



CH 690 080 A5

19



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

11 CH 690 080 A5

51 Int. Cl.⁷: G 02 B 001/10
C 03 C 017/34

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

12 PATENTSCHRIFT A5

21 Gesuchsnummer: 02574/95

22 Anmeldungsdatum: 12.09.1995

24 Patent erteilt: 14.04.2000

45 Patentschrift
veröffentlicht: 14.04.2000

73 Inhaber:
Alusuisse Technology & Management AG,
Badische Bahnhofstrasse 16,
Neuhausen am Rheinfall (CH)

72 Erfinder:
Gillich, Volkmar, Neuhausen am Rheinfall (CH)

54 Aluminium-Reflektor mit reflexionserhöhendem Schichtverbund.

57 Reflektor enthaltend einen reflexionserhöhenden Schichtverbund als reflektierende Oberflächenschicht auf einem Reflektorkörper, wobei der Schichtverbund eine Sandwichkonstruktion mit einer gegen den Reflektorkörper gerichteten Aluminiumschicht, einer gegen die zu reflektierende Strahlung gerichteten äusseren Schicht, der HI-Schicht, mit einem Brechungsindex n_2 und einer dazwischenliegenden Aluminiumoxidschicht, der LI-Schicht, mit einem gegenüber n_2 kleineren Brechungsindex n_1 darstellt. Die LI-Schicht stellt eine aus der Aluminiumschicht anodisch erzeugte, transparente und porenfreie Sperrschicht mit einer Dielektrizitätskonstanten ϵ_1 bei 20°C von 6 bis 10.5 dar, und die optischen Schichtdicken $d_{opt,1}$ der LI-Schicht und $d_{opt,2}$ der HI-Schicht entsprechen der Massgabe

$$d_{opt,i} = d_i \cdot n_i = l_i \cdot \lambda/4 \pm 10 \text{ nm}, i = 1,2,$$

wobei d_1 die Schichtdicke der LI-Schicht in nm, d_2 die Schichtdicke der HI-Schicht in nm, λ die mittlere Wellenlänge in nm des auf die Reflektoroberfläche eingestrahlten Lichtes und l_1, l_2 ungerade natürliche Zahlen bezeichnen. Die Reflektoren eignen sich besonders als Reflektoren für Infrarot-Strahlung oder für Leuchten in der Lichttechnik und insbesondere in der Tageslichttechnik.



CH 690 080 A5

Beschreibung

Vorliegende Erfindung betrifft einen Reflektor enthaltend einen reflexionserhöhenden Schichtverbund als reflektierende Oberflächenschicht auf einem Reflektorkörper, wobei der Schichtverbund eine Sandwichkonstruktion mit einer gegen den Reflektorkörper gerichteten Aluminiumschicht, einer gegen die zu reflektierende Strahlung gerichteten äusseren Schicht, der HI-Schicht, mit einem Brechungsindex n_2 und einer dazwischenliegenden Aluminiumoxidschicht, der LI-Schicht, mit einem gegenüber n_2 kleineren Brechungsindex n_1 darstellt. Die Erfindung betrifft weiter die Verwendung solcher Reflektoren mit reflexionserhöhenden Schichtverbunden, sowie ein Verfahren zu deren Herstellung.

Reflektoren, die ein auf Aluminium abgeschiedenes Schichtsystem, enthaltend LI/HI-Schichten (LI/HI = Low Refraction Index/High Refraction Index), d.h. Schichten, die aus einer inneren Schicht mit Brechungsindex n_1 (LI) und einer äusseren Schicht mit einem gegenüber n_1 höheren Brechungsindex n_2 (HI) aufweisen, sind an sich als Reflektoren mit reflexionserhöhenden Oberflächenschichten bekannt.

Die Herstellung solcher Reflektoren geschieht üblicherweise durch Aufbringen hochreiner, sehr dünner Al-Schichten auf einen Reflektorkörper aus beispielsweise Glas oder technischem Aluminium (d.h. Aluminium niedriger Reinheit) durch Anwendung beispielsweise von PVD-(physical vapour deposition) Methoden wie Sputtern oder Aufdampfen. Die hochreine Al-Schicht wird dann mittels einer LI-Schutzschicht aus beispielsweise Al_2O_3 oder SiO_2 , welche üblicherweise durch PVD- oder CVD- (chemical vapour deposition) Methoden aufgebracht werden, geschützt und mit einer weiteren HI-Schicht zu einer reflexionserhöhenden LI/HI-Reflektoroberfläche vervollständigt.

Der geringen Schichtdicke wegen, können PVD-Al-Schichten im Allgemeinen nicht anodisiert werden, so dass das Abscheiden der LI- und HI-Schichten durch PVD- oder CVD-Methoden in Hochvakuum erfolgt. Das Erreichen hoher Reflexionseigenschaften von reflexionserhöhenden Schichtverbunden bedingt eine gute Homogenität sowie die genaue Einhaltung enger, genau definierter Schichtdicken-Toleranzen der einzelnen Schichten. Die Einhaltung genauer Schichtdicken-Toleranzen von in Hochvakuum mittels PVD- oder CVD-Methoden deponierten Oxidschichten sowie deren Kontrolle ist jedoch schwierig zu bewerkstelligen und bedingt aufwendige und teure Vorrichtungen. Die Depositionsrate von CVD- oder PVD-Schichten, insbesondere von derartigen dielektrischen Schichten, ist verfahrensbedingt – im Vergleich zu chemischen Verfahren – relativ niedrig, was hinsichtlich der hohen Anlagekosten von Hochvakuum-Depositionsanlagen zu hohen Herstellungskosten führt. Zudem wird durch die kleinen Depositionsraten und der Notwendigkeit von Hochvakuumanlagen für PVD- oder CVD-Prozesse die Anwendung einer kontinuierlichen Fertigung erschwert oder gar verunmöglicht.

Eine weitere Möglichkeit zur Herstellung reflexi-

onserhöhender Schichtverbunde ist die chemische oder anodische Oxidation von Aluminiumoberflächen und nachfolgende Abscheidung einer dielektrischen Schicht mit gegenüber Aluminiumoxid höherem Brechungsindex. Dazu werden Reflektoren aus Aluminium oder Reflektoren mit einer für die anodische Oxidation genügend dicken Aluminiumschicht benötigt. Die anodische Oxidation geschieht dabei üblicherweise mit Gleichstrom in einem Schwefelsäureelektrolyten. Bei Wahl entsprechender Anodisierparameter, kann die resultierende Schutzschicht zwar eine homogene Schicht mit vordefinierter Schichtdicke darstellen, zeigt aber üblicherweise eine durch das Verfahren bedingte hohe Porosität.

Die anodische Oxidation in Schwefelsäureelektrolyten wird gewöhnlich als GS-Verfahren bezeichnet (Gleichstrom-Schwefelsäureverfahren). Dabei werden – zur Erreichung genügender Reflexionseigenschaften – die als Reflektoroberflächen vorgesehenen Aluminiumoberflächen zweckmässigerweise chemisch oder elektrolytisch gegläntzt und anschliessend mittels beispielsweise dem GS-Verfahren mit einer transparenten Schutzschicht geschützt. Typischerweise liegen beim GS-Verfahren die Schwefelsäurekonzentration bei 20 Gew.-%, die Elektrolyttemperaturen bei 15 bis 30°C, die angelegte Gleichspannung bei 12 bis 30 V, wobei die Stromdichte bis 1 bis 3 A/dm² beträgt. Die dabei erzielten Schichtdicken messen typischerweise 1 bis 10 µm. Die erhaltenen Schichten sind farblos bis gelblich.

Eine durch ein GS-Verfahren hergestellte Oxidschicht besteht generell aus zwei Schichten: einer porenfreien, sehr dünnen Grund- oder Sperrschicht und einer porösen Deckschicht. Die Poren entstehen durch die teilweise chemische Rücklösung der Oxidschicht an der dem Elektrolyten ausgesetzten Oberfläche. Die Gesamtdicke der Oxidhaut erreicht ihre Obergrenze, wenn sich Wachstum und Rücklösung die Waage halten, was von der Elektrolytzusammensetzung, der Stromdichte und der Elektrolyttemperatur abhängt.

Die in Schwefelsäure erzeugten anodischen Oxidschichten sind nur auf Reinstaluminium und AlMg oder AlMgSi-Legierungen auf Basis von Reinstaluminium (Al ≥ 99.85 Gew.-%) farblos und glasklar. Auf den meisten Konstruktionslegierungen entstehen als Folge der im Gefüge vorhandenen heterogenen Ausscheidungen mehr oder weniger getrübbte Schichten. Zudem findet bei den meisten Legierungen bei ungünstiger Wärmebehandlung eine Entmischung im Gefüge statt, was zu grauen Verfärbungen, wie beispielsweise Wärmestauflecken, führt.

Bei den mittels dem GS-Verfahren hergestellten porösen Oberflächenschutzschichten auf Aluminiumoberflächen können insbesondere bei weniger reinen Werkstoffen, wie beispielsweise Al 99.85, Al 99.8 oder Al 99.5, Legierungsbestandteile, wie beispielsweise Fe- und/oder Si-reiche intermetallische Phasen, in die Oxidschicht miteingebaut werden, welche dann zu ungewollter Lichtabsorption und/oder zu Lichtstreuung führen, d.h. das Licht wird in zahlreiche Raumwinkel reflektiert. Folglich werden

die nach dem elektrolytischen Glänzen vorhandenen lichttechnischen Werte, wie beispielsweise die Gesamtreflexion oder die gerichtete Reflexion, durch die GS-Anodisation nachteilig beeinflusst.

Durch die verfahrensbedingte hohe Schichtdicke von mit dem GS-Verfahren hergestellten anodischen Oxidschichten sinkt der Reflexionsgrad der Oberfläche durch Absorption und Lichtstreuung. Zudem sind mit dem GS-Verfahren hergestellte Oxidschichten für die Verwendung in reflexionserhöhenden Schichtverbunden für sichtbares Licht nicht sinnvoll, da die Reflexionseigenschaften solcher Schichtverbunde in Abhängigkeit von der Lichtwellenlänge, bedingt durch deren hohe Schichtdicke, zu viele und zu nahe aufeinanderfolgende Maxima und Minima aufweisen. Schliesslich weist die anodische Oxidschicht im üblichen Schichtdickenbereich von 1 bis 3 μm oft störende Interferenzeffekte, die sogenannte Irisierung, auf.

Aufgabe vorliegender Erfindung ist die Bereitstellung von kostengünstigen Reflektoren mit reflexionserhöhenden Schichtverbunden, insbesondere für lichttechnische Zwecke, welche die oben dargelegten Nachteile der aus dem Stand der Technik bekannten Reflektoren vermeiden.

Erfindungsgemäss wird dies dadurch erreicht, dass die LI-Schicht eine aus der Aluminiumschicht anodisch erzeugte, transparente und porenfreie Sperrschicht mit einer Dielektrizitätskonstanten ϵ_1 bei 20°C von 6 bis 10.5 darstellt und die optischen Schichtdicken $d_{\text{opt},1}$ der LI-Schicht und $d_{\text{opt},2}$ der HI-Schicht der Massgabe

$$d_{\text{opt},i} = d_i \cdot n_i = l_i \cdot \lambda/4 \pm 10 \text{ nm}, i = 1,2$$

entsprechen, wobei d_1 die Schichtdicke der LI-Schicht in nm, d_2 die Schichtdicke der HI-Schicht in nm, λ die mittlere Wellenlänge in nm des auf die Reflektoroberfläche eingestrahnten Lichtes und l_1, l_2 ungerade natürliche Zahlen bezeichnen.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass der Brechungsindex n , d.h. n_1 oder n_2 , – wegen der Dispersion – von der Wellenlänge abhängig ist, d.h. in vorliegendem Text beziehen sich n_1 und n_2 immer auf die entsprechende Wellenlänge des auf die Reflektoroberfläche eingestrahnten Lichtes. Zudem ist zu berücksichtigen, dass die Bedingung $d_i \cdot n_i = l_i \cdot \lambda/4$, $i = 1,2$ für den Erhalt eines reflexionserhöhenden Schichtverbundes exakt nur für senkrecht auf die Reflektoroberfläche einfallende elektromagnetische Strahlung gilt.

Die LI/HI-Mehrfachschichten sind aus mindestens zwei Schichten mit verschiedenen Brechungsindizes aufgebaut. Die Kombination zweier auf einer Metalloberfläche befindlichen dielektrischer Schichten mit verschiedenem Brechungsindex, bei der die Schicht mit dem tieferen Brechungsindex auf die Metalloberfläche zu liegen kommt, erlaubt gegenüber einer einzelnen homogenen Schicht eine Verbesserung der Reflexionseigenschaften. Bei gegebener Schichtzusammensetzung kann die höchste Reflexion dann erreicht werden, wenn die optischen Schichtdicken der einzelnen Schichten $\lambda/4$ oder ein ungerades Vielfaches davon betragen. Bezüglich der Zusammensetzung der Schichtmaterialien wer-

den die besten Reflexionseigenschaften dann erreicht, wenn der Unterschied der Brechungsindizes der einzelnen Schichten möglichst gross wird.

Die für die erfindungsgemässen Reflektoren jeweils benötigte, gegen den Reflektorkörper gerichtete Aluminiumschicht kann Teil eines Stückgutes, beispielsweise eines Profils, Balkens oder einer anderen Form von Stücken, einer Platte, eines Bandes, Bleches oder einer Folie aus Aluminium sein, oder eine Aluminium-Deckschicht eines Verbundwerkstoffes, insbesondere als Aluminiumdeckschicht einer Verbundplatte darstellen, oder eine auf einen beliebigen Werkstoff – beispielsweise elektrolytisch – abgeschiedene Aluminiumschicht betreffen. In einer bevorzugten Ausführungsform betrifft der die Aluminiumschicht enthaltende Gegenstand, d.h. der Reflektorkörper und die Aluminiumschicht des Schichtverbundes, ein Werkstück aus Aluminium, welches z.B. durch ein Walz-, Extrusions-, Schmiede- oder Fliesspressverfahren hergestellt wurde. Der die Aluminiumschicht enthaltende Gegenstand kann auch durch Biegen, Tiefziehen, Kaltfliesspressen oder dergleichen umgeformt sein.

Mit dem Werkstoff Aluminium sind in vorliegendem Text Aluminium aller Reinheitsgrade, sowie alle handelsüblichen Aluminiumlegierungen umfasst. Beispielsweise umfasst der Begriff Aluminium alle Walz-, Knet-, Guss-, Schmiede- und Presslegierungen aus Aluminium. Zweckmässigerweise besteht die Aluminiumschicht aus Reinaluminium mit einem Reinheitsgrad von gleich oder grösser 98.3 Gew.-% oder Aluminiumlegierungen aus diesem Aluminium mit wenigstens einem der Elemente aus der Reihe von Si, Mg, Mn, Cu, Zn oder Fe. Die Aluminiumschicht aus Reinaluminium weist beispielsweise eine Reinheit von 98.3 Gew.-% und höher, zweckmässig 99.0 Gew.-% und höher, bevorzugt 99.9 Gew.-% und höher und insbesondere 99.95 Gew.-% und höher auf.

Neben Aluminium genannter Reinheiten kann die Aluminiumschicht auch aus einer Aluminiumlegierung bestehen, enthaltend 0.25 Gew.-% bis 5 Gew.-%, insbesondere 0.5 bis 2 Gew.-%, Magnesium oder enthaltend 0.2 bis 2 Gew.-% Mangan oder enthaltend 0.5 bis 5 Gew.-% Magnesium und 0.2 bis 2 Gew.-% Mangan, insbesondere z.B. 1 Gew.-% Magnesium und 0.5 Gew.-% Mangan oder enthaltend 0.1 bis 12 Gew.-%, vorzugsweise 0.1 bis 5 Gew.-%, Kupfer oder enthaltend 0.5 bis 5 Gew.-% Zink und 0.5 bis 5 Gew.-% Magnesium oder enthaltend 0.5 bis 5 Gew.-% Zink, 0.5 bis 5 Gew.-% Magnesium und 0.5 bis 5 Gew.-% Kupfer oder enthaltend 0.5 bis 5 Gew.-% Eisen und 0.2 bis 2 Gew.-% Mangan, insbesondere z.B. 1.5 Gew.-% Eisen und 0.4 Gew.-% Mangan.

Die Aluminiumoberflächen können beliebige Gestalt aufweisen und können gegebenenfalls auch strukturiert sein. Bei gewalzten Aluminiumoberflächen können diese beispielsweise mittels Hochglanz- oder Designerwalzen behandelt sein. Eine bevorzugte Verwendung strukturierter Aluminiumoberflächen findet sich beispielsweise für Reflektoren in der Tageslichtbeleuchtung, wobei insbesondere strukturierte Oberflächen mit Strukturgrössen von 0.1 bis 1 mm zur Anwendung gelangen.

Damit die Absorption der die LI/HI-Schichten durchdringenden elektromagnetischen Strahlung im Schichtverbund, sowie eine durch das Vorhandensein von Poren möglicherweise auftretende und schlecht kontrollierbare diffuse Streuung möglichst gering ausfallen, müssen die LI/HI-Schichten porenfrei und für die zu reflektierenden elektromagnetischen Wellen transparent sein. Dabei wird unter dem Begriff porenfrei nicht eine absolute Porenfreiheit verstanden. Vielmehr sind die LI/HI-Schichten des erfindungsgemässen Reflektors im Wesentlichen porenfrei. Wichtig dabei ist, dass insbesondere die anodisch erzeugte LI-Schicht im Wesentlichen keine verfahrensbedingte Porosität aufweist. Unter einer verfahrensbedingten Porosität wird beispielsweise die Verwendung eines Aluminiumoxid-auflösenden Elektrolyten verstanden. In vorliegender Erfindung weist die porenfreie LI-Schicht einen Porositätsgrad von weniger als 1% auf.

Die Dielektrizitätskonstante ϵ_1 der LI-Schicht hängt u.a. von den zu ihrer Herstellung verwendeten Verfahrensparametern während der anodischen Oxidation ab. Die Dielektrizitätskonstante ϵ_1 der LI-Schicht von erfindungsgemässen Reflektoren beträgt bei einer Temperatur von 20°C zwischen 6 und 10.5 und bevorzugt zwischen 8 bis 10.

Bezüglich der LI/HI-Schichtdicken wurde im Rahmen der erfinderischen Tätigkeit gefunden, dass die Reflexionseigenschaften im Wesentlichen periodisch verlaufen, wobei mit zunehmenden Schichtdicken, insbesondere bei Schichten mit optischen Schichtdicken $d_{opt,i}$ grösser als $6 \cdot \lambda/4$, die Reflexionseigenschaften für lichttechnische Zwecke ungenügend sind. Bevorzugt werden daher Schichtdicken, die eine optische Schichtdicke aufweisen, die kleiner als $6 \cdot \lambda/4$ ist und insbesondere solche mit l_1 und l_2 gleich 1 oder 3.

Im Rahmen der erfinderischen Tätigkeit wurde gefunden, dass Reflektoren mit LI/HI-Schichtdicken im Schichtdickenbereich von $d_i \cdot n_i = l_i \cdot \lambda/4 \pm 10$ nm ($i = 1,2$) liegen, im Wesentlichen dieselben guten Reflexionseigenschaften zeigen, so dass die Schichtdicken d_i nicht exakt die Bedingung $d_i \cdot n_i = l_i \cdot \lambda/4$, $i = 1,2$ erfüllen müssen.

Bevorzugt finden die erfindungsgemässen Reflektoren für Wellenlängen $\lambda = 550$ nm ± 200 nm Anwendung und besonders bevorzugt für Wellenlängen, die der mittleren, für das menschliche Auge bei Tageslicht am besten wahrnehmbare Wellenlänge des sichtbaren Lichtes entspricht, welche bei ca. 550 nm liegt.

Bevorzugt betragen die Schichtdicke d_1 der LI-Schicht und die Schichtdicke d_2 der HI-Schicht je zwischen 30 und 190 nm, wobei die an einem bestimmten Ort gemessenen Schichtdicken d_1 und d_2 gegenüber den über den ganzen Schichtverbund gemittelten Schichtdicken $\bar{d}_1$ und $\bar{d}_2$ um nicht mehr als $\pm 5\%$ variieren. Dies erlaubt den Einsatz der Reflektoren für die möglichst verlustfreie Reflexion elektromagnetischer Wellen in der Lichttechnik, da erst die reproduzierbaren, homogenen Schichtdicken der LI/HI-Schichten die Herstellung reflexions-erhöhender Reflektor-Oberflächen hoher Güte ermöglichen.

Die als LI-Schicht wirkende Aluminiumoxid-Sperr-

schicht weist zweckmässigerweise einen Brechungsindex n_1 zwischen 1.55 und 1.65 auf.

Als HI-Schichtmaterialien eignen sich beispielsweise alle bekannten optischen Schichtmittel. Zweckmässigerweise besteht oder enthält die HI-Schicht Oxide von Alkali-, z.B. Li, Erdalkali-, z.B. Mg, Ca, Sr, Ba, und/oder Übergangsmetallen, wie z.B. Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Y, Zr, Nb, Mo, Te, Ru, Rh, Pd, Elf, Ta, W, Re, Os, Ir, Pt und/oder Lanthanoiden wie z.B. La, Ce, Pr, Nd, Pm, Dy, Yb oder Lu, usw. Bevorzugt finden für die erfindungsgemässen Reflektoren HI-Schichten aus TiO_2 , Ti_2O_3 mit einem Brechungsindex von ca. 2.5, PrO_2 , Pr_2O_3 , Pr_6O_{11} , La_2O_3 , Ta_2O_5 , HfO_2 , NbO , Nb_2O_5 , ZnO , ZrO_2 , CeO_2 , Ce_2O_3 , oder einem Oxid einer Legierung der genannten Stoffe Anwendung. Besonders bevorzugt werden jedoch HI-Schichten aus TiO_2 , Ta_2O_5 , Oxiden von Pr-Ti-Legierungen oder von La-Ti-Legierungen.

Die erfindungsgemässen Reflektoren finden bevorzugt Verwendung für lichttechnische Zwecke oder als Reflektoren für Infrarot-Strahlung. Eine besonders bevorzugte Verwendung finden die erfindungsgemässen Reflektoren für Leuchten in der Lichttechnik und insbesondere in der Tageslichttechnik, insbesondere als funktionelle Leuchten wie Bildschirmarbeitsplatz-Leuchten, Sekundärleuchten, Rasterleuchten oder Lichtleitelemente wie Lichtleitdecken oder Lichtumlenklamellen.

Vorliegende Erfindung betrifft auch ein Verfahren zur Herstellung eines reflexionserhöhenden Schichtverbundes als reflektierende Oberflächenschicht auf einem Reflektorkörper von Reflektoren, wobei der Schichtverbund eine gegen den Reflektorkörper gerichtete Aluminiumschicht, eine gegen die zu reflektierende Strahlung gerichtete HI-Schicht mit einem Brechungsindex n_2 und eine dazwischenliegende LI-Schicht mit einem gegenüber n_2 kleineren Brechungsindex n_1 aufweist.

Erfindungsgemäss wird dies dadurch gelöst, dass

a) auf die Aluminiumschicht des Schichtverbundes eine oxidierbare Deckschicht abgeschieden wird, dessen Schichtdicke derart gewählt wird, dass nach einer vollständigen Oxidation des Deckschichtmaterials eine HI-Schicht mit Schichtdicke d_2 nach Massgabe

$$d_2 \cdot n_2 = l_2 \cdot \lambda/4 \pm 10 \text{ nm}$$

gebildet wird, wobei d_2 die Dicke der HI-Schicht in nm, n_2 der Brechungsindex der HI-Schicht, λ die mittlere Wellenlänge in nm des auf die Reflektoroberfläche eingestrahlten Lichtes und l_2 eine unge-
rade natürliche Zahl bezeichnen, und

b) der Reflektorkörper mit wenigstens dem die Deckschicht tragenden Teil der Aluminiumschicht in einen Aluminiumoxid nicht rücklösenden Elektrolyten gegeben und als Anode geschaltet solange elektrolytisch oxidiert wird, bis das gesamte Deckschichtmaterial vollständig zu einer HI-Schicht oxidiert ist und sich aus der Aluminiumschicht eine Li-Aluminiumoxid-Sperrschicht gebildet hat, deren Schichtdicke der Massgabe

$$d_1 \cdot n_1 = l_1 \cdot \lambda/4 \pm 10 \text{ nm}$$

genügt, wobei d_1 die Schichtdicke in nm der LI-Schicht mit Brechungsindex n_1 bezeichnet und l_1 eine ungerade natürliche Zahl ist.

Das erfindungsgemässe Verfahren erlaubt die Herstellung von reflexionserhöhenden Schichtverbunden auf Aluminiumschichten, wobei die HI- und LI-Schichten dünn, mit einer genau vorgegebenen Schichtdicke versehen, porenfrei, homogen und bezüglich der elektromagnetischen Strahlung, insbesondere im sichtbaren und/oder infraroten Bereich, transparent sind.

Für das erfindungsgemässe Verfahren eignen sich Aluminiumschichten, die Teil eines Stückgutes, beispielsweise eines Profils, Balkens oder eine andere Form von Stücken, einer Platte, eines Bandes, Bleches oder einer Folie aus Aluminium sind, oder die eine Aluminium-Deckschicht eines Verbundwerkstoffes, insbesondere eine Aluminiumdeckschicht einer Verbundplatte darstellen, oder die eine auf einen beliebigen Werkstoff – beispielsweise elektrolytisch – abgeschiedene Aluminiumschicht betreffen. In einer bevorzugten Ausführungsform wird die für das erfindungsgemässe Verfahren benötigte Aluminiumschicht durch die Oberflächenschicht eines Gegenstandes aus Aluminium gebildet, wobei der Gegenstand z.B. durch ein Walz-, Extrusions-, Schmiede- oder Fließpressverfahren hergestellt sein kann.

Für vorliegendes Verfahren eignen sich alle handelsüblichen Aluminiumlegierungen, sowie Aluminium aller Reinheitsgrade. Beispielsweise umfasst der Begriff Aluminium alle Walz-, Knet-, Guss-, Schmiede- und Presslegierungen aus Aluminium. Zweckmässigerweise besteht die Aluminiumschicht aus Reinaluminium mit einem Reinheitsgrad von gleich oder grösser 98.3 Gew.-% oder Aluminiumlegierungen aus diesem Aluminium mit wenigstens einem der Elemente aus der Reihe von Si, Mg, Mn, Cu, Zn oder Fe. Die Aluminiumschicht aus Reinaluminium weist beispielsweise eine Reinheit von 98.3 Gew.-% und höher, zweckmässig 99.0 Gew.-% und höher, bevorzugt 99.9 Gew.-% und höher und insbesondere 99.95 Gew.-% und höher auf.

Neben Aluminium genannter Reinheiten kann die Aluminiumschicht auch aus einer Aluminiumlegierung bestehen, enthaltend 0.25 Gew.-% bis 5 Gew.-%, insbesondere 0.5 bis 2 Gew.-%, Magnesium oder enthaltend 0.2 bis 2 Gew.-% Mangan oder enthaltend 0.5 bis 5 Gew.-% Magnesium und 0.2 bis 2 Gew.-% Mangan, insbesondere z.B. 1 Gew.-% Magnesium und 0.5 Gew.-% Mangan oder enthaltend 0.1 bis 12 Gew.-%, vorzugsweise 0.1 bis 5 Gew.-%, Kupfer oder enthaltend 0.5 bis 5 Gew.-% Zink und 0.5 bis 5 Gew.-% Magnesium oder enthaltend 0.5 bis 5 Gew.-% Zink, 0.5 bis 5 Gew.-% Magnesium und 0.5 bis 5 Gew.-% Kupfer oder enthaltend 0.5 bis 5 Gew.-% Eisen und 0.2 bis 2 Gew.-% Mangan, insbesondere z.B. 1.5 Gew.-% Eisen und 0.4 Gew.-% Mangan.

Die Aluminiumschicht kann vorgängig zum erfindungsgemässen Verfahren auch einem Biege-, Tiefzieh-, Kaltfließpress- oder einem ähnlichen Pro-

zess unterworfen werden und/oder kann auch strukturiert sein.

Die Herstellung erfindungsgemässer Reflektoren bedingt eine saubere Aluminiumoberfläche, d.h. die anodisch zu oxidierende Aluminiumoberfläche muss üblicherweise vorgängig zum erfindungsgemässen Verfahren einer Oberflächenbehandlung, der sogenannten Vorbehandlung, zugeführt werden.

Die Aluminiumoberflächen weisen meist eine natürlich entstehende Oxidschicht auf, die häufig aufgrund ihrer Vorgeschichte durch Fremdsubstanzen verunreinigt ist. Solche Fremdsubstanzen können beispielsweise Reste von Walzhilfsmitteln, Transportschutzölen, Korrosionsprodukte oder eingepresste Fremdpartikel und ähnlichem sein. Zum Zwecke der Entfernung solcher Fremdsubstanzen werden die Aluminiumoberflächen üblicherweise mit Reinigungsmitteln, die einen gewissen Beizangriff ausüben, chemisch vorbehandelt. Dazu eignen sich – neben sauren wässrigen Entfettungsmitteln – insbesondere alkalische Entfettungsmittel auf Basis Polyphosphat und Borat. Eine Reinigung mit mässigem bis starkem Materialabtrag bildet das Beizen oder Ätzen mittels stark alkalischen oder sauren Beizlösungen, wie z.B. Natronlauge oder ein Gemisch aus Salpetersäure und Flusssäure. Dabei werden die natürliche Oxidschicht und damit auch alle darin eingebauten Verunreinigungen entfernt. Bei Verwendung von stark angreifenden alkalischen Beizen entstehen oft Beizbeläge, die durch eine saure Nachbehandlung entfernt werden müssen. Eine Reinigung ohne Oberflächenabtrag bildet das Entfetten der Oberflächen durch Anwendung organischer Lösungsmittel oder wässriger oder alkalischer Reiniger.

Je nach Oberflächenzustand ist auch ein mechanischer Oberflächenabtrag durch abrasive Mittel notwendig. Eine solche Oberflächenvorbehandlung kann beispielsweise durch Schleifen, Strahlen, Bürsten oder Polieren geschehen und gegebenenfalls durch eine chemische Nachbehandlung ergänzt werden.

Aluminiumoberflächen zeigen im metallisch blanken Zustand ein sehr hohes Reflexionsvermögen für Licht- und Wärmestrahlen. Je glatter die Oberfläche, desto höher ist die gerichtete Reflexion und desto glänzender wirkt die Oberfläche. Höchsten Glanz erzielt man auf Reinaluminium und auf Speziallegierungen, wie beispielsweise AlMg oder AlMgSi.

Eine hoch reflektierende Oberfläche wird beispielsweise durch Polieren, Fräsen, durch Walzen mit hochglanzpolierten Walzen im Letzten Walzgang oder durch chemisches oder elektrolytisches Glänzen erreicht. Das Polieren kann beispielsweise mit Schwabbeln aus weichem Tuch und gegebenenfalls unter Verwendung einer Polierpaste geschehen. Beim Polieren durch Walzen kann im Letzten Walzgang beispielsweise mittels gravierter oder geätzter Stahlwalzen oder durch eine vorgegebene Struktur aufweisende und zwischen den Walzen und dem Walzgut angeordnete Mittel zusätzlich eine vorgegebene Oberflächenstruktur in die Aluminiumoberfläche eingeprägt werden. Das chemische Glänzen geschieht beispielsweise durch Anwen-

dung eines hochkonzentrierten Säuregemisches bei üblicherweise hohen Temperaturen von ca. 100°C. Für das elektrolytische Glänzen können saure oder alkalische Elektrolyte eingesetzt werden, wobei üblicherweise saure Elektrolyte bevorzugt werden.

Um den Glanz zu bewahren, müssen die ge-glänzten Oberflächen vor chemischen und physikalischen Einflüssen geschützt bzw. konserviert werden. Die dazu aus dem Stand der Technik bekannten Verfahren, wie beispielsweise die GS-Anodisation, weisen die bereits oben beschriebenen verfahrensbedingten Nachteile wie hohe und schwer kontrollierbare Schichtdicken oder eine inhomogene Schichtbildung auf.

Das erfindungsgemässe Verfahren ergibt Reflektoren mit einem reflexionserhöhenden Schichtverbund, dessen auf einer Aluminiumschicht liegenden LI- und HI-Schichten eine homogene, gleichmässige und vordefinierte Schichtdicke aufweisen, welche zumindest im sichtbaren Bereich im Wesentlichen transparent sind, so dass die Reflexion des Lichtes im Wesentlichen an der Grenzfläche LI-Schicht/Aluminium erfolgen kann.

Für das erfindungsgemässe Anodisierverfahren wird die Aluminiumoberfläche mit einem vorbestimmten, definierten Oberflächenzustand versehen, worauf eine oxidierbare Deckschicht abgeschieden wird. Als Deckschichtmaterialien werden beispielsweise Alkali-, z.B. Li, Na, K, Erdalkali-, z.B. Mg, Ca, Sr, Ba, und/oder Übergangsmetallen, wie z.B. Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Y, Zr, Nb, Mo, Te, Ru, Rh, Pd, Hf, Ta, W, Re, Os, Ir, Pt und/oder Lanthanoiden wie z.B. La, Ce, Pr, Nd, Pm, Dy, Yb oder Lu eingesetzt. Bevorzugt werden Ti, Pr, La, Ta, Hf, Nb, Zn, Ce oder eine Legierung der genannten Stoffe. Besonders bevorzugt ist die Verwendung von Ti, Ta, Pr und La oder eine Legierung dieser Stoffe. Das Aufbringen der Deckschichtmaterialien auf die Aluminiumschicht geschieht zweckmässigerweise mittels einem PVD- oder CVD-Prozess, oder elektrolytisch. Bevorzugt geschieht das Aufbringen des Deckschichtmaterials jedoch durch Sputtern oder Verdampfen, wie beispielsweise Elektronenstrahlverdampfen.

Die Schichtdicke der Deckschicht wird mittels einfachen Vorversuchen oder aus entsprechenden Tabellen unter Berücksichtigung der Volumenzunahme während der Oxidation des Deckschichtmaterials dahingehend bestimmt, dass die während dem nachfolgenden Anodisierprozess gebildete HI-Schicht der Massgabe $d_2 \cdot n_2 = l_2 \cdot \lambda/4 \pm 10 \text{ nm}$ genügt, wobei optische Schichtdicken der HI-Schicht mit l_2 gleich 1 oder 3 bevorzugt werden.

Der Reflektorkörper wird anschliessend mit wenigstens dem die Deckschicht tragenden Teil in eine elektrisch leitende Flüssigkeit, den Elektrolyten, gegeben und als Anode an einer Gleichspannungsquelle angeschlossen, wobei als negative Elektrode üblicherweise rostfreier Stahl, Graphit, Blei oder Aluminium verwendet wird.

Erfindungsgemäss ist der Elektrolyt derart beschaffen, dass er das während dem Anodisierprozess gebildete Aluminiumoxid chemisch nicht auflöst, d.h. es findet keine Rücklösung des Aluminiumoxids statt. Im Gleichspannungsfeld entwickelt

sich an der Kathode Wasserstoffgas und an der Anode Sauerstoffgas. Der an der Aluminiumoberfläche entstehende Sauerstoff bildet durch Reaktion mit dem Aluminium eine während dem Prozess zunehmend dickere Oxidschicht. Da der Schichtwiderstand mit zunehmender Dicke der Sperrschicht schnell ansteigt, nimmt der Stromfluss entsprechend schnell ab und das Schichtwachstum hört auf. Gleichzeitig wird auch das Metall der Deckschicht anodisch oxidiert. Die Prozessdauer der anodischen Oxidation dauert so lange, bis wenigstens alles Deckschichtmaterial vollständig oxidiert ist und die Aluminiumoxid-Sperrschicht die geforderte Schichtdicke erreicht hat.

Die elektrolytische Herstellung von LI- und HI-Schichten gemäss vorliegender Erfindung erlaubt die präzise Kontrolle der entsprechenden Schichtdicken. Die mit dem erfindungsgemässen Verfahren maximal erzielte Schichtdicke der Aluminiumoxid-Sperrschicht in Nanometer (nm) entspricht in erster Näherung der angelegten und in Volt (V) gemessenen Spannung, d.h. die maximal erzielte Schichtdicke steht in linearer Abhängigkeit zur Anodisierspannung, wobei der Spannungsabfall an der Deckschicht berücksichtigt werden muss. Der exakte Wert der maximal erreichten Schichtdicke in Abhängigkeit der angelegten Gleichspannung U und unter Berücksichtigung des Spannungsabfalles an der Deckschicht kann durch einen einfachen Vorversuch bestimmt werden und liegt von 1.2 bis 1.6 nm/V, wobei der genaue Werte der Schichtdicke in Funktion der angelegten Spannung abhängig ist vom verwendeten Elektrolyten, d.h. dessen Zusammensetzung sowie dessen Temperatur.

Demnach beträgt die minimal angelegte Anodisierspannung U_{min} in Volt:

$$\frac{d_1}{1.6} \frac{V}{nm} \leq U_{min} \leq \frac{d_1}{1.2} \frac{V}{nm}$$

wobei d_1 die Schichtdicke in nm der LI-Schicht mit Brechungsindex n_1 bezeichnet, die der Massgabe

$$d_1 \cdot n_1 = l_1 \cdot \lambda/4 \pm 10 \text{ nm}$$

genügen muss.

Um dem sich zeitlich verändernden Spannungsabfall an der Deckschicht Rechnung zu tragen, kann die Anodisierspannung im Verlaufe des Anodisierprozesses kontinuierlich oder stufenweise erhöht werden. Die optimale Anodisierspannung bzw. der optimale zeitliche Anodisierspannungsverlauf sowie die Anodisierdauer kann entweder durch einfache Vorversuche oder durch eine während dem Anodisierprozess durchzuführende Reflexionsmessung bestimmt werden.

Die elektrolytische Oxidation kann in einem Arbeitsgang durch Anlegen einer vordefinierten Anodisierspannung oder durch kontinuierliches oder stufenweises Erhöhen der Anodisierspannung auf einen vorbestimmten Wert oder auf einen Wert, der durch Messung der optimalen Reflexionseigenschaften bestimmt wird, geschehen. Die elektrolytische Oxidation kann jedoch auch in mehreren Schritten, d.h. in mehreren Arbeitsgängen, bei-

spielsweise mit unterschiedlichen Anodisierspannungen, geschehen.

Bevorzugt wird ein Verfahren, bei dem während der elektrolytischen Oxidation die Reflexionseigenschaften des Schichtverbundes kontinuierlich gemessen werden, und die Anodisierspannung U in Volt, ausgehend von einem nach Massgabe

$$\frac{d_i}{1.6} \frac{V}{nm} \leq U_A \leq \frac{d_i}{1.2} \frac{V}{nm}$$

gewählten Anfangswert U_A , kontinuierlich oder stufenweise erhöht wird, bis die gemessene Reflexion ein gewünschtes Maxima erreicht.

Durch die Verwendung eines nicht rücklösenden Elektrolyten sind die Aluminiumoxid-Sperrschichten nahezu porenfrei, d.h. allfällig auftretende Poren resultieren beispielsweise aus Verschmutzungen im Elektrolyten oder aus Gefüge-Fehlstellen in der Aluminium-Oberflächenschicht, jedoch nur unwesentlich durch Auflösung des Aluminiumoxids im Elektrolyten. Dasselbe gilt für die Deckschichtmaterialien, d.h. diese müssen sich im verwendeten Elektrolyten ebenfalls chemisch inert verhalten.

Als nicht rücklösende Elektrolyten können im erfindungsgemässen Verfahren beispielsweise organische oder anorganische Säuren, in der Regel verdünnt mit Wasser, mit einem pH-Wert von 2 und grösser, bevorzugt 3 und grösser, insbesondere 4 und grösser und 7 und kleiner, bevorzugt 6 und kleiner, insbesondere 5.5 und kleiner, verwendet werden. Bevorzugt werden kalt, d.h. bei Raumtemperatur, arbeitende Elektrolyten. Besonders bevorzugt werden anorganische oder organische Säuren, wie Schwefel- oder Phosphorsäure in niedriger Konzentration, Borsäure, Adipinsäure, Zitronensäure oder Weinsäure, oder Gemische davon, oder Lösungen von Ammonium- oder Natriumsalzen von organischen oder anorganischen Säuren, insbesondere der namentlich genannten Säuren und deren Gemische. Dabei weisen die Lösungen bevorzugt eine Konzentration von total 20 g/l oder weniger, zweckmässig 2 bis 15 g/l, von im Elektrolyten gelöstem Ammonium- oder Natriumsalz auf. Ganz besonders bevorzugt werden dabei Lösungen von Ammoniumsalzen der Zitronen- oder Weinsäure oder Natriumsalzen der Phosphorsäure.

Ein ganz besonders bevorzugter Elektrolyt enthält 1 bis 5 Gew.-% Weinsäure, welcher beispielsweise eine zur Einstellung des gewünschten pH-Wertes entsprechende Menge Ammoniumhydroxid (NH_4OH) beigegeben werden kann.

Die Elektrolyte sind in der Regel wässrige Lösungen.

Die maximal mögliche Anodisierspannung wird durch die Spannungsfestigkeit des Elektrolyten bestimmt. Diese ist beispielsweise von der Elektrolytzusammensetzung und von der Elektrolyttemperatur abhängig und liegt üblicherweise im Bereich zwischen 300 und 600 Volt.

Um beispielsweise die Spannungsfestigkeit des Elektrolyten zu erhöhen, kann dem Elektrolyten Alkohol als weiteres Lösungsmittel zugegeben werden. Dazu eignen sich insbesondere Methanol, Ethanol, Propanol wie beispielsweise Propylalkohol

oder Isopropanol, oder Butanol. Die Menge des dem Elektrolyten zugegebenen Alkohols ist unkritisch, so dass das Mengenverhältnis Elektrolyt zu Lösungsmittel beispielsweise von bis zu 1:50 betragen kann. Durch die Zugabe von Alkohol kann die Spannungsfestigkeit des Elektrolyten bis beispielsweise 1200 V erhöht werden. Für das erfindungsgemässe Verfahren werden jedoch alkoholfreie Elektrolyten bevorzugt.

Die für das erfindungsgemässe Verfahren optimale Elektrolyttemperatur hängt vom verwendeten Elektrolyten ab; ist aber im Allgemeinen für die Qualität der erhaltenen LI/HI-Schichten von untergeordneter Bedeutung. Für das erfindungsgemässe Verfahren werden Temperaturen von 15 bis 40°C und insbesondere solche zwischen 18 und 30°C bevorzugt.

Das erfindungsgemässe Verfahren eignet sich besonders für die kontinuierliche oder stückweise Herstellung eines reflexionserhöhenden Schichtverbundes auf Bänder, Bleche, Folien oder Stückgut aus Aluminium, sowie auf Verbundwerkstoffen mit mindestens einer Deckschicht aus Aluminium.

Besonders geeignet ist das erfindungsgemässe Verfahren für die kontinuierliche Herstellung von Reflektoren mit reflexionserhöhenden Schichtverbunden mittels beispielsweise einer Durchlaufanlage, beispielsweise einer Bandbeschichtungs- und Bandanodisieranlage.

Durch die im Vergleich zu einer GS-anodisierten Oxidschicht geringen Schichtdicke der als LI-Schicht wirkenden Aluminiumoxid-Sperrschicht, weist letztere nur wenige für die Lichtstreuung in der Schutzschicht verantwortliche Fremdpartikel, sprich Streuzentren, wie beispielsweise Partikel aus Fe, Si oder $AlFeSi$, auf. Zudem ist bei den erfindungsgemässen Reflektoren die linear von der Schichtdicke abhängige Absorption des einfallenden Lichtes gering. Ausserdem ist wegen der geringen Schichtdicke der LI- und HI-Schichten die Lichtstreuung an Biegekanten, insbesondere diejenige, die aus Rissen in den Schichten des Schichtverbundes resultiert, üblicherweise vernachlässigbar gering.

Währenddem bei GS-Schichten üblicherweise wegen der bei grossen Schichtdicken auftretenden Schichtdickenvariation selektive Lichtabsorption eintritt und dadurch Irisierungsprobleme schafft, entsteht durch die geringe und über die Reflektoroberfläche sehr konstante Schichtdicken der LI- und HI-Schichten keine Irisierung (Regenbogenfarben). Zudem sind – durch die Schichtdicken der LI-/HI-Schichten bedingt – die Abstände der zu Irisierungserscheinungen führenden Reflexionsebenen zu gering.

Patentansprüche

1. Reflektor enthaltend einen reflexionserhöhenden Schichtverbund als reflektierende Oberflächenschicht auf einem Reflektorkörper, wobei der Schichtverbund eine Sandwichkonstruktion mit einer gegen den Reflektorkörper gerichteten Aluminiumschicht, einer gegen die zu reflektierende Strahlung gerichteten äusseren Schicht, der HI-Schicht, mit ei-

nem Brechungsindex n_2 und einer dazwischenliegenden Aluminiumoxidschicht, der LI-Schicht, mit einem gegenüber n_2 kleineren Brechungsindex n_1 darstellt, dadurch gekennzeichnet, dass die LI-Schicht eine aus der Aluminiumschicht anodisch erzeugte, transparente und porenfreie Sperrschicht mit einer Dielektrizitätskonstanten ϵ_1 bei 20°C von 6 bis 10.5 darstellt und die optischen Schichtdicken $d_{opt,1}$ der LI-Schicht und $d_{opt,2}$ der HI-Schicht der Massgabe

$$d_{opt,i} = d_i \cdot n_i = l_i \cdot \lambda/4 \pm 10 \text{ nm}, i = 1,2$$

entsprechen, wobei d_1 die Schichtdicke der LI-Schicht in nm, d_2 die Schichtdicke der HI-Schicht in nm, λ die mittlere Wellenlänge in nm des auf die Reflektoroberfläche eingestrahnten Lichtes und l_1, l_2 ungerade natürliche Zahlen bezeichnen.

2. Reflektor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Schichtdicke d_1 der LI-Schicht und die Schichtdicke d_2 der M-Schicht je zwischen 30 und 190 nm betragen, wobei die an einem bestimmten Ort gemessenen Schichtdicken d_1 und d_2 gegenüber den über den ganzen Schichtverbund gemittelten Schichtdicken $\bar{d}_1$ und $\bar{d}_2$ um nicht mehr als $\pm 5\%$ variieren.

3. Reflektor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die HI-Schicht aus einem Oxid eines Alkali-, Erdalkali- oder Übergangsmetall, eines Lanthanoides oder einer Legierung dieser Stoffe besteht.

4. Reflektor nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die HI-Schicht aus TiO , TiO_2 , Ti_2O_3 , Ta_2O_5 , HfO_2 , NbO , NbO_2 , Nb_2O_5 , ZnO , ZrO_2 , CeO_2 , Ce_2O_3 , PrO_2 , Pr_2O_3 , Pr_6O_{11} oder La_2O_3 , oder einem Oxid aus einer Pr-Ti-Legierung oder einer La-Ti-Legierung besteht oder ein vorgenanntes Oxid enthält.

5. Verwendung der Reflektoren nach einem der Ansprüche 1 bis 4 als Reflektoren für Infrarot-Strahlung oder für Leuchten in der Lichttechnik und insbesondere in der Tageslichttechnik.

6. Verwendung der Reflektoren nach einem der Ansprüche 1 bis 4 als Reflektoren in Bildschirmarbeitsplatz-Leuchten, Sekundärleuchten, Rasterleuchten oder als Lichtleitelemente, Lichtdecken oder Lichtumlenklamellen.

7. Verfahren zur Herstellung eines Reflektors nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass

a) auf die Aluminiumschicht des Schichtverbundes eine oxidierbare Deckschicht abgeschieden wird, dessen Schichtdicke derart gewählt wird, dass nach einer vollständigen Oxidation des Deckschichtmaterials eine HI-Schicht mit Schichtdicke d_2 nach Massgabe

$$d_2 \cdot n_2 = l_2 \cdot \lambda/4 \pm 10 \text{ nm}$$

gebildet wird, wobei d_2 die Dicke der HI-Schicht in nm, n_2 der Brechungsindex der HI-Schicht, λ die mittlere Wellenlänge in nm des auf die Reflektoroberfläche eingestrahnten Lichtes und l_2 eine ungerade natürliche Zahl bezeichnen, und

b) der Reflektorkörper mit wenigstens dem die

Deckschicht tragenden Teil der Aluminiumschicht in einen Aluminiumoxid nicht rücklösenden Elektrolyten gegeben und als Anode geschaltet solange elektrolytisch oxidiert wird, bis das gesamte Deckschichtmaterial vollständig zu einer HI-Schicht oxidiert ist und sich aus der Aluminiumschicht eine LI-Aluminiumoxid-Sperrschicht gebildet hat, deren Schichtdicke der Massgabe

$$d_1 \cdot n_1 = l_1 \cdot \lambda/4 \pm 10 \text{ nm}$$

genügt, wobei d_1 die Schichtdicke in nm der LI-Schicht mit Brechungsindex n_1 bezeichnet und l_1 eine ungerade natürliche Zahl ist.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Deckschichtmaterial durch ein PVD-Verfahren (physical vapour deposition) aufgebracht wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass als Deckschichtmaterial ein Alkali-, Erdalkali- oder Übergangsmetall, oder ein Lanthanoid, oder eine Legierung dieser Stoffe verwendet wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass als Deckschichtmaterial Ti, Pr, La, Ta, Hf, Nb, Zn, Zr oder Ce, oder eine Legierung dieser Stoffe verwendet wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass während der elektrolytischen Oxidation die Reflexionseigenschaften des Schichtverbundes kontinuierlich gemessen werden, und die Anodisierspannung U in Volt, ausgehend von einem nach Massgabe

$$\frac{d_1}{1.6} \frac{V}{\text{nm}} \leq U_A \leq \frac{d_1}{1.2} \frac{V}{\text{nm}}$$

gewählten Anfangswert U_A , kontinuierlich oder stufenweise erhöht wird, bis die gemessene Reflexion ein gewünschtes Maxima erreicht.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Herstellung des reflexionserhöhenden Schichtverbundes kontinuierlich mittels einem Bandverfahren geschieht.