



(10) **DE 20 2010 018 207 U1** 2014.12.31

(12)

Gebrauchsmusterschrift

(21) Aktenzeichen: **20 2010 018 207.7**

(22) Anmeldetag: **11.06.2010**

(47) Eintragungstag: **24.11.2014**

(45) Bekanntmachungstag im Patentblatt: **31.12.2014**

(51) Int Cl.: **C03C 17/36** (2006.01)

(30) Unionspriorität:

0953956

12.06.2009

FR

(74) Name und Wohnsitz des Vertreters:

**Lendvai, Tomas, Dipl.-Chem. Dr.rer.nat, 52134
Herzogenrath, DE**

(73) Name und Wohnsitz des Inhabers:

SAINT-GOBAIN GLASS FRANCE, Courbevoie, FR

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Mit einem Dünnschichtstapel beschichtetes Substrat**

(57) Hauptanspruch: Material, das ein Substrat umfasst, das auf wenigstens einer Seite mit einem Dünnschichtstapel beschichtet ist, der wenigstens eine Silberdünnschicht zwischen wenigstens zwei dielektrischen Dünnschichten enthält, wobei der Stapel wenigstens eine Dünnschicht enthält, die wenigstens teilweise eine Strahlung absorbiert, die wenigstens eine Wellenlänge zwischen 500 und 2000 nm aufweist, sodass die Absorption des Stapels an der wenigstens einen Wellenlänge derart ist, dass die Absorption eines 4 mm dicken Klarglassubstrats, das mit dem Stapel beschichtet ist, an der wenigstens einen Wellenlänge zwischen 500 und 2000 nm größer oder gleich 10% ist.

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft das Gebiet der anorganischen Dünnschichten, die insbesondere auf Substraten abgeschieden sind.

[0002] Auf Substraten, insbesondere aus Flachglas oder leicht gewölbtem Glas, werden zahlreiche Dünnschichten abgeschieden, um den erhaltenen Materialien besondere Eigenschaften zu verleihen: optische Eigenschaften, beispielsweise eine Reflexion oder Absorption von Strahlung eines vorgegebenen Wellenlängenbereiches, besondere elektrische Leitfähigkeitseigenschaften oder auch Eigenschaften, die mit der Reinigungsfreundlichkeit oder der Fähigkeit des Materials zur Selbstreinigung zusammenhängen.

[0003] Diese Dünnschichten sind meist auf Basis anorganischer Verbindungen: Oxide, Nitride oder auch Metalle. Ihre Dicke variiert im Allgemeinen zwischen einigen Nanometern und einigen Hundert Nanometern; daher werden sie als „dünn“ bezeichnet.

[0004] Zu den interessantesten zählen die Dünnschichten auf Basis metallischen Silbers, die elektrisch leitfähig und Infrarotstrahlung reflektierend sind, weshalb sie bei Verglasungen mit Begrenzung der Sonneneinstrahlung, insbesondere Sonnenschutzverglasungen, verwendet werden (wobei das Ziel eine Verringerung der eindringenden Sonnenenergie ist), und/oder einen niedrigen Emissionsgrad aufweisen (wobei das Ziel eine Verringerung der von einem Gebäude oder einem Fahrzeug nach außen abgegebenen Energiemenge ist).

[0005] Um insbesondere die Oxidation des Silbers zu vermeiden und seine Reflexionseigenschaften im sichtbaren Spektralbereich abzuschwächen, ist die oder jede Silberschicht im Allgemeinen in einen Schichtstapel eingefügt. Im Fall von Sonnenschutzverglasungen oder Verglasungen mit niedrigem Emissionsgrad ist die oder jede Dünnschicht auf Silberbasis im Allgemeinen zwischen zwei dielektrischen Dünnschichten auf Oxid- oder Nitridbasis (beispielsweise aus SnO_2 oder Si_3N_4) angeordnet. Außerdem kann unter der Silberschicht eine sehr dünne Schicht angeordnet sein, welche die Benetzung und die Keimbildung des Silbers begünstigen soll (beispielsweise aus Zinkoxid ZnO), und auf der Silberschicht eine zweite sehr dünne Schicht (eine Opferschicht, beispielsweise aus Titan), welche die Silberschicht schützen soll, falls die Abscheidung der unmittelbar nachfolgenden Schicht in einer oxidierenden Atmosphäre erfolgt oder falls Wärmebehandlungen zu einer Sauerstoffmigration innerhalb des Stapels führen. Diese Schichten werden als Benetzungsschicht bzw. Sperrschicht bezeichnet. Die Stapel können auch mehrere Silberschichten enthalten.

[0006] Die Silberschichten weisen die Besonderheit auf, dass einige ihrer Eigenschaften verbessert sind, wenn sie in einem wenigstens teilweise kristallisierten Zustand sind. Im Allgemeinen wird versucht, den Kristallisationsgrad (Masse- oder Volumenanteil des kristallisierten Stoffes) dieser Schichten und die Größe der Kristallkörner (oder die Größe der kohärenten Beugungsbereiche, gemessen mit Röntgenbeugungsverfahren) zu maximieren.

[0007] Insbesondere ist bekannt, dass Silberschichten mit hohem Kristallisationsgrad und folglich geringem Restgehalt an amorphem Silber einen niedrigeren Emissionsgrad und einen niedrigeren spezifischen Widerstand sowie eine höhere Transmission im sichtbaren Spektralbereich als überwiegend amorphe Silberschichten aufweisen. Die elektrische Leitfähigkeit und die Eigenschaft des geringen Emissionsgrades dieser Schichten werden so verbessert. Die Größenzunahme der Körner geht mit einem Schwinden von Korngrenzen einher, was für die Beweglichkeit der elektrischen Ladungsträger günstig ist.

[0008] Ein Verfahren, das üblicherweise im großtechnischen Maßstab für die Abscheidung von Dünnschichten, insbesondere auf Glassubstrat, angewandt wird, ist das Verfahren der magnetfeldunterstützten Kathodenzerstäubung, „Magnetronputtern“ genannt. Bei diesem Verfahren wird unter Vakuum ein Plasma erzeugt, das in die Nähe eines Targets getrieben wird, welches die abzuscheidenden chemischen Elemente enthält. Die aktiven Spezies des Plasmas, mit denen das Target beschossen wird, lösen die Elemente heraus, die sich auf dem Substrat abscheiden und dabei die gewünschte Dünnschicht bilden. Dieses Verfahren wird als „reaktiv“ bezeichnet, wenn die Schicht aus einem Material gebildet wird, das aus einer chemischen Reaktion zwischen den aus dem Target herausgelösten Elementen und dem im Plasma enthaltenen Gas resultiert. Der Hauptvorteil dieses Verfahrens besteht in der Möglichkeit, auf derselben Fertigungsstraße einen hochkomplizierten Stapel von Schichten abzuscheiden, indem man das Substrat nacheinander unter verschiedenen Targets durchlaufen lässt, und dies im Allgemeinen in ein und derselben Vorrichtung.

[0009] Bei der industriellen Umsetzung des Magnetronverfahrens bleibt das Substrat auf Raumtemperatur oder wird einer mäßigen Temperaturerhöhung (weniger als 80°C) ausgesetzt, insbesondere wenn die Durch-

laufgeschwindigkeit des Substrats hoch ist (was im Allgemeinen aus wirtschaftlichen Gründen angestrebt wird). Was als ein Vorteil erscheinen mag, stellt jedoch im Fall der vorgenannten Schichten einen Nachteil dar, denn die beteiligten niedrigen Temperaturen ermöglichen im Allgemeinen kein ausreichendes Kristallwachstum. Dies trifft in ganz besonderem Maße für Dünnschichten geringer Dicke und/oder Dünnschichten aus Materialien mit einem sehr hohen Schmelzpunkt zu. Die nach diesem Verfahren erhaltenen Schichten sind demnach mehrheitlich entweder vollständig amorph oder nanokristallin (wobei die mittlere Größe der Kristallkörner unter einigen Nanometern liegt), und es sind Wärmebehandlungen notwendig, um den angestrebten Kristallisationsgrad oder die gewünschte Korngröße zu erhalten.

[0010] Mögliche Wärmebehandlungen bestehen darin, das Substrat entweder während der Abscheidung oder aber nach der Abscheidung, am Ausgang der Magnetronanlage, nachzuerwärmen. Meist sind Temperaturen von wenigstens 200°C oder 300°C erforderlich. Die Kristallisation erfolgt nämlich umso besser und die Größe der Körner ist desto größer, je näher die Temperatur des Substrats an der Schmelztemperatur des den Dünnschicht bildenden Materials ist.

[0011] Die Erwärmung des Substrats in den großtechnischen Magnetronanlagen (während der Abscheidung) hat sich jedoch als schwer durchführbar herausgestellt, insbesondere weil die Wärmeübertragungen im Vakuum, notwendigerweise strahlender Art, schwer zu beherrschen sind und im Fall von Substraten großer Abmessungen, mit mehreren Metern Breite, mit hohen Kosten einhergehen. Im Fall von Glassubstraten geringer Dicke bringt diese Art der Behandlung oft hohe Bruchrisiken mit sich. Außerdem neigen die auf einem warmen Substrat abgeschiedenen Silberschichten zur Bildung von diskontinuierlichen Schichten, in Form von kleinen Inseln, weshalb ihr spezifischer Widerstand hoch ist.

[0012] Die Erwärmung des beschichteten Substrats nach der Abscheidung, beispielsweise indem das Substrat in einen Ofen oder einen Wärmeschrank eingebracht wird oder indem das Substrat der Infrarotstrahlung herkömmlicher Heizgeräte, wie etwa Infrarotlampen, ausgesetzt wird, weist ebenfalls Nachteile auf, denn diese verschiedenen Verfahren tragen zu einer unterschiedslosen Erwärmung des Substrats und der Dünnschicht bei. Durch ein Erwärmen des Substrats auf Temperaturen über 150°C können im Fall von Substraten großer Abmessungen (mehrere Meter breit) Brüche hervorgerufen werden, denn es ist unmöglich, über die gesamte Breite des Substrats eine identische Temperatur sicherzustellen. Auch verlangsamt das Erwärmen der Substrate das Verfahren insgesamt, denn es ist erforderlich, ihre vollständige Abkühlung abzuwarten, bevor ihr Zuschnitt oder ihre Lagerung, die im Allgemeinen bei übereinandergestapelten Substraten erfolgt, ins Auge gefasst werden kann. Außerdem ist eine streng kontrollierte Abkühlung unabdingbar, um die Entstehung von Spannungen im Glas und folglich die Möglichkeit von Brüchen zu vermeiden. Solch eine streng kontrollierte Abkühlung ist sehr aufwändig; deshalb ist eine Steuerung des Temperns im Allgemeinen nicht ausreichend, um die thermischen Spannungen im Glas zu beseitigen, sodass in direkter Folge eine erhöhte Anzahl von Brüchen entsteht. Das Tempern weist zudem den Nachteil auf, dass das Zuschneiden des Glases erschwert wird, da die Schneidspalte eine weniger starke Neigung zu einer linearen Fortpflanzung aufweisen.

[0013] Das Erwärmen beschichteter Substrate findet in dem Fall statt, in dem Verglasungen gewölbt oder vorgespannt werden, denn es erfolgt ein Nacherwärmen des Glases über seine Erweichungstemperatur hinaus (im Allgemeinen auf mehr als 600°C, sogar 700°C, während einiger Minuten). Das Vorspannen bzw. das Wölben ermöglicht also, das gewünschte Kristallisationsergebnis der Dünnschichten zu erhalten. Es wäre jedoch teuer, sämtliche Verglasungen derartigen Behandlungen zu unterwerfen, wenn lediglich darauf abgezielt wird, die Kristallisation der Schichten zu verbessern. Außerdem können die vorgespannten Verglasungen nicht mehr zugeschnitten werden, und einige Dünnschichtstapel vertragen die höheren Temperaturen nicht, denen sie beim Vorspannen des Glases ausgesetzt werden.

[0014] Die Patentanmeldung WO 2008/096089, von der Anmelderin eingereicht, beschreibt ein Verfahren zum schnellen Tempern, das darin besteht, der Schicht eine extrem hohe Leistung pro Flächeneinheit zuzuführen. Die Schicht wird extrem schnell erwärmt, ohne dass die Wärme Zeit hätte, sich im Substrat auszubreiten. So ist es möglich, eine Wärmebehandlung der Dünnschicht vorzunehmen, ohne das Substrat signifikant zu erwärmen, wodurch das Bruchrisiko bei einem schroffen Temperaturwechsel gering gehalten wird. Bei Schichten auf Silberbasis sind die Verfahren, die in Betracht gezogen werden, Verfahren, die eine Infrarotstrahlung abgebenden Laser, die Induktion, einen Plasmabrenner oder die Wirkung einer Flamme nutzen. Diese Verfahren ermöglichen, spezifische Widerstände zu erreichen, die zuvor nur durch das Vorspannen des Glases erreicht werden konnten.

[0015] Die Erfindung hat zur Aufgabe, ein verbessertes Material vorzuschlagen, das ermöglicht, nach einer Wärmebehandlung noch niedrigere spezifische Widerstände zu erzielen und den vorerwähnten Problemen vorzubeugen, während gleichzeitig ein hoher Lichttransmissionsgrad bewahrt wird.

[0016] Zu diesem Zweck hat die Erfindung ein Material nach Anspruch 1 zum Gegenstand.

[0017] Dieses Material ist speziell dafür ausgelegt, mit einem Verfahren behandelt bzw. bearbeitet zu werden, durch das ein Substrat erhalten wird, welches auf wenigstens einer Seite mit einem niedrig-emissiven Dünnschichtstapel beschichtet ist, und das die folgenden Schritte umfasst:

- Abscheiden, auf der wenigstens einen Seite des Substrats, eines Dünnschichtstapels, der wenigstens eine Silberdünnschicht zwischen wenigstens zwei dielektrischen Dünnschichten enthält,
- Wärmebehandeln der wenigstens einen beschichteten Seite mit Hilfe wenigstens einer Laserstrahlung, die an wenigstens einer Wellenlänge im Bereich zwischen 500 und 2000 nm abgestrahlt wird, sodass der Emissionsgrad und/oder der Flächenwiderstand des Stapels um wenigstens 5% verringert werden/wird.

[0018] Der Stapel vor der Behandlung bzw. Bearbeitung, also der Stapel gemäß der Erfindung, enthält wenigstens eine Dünnschicht, die wenigstens teilweise die Laserstrahlung absorbierend, sodass die Absorption des Stapels an wenigstens einer Wellenlänge der Laserstrahlung derart ist, dass die Absorption eines 4 mm dicken Klarglassubstrats, das mit dem Stapel beschichtet ist, an der wenigstens einen Wellenlänge der Laserstrahlung größer oder gleich 10% ist.

[0019] Die Absorption eines mit dem Stapel beschichteten Substrats an einer gegebenen Wellenlänge ist definitionsgemäß gleich dem Wert von 100%, abzüglich der Transmission des beschichteten Substrats an derselben Wellenlänge und der Reflexion desselben beschichteten Substrats an derselben Wellenlänge, an der Stapelseite.

[0020] Unter Klarglas wird ein im Floatprozess hergestelltes unbeschichtetes Kalknatronglas verstanden, das bei einer Dicke von 4 mm einen Lichttransmissionsgrad in der Größenordnung von 90%, einen Lichtreflexionsgrad in der Größenordnung von 8% und einen Gesamtenergiedurchlassgrad in der Größenordnung von 83% aufweist. Lichttransmissionsgrad, Lichtreflexionsgrad und Gesamtenergiedurchlassgrad entsprechen den Definitionen der Norm NF EN 410. Typische Klargläser werden beispielsweise von der Firma Saint-Gobain Glass France unter der Bezeichnung SGG Planilux oder von der Firma AGC Flat Glass Europe unter der Bezeichnung Planibel Clair vermarktet. Diese Substrate werden herkömmlich zur Herstellung von niedrig-emissiven Verglasungen verwendet.

[0021] Das Material ist selbstverständlich nicht auf Substrate aus Klarglas oder mit einer Dicke von 4 mm beschränkt. Die Beschichtung kann auf jeder Art von Substrat abgeschieden werden, jedoch muss die Absorption des Stapels derart sein, als wäre er auf einem Klarglassubstrat abgeschieden worden, dessen Dicke 4 mm beträgt; die Absorption dieses mit dem Stapel beschichteten Substrats wäre dann wie beansprucht.

[0022] Das Verfahren ermöglicht, ausreichend Energie einzubringen, um die Kristallisation der Silberdünnschicht durch einen physikalisch-chemischen Mechanismus des Kristallwachstums um bereits in der Schicht vorhandene Keime, bei Verbleib in der festen Phase, zu begünstigen. Die Tatsache, dass die Kristallisation der Silberschicht begünstigt wird, kann insbesondere in einem Verschwinden eventueller Reste der amorphen Phase und/oder in einer Zunahme der Größe der kohärenten Beugungsbereiche und/oder einer Abnahme der Punktdefektdichte (Fehlstellen, Zwischengitteratome) oder der Oberflächenfehler oder räumlichen Fehler, wie etwa Kristallzwillinge, Ausdruck finden.

[0023] Das Verfahren weist den Vorteil auf, dass nur der niedrig-emissive Stapel erwärmt wird, ohne signifikante Erwärmung der Gesamtheit des Substrats. Folglich ist es nicht mehr erforderlich, ein langsames und kontrolliertes Abkühlen des Substrats vor dem Zuschneiden oder Lagern des Glases vorzunehmen. Dieses Verfahren ermöglicht auch die Integration einer Vorrichtung zum Erwärmen in die vorhandenen kontinuierlich fertigenden Straßen, insbesondere in den Raum, der sich zwischen dem Ausgang der Bedampfungskammer der Magnetronanlage und der Vorrichtung zum Einlagern des Glases durch Aufstapeln befindet. Auch ist es in manchen Fällen möglich, die Behandlung bzw. Bearbeitung sogar in der Bedampfungskammer durchzuführen.

[0024] Die Verwendung einer Laserstrahlung weist den Vorteil auf, dass auf der Seite, die der ersten Seite des Substrats gegenüberliegt (d. h. auf der unbeschichteten Seite) Temperaturen erhalten werden, die im Allgemeinen niedriger als 100°C und sogar oft niedriger als 50°C sind. Dieses besonders vorteilhafte Merkmal ist der Tatsache geschuldet, dass der Wärmeübergangskoeffizient sehr hoch ist, typischerweise höher als 400

$W/(m^2 \cdot s)$. Die Flächenleistung der Laserstrahlung in Höhe des zu bearbeitenden Stapels ist sogar vorzugsweise größer oder gleich 20 oder 30 kW/cm^2 .

[0025] Diese sehr hohe Energiedichte ermöglicht, in Höhe des Stapels extrem schnell (im Allgemeinen in einem Zeitraum kleiner oder gleich 1 Sekunde) die angestrebte Temperatur zu erreichen und folglich in gleichem Maße die Bearbeitungsdauer zu begrenzen, sodass dann die erzeugte Wärme keine Zeit zur Verfügung hat, sich im Substrat auszubreiten. So wird vorzugsweise jeder Punkt des Stapels für eine Dauer, die im Allgemeinen kleiner oder gleich 1 s, oder sogar 0,5 s ist, der Bearbeitung unterzogen (und insbesondere auf eine Temperatur gebracht, die größer oder gleich $300^\circ C$ ist). Im Gegensatz dazu ermöglichen die herkömmlich verwendeten Infrarotlampen (ohne Strahlfokussierungsvorrichtung) nicht, diese hohen Leistungen pro Flächeneinheit zu erreichen; die Behandlungszeit muss länger sein, um die gewünschten Temperaturen zu erreichen (oft mehrere Sekunden), und das Substrat wird dann durch die Ausbreitung der Wärme zwangsläufig auf erhöhte Temperaturen gebracht, selbst wenn die Wellenlänge der Strahlung darauf abgestellt ist, dass sie nur von der Dünnschicht und nicht vom Substrat absorbiert wird.

[0026] Dank des sehr hohen Wärmeübergangskoeffizienten, der mit dem Prozess verbunden ist, erfährt der Teil des Glases, der sich 0,5 mm von der Dünnschicht entfernt befindet, im Allgemeinen keine Temperaturen über $100^\circ C$. Während der Wärmebehandlung übersteigt die Temperatur der Seite des Substrats, die der mit der wenigsten einer Laserstrahlung bearbeiteten Seite gegenüberliegt, vorzugsweise nicht $100^\circ C$, insbesondere nicht $50^\circ C$, nicht einmal $30^\circ C$.

[0027] Der Hauptteil der zugeführten Energie wird folglich vom Stapel „verwertet“, um die Kristallisationseigenschaften der bzw. jeder Silberschicht, die er enthält, zu verbessern.

[0028] Außerdem wird das Verfahren dadurch verbessert, dass im Stapel vor der Bearbeitung wenigstens eine Dünnschicht vorhanden ist, welche die Laserstrahlung ausreichend absorbiert, sodass die Absorption eines 4 mm dicken Klarglassubstrats, das mit dem Stapel beschichtet ist, an wenigstens einer Wellenlänge der Laserstrahlung größer oder gleich 10% ist. Der Stapel vor der Bearbeitung kann eine oder mehrere dieser Schichten enthalten, die im Folgetext „Absorptionsschichten“ genannt werden. Der Stapel kann beispielsweise eine Absorptionsschicht oder auch zwei oder drei, sogar vier und selbst fünf oder sechs Absorptionsschichten enthalten. Egal wie hoch die Zahl der Absorptionsschichten ist, wichtig ist, dass die Absorption des Stapels an der Wellenlänge des Lasers wie beansprucht ist. Das Vorhandensein wenigstens einer Absorptionsschicht trägt dazu bei, die Wirkung der Laserbearbeitung erheblich zu verstärken: Die von der Absorptionsschicht aufgenommene Energie wird nämlich in der Nähe der Silberschicht wieder abgegeben, wodurch sich lokal, in Höhe dieser Schicht, die Temperatur erhöht. Die resultierende Steigerung der Wirksamkeit der Laserbearbeitung ermöglicht dann, die Emissionseigenschaften des fertigen Stapels zu verbessern und/oder die Bearbeitung zu beschleunigen und/oder einen weniger leistungsstarken und folglich preiswerteren Laser einzusetzen.

[0029] Um die Wirksamkeit der Laserbearbeitung noch zu verstärken, ist die Absorption des Stapels derart, dass die Absorption – vor der Laserbearbeitung und an wenigstens einer Wellenlänge der Laserstrahlung – eines 4 mm dicken Klarglassubstrats, das mit dem Stapel beschichtet ist, vorzugsweise größer oder gleich 12%, sogar 13% oder 15% und selbst 20% oder 25% oder vielleicht noch 30% ist.

[0030] Der mit Hilfe des Verfahrens erzielte Kristallisationsgrad ist vorzugsweise größer oder gleich 20% oder 50%, insbesondere 70% und selbst 90%. Dieser Kristallisationsgrad, definiert als Masse des kristallisierten Materials zur Gesamtmasse des Materials, kann durch Röntgenbeugung, unter Verwendung der Rietveld-Methode abgeschätzt werden. Wegen eines Kristallisationsmechanismus durch Wachstum der Kristallkörner aus Keimen oder Nuklei geht die Erhöhung des Kristallisationsgrades im Allgemeinen mit einer Größenzunahme der Kristallkörner oder der mittels Röntgenbeugung gemessenen kohärenten Beugungsbereiche einher.

[0031] Die Verbesserung der Kristallisationseigenschaften ermöglicht auch, den Lichttransmissionsgrad des beschichteten Substrats um wenigstens 5%, insbesondere 10% absolut, sogar 15% und selbst 20%, immer absolut, zu erhöhen (es handelt sich nicht um eine relative Erhöhung). Der Lichttransmissionsgrad ist nach der Norm NF EN 410 berechnet.

[0032] Vorzugsweise werden/wird durch die Wärmebehandlung der Flächenwiderstand und/oder der Emissionsgrad des Stapels um wenigstens 10%, sogar 15% oder selbst 20% verringert. Hierbei handelt es sich um eine relative Abnahme, im Verhältnis zum Wert des Emissionsgrades oder des Flächenwiderstandes vor der Behandlung.

[0033] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform enthält der Stapel wenigstens zwei Silberschichten, wobei die Absorption des Stapels an wenigstens einer Wellenlänge der Laserstrahlung derart ist, dass die Absorption eines 4 mm dicken Klarglassubstrats, das mit dem Stapel beschichtet ist, an der wenigstens einen Wellenlänge der Laserstrahlung größer oder gleich 11% ist, und die Wärmebehandlung erfolgt derart, dass die Selektivität des Stapels um wenigstens 1%, insbesondere 2% relativ erhöht wird. Die Selektivität ist als Verhältnis zwischen Lichttransmissionsgrad und Sonnenfaktor definiert. Diese beiden Größen sind nach der Norm NF EN 410 berechnet für eine Doppelverglasung mit zwei 6 mm dicken Klarglassubstraten, die einen Spalt von 15 mm Dicke flankieren, der 90% Argon enthält, wobei sich der Stapel auf der Seite 2, d. h. auf der in Kontakt mit der Gebäudeaußenseite befindlichen Seite des Substrats befindet, die der nach außen gewandten Seite gegenüberliegt (wobei diese Letztere als Seite 1 bezeichnet wird).

[0034] Ein weiterer Vorteil dieses Verfahrens besteht darin, dass es den Dünnschichtstapel, nicht aber das Substrat, dem Äquivalent eines Vorspannens unterzieht. Es kommt vor, dass sich bei manchen Dünnschichtstapeln die optischen Eigenschaften (Farbkoordinaten, Lichttransmissionsgrad oder Gesamtenergiedurchlassgrad) verändern, wenn das Glas vorgespannt wird. Das Verfahren ermöglicht dann, ein nicht vorgespanntes Glas (das folglich nicht im Innern ein für vorgespanntes Glas spezifisches Spannungsprofil aufweist) zu erhalten, das jedoch im Wesentlichen die gleichen optischen Eigenschaften aufweist, als wäre es vorgespannt worden. Außerdem ermöglicht das Verfahren, einige mit dem Vorspannen verbundene Nachteile zu vermeiden, insbesondere was das ästhetische Erscheinungsbild des Stapels anbelangt (Auftreten von Trübungen...). Wenn das beschichtete und mittels des Verfahrens bearbeitete Substrat vorgespannt werden würde, würden seine optischen Eigenschaften durch das Vorspannen nicht mehr beeinflusst werden. Die Bearbeitung verschafft folglich einen weiteren Vorteil, nämlich dass Stapel (insbesondere mit zwei oder drei Silberschichten) geschaffen werden, die im vorgespannten Zustand wie im nicht vorgespannten Zustand die gleichen optischen Eigenschaften aufweisen. Es wird dann möglich, an derselben Fassade nicht vorgespannte Verglasungen und vorgespannte Verglasungen, denen der gleiche Dünnschichtstapel zugrunde liegt, zu kombinieren, da sie dennoch das gleiche ästhetische Erscheinungsbild haben. Die vorgespannten Verglasungen können vor dem Vorspannen behandelt worden sein oder nicht. An derselben Fassade können dann Verglasungen kombiniert werden, die den gleichen zugrunde liegenden Dünnschichtstapel umfassen, jedoch drei verschiedene Behandlungen erfahren haben: ein Vorspannen, eine Wärmebehandlung wie zuvor beschrieben oder eine Wärmebehandlung gefolgt von einem Vorspannen.

[0035] Folglich ist das Verfahren vorzugsweise derart, dass der Kennwert ΔE^* zwischen dem behandelten beschichteten Substrat und dem nicht behandelten, jedoch vorgespannten beschichteten Substrat kleiner oder gleich 2,0, insbesondere 1,5 ist. Alternativ oder kumulativ ist das Verfahren vorzugsweise derart, dass der Kennwert ΔE^* zwischen dem behandelten, dann vorgespannten beschichteten Substrat und dem behandelten beschichteten Substrat ohne Vorspannung kleiner oder gleich 2,0, insbesondere 1,5 ist. Wie allgemein üblich, ist

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}.$$

Die Farbkoordinaten L^* , a^* und b^* werden unter Berücksichtigung der Lichtquelle nach D65 und des Beobachters nach CIE (1931) berechnet. Es handelt sich dabei um Farbkoordinaten bei Reflexion, entweder auf der Seite des Stapels oder auf der Seite des Substrats, d. h. an der dem Stapel gegenüberliegenden Seite. Der Term ΔL^* steht für die Änderung des L^* -Werts zwischen den beiden betrachteten Zuständen. Die gleiche Konvention gilt für die Terme Δa^* und Δb^* . Der Stapel enthält vorzugsweise wenigstens zwei Silberschichten, insbesondere zwei oder drei Silberschichten, denn keiner dieser gegenwärtig bekannten Stapel ist vorspannbar, was bedeutet, dass sich bei allen diesen Stapeln durch das Vorspannen die kolorimetrischen Eigenschaften ändern. Das Verfahren ermöglicht, erstmals einen vorspannbaren Dünnschichtstapel zu erhalten, der wenigstens zwei oder drei Silberschichten enthält.

[0036] Um noch niedrigere Werte für den spezifischen Widerstand und den Emissionsgrad zu erzielen, kann das Substrat nach dem Wärmebehandlungsschritt einem Vorspannschritt unterzogen werden. Das thermische Vorspannen wird im Allgemeinen nach dem Schneiden des Glases auf die gewünschten Fertigmaße durchgeführt.

[0037] Es kann vorteilhaft sein, die Leistung des Lasers zu modulieren, mit dem Ziel, nach der Wärmebehandlung eine minimale Absorption beizubehalten, damit nach einem eventuellen nachfolgenden Vorspannen die Beschichtung keine Fehler vom Typ Trübung oder Korrosion aufweist.

[0038] Das Substrat ist vorzugsweise aus Glas oder aus polymerem organischem Material. Es ist vorzugsweise durchsichtig, farblos (es handelt sich dann um ein Klarglas oder Extraklarglas) oder farbig, beispielsweise blau, grau oder bronzefarben. Das Glas ist vorzugsweise vom Kalknatrontyp, es kann sich aber auch um Glas vom Borosilicat- oder Aluminoborosilicat-Typ handeln. Bevorzugte polymere organische Materialien sind Polycarbonat oder Polymethylmethacrylat oder auch Polyethylenterephthalat (PET). Das Substrat weist vorteilhafterweise wenigstens ein Maß größer oder gleich 1 m, sogar 2 m und selbst 3 m auf. Die Dicke des Substrats variiert im Allgemeinen zwischen 0,5 mm und 19 mm, vorzugsweise zwischen 0,7 und 9 mm, insbesondere zwischen 2 und 8 mm, sogar zwischen 4 und 6 mm. Das Substrat kann eben oder gewölbt, sogar flexibel sein.

[0039] Das Glassubstrat ist vorzugsweise vom Float-Typ, d. h. es kann durch ein Verfahren erhalten worden sein, das darin besteht, die Glasschmelze einem Bad aus geschmolzenem Zinn („Floatbad“) zuzuleiten. In diesem Fall kann die zu behandelnde bzw. zu bearbeitende Schicht auf der „Zinnseite“ ebenso wie auf der „Atmosphärenseite“ abgeschieden sein. Unter „Atmosphärenseite“ und „Zinnseite“ werden die Seiten des Substrats verstanden, die mit der im Floatbad herrschenden Atmosphäre bzw. mit dem geschmolzenen Zinn in Kontakt waren. Die Zinnseite enthält eine geringe, oberflächliche Menge Zinn, das in die Struktur des Glases diffundiert ist. Es lässt sich auch durch Auswalzen zwischen zwei Walzen erhalten, wobei diese Technik insbesondere ermöglicht, auf der Oberfläche des Glases Motive zu prägen.

[0040] Der niedrig-emissive Stapel, vor oder nach der Wärmebehandlung, enthält wenigstens eine Silberschicht zwischen wenigstens zwei dielektrischen Schichten. Im Stapel gibt es wenigstens eine Absorptionsschicht. In den folgenden Abschnitten werden wir zunächst den bevorzugten Aufbau der behandelten Dünnschichtstapel beschreiben, bevor wir uns im Detail mit dem Ort der bzw. jeder Absorptionsschicht innerhalb eines solchen Aufbaus beschäftigen. Sofern nichts anderes angegeben ist, sind die angegebenen Dicken physische Dicken.

[0041] Der niedrig-emissive Stapel, vor oder nach der Wärmebehandlung, enthält vorzugsweise – ausgehend vom Substrat – eine erste Beschichtung, die wenigstens eine erste dielektrische Schicht, wenigstens eine Silberschicht, eventuell eine Darüber-Sperrschicht umfasst, und eine zweite Beschichtung, die wenigstens eine zweite dielektrische Schicht umfasst.

[0042] Vorzugsweise beträgt die physische Dicke der bzw. jeder Silberschicht zwischen 6 und 20 nm.

[0043] Die Darüber-Sperrschicht ist dafür bestimmt, die Silberschicht während der Abscheidung einer späteren Schicht (beispielsweise, wenn diese Letztere unter einer oxidierenden oder nitrierenden Atmosphäre abgeschieden wird) und während einer eventuellen Wärmebehandlung vom Typ Vorspannen oder Wölben zu schützen.

[0044] Die Silberschicht kann auch auf und in Kontakt mit einer Darunter-Sperrschicht abgeschieden werden. Der Stapel kann folglich eine Darüber-Sperrschicht und/oder eine Darunter-Sperrschicht enthalten, welche die oder jede Silberschicht flankieren.

[0045] Die Sperrschichten (darunter sperrend und/oder darüber sperrend) sind im Allgemeinen auf Basis eines Metalls, das aus Nickel, Chrom, Titan, Niob gewählt ist, oder aus einer Legierung dieser verschiedenen Metalle. Insbesondere lassen sich Nickel-Titan-Legierungen anführen (insbesondere jene, die etwa 50 Gew.-% von jedem Metall enthalten) oder Nickel-Chrom-Legierungen (insbesondere jene, die 80 Gew.-% Nickel und 20 Gew.-% Chrom enthalten). Die Darüber-Sperrschicht kann auch aus mehreren aufeinanderliegenden Schichten gebildet sein, beispielsweise, vom Substrat weg, aus Titan, dann einer Nickellegierung (insbesondere einer Nickel-Chrom-Legierung) oder umgekehrt. Die verschiedenen Metalle oder Legierungen, die genannt wurden, können auch teilweise oxidiert sein, insbesondere eine unterstöchiometrische Sauerstoffmenge aufweisen (beispielsweise TiO_x oder NiCrO_x).

[0046] Diese Sperrschichten (darunter sperrend und/oder darüber sperrend) sind sehr dünn, normalerweise von einer Dicke kleiner als 1 nm, um nicht die Lichtdurchlässigkeit des Stapels zu beeinträchtigen, und eignen sich dafür, während der Wärmebehandlung teilweise oxidiert zu werden. Wie im Folgetext angegeben, kann die Dicke wenigstens einer Sperrschicht größer sein, um eine Absorptionsschicht im Sinne der Erfindung zu bilden. Im Allgemeinen sind die Sperrschichten Opferschichten, die imstande sind, aus der Atmosphäre oder aus dem Substrat stammenden Sauerstoff aufzunehmen und dadurch die Oxidation der Silberschicht zu vermeiden.

[0047] Die erste und/oder die zweite dielektrische Schicht sind/ist typischerweise aus Oxid (insbesondere aus Zinnoxid) oder vorzugsweise aus Nitrid, insbesondere aus Siliciumnitrid (vor allem die zweite dielektri-

sche Schicht, die am weitesten vom Substrat entfernt ist). Im Allgemeinen kann das Siliciumnitrid dotiert sein, beispielsweise mit Aluminium oder Bor, um seine Abscheidung durch Kathodenzerstäubungsverfahren zu erleichtern. Der Dotierungsgrad (dem prozentualen Anteil der Fremdatome im Verhältnis zur Siliciummenge entsprechend) übersteigt im Allgemeinen nicht 2%. Diese dielektrischen Schichten haben die Funktion, die Silberschicht vor chemischen oder mechanischen Angriffen zu schützen, und beeinflussen auch die optischen Eigenschaften, insbesondere bei Reflexion, des Dünnschichtstapels aufgrund von Interferenzerscheinungen.

[0048] Die erste Beschichtung kann eine dielektrische Schicht oder mehrere dielektrische Schichten, typischerweise 2 bis 4, umfassen. Die zweite Beschichtung kann eine dielektrische Schicht oder mehrere dielektrische Schichten, typischerweise 2 bis 3, umfassen. Diese dielektrischen Schichten sind vorzugsweise aus einem Material, das aus Siliciumnitrid, Titan-, Zinn- oder Zinkoxiden oder irgendeiner der Mischungen oder festen Lösungen davon gewählt ist, beispielsweise aus einem Zinn-Zink-Mischoxid oder einem Titan-Zink-Mischoxid. Unabhängig davon woraus die erste Beschichtung oder die zweite Beschichtung besteht, die physische Dicke der dielektrischen Schicht bzw. die gesamte physische Dicke der Gesamtheit der dielektrischen Schichten beträgt vorzugsweise zwischen 15 und 60 nm, insbesondere zwischen 20 und 50 nm.

[0049] Die erste Beschichtung weist vorzugsweise unmittelbar unter der Silberschicht oder unter der eventuellen Darunter-Sperrschicht eine Benetzungsschicht auf, deren Funktion es ist, Benetzung und Haftung der Silberschicht zu verbessern. Zinkoxid, insbesondere mit Aluminium dotiert, hat sich in dieser Hinsicht als besonders vorteilhaft herausgestellt.

[0050] Die erste Beschichtung kann auch direkt unter der Benetzungsschicht eine Glättungsschicht enthalten, ein teilweise oder vollständig amorphes Mischoxid (folglich mit sehr geringer Rauigkeit), dessen Funktion es ist, das Wachstum der Benetzungsschicht in einer bevorzugten kristallographischen Orientierung zu begünstigen, die das Aufwachsen des Silbers durch Epitaxie begünstigt. Die Glättungsschicht besteht vorzugsweise aus einem Mischoxid aus wenigstens zwei Metallen, die aus Sn, Zn, In, Ga, Sb gewählt sind. Ein bevorzugtes Oxid ist das Zinn-Indium-Mischoxid, dotiert mit Antimon.

[0051] Bei der ersten Beschichtung wird die Benetzungsschicht oder die eventuelle Glättungsschicht vorzugsweise direkt auf der ersten dielektrischen Schicht abgeschieden. Die erste dielektrische Schicht wird vorzugsweise direkt auf dem Substrat abgeschieden. Um die optischen Eigenschaften des Stapels (insbesondere das Erscheinungsbild bei Reflexion) aufs Beste anzupassen, kann alternativ die erste dielektrische Schicht auf einer anderen Schicht aus Oxid oder Nitrid, beispielsweise aus Titanoxid, abgeschieden werden.

[0052] Innerhalb der zweiten Beschichtung kann die zweite dielektrische Schicht direkt auf der Silberschicht abgeschieden werden oder vorzugsweise auf einer Darüber-Sperrschicht oder auch auf anderen Schichten aus Oxid oder Nitrid, die dazu bestimmt sind, die optischen Eigenschaften des Stapels anzupassen. Beispielsweise kann zwischen einer Darüber-Sperrschicht und der zweiten dielektrischen Schicht, die vorzugsweise aus Siliciumnitrid ist, eine Zinkoxidschicht, insbesondere mit Aluminium dotiert, oder auch eine Zinnoxidschicht angeordnet sein. Zinkoxid, insbesondere mit Aluminium dotiert, ermöglicht, die Adhäsion zwischen dem Silber und den darüber angeordneten Schichten zu verbessern.

[0053] So umfasst der Stapel der Erfindung vorzugsweise wenigstens eine ZnO/Ag/ZnO-Folge. Das Zinkoxid kann mit Aluminium dotiert sein. Zwischen der Silberschicht und der darunterliegenden Schicht kann eine Darunter-Sperrschicht angeordnet sein. Alternativ oder kumulativ kann zwischen der Silberschicht und der darüberliegenden Schicht eine Darüber-Sperrschicht angeordnet sein.

[0054] Schließlich kann die zweite Beschichtung von einer Überzugsschicht, mitunter von Fachleuten „Overcoat“ genannt, überdeckt sein. Als letzte Schicht des Stapels, folglich in Kontakt mit der Umgebungsluft, ist sie dafür bestimmt, den Stapel gegen jegliche mechanische (Kratzer...) oder chemische Angriffe zu schützen. Diese Überzugsschicht ist im Allgemeinen sehr dünn, um nicht das Erscheinungsbild des Stapels bei Reflexion zu stören (ihre Dicke beträgt typischerweise zwischen 1 und 5 nm). Sie wird vorzugsweise auf Basis von Titanoxid oder Zinn-Zink-Mischoxid, vorzugsweise mit Antimon dotiert, in unterstöchiometrischer Form abgeschieden. Wie in der Folge angegeben, kann die Zusammensetzung dieser Überzugsschicht so gewählt werden, dass sie die oder eine Absorptionsschicht des Stapels ist.

[0055] Der Stapel kann eine oder mehrere Silberschichten enthalten, insbesondere zwei oder drei Silberschichten. Wenn mehrere Silberschichten vorhanden sind, kann sich der vorstehend dargestellte allgemeine Aufbau wiederholen. In diesem Fall stimmt die zweite Beschichtung, bezogen auf eine gegebene Silberschicht

(folglich über dieser Silberschicht befindlich) im Allgemeinen mit der ersten Beschichtung, bezogen auf die nächste Silberschicht, überein.

[0056] Der Stapel enthält wenigstens eine Absorptionsschicht. Eine absorbierende Dünnschicht kann sich in direktem Kontakt zur Silberschicht befinden, um die Übertragung der in Richtung der Silberschicht abgegebenen Energie zu verbessern. Eine absorbierende Dünnschicht kann sich insbesondere unter der Silberschicht (d. h. näher am Substrat) und/oder über der Silberschicht befinden.

[0057] Gemäß einer ersten bevorzugten Ausführungsform ist eine Dünnschicht, die wenigstens teilweise die Strahlung absorbierend, eine Metallschicht, die direkt über der Silberschicht abgeschieden ist (Darüber-Sperrschicht), sogar direkt unter der Silberschicht abgeschieden ist (Darunter-Sperrschicht) und deren Dicke zwischen 2 und 5 nm, insbesondere zwischen 3 und 5 nm beträgt. Bei einer Laserbearbeitung wird diese Sperrschicht teilweise oxidiert und ein Oxid mit einer insgesamt unterstöchiometrischen Sauerstoffmenge entstehen lassen, dessen Lichtabsorption reduziert ist. Dünnere Schichten weisen keine Absorption auf, die ausreichend wäre, damit eine Energieübertragungswirkung zur Silberschicht erkennbar wäre. Außerdem neigen dünnere Schichten bei einer Laserbearbeitung zur vollständigen Oxidation, was eine schlechte mechanische Festigkeit des fertiggestellten Stapels zur Folge hat. Der beschriebene Dickenbereich ist zwar ungewöhnlich, weil größer als die typische Dicke von Sperrschichten, doch ist er für die Bearbeitung besonders gut geeignet. Für die chemische Beschaffenheit der Sperrschichten gilt das voranstehend Beschriebene auch in dem Fall, in dem die Sperrschicht eine Absorptionsschicht im Sinne der Erfindung ist.

[0058] Gemäß einer zweiten bevorzugten Ausführungsform ist die Dünnschicht, die wenigstens teilweise die Strahlung absorbierend, eine Nitridschicht, insbesondere mit einer stöchiometrischen oder unterstöchiometrischen Stickstoffmenge. Das stöchiometrische Nitrid ist vorzugsweise aus den Niob- und Titanitriden oder irgendeiner der Mischungen davon gewählt, die im Wellenlängenbereich des Lasers hohe Absorptionen aufweisen. Vorzugsweise ist das Nitrid mit unterstöchiometrischer Stickstoffmenge aus den unterstöchiometrischen Silicium-, Aluminium-, Titan-, Niobnitriden oder irgendeiner der Mischungen davon gewählt. Nötigenfalls, insbesondere, wenn der behandelte bzw. bearbeitete Stapel eine Sonnenschutzfunktion bewahren soll, kann das absorbierende Nitrid vor einer Oxidation geschützt werden, indem es zwischen zwei durchsichtigen Nitridschichten, wie Siliciumnitrid, eingeschlossen wird. Diese Stapelung dreier aufeinanderliegender Nitridschichten kann unter der Silberschicht ebenso wie auf der Silberschicht platziert sein. Bei dem voranstehend dargestellten allgemeinen Aufbau kann die absorbierende Nitridschicht zur ersten Beschichtung ebenso wie zur zweiten Beschichtung gehören. Wenn sie eingeschlossen ist, ersetzt die Stapelung dreier Nitridschichten vorzugsweise die erste dielektrische Schicht und/oder die zweite dielektrische Schicht, insbesondere wenn sie aus Siliciumnitrid sind. Es ist jedoch festgestellt worden, dass die absorbierende Nitridschicht, auch wenn sie nicht eingeschlossen ist, während der Bearbeitung nicht oxidiert, insbesondere nicht im Fall von Niobnitrid, das besonders stabil ist. Die absorbierende Nitridschicht weist vorzugsweise eine Dicke zwischen 2 und 10 nm, insbesondere zwischen 2 und 5 nm auf.

[0059] Gemäß einer dritten bevorzugten Ausführungsform ist die Dünnschicht, die wenigstens teilweise die Strahlung absorbierend, eine Schicht in Kontakt mit der Luft und besteht aus einem Metall, einem Metalloxid mit einer unterstöchiometrischen Sauerstoffmenge oder einem Metallnitrid. Im Rahmen des zuvor dargestellten allgemeinen Aufbaus handelt es sich also um die Überzugsschicht oder den „Overcoat“. Diese Überzugsschicht, die mit der Luft in Kontakt und folglich die letzte Schicht des Stapels ist, wird im Allgemeinen bei der Laserbearbeitung oxidiert, sodass nach der Bearbeitung ihre Lichtabsorption sehr gering sein wird. In manchen Fällen, insbesondere bei Niobnitrid, oxidiert die Überzugsschicht nicht, sondern bewahrt nach der Bearbeitung eine nicht unerhebliche Absorption, was einen Vorteil darstellen kann, wenn der Stapel eine Sonnenschutzfunktion besitzen soll.

[0060] Die Dicke dieser mit der Luft in Kontakt befindlichen Schicht ist vorzugsweise kleiner oder gleich 5 nm, sogar 3 nm, und größer oder gleich 1 nm. Eine so geringe Dicke ist im Allgemeinen ausreichend, um die angestrebte Absorption zu erzielen. Eine geringe Dicke ermöglicht zudem eine vollständige Oxidation nach der Bearbeitung und ermöglicht folglich, hohe Lichttransmissionsgrade zu erzielen. Das Metall ist vorzugsweise aus Silicium, Niob, Titan, Aluminium, Zink, Zinn, Zirkonium oder irgendeiner der Legierungen davon gewählt. Das Oxid mit einer unterstöchiometrischen Sauerstoffmenge ist vorzugsweise ein Silicium-, Niob-, Titan-, Aluminium-, Zink-, Zinn-, Zirkoniumoxid oder irgendeine der Mischungen davon. Das Nitrid kann stöchiometrisch sein, und in diesem Fall handelt es sich vorzugsweise um Niobnitrid, Titanitrid oder eine Mischung davon. Das Nitrid kann auch unterstöchiometrisch sein: Es kann sich dann um ein Silicium-, Aluminium-, Titan-, Niob-, Zink-, Zinn-, Zirkoniumnitrid oder irgendeine der Mischungen davon handeln.

[0061] Gemäß einer vierten bevorzugten Ausführungsform ist die Dünnschicht, die wenigstens teilweise die Strahlung absorbierend, eine Schicht aus einem Metalloxid mit einer unterstöchiometrischen Sauerstoffmenge, die sich unter und vorzugsweise in Kontakt mit der oder jeder Silberschicht befindet und/oder sich auf und vorzugsweise in Kontakt mit der oder jeder Silberschicht befindet. Es kann sich insbesondere um eine Benetzungsschicht im zuvor definierten Sinne handeln. Das Oxid mit einer unterstöchiometrischen Sauerstoffmenge ist vorzugsweise aus Zinkoxid, Titanoxid, Zinnoxid oder einer der Mischungen davon gewählt.

[0062] Gemäß einer fünften bevorzugten Ausführungsform ist die Dünnschicht, die wenigstens teilweise die Strahlung absorbiert, eine Schicht auf Basis von Kohlenstoff, in Kontakt mit der Luft. Der Kohlenstoff ist vorzugsweise vom Graphit- oder amorphen Typ und/oder enthält wenigstens 50%, sogar 100% sp²-Kohlenstoff. Die Dünnschicht auf Basis von Kohlenstoff besteht vorzugsweise aus Kohlenstoff, kann aber gleichwohl mit einem Metall dotiert oder teilweise hydriert sein. Die Dicke der Kohlenstoffschicht ist vorzugsweise kleiner als 5 nm, insbesondere 2 nm und selbst 1 nm. Der Kohlenstoff weist ein hohes Absorptionsvermögen im sichtbaren und infraroten Spektralbereich auf. Die Kohlenstoffschicht, vor allem, wenn es sich überwiegend um sp²-Hybrid handelt, insbesondere vom Graphit- oder amorphen Typ, und umso mehr, als ihre Dicke gering ist, wird bei der Bearbeitung beseitigt, wahrscheinlich durch Oxidation zu Kohlendioxid, das verdampft, sodass die Restabsorption nach der Bearbeitung minimal ist. Die Dünnschicht auf Basis von Kohlenstoff kann durch verschiedene Verfahren erhalten werden, insbesondere die magnetfeldunterstützte Kathodenzerstäubung, beispielsweise mit Hilfe eines Graphit-Targets unter Argonatmosphäre. Weitere Abscheidungsverfahren sind die chemische Gasphasenabscheidung (CVD), die Lichtbogenabscheidung, die Bedampfung, die Abscheidung durch Verfahren vom Sol-Gel-Typ.

[0063] Ganz gleich, welche Position die oder eine Absorptionsschicht im Stapel einnimmt, sie kann auch auf Basis eines Oxids sein, das mit wenigstens einem Ion eines Übergangsmetalls (beispielsweise Eisen, Chrom, Vanadium, Mangan, Kobalt, Nickel, Kupfer) oder eines Seltenerdmetalls (beispielsweise Neodym oder Europium) dotiert ist.

[0064] Der Stapel kann eine einzige Absorptionsschicht enthalten. Er kann auch mehr davon enthalten, beispielsweise zwei, drei, vier oder fünf, insbesondere in dem Fall, in dem das Vorhandensein einer einzigen Absorptionsschicht nicht ausreicht, um die für den Stapel als Ganzes angestrebte Absorption zu erreichen. Der Stapel kann folglich derart gewählt sein, dass er mehrere Absorptionsschichten enthält, die in Kombination ermöglichen, die angestrebte Absorption zu erreichen, einzeln dies jedoch nicht ermöglichen. Dies ist insbesondere bei Stapeln der Fall, die mehr als eine Silberschicht enthalten, insbesondere zwei oder drei: Die Vervielfachung der Zahl der Sperrschichten (darunter- und/oder darüber sperrend) kann dazu führen, dass an der Wellenlänge des Lasers eine starke Absorption erzielt wird, obwohl jede der vorhandenen Schichten eine Dicke aufweist, die nicht ausreicht, um allein zu dieser Absorption zu gelangen.

[0065] Zur weiteren Verbesserung der Absorption der Laserstrahlung durch den Stapel kann dieser Letztere folglich mehrere der zuvor beschriebenen Absorptionsschichttypen enthalten. Jede der soeben beschriebenen bevorzugten Ausführungsformen kann insbesondere mit einer oder mehreren anderen Ausführungsformen kombiniert werden. Insbesondere können die bevorzugten Ausführungsformen 1 und 2, 1 und 3, 1 und 4, 1 und 5, 2 und 3, 2 und 4, 3 und 4, 2 und 5, 3 und 5, 1, 2 und 3, 1, 2 und 4, 1, 2 und 5, 1, 3 und 4, 1, 3 und 5, 2, 3 und 4, 2, 3, und 5, 3, 4, und 5, 1, 2, 3 und 4, 1, 2, 3 und 5, 1, 2, 4 und 5, 1, 3, 4 und 5, 2, 3, 4 und 5 kombiniert werden. Beispielsweise kann der Stapel eine verdickte Sperrschicht (mit einer Dicke zwischen 2 und 5 nm) und eine absorbierende Überzugsschicht enthalten (Kombination der ersten mit der dritten bevorzugten Ausführungsform). Manche bevorzugte Ausführungsformen können auch mit sich selbst kombiniert werden. Dies ist bei der zweiten bevorzugten Ausführungsform der Fall, in dem Sinne, dass der Stapel mehrere Nitrid-Absorptionsschichten – insbesondere eingeschlossen zwischen zwei Siliciumnitridschichten – enthalten kann, beispielsweise zwei oder drei. Ebenso kann der Stapel mehrere Sperrschichten (darunter und/oder darüber sperrend) enthalten, die verdickt sind, um ihre Absorption der Laserstrahlung zu erhöhen (Kombinationen der ersten Ausführungsform).

[0066] Nachstehend sind einige nicht einschränkend zu verstehende Stapelbeispiele beschrieben. Die Schichten sind in der Reihenfolge ihrer Abscheidung, ausgehend vom Substrat angegeben. Optionale Schichten sind in Klammern angegeben.

Stapel 1: Si₃N₄/TiO₂/(SnZnO_x)/ZnO/Ag/Ti/ZnO/Si₃N₄/Ti

Stapel 2: TiO₂/ZnO/Ag/ZnO/(TiO₂)/Si₃N₄/ZnSn

Stapel 3: (Si₃N₄)/TiO₂/(NiCr)/Ag/NiCr/(ZnO)/SnO₂

Stapel 4: Si₃N₄/NbN/Si₃N₄/(SnZnO_x)/ZnO/Ag/NiCr/ZnO/Si₃N₄/TiO_x

Stapel 5: $\text{SiN}_x/\text{ZnO}/\text{Ag}/\text{NiCr}/\text{ZnO}/\text{Si}_3\text{N}_4$

Stapel 6: $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{ZnO}/\text{Ag}/\text{Ti}/\text{ZnO}/\text{Si}_3\text{N}_4/\text{ZnO}/\text{Ag}/\text{Ti}/\text{ZnO}/\text{Si}_3\text{N}_4$

Stapel 7: $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{ZnO}/\text{Ag}/\text{Ti}/\text{ZnO}/\text{Si}_3\text{N}_4/\text{ZnO}/\text{Ag}/\text{Ti}/\text{ZnO}/\text{Si}_3\text{N}_4/\text{ZnO}/\text{Ag}/\text{Ti}/\text{ZnO}/\text{Si}_3\text{N}_4$

Stapel 8: $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{TiO}_2/(\text{SnZnO}_x)/\text{ZnO}/\text{Ag}/\text{Ti}/\text{ZnO}/\text{Si}_3\text{N}_4/\text{C}$

[0067] Im Fall des Stapels 1 wird eine Absorptionsschicht gebildet von der metallischen Überzugsschicht (aus Titan, doch sind andere Metalle sowie unterstöchiometrische Nitride oder Oxiden, wie zuvor erwähnt, möglich) und eventuell der Darüber-Sperrschicht (hier aus Titan, doch können die zuvor erwähnten Metalle oder Legierungen verwendet werden), wenn sie verdickt ist. Dieser Stapel veranschaulicht demnach die dritte bevorzugte Ausführungsform, gegebenenfalls in Kombination mit der ersten.

[0068] Der Stapel 2 enthält eine Absorptionsschicht, die eine metallische Überzugsschicht aus einer SnZn-Legierung ist. Dieser Stapel veranschaulicht demnach die dritte bevorzugte Ausführungsform. Selbstverständlich sind weitere Legierungen aus jenen möglich, die zuvor beschrieben wurden.

[0069] Der Stapel 3 enthält eine Darüber-Sperrschicht und eine Darunter-Sperrschicht, alle beide aus einer Legierung aus Nickel und Chrom. Eine oder jede dieser Sperrschichten kann verdickt sein, um eine oder zwei Absorptionsschicht(en) zu bilden. Beispielsweise kann nur die Darunter-Sperrschicht oder nur die Darüber-Sperrschicht verdickt sein (erste bevorzugte Ausführungsform). Alternativ können die beiden Sperrschichten verdickt sein (erste bevorzugte Ausführungsform mit sich selbst kombiniert).

[0070] Der Stapel 4 enthält eine Absorptionsschicht aus Niobnitrid und eine absorbierende Überzugsschicht aus Titanoxid mit einer unterstöchiometrischen Sauerstoffmenge. Er veranschaulicht demnach eine Kombination der zweiten mit der dritten bevorzugten Ausführungsform. Die Darüber-Sperrschicht aus der Legierung aus Nickel und Chrom kann ebenfalls verdickt sein, um eine Absorptionsschicht zu bilden (erste bevorzugte Ausführungsform). Dieser Stapeltyp ist nicht nur niedrig-emissiv, sondern besitzt auch eine Sonnenschutz-funktionalität.

[0071] Im Stapel 5 ist eine Absorptionsschicht eine Siliciumnitridschicht mit einer unterstöchiometrischen Stickstoffmenge (zweite bevorzugte Ausführungsform). Die Darüber-Sperrschicht aus der Legierung aus Nickel und Chrom kann ebenfalls verdickt sein, um eine Absorptionsschicht zu bilden (erste bevorzugte Ausführungsform).

[0072] Die Stapel 6 und 7 veranschaulichen zwei bzw. drei Silberschichten enthaltende Stapel. In manchen Fällen kann die große Zahl Sperrschichten (hier aus Titan, doch sind die anderen bereits erwähnten Metalle oder Legierungen verwendbar) ausreichen, um die gewünschte Absorption zu erreichen. In anderen Fällen kann es sich als notwendig erweisen, wenigstens eine Sperrschicht dicker zu machen.

[0073] Der Stapel 8 enthält als letzte Schicht eine Kohlenstoffschicht, vorzugsweise vom amorphen oder Graphit-Typ. Diese stark absorbierende Schicht wird während der Wärmebehandlung durch Oxidation beseitigt. Eine Metallschicht, beispielsweise aus Titan, kann sich unter und in Kontakt mit dieser Kohlenstoffschicht befinden.

[0074] In den zuvor dargestellten Stapeln kann wenigstens eine Zinkoxidschicht ebenfalls eine unterstöchiometrische Menge Sauerstoff enthalten und eine Absorptionsschicht bilden, wodurch die vierte bevorzugte Ausführungsform veranschaulicht wird.

[0075] Die Bearbeitung erfolgt im Allgemeinen mit Hilfe einer Strahlung, die eine wohldefinierte Wellenlänge aufweist. Gleichwohl wird eine Verwendung mehrerer verschiedener Laser, derart, dass das beschichtete Substrat die Wirkung mehrerer Strahlen verschiedener Wellenlängen erfährt, nicht ausgeschlossen.

[0076] Die Wellenlänge der Strahlung liegt vorzugsweise zwischen 530 und 1000 nm oder zwischen 600 und 1000 nm, insbesondere zwischen 700 und 950 nm, sogar zwischen 800 und 950 nm, denn das Silber reflektiert diesen Strahlungstyp weniger als die Infrarotstrahlungen größerer Wellenlänge. Die Bearbeitung ist dann effizienter. Außerdem absorbiert das Substrat, wenn es aus Klarglas ist, in diesem Wellenlängenbereich weniger. Es ist dann höheren Temperaturen weniger gewachsen.

[0077] Vorzugweise werden Diodenlaser verwendet, die beispielsweise an einer Wellenlänge von ungefähr 808 nm, 880 nm, 915 oder auch 940 nm oder 980 nm emittieren. In Form von Diodensystemen können sehr

hohe Leistungen erreicht werden, die es ermöglichen, am zu bearbeitenden Stapel Oberflächenleistungen von über 20 kW/cm², sogar über 30 kW/cm² zu erreichen.

[0078] Für eine einfachere Benutzung können die eingesetzten Laser Fasern umfassen, was bedeutet, dass die Laserstrahlung in eine Lichtleitfaser eingekoppelt wird und dann nahe der zu bearbeitenden Oberfläche von einem Fokussierkopf abgegeben wird. Der Laser kann auch ein Faserlaser sein, in dem Sinne, dass das verstärkende Medium selbst eine Lichtleitfaser ist.

[0079] Das Laserstrahlenbündel kann punktförmig sein; in diesem Fall ist es notwendig, ein System zum Bewegen des Laserstrahlenbündels über die Ebene des Substrats vorzusehen.

[0080] Vorzugsweise entstammt jedoch die Laserstrahlung wenigstens einem Laserstrahlenbündel, das eine Linie bildet (im Folgetext „Linienfokus“ genannt), welche die Gesamtheit oder einen Teil der Breite des Substrats gleichzeitig bestrahlt. Diese Art wird bevorzugt, denn sie vermeidet die Verwendung von aufwändigen Ablenkssystemen, die im Allgemeinen Platz beanspruchend und schwierig in der Wartung sind. Das linienförmige Laserstrahlenbündel kann insbesondere mit Hilfe von Laserdiodensystemen hoher Leistung erhalten werden, denen eine Fokussieroptik zugeordnet ist. Die Stärke der Linie beträgt vorzugsweise zwischen 0,01 und 1 mm. Die Länge der Linie beträgt typischerweise zwischen 5 mm und 1 m. Das Profil der Linie kann insbesondere gaußförmig oder rechteckförmig sein.

[0081] Der Linienfokus, der die Gesamtheit oder einen Teil der Breite des Substrats gleichzeitig bestrahlt, kann aus einer einzigen Linie (die dann die gesamte Breite des Substrats bestrahlt) oder mehreren, gegebenenfalls voneinander getrennten, Linien bestehen. Wenn mehrere Linien verwendet werden, ist es vorzuziehen, dass sie derart angeordnet sind, dass die gesamte Oberfläche des Stapels bearbeitet wird. Die bzw. jede Linie ist vorzugsweise senkrecht zur Laufrichtung des Substrats angeordnet oder ist schräg angeordnet. Die verschiedenen Linien können das Substrat gleichzeitig oder zeitlich versetzt bearbeiten. Wichtig ist, dass die gesamte zu bearbeitende Oberfläche erfasst wird.

[0082] Zur Bearbeitung der gesamten Oberfläche der Schicht wird vorzugsweise eine Relativbewegung zwischen einem Teil des beschichteten Substrats und dem bzw. jedem Linienfokus ausgeführt. So kann das Substrat bewegt werden, insbesondere im Vorbeilauf durch eine Translationsbewegung gegenüber dem ortsfesten Linienfokus, im Allgemeinen unter, aber eventuell auch über dem Linienfokus. Diese Ausführungsform ist für eine Bearbeitung im Durchlaufverfahren besonders nennenswert. Alternativ kann das Substrat ortsfest und der Laser beweglich sein. Vorzugsweise ist der Unterschied zwischen den jeweiligen Geschwindigkeiten des Substrats und des Lasers größer oder gleich 1 Meter pro Minute, sogar 4 und selbst 6, 8, 10 oder 15 Meter pro Minute, um eine hohe Bearbeitungsgeschwindigkeit sicherzustellen. Die kluge Wahl, gemäß der Erfindung, einiger Schichten des Stapels ermöglicht, eine sehr starke Abnahme des spezifischen Widerstandes bei hohen Bewegungsgeschwindigkeiten und folglich hohen Bearbeitungsgeschwindigkeiten sicherzustellen.

[0083] Wenn das Substrat bewegt wird, insbesondere translatorisch verschoben wird, kann seine Bewegung mit Hilfe beliebiger mechanischer Beförderungsmittel erfolgen, beispielsweise mit Hilfe von Bändern, Walzen, beweglichen Tischen. Das Beförderungssystem ermöglicht eine Steuerung und Regelung der Bewegungsgeschwindigkeit. Wenn das Substrat aus biegsamem polymerem organischem Material besteht, kann die Bewegung mit Hilfe eines Folienvorschubsystems in Form einer Aufeinanderfolge von Walzen realisiert werden.

[0084] Der Laser kann auch bewegt werden, um seinen Abstand zum Substrat einzustellen, was insbesondere nützlich sein kann, wenn das Substrat gewölbt ist, doch nicht nur dafür. Es ist nämlich zu bevorzugen, dass das Laserstrahlenbündel so auf die zu bearbeitende Beschichtung fokussiert wird, dass sich diese Letztere in einem Abstand befindet, der kleiner oder bis auf 1 mm gleich dem Fokusabstand ist. Wenn das System zum Bewegen des Substrats oder des Lasers hinsichtlich des Abstandes zwischen dem Substrat und der Fokalebene nicht hinreichend präzise ist, empfiehlt es sich, vorzugsweise den Abstand zwischen dem Laser und dem Substrat einstellen zu können. Dieses Einstellen kann automatisch erfolgen, insbesondere aufgrund einer der Bearbeitung vorgelagerten Abstandsmessung.

[0085] Wenn der Linienfokus bewegt wird, muss ein System zum Bewegen des Lasers vorgesehen werden, das sich über oder unter dem Substrat befindet. Die Dauer der Bearbeitung wird über die Bewegungsgeschwindigkeit des Linienfokus geregelt.

[0086] Selbstverständlich sind alle Relativlagen des Substrats und des Lasers möglich, solange die Oberfläche des Substrats zufriedenstellend bestrahlt werden kann. Das Substrat wird meist horizontal angeordnet,

es kann aber auch vertikal oder mit einer beliebigen Neigung angeordnet sein. Bei horizontal angeordnetem Substrat ist der Laser im Allgemeinen so angeordnet, dass er die Oberseite des Substrats bestrahlt. Der Laser kann auch die Unterseite des Substrats bestrahlen. In diesem Fall muss das Substrathalterungssystem, gegebenenfalls das System zur Beförderung des Substrats, wenn dieses Letztere bewegt wird, die Strahlung in den zu bestrahlenden Bereich durchlassen. Dies trifft z. B. zu, wenn Förderrollen verwendet werden: da die Rollen mit Zwischenraum angeordnet sind, ist es möglich, den Laser in einem Bereich anzuordnen, der sich zwischen zwei aufeinanderfolgenden Rollen befindet.

[0087] Wenn beide Seiten des Substrats zu bearbeiten sind, ist es möglich, mehrere Laser zu benutzen, die sich beiderseits des Substrats befinden, das horizontal, vertikal oder mit einer beliebigen Neigung angeordnet sein kann.

[0088] Die Strahlungsvorrichtung, beispielsweise der Linienlaser, kann in eine Fertigungsstraße zur Schichtabscheidung integriert sein, beispielsweise in eine Straße zur magnetfeldunterstützten Kathodenzerstäubung (Magnetronverfahren) oder eine Straße zur chemischen Gasphasenabscheidung (CVD), insbesondere plasmaunterstützt (PECVD), unter Vakuum oder unter atmosphärischem Druck (APPECVD). Die Straße umfasst im Allgemeinen Vorrichtungen zur Beförderung der Substrate, eine Beschichtungsanlage, Vorrichtungen zur optischen Prüfung, Stapelvorrichtungen. Die Substrate laufen, beispielsweise über Förderrollen, nacheinander an jeder Vorrichtung bzw. jeder Anlage vorbei.

[0089] Die Strahlungsvorrichtung, beispielsweise der Linienlaser, befindet sich vorzugsweise gleich nach der Beschichtungsanlage, beispielsweise ausgangs der Beschichtungsanlage. Das beschichtete Substrat kann dann online, d. h. direkt im Anschluss an die Abscheidung der Schicht, ausgangs der Beschichtungsanlage und vor den Vorrichtungen zur optischen Prüfung oder nach den Vorrichtungen zur optischen Prüfung und vor den Vorrichtungen zur Stapelung der Substrate bearbeitet werden.

[0090] Die Strahlungsvorrichtung kann auch in die Beschichtungsanlage integriert sein. Beispielsweise kann der Laser in eine der Kammern einer Anlage zur Beschichtung durch Kathodenzerstäubung eingebracht sein, insbesondere in eine Kammer, aus der die Luft ausgepumpt wird, insbesondere bis auf einen Druck zwischen 10^{-6} mbar und 10^{-2} mbar. Der Laser kann auch außerhalb der Beschichtungsanlage angeordnet sein, jedoch derart, dass er ein Substrat bearbeitet, das sich im Innern der Anlage befindet. Es genügt, dafür ein an der Wellenlänge der verwendeten Strahlung lichtdurchlässiges Schauglas vorzusehen, durch das hindurch der Laser die Schicht bearbeiten könnte. Somit ist es möglich, eine Schicht (beispielsweise eine Silberschicht) vor dem nachfolgenden Abscheiden einer weiteren Schicht in derselben Anlage zu bearbeiten. Wenn eine Absorptionsschicht eine Überzugsschicht ist, beispielsweise eine Metallschicht, kann ihre Oxidation bei der Bearbeitung stören, falls das Substrat in einer Vakuumkammer platziert ist. In diesem Fall ist es möglich, den Stapel in einer speziellen Kammer zu bearbeiten, in der man die oxidierende Atmosphäre unter Kontrolle halten könnte.

[0091] Ob nun die Strahlungsvorrichtung außerhalb der Beschichtungsanlage angeordnet oder in diese integriert ist, diese „Online“-Verfahren sind einem Nachbehandlungsverfahren, bei dem es erforderlich wäre, die Glassubstrate zwischen dem Beschichtungsschritt und der Wärmebehandlung zu stapeln, vorzuziehen.

[0092] Die Nachbehandlungsverfahren können dennoch von Vorteil sein, falls die Durchführung der Wärmebehandlung an einem Ort erfolgt, der von jenem, an dem die Beschichtung erfolgt, verschieden ist, beispielsweise an einem Ort, an dem das Glas verarbeitet wird. Die Strahlungsvorrichtung kann folglich in andere Fertigungsstraßen als die zur Beschichtung integriert sein. Sie kann beispielsweise in eine Straße zur Fertigung von Mehrfachverglasungen (insbesondere Doppel- oder Dreifachverglasungen) oder eine Straße zur Fertigung von Verbundsicherheitsglas integriert sein. In diesen verschiedenen Fällen wird die Wärmebehandlung vorzugsweise vor der Herstellung der Mehrfachverglasung oder des Verbundsicherheitsglases durchgeführt.

[0093] Die Abscheidung des Stapels auf dem Substrat kann durch jede Art von Verfahren erzielt werden, insbesondere Verfahren, die überwiegend amorphe oder nanokristalline Schichten erzeugen, wie etwa das Kathodenzerstäubungsverfahren, insbesondere magnetfeldunterstützt (Magnetronverfahren), das Verfahren der plasmaunterstützten chemischen Gasphasenabscheidung (PECVD), das Vakuumbedampfungsverfahren oder das Sol-Gel-Verfahren.

[0094] Der Stapel wird vorzugsweise durch Kathodenzerstäubung abgeschieden, insbesondere magnetfeldunterstützt (Magnetronverfahren).

[0095] Als einfachere Möglichkeit erfolgt die Laserbearbeitung der Schicht vorzugsweise in Luft und/oder bei atmosphärischem Druck. Gleichwohl ist es möglich, die Wärmebehandlung der Schicht in der Bedampfkammer vorzunehmen, beispielsweise vor einer nachfolgenden Abscheidung.

[0096] Die Laserbearbeitung ist vorzugsweise derart, dass jeder Punkt der Dünnschicht auf eine Temperatur von wenigstens 300°C gebracht wird, während an jedem Punkt der Substratseite, die der besagten ersten Seite gegenüberliegt, eine Temperatur kleiner oder gleich 100°C bewahrt wird, sodass der Kristallisationsgrad besagter Dünnschicht bei Beibehaltung ihrer Kontinuität und ohne einen Schritt des Schmelzens besagter Dünnschicht erhöht wird. Die Dünnschicht bleibt folglich nach der Bearbeitung zusammenhängend.

[0097] Unter „zusammenhängender Dünnschicht“ wird im Sinne der vorliegenden Erfindung verstanden, dass die Schicht im Wesentlichen die Gesamtheit des Substrats oder, im Fall eines Stapels, die Gesamtheit der darunterliegenden Schicht bedeckt. Es ist wichtig, dass der zusammenhängende Charakter der Dünnschicht (und folglich ihre vorteilhaften Eigenschaften) bei der Bearbeitung erhalten bleibt.

[0098] Unter „Punkt der Schicht“ wird ein Bereich der Schicht verstanden, der zu einem gegebenen Zeitpunkt die Bearbeitung erfährt. Die Gesamtheit der Schicht (also jeder Punkt) wird auf eine Temperatur von wenigstens 300°C gebracht, aber es werden nicht unbedingt alle Punkte der Schicht gleichzeitig bearbeitet. Die Schicht kann zum selben Zeitpunkt in ihrer Gesamtheit bearbeitet werden, wobei jeder Punkt der Schicht zur gleichen Zeit auf eine Temperatur von wenigstens 300°C gebracht wird. Alternativ kann die Schicht so bearbeitet werden, dass die verschiedenen Punkte der Schicht oder Punktgesamtheiten nacheinander auf eine Temperatur von wenigstens 300°C gebracht werden, wobei diese zweite Verfahrensweise bei einer kontinuierlichen Durchführung im großtechnischen Maßstab am häufigsten angewandt wird.

[0099] Das Verfahren kann an einem Substrat durchgeführt werden, das horizontal ebenso wie vertikal platziert ist. Es kann auch an einem Substrat durchgeführt werden, das auf beiden Seiten mit Dünnschichten versehen ist, wobei wenigstens eine Schicht einer der Seiten oder jeder Seite bearbeitet wird. Falls an beiden Seiten des Substrats abgeschiedene Dünnschichten bearbeitet werden, ist es möglich, die Dünnschichten jeder Seite entweder gleichzeitig oder nacheinander zu bearbeiten und zwar mittels identischer oder verschiedener Verfahren, insbesondere in Abhängigkeit davon, ob die Beschaffenheit der bearbeiteten Schichten identisch oder verschieden ist. Der Fall, in dem die Behandlung bzw. Bearbeitung an den beiden Seiten des Substrats gleichzeitig durchgeführt wird, ist folglich eingeschlossen.

[0100] Die Bearbeitung ermöglicht, ein nicht vorgespanntes Glassubstrat zu erhalten, das auf wenigstens einer Seite mit einem niedrig-emissiven Dünnschichtstapel beschichtet ist, der eine einzige Silberdünnschicht zwischen wenigstens zwei dielektrischen Dünnschichten enthält. Der Stapel ist insbesondere derart, dass:

- er einen Flächenwiderstand aufweist, der kleiner oder gleich 1,9 Ohm, sogar 1,8 Ohm ist, wobei der Stapel derart ist, dass ein Klarglassubstrat von 4 mm Dicke, beschichtet mit dem Stapel, einen Lichttransmissionsgrad größer oder gleich 75%, sogar 76%, und einen Farbwert a^* , bei Reflexion an der Stapelseite, kleiner oder gleich 5, sogar 4 aufweisen würde, oder
- er einen Flächenwiderstand aufweist, der größer als 1,9 Ohm und kleiner oder gleich 2,4 Ohm ist, wobei der Stapel derart ist, dass ein Klarglassubstrat von 4 mm Dicke, beschichtet mit dem Stapel, einen Lichttransmissionsgrad größer oder gleich 81%, sogar 82%, und einen Farbwert a^* , bei Reflexion an der Stapelseite, kleiner oder gleich 5, sogar 4 aufweisen würde, oder
- er einen Flächenwiderstand aufweist, der größer als 2,4 Ohm und kleiner oder gleich 3,0 Ohm ist, wobei der Stapel derart ist, dass ein Klarglassubstrat von 4 mm Dicke, beschichtet mit dem Stapel, einen Lichttransmissionsgrad größer oder gleich 87%, sogar 88%, und einen Farbwert a^* , bei Reflexion an der Seite des Stapels, kleiner oder gleich 4 aufweisen würde.

[0101] Die physischen Dicken der Silberschichten betragen vorzugsweise bei der ersten Alternative zwischen 14 und 18 nm, bei der zweiten Alternative zwischen 12 und 16 nm und bei der dritten Alternative zwischen 10 und 14 nm.

[0102] Das Verfahren ermöglicht nämlich durch die Optimierung der Übertragung der Energie zur Silberschicht, die damit versorgt wird, niedrig-emissive Stapel zu erhalten, die eine Kombination von Emissionsgrad einerseits und optischen Eigenschaften (Lichttransmissionsgrad und Farbe) andererseits aufweisen, die noch nie anders als durch Vorspannen erzielt werden konnte.

[0103] Der Lichttransmissionsgrad ist ausgehend von einem Spektrum nach der Norm NF EN 410 berechnet. Der Farbwert a^* ist unter Berücksichtigung des Bezugsbeobachters nach CIE (1931) und der Lichtquelle nach D65 berechnet.

[0104] Ein weiterer Gegenstand, der erhalten wird, ist ein nicht vorgespanntes Glassubstrat, das auf wenigstens einer Seite mit einem niedrig-emissiven Dünnschichtstapel beschichtet ist, der wenigstens zwei Silberdünnschichten zwischen wenigstens zwei dielektrischen Dünnschichten enthält, derart, dass der Kennwert ΔE^* zwischen dem beschichteten Substrat und dem beschichteten Substrat nach dem Vorspannen kleiner oder gleich 2,0, insbesondere 1,5 ist. Der Stapel enthält vorzugsweise zwei oder drei Silberschichten.

[0105] Wie allgemein üblich, ist

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}.$$

Die Farbkoordinaten L^* , a^* und b^* werden unter Berücksichtigung der Lichtquelle nach D65 und des Bezugsbeobachters nach CIE (1931) berechnet. Es handelt sich dabei um Farbkoordinaten bei Reflexion an der Substratseite, d. h. an der dem Stapel gegenüberliegenden Seite. Der Term ΔL^* bezeichnet die Änderung der Koordinate L^* zwischen dem beschichteten Substrat und dem beschichteten Substrat nach Vorspannen. Die gleiche Konvention gilt für die Terme Δa^* und Δb^* .

[0106] Wie zuvor angegeben, ermöglicht das Verfahren, kolorimetrische Eigenschaften zu erzielen, die jenen, die durch eine Vorspannbehandlung erhalten werden, im Wesentlichen gleich oder wenigstens sehr ähnlich sind. Wenn dieses nicht vorgespannte Substrat vorgespannt werden würde, würden seine kolorimetrischen Eigenschaften durch das Vorspannen wenig beeinflusst werden. Nach Kenntnis der Erfinder hat bisher noch kein Dünnschichtstapel, der wenigstens zwei Silberschichten enthält, diese als „Vorspannbarkeit“ bezeichnete Eigenschaft erfüllt.

[0107] Die erhaltenen Stapel weisen vorzugsweise den zuvor beschriebenen allgemeinen Aufbau auf. Der Prägnanz und Klarheit wegen werden die entsprechenden Textstellen hier nicht wiederholt, jedoch sind selbstverständlich sämtliche Details bezüglich der Positionierung der verschiedenen Schichten, ihrer Funktion (erste und zweite Beschichtung, dielektrische Schichten, Darüber-Sperrschichten, Darunter-Sperrschichten, Benetzungsschicht, Glättungsschicht, Überzugsschicht), ihrer chemischen Beschaffenheit, ihrer Dicken ebenfalls auf Stapel gemäß der Erfindung anwendbar.

[0108] Vorzugsweise weisen die gemäß der Erfindung beschichteten Substrate keine Entspiegelungsschicht auf der dem niedrig-emissiven Dünnschichtstapel gegenüberliegenden Seite auf.

[0109] Die erhaltenen Substrate können für Einfachverglasungen, Mehrfachverglasungen oder Verbund sicherheitsglas, Spiegel, Wandverkleidungen aus Glas verwendet werden. Im Fall einer Mehrfachverglasung, die wenigstens zwei Glasscheiben umfasst, die durch einen Gasspalt voneinander getrennt sind, ist es vorzuziehen, dass der Stapel auf der mit dem Gasspalt in Kontakt befindlichen Seite, insbesondere auf der Seite 2 in Bezug auf die Außenseite (d. h. die Seite des Substrats in Kontakt mit der Gebäudeaußenseite, die der nach außen gewandten Seite gegenüberliegt) oder auf der Seite 3 (d. h. auf der Seite des – ausgehend von der Gebäudeaußenseite – zweiten Substrats, die nach außen gewandt ist) angeordnet ist.

[0110] Die Erfindung wird anhand von nicht einschränkend zu verstehenden Ausführungsbeispielen veranschaulicht, die folgen.

BEISPIEL 1

[0111] Auf einem 4 mm dicken Substrat aus Klarglas, von der Anmelderin unter der Bezeichnung SGG Planilux vermarktet, wurden verschiedene niedrig-emissive Stapel abgeschieden. Sämtliche Stapel wurden auf bekannte Weise in einer Fertigungsstraße zur Kathodenzerstäubung (Magnetronverfahren) abgeschieden, bei der das Substrat unter verschiedenen Targets durchläuft.

[0112] Tabelle 1 gibt für jeden getesteten Stapel die physische Dicke der Schichten in nm an. Die erste Zeile entspricht der Schicht, die am weitesten vom Substrat entfernt und in Kontakt mit der Außenluft ist.

[0113] Die Absorption entspricht der Absorption eines 4 mm dicken Klarglassubstrats, das mit dem Stapel beschichtet ist, an der Wellenlänge der Laserstrahlung (808 nm).

Probe	C1	1	2	3	4	5	6
Ti	0	0	3	2	0	2	2
ZnSnSbO _x	2	0	0	0	2	0	0
Si ₃ N ₄ :Al	0	0	0	0	20	0	0
NbN	0	0	0	0	4	0	0
Si ₃ N ₄ :Al	35	35	40	40	15	35	38
ZnO:Al	5	5	5	5	5	5	5
Ti	0,5	2	0,5	2	0,5	0,5	0,5
Ag	9,5	9,5	15	15	11	11	13,5
ZnO:Al	5	5	5	5	5	5	5
TiO ₂	10	10	15	15	10	10	13
Si ₃ N ₄ :Al	20	20	10	10	20	20	15
Absorption (%)	9,1	16,3	25,8	30,1	24,2	19,5	21,0

Tabelle 1

[0114] Tabelle 2, nachstehend, fasst noch einmal die Parameter der Abscheidung kurz zusammen, die für die verschiedenen Schichten verwendet wurden.

Schicht	Verwendetes Target	Druck bei der Abscheidung	Gas
Si ₃ N ₄	Si:Al mit 92:8 Gew.-%	$1,5 \cdot 10^{-3}$ mbar	Ar/(Ar + N ₂) zu 45%
TiO ₂	TiO _x mit x in der Größenordnung von 1,9	$1,5 \cdot 10^{-3}$ mbar	Ar/(Ar + O ₂) zu 95%
ZnSnSbO _x	SnZn:Sb mit 34:65:1 Gew.-%	$2 \cdot 10^{-3}$ mbar	Ar/(Ar + O ₂) zu 58%
ZnO:Al	Zn:Al mit 98:2 Gew.-%	$2 \cdot 10^{-3}$ mbar	Ar/(Ar + O ₂) zu 52%
Ti	Ti	$2 \cdot 10^{-3}$ mbar	Ar
NbN	Nb	$2 \cdot 10^{-3}$ mbar	Ar/(Ar + N ₂) zu 40%
Ag	Ag	$2 \cdot 10^{-3}$ mbar	Ar zu 100%

Tabelle 2

[0115] Jeder dieser Stapel enthält eine einzige Silberschicht, deren Dicke je nach Beispiel 15 nm, 13,5 nm, 11 nm oder 9,5 nm beträgt. Alle enthalten eine Darüber-Sperrschicht aus metallischem Titan, eine Benetzungsschicht aus Zinkoxid, zwei dielektrische Schichten aus Siliciumnitrid. Die Probe C1 ist ein Vergleichsbeispiel. Sie weist eine nicht absorbierende Überzugsschicht aus Zink- und Zinnoxid, dotiert mit Antimon, und eine Darüber-Sperrschicht herkömmlicher Dicke (0,5 nm) auf, woraus eine schwache Absorption an der Laserwellenlänge resultiert. Die Probe 1 gemäß der Erfindung weist eine Darüber-Sperrschicht auf, die verdickt ist (2 nm), sodass die Absorption einen Wert von 16% erreicht. Die Proben 2, 3, 5 und 6 gemäß der Erfindung besitzen eine metallische Überzugsschicht aus Titan. Außerdem wurde die Darüber-Sperrschicht des Beispiels 3 auf 2 nm verdickt. In Anbetracht der Mehrdicken bei Titan, die durch diese Modifikationen bewirkt werden, erreicht die Absorption des beschichteten Substrats bei diesen Beispielen Werte von 20 bis 30%. Die Probe 3 enthält eine Niobnitrid-Absorptionsschicht, die ermöglicht, eine Absorption von 24% zu erreichen. Dieser Stapel ist niedrig-emissiv und erfüllt gleichzeitig eine Sonnenschutzfunktion.

[0116] Diese verschiedenen Proben werden mit Hilfe eines Linienlasers bearbeitet, der eine Strahlung einer Wellenlänge von 808 nm emittiert und dem gegenüber das beschichtete Substrat bei einer Translationsbewegung vorbeiläuft.

[0117] Tabelle 3, nachstehend, gibt Folgendes an:

- die Durchlaufgeschwindigkeit in Metern pro Minute,
- den Flächenwiderstand, mit R_c bezeichnet, in Ohm – vor und nach der Laserbearbeitung,
- die relative Abnahme des Flächenwiderstandes infolge der Bearbeitung, mit ΔR_c bezeichnet, in Prozent,
- den normalen Emissionsgrad bei einer Temperatur von 283 K, berechnet nach der Norm EN 12898, ausgehend von einem Reflexionsspektrum im Spektralbereich von 5 bis 50 Mikrometer, mit ϵ_n bezeichnet, in % – vor und nach der Laserbearbeitung,
- die relative Abnahme des normalen Emissionsgrades infolge der Bearbeitung, mit $\Delta \epsilon_n$ bezeichnet, in %,
- den Lichttransmissionsgrad und den Gesamtenergietransmissionsgrad der Probe, im Sinne der Norm NF EN 410 – vor und nach der Laserbearbeitung,
- den Farbwert a^* bei Reflexion an der Stapelseite, berechnet unter Berücksichtigung des Bezugsbeobachters nach CIE (1931) und der Lichtquelle nach D65.

Probe	C1	C1	1	1	2	3	4	5	6
Geschwindigkeit (m/min)	10	4	10	4	8	10	10	8	8
R_c davor (Ω)	4,70	4,70	4,82	4,82	2,20	2,20	3,67	3,70	2,72
R_c danach (Ω)	4,65	4,51	4,10	3,75	1,72	1,67	2,97	2,84	2,12
ΔR_c (%)	1,1	4,2	15	22	22	24	19	23	22
ϵ_n davor (%)	5,2	5,2	5,3	5,3	2,4	2,4	4,0	4,0	3,0
ϵ_n danach (%)	5,2	5,0	4,5	4,1	1,8	1,8	3,2	3,1	2,3
$\Delta \epsilon_n$ (%)	0	3,8	15	23	25	25	20	22	23
T_L davor (%)	89,0	89,0	81,8	81,8	57,0	57,1	64,3	76,5	71,5
T_L danach (%)	89,0	89,1	88,9	89,2	65,4	76,5	65,1	88,0	83,2
a^* danach	1,5	1,5	2,3	2,6	3,3	3,2	-2,2	2,5	2,8
T_E davor (%)	67,2	67,2	58,4	58,4	40,1	38,3	45,9	50,5	46,4
T_E danach (%)	67,2	67,3	67,1	66,5	47,2	47,3	46,1	61,3	57,1

Tabelle 3

[0118] Die Proben nach der Laserbearbeitung zeigen einen Rückgang des Flächenwiderstandes und des Emissionsgrades um wenigstens 15%, sogar 20% bei den vor der Bearbeitung am stärksten absorbierenden Proben, was von einer erheblichen Verbesserung der Kristallisation der Silberschichten, insbesondere einer Größenzunahme der kristallisierten Silberkörner zeugt. Eine Verringerung der Bearbeitungsgeschwindigkeit ermöglicht, die Werte des Flächenwiderstandes und des Emissionsgrades noch niedriger zu machen.

[0119] Bei den Proben 1 bis 3 und 5 bis 6 erfährt der Lichttransmissionsgrad, der vor der Bearbeitung niedrig war, weil der Stapel absorbierend war, eine starke Erhöhung, um bei gleicher Dicke des Silbers einen Wert zu erreichen, der mit jenem der Probe C1 vergleichbar ist, die vor einer Bearbeitung wenig absorbierend. Diese Zunahme des Lichttransmissionsgrades gibt Aufschluss über die Oxidation des Titans während der Bearbeitung. Dagegen ändert sich der Lichttransmissionsgrad der Probe 4 während der Laserbearbeitung wenig, wahrscheinlich weil die Siliciumnitridschicht, die über der Niobnitridschicht abgeschieden wurde, diese Letztere vor einer Oxidation schützt.

[0120] Im Vergleich dazu erfährt die Probe C1, wenn sie mit einer identischen Geschwindigkeit bearbeitet wird, nur eine minimale Absenkung des Flächenwiderstandes. Selbst eine Verringerung der Bearbeitungsgeschwindigkeit auf 4 Meter pro Minute ist noch nicht ausreichend, um eine Abnahme des Flächenwiderstandes und des Emissionsgrades zu erzielen. Die Anpassung des Stapels ermöglicht folglich, die Bearbeitung erheblich zu beschleunigen und/oder bei gleicher Bearbeitungsgeschwindigkeit deutlich überlegene Leistungsparameter zu erhalten.

[0121] Diese Beispiele beweisen zudem, dass das Verfahren ermöglicht, Dünnschichtstapel auf nicht gespanntem Glas zu erhalten, die Folgendes kombinieren:

- einen Flächenwiderstand kleiner oder gleich 1,9 Ohm, einen Lichttransmissionsgrad größer oder gleich 75% und einen Farbwert a^* kleiner oder gleich 5, was bei den Beispielen 2 und 3 der Fall ist,
- einen Flächenwiderstand kleiner oder gleich 2,4 Ohm, einen Lichttransmissionsgrad größer oder gleich 81% und einen Farbwert a^* kleiner oder gleich 5, was bei dem Beispiel 6 der Fall ist,
- einen Flächenwiderstand kleiner oder gleich 3,0 Ohm, einen Lichttransmissionsgrad größer oder gleich 87% und einen Farbwert a^* kleiner oder gleich 4, was bei dem Beispiel 5 der Fall ist.

[0122] Die Probe 2 wurde auch einem Vorspannen unterworfen – entweder nach der Laserbearbeitung oder unmittelbar nach der Abscheidung (also ohne Laserbearbeitung).

[0123] Tabelle 4, nachstehend, gibt den Lichttransmissionsgrad (im Sinne der Norm NF EN 410) und die Farbkoordinaten bei Reflexion an der Stapelseite (Lichtquelle nach D65, Bezugsbeobachter nach CIE (1931)) vor einer Laserbearbeitung, nach einer Laserbearbeitung, nach einer Laserbearbeitung mit nachfolgendem Vorspannen und nach einem Vorspannen (ohne Laserbearbeitung) an. Außerdem gibt Tabelle 4 die durch die Laserbearbeitung oder das Vorspannen hervorgerufenen Änderungen der Kolorimetrie der Probe an. Diese Änderungen werden mit Hilfe des an früherer Stelle definierten Parameters ΔE^* ausgedrückt. Verglichen werden die Probe vor der Laserbearbeitung mit der bearbeiteten Probe (Wirkung der Laserbearbeitung) und mit der vorgespannten Probe (Wirkung des Vorspannens), die Probe nach der Laserbearbeitung mit der vorgespannten (jedoch nicht laserbearbeiteten) Probe (Vergleich zwischen den Wirkungen der Laserbearbeitung und den Wirkungen des Vorspannens) und die Probe nach der Laserbearbeitung mit der laserbearbeiteten und dann vorgespannten Probe.

davor	TL	65,4		
	L*	42,8		
	a*	6,3		
	b*	-11,5		
nach Laser	TL	76,5	ΔE^* vor/nach Laser	6,9
	L*	46,4		
	a*	3,3		
	b*	-6,5		
nach Laser und nachfolgendem Vorspannen	TL	76,9	ΔE^* nach Laser/nach Laser und nachfolgendem Vorspannen	0,8
	L*	46,7		
	a*	3,4		
	b*	-5,8		
nach Vorspannen	TL	76,7	ΔE^* vor/nach Vorspannen	7,3
	L*	46,7		
	a*	3,4		
	b*	-6,1		
			ΔE^* nach Laser/nach Vorspannen	0,5

Tabelle 4

[0124] Aus der Tabelle 4 geht hervor, dass die Farbkoordinaten eines bearbeiteten Substrats jenen eines vorgespannten Substrats sehr ähnlich sind. Ebenso sind die Farbkoordinaten eines laserbearbeiteten Substrats jenen eines bearbeiteten und nachfolgend vorgespannten Substrats sehr ähnlich. Die Bearbeitung ermöglicht folglich, ein nicht vorgespanntes Substrat zu erhalten, dessen Dünnschichtstapel jederzeit vorspannbar ist, in dem Sinne, dass seine kolorimetrischen Eigenschaften durch das Vorspannen nicht wesentlich verändert werden. Es ist folglich möglich, an derselben Fassade nicht vorgespannte und vorgespannte Substrate zu kombinieren.

BEISPIEL 2

[0125] In diesem Beispiel werden Stapel bearbeitet, die zwei oder drei Silberschichten enthalten und auf dem gleichen Substrat abgelagert wurden, das für das Beispiel 1 benutzt wurde.

[0126] Tabelle 5 gibt für jeden getesteten Stapel die physische Dicke der Schichten in nm an. Die erste Zeile entspricht der Schicht, die am weitesten vom Substrat entfernt und in Kontakt mit der Außenluft ist.

Probe	7	8	9
ZnSnOx	0	0	2
Si ₃ N ₄ :Al	0	0	20
ZnO:Al	0	0	5
Ti	0	0	0,5
Ag	0	0	17
ZnO:Al	0	0	5
ZnSnOx	2	0	0
Si ₃ N ₄ :Al	15	35	60
ZnO:Al	5	5	5
Ti	1	0	0,5
NiCr	0	1	0
Ag	15	14	13
ZnO:Al	5	5	5
NbN	0	1,5	0
Si ₃ N ₄ :Al	60	70	60
ZnO:Al	5	5	5
Ti	1,5	0	0,5
NiCr	0	1,2	0
Ag	9	8,5	9
NiCr	0	3,5	0
ZnO:Al	5	5	5
Si ₃ N ₄ :Al	25	15	30
Absorption (%)	21,9	36,4	19,1

Tabelle 5

[0127] Die Proben 7 und 8 sind Stapel mit 2 Silberschichten. Die Probe 8 weist Sperrschichten aus einer Legierung aus Nickel und Chrom sowie eine Absorptionsschicht aus Niobnitrid auf, sodass ihre Absorption höher als jene des Beispiels 7 ist. Die Probe 9 weist 3 Silberschichten auf.

[0128] Diese verschiedenen Proben werden mit Hilfe eines Linienlasers bearbeitet, der eine Strahlung einer Wellenlänge von 808 nm emittiert und dem gegenüber das beschichtete Substrat bei einer Translationsbewegung vorbeiläuft. Die Proben werden anschließend gemäß Verfahren, die dem Fachmann bekannt sind, vorgespannt.

[0129] Die Tabellen 6 und 7, nachstehend, geben Folgendes an:

- die Durchlaufgeschwindigkeit in Metern pro Minute,
- den Flächenwiderstand, mit R_c bezeichnet, in Ohm – vor und nach der Laserbearbeitung,
- die relative Abnahme des Flächenwiderstandes infolge der Bearbeitung, mit ΔR_c bezeichnet, in Prozent,
- den normalen Emissionsgrad bei einer Temperatur von 283 K, berechnet nach der Norm EN 12898, ausgehend von einem Reflexionsspektrum im Spektralbereich von 5 bis 50 Mikrometer, mit ϵ_n bezeichnet, in % – vor und nach der Laserbearbeitung,
- die relative Abnahme des normalen Emissionsgrades infolge der Bearbeitung, mit $\Delta \epsilon_n$ bezeichnet, in %,
- den Lichttransmissionsgrad der Probe im Sinne der Norm NF EN 410 vor der Laserbearbeitung, nach der Laserbearbeitung, nach der Laserbearbeitung mit nachfolgendem Vorspannen oder nach lediglich einem Vorspannen (ohne Laserbearbeitung),
- den Gesamtenergietransmissionsgrad im Sinne der Norm NF EN 410 vor und nach der Laserbearbeitung,
- die Farbwerte L^* , a^* , b^* bei Reflexion an der Seite, die dem Stapel gegenüberliegt (Substratseite), berechnet unter Berücksichtigung des Bezugsbeobachters nach CIE (1931) und der Lichtquelle nach D65 – vor der Laserbearbeitung, nach der Laserbearbeitung, nach der Laserbearbeitung mit nachfolgendem Vorspannen oder nach lediglich einem Vorspannen (ohne Laserbearbeitung),
- den Sonnenfaktor, nach der Norm NF EN 410 berechnet für eine Doppelverglasung mit zwei 6 mm dicken Klarglassubstraten, die einen Spalt von 15 mm Dicke flankieren, der 90% Argon enthält, wobei sich der Stapel auf der Seite 2, d. h. auf der in Kontakt mit der Gebäudeaußenseite befindlichen Seite des Substrats befindet, die der nach außen gewandten Seite gegenüberliegt (wobei diese Letztere als Seite 1 bezeichnet wird).
- die Selektivität, die als Verhältnis zwischen dem Lichttransmissionsgrad, berechnet nach der Norm NF EN 410, und dem Sonnenfaktor berechnet ist. In diesem Fall ist der Lichttransmissionsgrad, der für die Berechnung des Sonnenfaktors verwendet wird, jener der Doppelverglasung.

Probe	7	8	9
Geschwindigkeit (m/min)	15	18	14
R_c davor (Ω)	2,44	2,60	1,31
R_c danach (Ω)	1,86	1,96	1,05
ΔR_c (%)	24	25	20
ϵ_n davor (%)	2,7	2,9	2,2
ϵ_n danach (%)	2,1	2,2	1,8
$\Delta \epsilon_n$ danach (%)	22	24	18
T_E davor (%)	36,9	19,4	29,8
T_E danach (%)	39,2	22,2	32,3
Sonnenfaktor davor	35,0	20,6	28,7
Sonnenfaktor danach	36,8	22,9	30,8
Selektivität davor	1,72	1,60	2,02
Selektivität danach	1,75	1,74	2,06

Tabelle 6

[0130] Bei diesen Stapeln mit 2 oder 3 Silberschichten ermöglicht das Vorhandensein zahlreicher Sperrschichten, hohe Absorptionen an der Wellenlänge des Lasers und folglich eine erhebliche Abnahme des Flächenwiderstandes und des Emissionsgrades zu erzielen. Die Selektivität der erhaltenen Stapel erhöht sich relativ um mehr als 1%, ja sogar um mehr als 2%.

[0131] Tabelle 7 ermöglicht einen Vergleich der Proben hinsichtlich der Farbkoordinaten bei Reflexion an der Substratseite – vor der Laserbearbeitung, nach der Laserbearbeitung, nach der Laserbearbeitung mit nachfolgendem Vorspannen und nach einem Vorspannen (ohne Laserbearbeitung).

Probe	7	8	9
T_L davor (%)	68,3	36,5	64,4
T_L nach Laser (%)	72,9	44,2	70,2

T_L nach Laser und nachfolgendem Vorspannen (%)	73,1	44,7	71,4
T_L nach Vorspannen (%)	73,3	44,6	71,5
L^* davor (%)	42,1	50,3	32,5
L^* nach Laser	42,6	51,0	34,1
L^* nach Laser und nachfolgendem Vorspannen	43,0	51,0	35,1
L^* nach Vorspannen	42,9	51,0	35,0
a^* davor	-0,4	-1,8	-0,5
a^* nach Laser	1,6	-4,5	-0,7
a^* nach Laser und nachfolgendem Vorspannen	1,8	-5,6	-0,9
a^* nach Vorspannen	1,7	-5,5	-0,9
b^* davor	-14,2	-8,1	-7,4
b^* nach Laser	-13,8	-6,5	-6,6
b^* nach Laser und nachfolgendem Vorspannen	-13,0	-6,1	-5,8
b^* nach Vorspannen	-13,2	-6,1	-6,0

Tabelle 7

[0132] Die Werte von ΔE^* sind wie folgt. Bei der Probe 7 ist er 0,9 zwischen der laserbearbeiteten Probe und der laserbearbeiteten und nachfolgend vorgespannten Probe und 0,7 zwischen den jeweiligen laserbearbeiteten und (ohne Laserbearbeitung) vorgespannten Proben. Bei der Probe 8 sind diese Werte 1,2 bzw. 1,1. Bei der Probe 9 sind diese Werte 1,3 bzw. 1,1. Es ist folglich möglich, an derselben Fassade laserbearbeitete (nicht vorgespannte) Substrate, nur vorgespannte Substrate und laserbearbeitete und nachfolgend vorgespannte Substrate zu kombinieren.

BEISPIEL 3

[0133] Auf einem 4 mm dicken Substrat aus Klarglas, von der Anmelderin unter der Bezeichnung SGG Plamilux vermarktet, wurden verschiedene niedrig-emissive Stapel abgeschieden. Sämtliche Stapel wurden auf bekannte Weise in einer Fertigungsstraße zur Kathodenzerstäubung (Magnetronverfahren) abgeschieden, bei der das Substrat unter verschiedenen Targets durchläuft.

[0134] Auf einem Stapel vom Typ Substrat/ $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{ZnO}/\text{Ag}/\text{NiCr}/\text{ZnO}/\text{Si}_3\text{N}_4$ wird für die Probe 10 eine ungefähr 3 nm dicke Absorptionsschicht aus Titan abgeschieden und für die Probe 11 eine ungefähr 1,5 nm dicke Absorptionsschicht aus Titan, die ihrerseits von einer ungefähr 2 nm dicken Schicht aus Kohlenstoff überdeckt wird.

[0135] Die Absorption, die der Absorption eines 4 mm dicken Klarglassubstrats, das mit dem Stapel beschichtet ist, an der Wellenlänge der Laserstrahlung (in diesem Beispiel 980 nm) entspricht, beträgt 15,3% bei der Probe 10 und 19,4% bei der Probe 11.

[0136] Die Kohlenstoffschicht wird durch Kathodenzerstäubung mit Hilfe eines Targets aus Graphit unter Argonatmosphäre erhalten. Das Vorhandensein dieser Kohlenstoffschicht ermöglicht, die Absorption der Laserstrahlung noch zu erhöhen.

[0137] Diese verschiedenen Proben werden mit Hilfe eines Linienlasers bearbeitet, der eine Strahlung einer Wellenlänge von 980 nm emittiert und dem gegenüber das beschichtete Substrat bei einer Translationsbewegung vorbeiläuft.

[0138] Tabelle 8, nachstehend, gibt Folgendes an:

- die Durchlaufgeschwindigkeit in Metern pro Minute,
- den Flächenwiderstand, mit R_c bezeichnet, in Ohm – vor und nach der Laserbearbeitung,
- die relative Abnahme des Flächenwiderstandes infolge der Bearbeitung, mit ΔR_c bezeichnet, in Prozent,
- den Lichttransmissionsgrad der Probe im Sinne der Norm NF EN 410 – vor und nach der Laserbearbeitung.

Probe	10	10	11	11
Geschwindigkeit (m/min)	13	16	20	21
R_c davor (Ω)	5,0	5,0	4,9	4,9
R_c danach (Ω)	4,2	4,5	4,1	4,3
ΔR_c (%)	-16,3	-10,3	-16,5	-11,5
T_L davor (%)	80,8	80,8	76,8	76,8
T_L danach (%)	84,1	83,0	79,4	79,5

Tabelle 8

[0139] Diese Ergebnisse zeigen, dass die Kohlenstoffüberzugsschicht erhebliche Steigerungen der Durchlaufgeschwindigkeit ermöglicht.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- WO 2008/096089 [0014]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- Norm NF EN 410 [0020]
- Norm NF EN 410 [0031]
- Norm NF EN 410 [0033]
- Norm NF EN 410 [0103]
- Norm EN 12898 [0117]
- Norm NF EN 410 [0117]
- Norm NF EN 410 [0123]
- Norm EN 12898 [0129]
- Norm NF EN 410 [0129]
- Norm NF EN 410 [0129]
- Norm NF EN 410 [0129]
- Norm NF EN 410 [0129]
- Norm NF EN 410 [0138]

Schutzansprüche

1. Material, das ein Substrat umfasst, das auf wenigstens einer Seite mit einem Dünnschichtstapel beschichtet ist, der wenigstens eine Silberdünnschicht zwischen wenigstens zwei dielektrischen Dünnschichten enthält, wobei der Stapel wenigstens eine Dünnschicht enthält, die wenigstens teilweise eine Strahlung absorbiert, die wenigstens eine Wellenlänge zwischen 500 und 2000 nm aufweist, sodass die Absorption des Stapels an der wenigstens einen Wellenlänge derart ist, dass die Absorption eines 4 mm dicken Klarglassubstrats, das mit dem Stapel beschichtet ist, an der wenigstens einen Wellenlänge zwischen 500 und 2000 nm größer oder gleich 10% ist.

2. Material nach Anspruch 1, derart, dass der Stapel wenigstens zwei Silberschichten enthält, wobei die Absorption des Stapels an wenigstens einer Wellenlänge zwischen 500 und 2000 nm derart ist, dass die Absorption eines 4 mm dicken Klarglassubstrats, das mit dem Stapel beschichtet ist, an der wenigstens einen Wellenlänge größer oder gleich 11% ist.

3. Material nach einem der vorhergehenden Ansprüche, derart, dass das Substrat aus Glas oder aus polymerem organischen Material ist.

4. Material nach einem der vorhergehenden Ansprüche, derart, dass die physische Dicke der bzw. jeder Silberschicht zwischen 6 und 20 nm beträgt.

5. Material nach einem der vorhergehenden Ansprüche, derart, dass die Dünnschicht, die wenigstens teilweise die Strahlung absorbiert, eine Metallschicht ist, die direkt über der Silberschicht oder direkt unter der Silberschicht abgeschieden ist und deren Dicke zwischen 2 und 5 nm, insbesondere zwischen 3 und 5 nm, beträgt, wobei die Metallschicht insbesondere aus den Schichten auf Basis von Titan, Nickel, Chrom, Niob oder irgendeiner der Legierungen davon gewählt ist.

6. Material nach einem der vorhergehenden Ansprüche, derart, dass die Dünnschicht, die wenigstens teilweise die Strahlung absorbiert, eine Nitridschicht ist, wobei das Nitrid insbesondere aus den stöchiometrischen Nitriden von Niob, Titan oder irgendeiner der Mischungen davon oder aus den Nitriden, mit einer unterstöchiometrischen Stickstoffmenge, von Silicium, Aluminium, Niob, Titan oder irgendeiner der Mischungen davon gewählt ist.

7. Material nach einem der vorhergehenden Ansprüche, derart, dass die Dünnschicht, die wenigstens teilweise die Strahlung absorbierend, eine Schicht in Kontakt mit der Luft ist und aus einem Metall, einem Metalloxid mit einer unterstöchiometrischen Sauerstoffmenge oder einem Metallnitrid gebildet ist.

8. Material nach einem der vorhergehenden Ansprüche, derart, dass die Dünnschicht, die wenigstens teilweise die Strahlung absorbierend, eine Schicht aus einem Metalloxid mit einer unterstöchiometrischen Sauerstoffmenge ist, die sich unter und vorzugsweise in Kontakt mit der bzw. jeder Silberschicht befindet oder sich auf und vorzugsweise in Kontakt mit der bzw. jeder Silberschicht befindet.

9. Material nach einem der vorhergehenden Ansprüche, derart, dass die Dünnschicht, die wenigstens teilweise die Strahlung absorbierend, eine Schicht auf Basis von Kohlenstoff, insbesondere vom Graphit- oder amorphen Typ, in Kontakt mit der Luft ist.

10. Material nach einem der vorhergehenden Ansprüche, derart, dass der Stapel aus den folgenden Stapeln gewählt ist:

- $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{TiO}_2/(\text{SnZnO}_x)/\text{ZnO}/\text{Ag}/\text{Ti}/\text{ZnO}/\text{Si}_3\text{N}_4/\text{Ti}$
- $\text{TiO}_2/\text{ZnO}/\text{Ag}/\text{ZnO}/(\text{TiO}_2)/\text{Si}_3\text{N}_4/\text{ZnSn}$
- $(\text{Si}_3\text{N}_4)/\text{TiO}_2/(\text{NiCr})/\text{Ag}/\text{NiCr}/(\text{ZnO})/\text{SnO}_2$
- $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{NbN}/\text{Si}_3\text{N}_4/(\text{SnZnO}_x)/\text{ZnO}/\text{Ag}/\text{NiCr}/\text{ZnO}/\text{Si}_3\text{N}_4/\text{TiO}_x$
- $\text{SiN}/\text{ZnO}/\text{Ag}/\text{NiCr}/\text{ZnO}/\text{Si}_3\text{N}_4$
- $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{ZnO}/\text{Ag}/\text{Ti}/\text{ZnO}/\text{Si}_3\text{N}_4/\text{ZnO}/\text{Ag}/\text{Ti}/\text{ZnO}/\text{Si}_3\text{N}_4$
- $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{ZnO}/\text{Ag}/\text{Ti}/\text{ZnO}/\text{Si}_3\text{N}_4/\text{ZnO}/\text{Ag}/\text{Ti}/\text{ZnO}/\text{Si}_3\text{N}_4/\text{ZnO}/\text{Ag}/\text{Ti}/\text{ZnO}/\text{Si}_3\text{N}_4$
- $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{TiO}_2/(\text{SnZnO}_x)/\text{ZnO}/\text{Ag}/\text{Ti}/\text{ZnO}/\text{Si}_3\text{N}_4/\text{C}$.

11. Material nach einem der vorhergehenden Ansprüche, derart, dass der Stapel durch magnetfeldunterstützte Kathodenzerstäubung abgeschieden wird.

Es folgen keine Zeichnungen