizado por peso ou por volume) e o tamanho dos grãos cristalinos (ou o tamanho dos domínios de difração coerentes medidos pelos métodos de difração de raios X), ou mesmo em certos casos favorecer uma forma cristalografica específica.

[0073] No caso do óxido de titânio, sabe-se que o óxido de titânio cristalizado na forma de anatase é muito mais efetivo em termos de degradação de compostos orgânicos do que o óxido de titânio amorfo ou óxido de titânio cristalizado na forma de rutilo ou de brookite.

[0074] Sabe-se também que as camadas de prata tendo um alto grau de cristalização, e em consequência, um baixo teor residual de prata amorfo têm uma

emissividade menor e uma resistividade menor do que as camadas de prata predominantemente amorfas. A condutividade elétrica e as propriedades de baixa emissividade destas camadas são portanto melhoradas.

[0075] Da mesma forma, as camadas condutivas transparentes mencionadas anteriormente, especialmente aquelas com base em óxido de zinco dopado, óxido de estanho dopado com flúor ou óxido de índio dopado com estanho têm uma condutividade elétrica ainda maior quando o seu grau de cristalização é alto.

[0076] De preferência, quando o revestimento é condutivo, a sua resistência de chapa é reduzida pelo menos em 10%, ou 15%, ou mesmo 20% pelo tratamento térmico. Aqui, isto é uma questão de redução relativa, com relação ao valor da resistência da chapa antes do tratamento.

[0077] Outros revestimentos poderão ser tratados de acordo com a invenção. Poderá ser feita uma menção especial, não limitante, a revestimentos com base em (ou consistindo de) CdTe ou chalcopiritas, por exemplo, do tipo $CuIn_xGa_{1-x}Se_2$, e onde x varia de 0 a 1. Poderá também ser feita menção a revestimentos do tipo esmalte (por exemplo, depositados através de impressão em tela), ou do tipo de tinta ou de laca (tipicamente contendo uma resina orgânica e pigmentos).

[0078] Os substratos revestidos obtidos de acordo com a invenção poderão ser usados em vidros simples, múltiplos ou laminados, espelhos, e coberturas de paredes com vidro. Se o revestimento é uma pilha de camadas múltiplas de baixa emissividade, no caso de vidros múltiplos contendo pelo menos duas placas de vidro separadas por uma cavidade cheia com gás, é preferível que a pilha de camadas múltiplas seja colocada no lado em contato com a referida cavidade cheia com gás, especialmente sobre o lado 2 relativo à parte externa (i.e. sobre aquele lado do substrato em contato com a parte externa do prédio que está no lado oposto ao lado virado para o lado externo) ou sobre o lado 3 (i.e. sobre aquele lado do segundo substrato que começa no lado externo do prédio virado para fora). Se o revestimento é uma camada foto- catalítica, de preferência ela é colocada sobre o lado 1, dessa forma em contato com a parte de fora do prédio.

[0079] Os substratos revestidos obtidos de acordo com a invenção também

poderão ser usados em células fotovoltaicas ou vidros ou painéis solares, o revestimento tratado de acordo com a invenção, por exemplo, sendo um eletrodo com base em ZnO:Al ou ZnO:Ga em pilhas de camadas múltiplas baseadas em chalcopiritas (especialmente do tipo CIGS, i.e., $CuIn_xGa_{1-x}Se_2$, x variando de 0 a 1) ou baseado em silício amorfo e/ou policristalino, ou ainda baseado em CdTe.

[0080] Os substratos revestidos obtidos de acordo com a invenção poderão também ser usados em telas de monitores de LCD (monitor de cristal líquido), OLED (diodo de emissão de luz orgânico) ou do tipo FED (monitor de emissão de campo), o revestimento tratado de acordo com a invenção sendo, por exemplo, uma camada eletricamente condutiva de ITO. Eles também poderão ser usados em vidros eletro-crômicos, a camada fina tratada de acordo com a invenção sendo, por exemplo, uma camada condutiva eletricamente transparente, como ensinado na solicitação FR-A-2 833 107.

[0081] A invenção é ilustrada com a ajuda das seguintes realizações de exemplo não limitantes.

Exemplo 1

[0082] Uma pilha de camadas múltiplas de baixa emissividade contendo uma camada de prata é depositada através de bombardeio de magnetron sobre um substrato de vidro claro fino de 4 mm, a área superficial do qual é 600x3210 cm².

[0083] A Tabela 1 abaixo indica a espessura física de cada uma das camadas da pilha de camadas múltiplas, expressa em nm. A primeira linha corresponde à camada mais longe do substrato, em contato com o ar em aberto.

$ZnSnSbO_x$	2
Si_3N_4**:**Al	43
ZnO**:**Al	5
Ti	0,5
Ag	15
ZnO**:**Al	5
TiO_2	11
Si_3N_4**:**Al	14

Tabela1

[0084] A tabela 2 abaixo resume os parâmetros de deposição usados para as várias camadas.

Camada	Objetivo usado	Pressão de deposição	Gás
Si_3N_4	Si**:**Al a 92:8% em peso	$1,5x10^{-3}$ mbar	$Ar/(Ar + N_2)$ a 45%
TiO_2	TiO_x com x da ordem de 1,9	$1,5x10^{-3}$ mbar	$Ar/(Ar + O_2)$ a 95%
$ZnSnSbO_x$	SnZn:Sb a 34**:**65:1 % em peso	$2x10^{-3}$ mbar	$Ar/(Ar + O_2)$ a 58%
ZnO:Al	Zn**:**Al a 98:2% em peso	$2x10^{-3}$ mbar	$Ar/(Ar + O_2)$ a 52%
Ti	Ti	$2x10^{-3}$ mbar	Ar
Ag	Ag	$2x10^{-3}$ mbar	Ar a 100%

Tabela 2

[0085] O substrato é então tratado termicamente usando-se onze linhas de laser tendo um comprimento de 30 cm, e é colocado de forma que a largura inteira do substrato seja tratada. As fontes a laser são diodos a laser que emitem uma radiação contínua, o comprimento de onda da qual é 915 nm ou 980 nm, na forma de uma linha focada sobre o revestimento.

[0086] O substrato revestido com a sua pilha de camadas múltiplas é colocado sobre um transportador de rolos, nivelado com o plano focal de cada linha a laser, e se desloca embaixo de cada linha a laser em uma velocidade de 5 m/min, a velocidade não variando mais de 1% em termos relativos.

[0087] Durante a operação, a densidade de potência linear de cada linha a laser é 400 W/cm, a largura média de cada linha é 53 micrometros, e o fator de qualidade do feixe (produto de parâmetro de feixe) é 2, 5 mm.mrad.

[0088] Desta forma, a largura de cada linha a laser varia no máximo 10% em termos relativos quando a distância do revestimento até o plano focal do laser varia ± 0, 5 mm.

[0089] Além disso, a largura de cada linha é homogênea ao longo do comprimento de cada uma das linhas, de forma que para cada linha, a diferença entre a maior largura e a menor largura é igual a 3% do valor médio (i.e., 1, 5 micrometros).

[0090] O revestimento é tratado muito homogeneamente, a resistência da chapa do revestimento sendo reduzida de 18% a 21% em termos relativos em qualquer ponto do revestimento, sem gerar defeitos óticos.

Exemplo 2

[0091] Este exemplo é diferente do exemplo 1 pelo fato de serem utilizadas 15 linhas a laser tendo um comprimento de 22 cm, justapostas para formar uma só linha, tendo um comprimento de 3,3 m. A densidade de potência linear de cada linha a laser é 500 W/cm, a largura média de cada linha é 50 micrometros, e o fator de qualidade do feixe é 1,1 mm.mrad. Desta forma, a largura de cada linha a laser varia no máximo 10% em termos relativos quando a distância do revestimento até o plano focal do laser varia ± 1 mm. Aqui também o tratamento é outra vez muito homogêneo, o revestimento não tendo qualquer defeito óptico.

Exemplo comparativo 1

[0092] Este exemplo comparativo é diferente do exemplo 1 pelo fato do fator de qualidade do feixe ser 6,2 mm.mrad.

[0093] Neste caso, a largura de cada linha a laser varia em torno de 50% em termos relativos quando a distância do revestimento até o plano focal do laser varia ± 0, 5 mm.

[0094] Depois do tratamento, é observado que a perda da resistência da chapa não é homogênea ao longo da superfície inteira do substrato. Apesar de em certos locais ela atingir 20% a 21%, ela é somente 3% em certas zonas do substrato, devido a variações na distância entre o substrato e o plano focal geradas pelos defeitos na condição plana do substrato e o deslocamento do mesmo em alta velocidade.

Exemplo comparativo 2

[0095] Este exemplo é diferente do exemplo 2 pelo fato do fator de qualidade do feixe ser 4 mm.mrad.

[0096] Neste caso, a largura de cada linha a laser varia em torno de 90% em termos relativos quando a distância do revestimento até o plano focal do laser varia ± 1 mm.

[0097] Com relação ao exemplo comparativo 1, a perda de resistência da chapa não é homogênea.

Exemplo comparativo 3

[0098] Este exemplo é diferente do exemplo 1 pelo fato da densidade de potência

linear ser 180 W/cm. Neste caso, a perda de resistência da chapa devido ao tratamento é muito baixa porque o revestimento não atingiu as temperaturas apropriadas que permitem a cristalização do mesmo.

[0099] Para ser capaz de atingir as temperaturas desejadas, é necessário reduzir-se a largura média de cada linha para 11 micrometros. No entanto, neste caso, a largura de cada linha a laser varia por um fator de 10 quando a distância do revestimento até o plano focal do laser varia ± 0,5 mm. Levando-se em consideração os defeitos da condição plana do substrato com grande tamanho, o direcionamento do mesmo, e as vibrações, o tratamento então não é homogêneo, a perda de resistência da chapa variando significativamente em função das zonas da superfície do substrato.

Exemplo comparativo 4

[00100] Este exemplo é diferente do exemplo 2 pelo fato da densidade de potência linear ser 180 W/cm. Neste caso também, a perda de resistência da chapa devido ao tratamento é muito baixa porque o revestimento não atinge as temperaturas apropriadas que permitem a cristalização do mesmo.

[00101] Para ser capaz de atingir as temperaturas desejadas, é necessário reduzir-se a largura média de cada linha para 7 micrometros. No entanto, neste caso, a largura de cada linha a laser varia por um fator de 22 quando a distância do revestimento até o plano focal do laser varia ± 1 mm. Levando-se em consideração os defeitos da condição plana do substrato com grande tamanho, o direcionamento do mesmo, e as vibrações, o tratamento então não é homogêneo, a perda de resistência da chapa variando significativamente em função das zonas da superfície do substrato.

Exemplo comparativo 5

[00102] Este exemplo é diferente do exemplo 1 pelo fato de cada linha não ser homogênea em termos de largura. Apesar de a largura média ser ainda 53 micrometros, a distribuição da largura é tal que a diferença entre a maior largura e o maior peso é igual a 13 micrometros, i.e. 25% do valor médio. O tratamento então é heterogêneo: a camada é degradada localmente devido a uma super-intensidade do tratamento a laser (nas zonas onde a largura da linha é a menor), levando tanto a

aparência dos defeitos óticos isolados que são visualmente inaceitáveis, como uma perda total da resistência da chapa de somente 13% a 14% em termos relativos.

REIVINDICAÇÕES

1. Processo para a obtenção de um substrato fornecido em pelo menos uma porção de pelo menos um dos seus lados com um revestimento, sendo constituído por uma etapa de deposição do referido revestimento no referido substrato, e então uma etapa de tratamento térmico do referido revestimento usando-se uma radiação a laser pulsativa ou contínua focada sobre o referido revestimento na forma pelo menos de uma linha a laser, o comprimento de onda da qual está dentro de uma faixa que se estende de 400 a 1500 nm, o referido tratamento térmico sendo tal que é criado um movimento de deslocamento relativo entre o substrato e cada linha a laser, a velocidade do qual é pelo menos 3 m por minuto, uma densidade de potência linear dividida pela raiz quadrada do ciclo de trabalho pelo menos de 200 W/cm, caracterizado pelo fato de que cada linha a laser tendo um fator de qualidade de feixe (BPP) no máximo de 3 mm.mrad e, medido no local onde cada linha a laser é focada sobre o referido revestimento, um comprimento pelo menos de 20 mm, e uma distribuição de largura ao longo de cada linha tal que a largura média seja pelo menos 30 micrometros e a diferença entre a maior largura e a menor largura seja no máximo 15% do valor da largura média.

2. Processo, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de o substrato ser horizontal e deslocar-se em um transportador virado para cada linha a laser, cada linha a laser sendo fixada e colocada substancialmente perpendicular à direção do deslocamento.

3. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 ou 2, caracterizado pelo fato de o comprimento de onda da radiação de cada linha a laser estar dentro de uma faixa que se estende de 800 a 1100 nm.

4. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizado pelo fato de a radiação a laser ser contínua.

5. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, caracterizado pelo fato de a densidade de potência linear dividida pela raiz quadrada do ciclo de trabalho ser pelo menos 400 W/cm.

6. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5,

caracterizado pelo fato da largura média de cada linha a laser ser pelo menos 35 micrometros.

7. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, caracterizado pelo fato de o comprimento de cada linha a laser ser pelo menos 20 cm.

8. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 7, caracterizado pelo fato de a densidade de energia fornecida para o revestimento dividida pela raiz quadrada do ciclo de trabalho ser pelo menos 20 J / cm^2.

9. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 8, caracterizado pelo fato de o substrato ser feito de vidro ou de um material orgânico polimérico.

10. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 9, caracterizado pelo fato de o substrato ter pelo menos uma dimensão maior do que 1 m.

11. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 10, caracterizado pelo fato de o revestimento ser constituído pelo menos por uma camada fina escolhida de camadas metálicas, especialmente com base em prata ou em molibdênio, camadas de óxido de titânio e camadas eletricamente condutivas transparentes.

12. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 11, caracterizado pelo fato de que a temperatura na qual é submetido o revestimento durante o tratamento térmico é pelo menos 300 °C.

13. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 12, caracterizado pelo fato da temperatura do lado do substrato oposto ao lado tratado por pelo menos uma radiação a laser, não exceder a 100 °C durante o tratamento térmico.

14. Dispositivo para o tratamento térmico de um revestimento depositado sobre um substrato usando uma radiação a laser pulsativa ou contínua, caracterizado pelo fato do comprimento de onda do mesmo estar dentro de uma faixa que se estende de 400 a 1500 nm, focado no referido revestimento na forma pelo menos de uma linha, constituído por:

- uma ou mais fontes a laser e também pela formação e o redirecionamento de dispositivos óticos capazes de gerarem pelo menos uma linha a laser que é capaz de mostrar, em operação, um fator de qualidade do feixe (BPP) no máximo de 3 mm.mrad, medido no local onde cada linha a laser é focada sobre o referido revestimento, uma densidade de potência linear dividida pela raiz quadrada do ciclo de trabalho pelo menos de 200 W/cm, um comprimento pelo menos de 20 mm e uma distribuição de largura ao longo de cada linha tal que a largura média seja pelo menos 30 micrometros e a diferença entre a largura maior e a largura menor seja no máximo 15% do valor da largura média, e

- meios de deslocamento que são capazes de criar, em operação, um movimento de deslocamento relativo entre o substrato e cada linha a laser, a velocidade do qual é pelo menos 3 m por minuto.