



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 699 24 378 T2** 2006.03.09

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 097 352 B1**

(51) Int Cl.⁸: **G01B 11/06** (2006.01)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **699 24 378.5**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US99/00888**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **99 904 103.1**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 00/04340**

(86) PCT-Anmeldetag: **14.01.1999**

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: **27.01.2000**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **09.05.2001**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **23.03.2005**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **09.03.2006**

(30) Unionspriorität:

116009 15.07.1998 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB, IT

(73) Patentinhaber:

Minnesota Mining & Manufacturing Company, St. Paul, Minn., US

(72) Erfinder:

RAMTHUN, A., John, Saint Paul, US; FLOEDER, P., Steven, Saint Paul, US; MANNING, T., Arthur, Saint Paul, US; HARLAU, L., Lanny, Saint Paul, US; KOSTUCH, D., Gregory, Saint Paul, US; LAI, W., Jack, Saint Paul, US; XU, Wenyuan, Saint Paul, US

(74) Vertreter:

derzeit kein Vertreter bestellt

(54) Bezeichnung: **DICKENMESSUNG VON FLUORESZIERENDEN SCHICHTEN**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung**GEBIET DER ERFINDUNG**

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zu Messung der Dicke einer Beschichtung auf einem Substrat. Insbesondere bezieht sich die Erfindung auf ein Verfahren zur Messung der Dicke einer Beschichtung, indem fluoreszierendes Licht auf die beschichtete Oberfläche gerichtet wird, und die Intensität des von der Beschichtung aufgrund der Fluoreszenz bei einer bestimmten Wellenlänge emittierten Lichtes analysiert wird.

ALLGEMEINER STAND DER TECHNIK

[0002] Viele Produkte werden durch Verfahren hergestellt, die das kontinuierliche Beschichten eines Substrates mit einer Beschichtungszusammensetzung umfassen. Zum Beispiel werden funktionelle Beschichtungszusammensetzungen häufig auf kontinuierliche dünne Filme aufgebracht bei der Herstellung von Klebfilmen, Klebstreifen etc. Diese funktionellen Beschichtungen tragen wichtige Eigenschaften zum Endprodukt bei. Um ihre Aufgabe richtig zu erfüllen, müssen funktionelle Beschichtungen in voraussagbarer, kontrollierbarer und messbarer Weise aufgebracht werden. Die Messung der Dicke von funktionellen Beschichtungen angewandt auf dünne Filme ist ein wichtiges Verfahren in der Herstellung und Produktion der Produkte, weil sie es erlaubt, die Auftragung der Beschichtungen zu überwachen und zu kontrollieren.

[0003] Die Gebrauchstauglichkeit von Produkten, die Beschichtungszusammensetzungen enthalten, hängt oft von der Genauigkeit ab, mit der die Beschichtungszusammensetzungen aufgebracht werden, und die Dicke der Beschichtungszusammensetzungen kann für Gebrauchstauglichkeit und Preis ausschlaggebend sein. Abweichungen bei der Dicke der Beschichtungszusammensetzung können aus verschiedenen Gründen vorkommen, die Schwankungen, die den zum Aufbringen der Beschichtungen verwendeten Mechanismen innewohnen ebenso umfassen wie Schwankungen der Eigenschaften der aufgetragenen Beschichtungszusammensetzungen, wie Schwankungen der Temperatur und des Drucks, bei der die Beschichtungszusammensetzung aufgebracht wird.

[0004] Wenn eine Beschichtung ungleichmäßig aufgebracht wird, kann die Einheitlichkeit und Qualität des Produkts nachteilig beeinflusst werden. Solche Uneinheitlichkeit kann zum Beispiel in der Längsrichtung einer Bahn auftreten, so dass entlang der Bahn Schlieren auftreten. Andererseits kann Uneinheitlichkeit auch in der Querrichtung einer Bahn auftreten, so dass eine gestreifte Beschichtung entsteht. Die Herstellungskosten können durch zu starkes Auftragen der Beschichtung nachteilig erhöht werden, und die Qualität kann durch zu hohes, zu niedriges oder ungleichmäßiges Auftragen der Beschichtung beeinträchtigt werden.

[0005] Es ist zwar möglich, die Dicke von Filmbeschichtungen mit Verfahren nach dem Stand der Technik zu messen, aber viele dieser Verfahren sind ungeeignet oder haben signifikante Einschränkungen, wie beschränkte Genauigkeit aufgrund sehr niedriger Signalstärken. Manche Verfahren erfordern die Entnahme und Analyse individueller Proben des beschichteten Substrats aus der Bahn. Die Entnahme dieser Proben behindert das Herstellungsverfahren durch die Verlangsamung und/oder das Unterbrechen der kontinuierlichen Beschichtung des Substrats. Außerdem liefern diese Messtechniken nur eine stufenweise Bewertung der Beschichtungsdicke und keine Echtzeitmessung der Dicke. Andere Verfahren erlauben eine weniger störende Analyse, aber geben keine genügenden Werte für die Dicke auf allen Teilen der Bahn.

[0006] In der Zusammenfassung von JP-A-08309262 wird ein Verfahren und ein Instrument für die Messung eines durchsichtigen Beschichtungsfilms eines Golfballs beschrieben. Der Golfball wird mit UV-Licht aus einer Lichtquelle bestrahlt. Die Strahlen der erzeugten Sekundärstrahlung werden mit einer CCD-Kamera detektiert. Die verarbeiteten Bilder werden berechnet und mit einer vorher aufgestellten Eichkurve verglichen, wodurch die Messung der Filmdicke durchgeführt wird.

[0007] In EP-A-0 806 652 wird ein Öldetektorsystem beschrieben, um Lecköl von Teilen und Ausstattungen eines Fahrzeugs und einer Anlage zu detektieren. Die Dicke des Öllecks wird gemessen, indem ein Bestrahlungsapparat verwendet wird, um Licht einzustrahlen, das eine von einem zu detektierenden Öl absorbierte Wellenlänge umfasst, und die Moleküle des Öls dazu angeregt werden, das Öl zum Fluoreszieren zu bringen. Eine Beobachtungsvorrichtung umfasst eine Vorrichtung zur Wellenlängenauswahl, um nur die Fluoreszenz, die von dem Lecköl emittiert wird, auszuwählen. Eine Verarbeitungsvorrichtung integriert die detektierten Signale des Lecköls, die von der Beobachtungsvorrichtung detektiert wurden, und berechnet eine Filmdicke des Lecköls basierend auf der Intensität der Fluoreszenz des Öls, die von der Beobachtungsvorrichtung beobachtet

tet wurde.

[0008] Es besteht deswegen ein Bedarf für ein System und ein Verfahren zur gründlichen, schnellen und genauen Messung der Dicke einer Beschichtungszusammensetzung, insbesondere einer dünnen Beschichtungszusammensetzung, die auf einen Film aufgetragen wird.

KURZDARSTELLUNG DER ERFINDUNG

[0009] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Messung der Dicke einer Beschichtung auf einer Bahn nach den unabhängigen Ansprüchen 1 und 11. Bei diesem Verfahren wird eine erste Wellenlänge eines Lichtes von einer Lichtquelle auf die beschichtete Oberfläche gerichtet, so dass die beschichtete Oberfläche das Licht absorbiert und fluoresziert, wobei ein Licht einer zweiten Wellenlänge emittiert wird. Die Intensität des Lichtes der zweiten Wellenlänge wird unter Verwendung einer Festkörperanordnung von lichtempfindlichen Elementen gemessen. Die gemessene Intensität des Lichtes dieser zweiten Wellenlänge wird verwendet, um die Dicke der Beschichtung zu bestimmen, und ist im wesentlichen zur Dicke der Beschichtung auf der beschichteten Oberfläche proportional.

[0010] Die Beschichtung auf der Oberfläche ist in bestimmten Ausführungen sehr dick, und kann weniger als 1 Prozent der Dicke des beschichteten Substrats ausmachen. In bestimmten Ausführungen ist die Beschichtung weniger als 50 Nanometer dick, und in manchen Ausführungen ist sie weniger als 25 Nanometer dick.

[0011] Um die Dicke der Beschichtung zu messen, wird eine Oberfläche mit einer unbekannten Beschichtungsdicke bereitgestellt. Zusätzlich wird eine zweite Vergleichsoberfläche bereitgestellt. Diese zweite Oberfläche hat Lichtemissionseigenschaften, die gleich sind wie die einer Oberfläche mit einer bekannten Beschichtungsdicke. Diese zweite Oberfläche wird als "Standard" zum Vergleich oder als Kontrolle verwendet. Die Intensität des Lichtes, das von der Oberfläche mit unbekannter Dicke emittiert wird, wird mit der gemessenen Intensität des Lichtes von der zweiten Oberfläche verglichen, um die Beschichtungsdicke zu bestimmen. Der Vergleich wird nach der folgenden Formel gemacht:

Dicke der beschichteten Oberfläche =

$$T_{S_i} = \frac{(T_{R_i})}{(I_{R_i} - I_{B_i})} \times (I_{S_i} - I_{B_i})$$

wobei

T_{S_i} = Dicke der beschichteten Oberfläche;
 T_{R_i} = Referenzdicke;
 I_{R_i} = Referenzintensität;
 I_{B_i} = Intensität der Unterlage;
 I_{S_i} = Intensität der beschichteten Oberfläche;

[0012] In bestimmten Ausführungen sind die erste und zweite Wellenlänge des Lichts im ultravioletten Spektrum. Die fluoreszierenden Eigenschaften der beschichteten Oberfläche werden entwickelt, indem entweder ein fluoreszierendes Material zu der Beschichtung hinzugefügt wird, oder indem eine Beschichtungszusammensetzung verwendet wird, die von sich aus fluoreszierende Eigenschaften hat. Zusätzlich können ein oder mehrere optische Bandpassfilter zwischen der Lichtquelle und der beschichteten Oberfläche, sowie zwischen der beschichteten Oberfläche und der Festkörperanordnung lichtempfindlicher Elemente angebracht werden. Die optischen Bandpassfilter begrenzen das durchgelassene Licht auf einen schmalen Wellenlängenbereich und erlauben genauere Messungen.

[0013] Die vorstehende Kurzdarstellung der vorliegenden Erfindung ist nicht dazu gedacht, jede gezeigte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zu beschreiben. Die Figuren und die detaillierte Beschreibung im Folgenden sollten weitere Aspekte der Erfindung deutlich machen.

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0014] Andere Aspekte und Vorteile der Erfindung werden beim Durchlesen der folgenden detaillierten Beschreibung deutlich werden, und unter Bezugnahme auf die Zeichnungen, wobei:

[0015] [Fig. 1](#) eine schematische Seitenansicht eines Dünnschichtmesssystems ist, das gemäß der vorliegen-

den Erfindung konstruiert und eingerichtet ist.

[0016] [Fig. 2](#) ist eine schematische Vorderansicht einer linearen Festkörperanordnung von lichtempfindlichen Elementen, die gemäß der vorliegenden Erfindung konstruiert und eingerichtet ist.

[0017] [Fig. 3](#) ist eine schematische Seitenansicht eines zweiten Dünnschichtmesssystems, das gemäß der vorliegenden Erfindung konstruiert ist, wobei ein Regelkreis mit Rückführung zur Anpassung der Auftragung der Dünnschicht gezeigt ist.

[0018] Die Erfindung eignet sich für verschiedene Modifikationen und alternative Formen, jedoch sind bestimmte Formen beispielhaft in den Zeichnungen gezeigt, und werden im Detail beschrieben werden. Es sollte jedoch klar sein, dass das Ziel nicht ist, die Erfindung auf die beschriebenen besonderen Ausführungsformen zu begrenzen. Im Gegenteil ist das Ziel, Modifikationen, Äquivalente und Alternativen, die im Geist und Umfang der Erfindung fallen, wie er in den angefügten Patentansprüchen definiert ist, abzudecken.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0019] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Messung der Dicke einer Beschichtungszusammensetzung. Das Verfahren umfasst die Bereitstellung einer Strahlungsenergiequelle und das Richten der Strahlungsenergie auf eine Beschichtungszusammensetzung, die fluoreszierende Eigenschaften hat. Die Strahlungsenergie ist zum Beispiel sichtbares oder ultraviolettes Licht. Wenn Licht einer ersten Wellenlänge auf die beschichtete Oberfläche gerichtet wird, absorbiert die Beschichtungszusammensetzung das Licht und emittiert eine zweite Wellenlänge. Die Intensität des Lichtes der zweiten Wellenlänge wird unter Verwendung einer Festkörperanordnung von lichtempfindlichen Elementen gemessen. Die Dicke der Beschichtungszusammensetzung wird an einer Vielzahl von Punkten entlang der beschichteten Oberfläche gemessen, basierend auf der Intensität des Lichtes der zweiten Wellenlänge, die durch die Festkörperanordnung lichtempfindlicher Elemente gemessen wird.

[0020] In Bezug auf die beigefügten Figuren zeigt [Fig. 1](#) einen schematischen Querschnitt eines Systems **10** zum Messen der Dicke einer Beschichtung. Das System **10** gibt genaue, hochauflösende Echtzeitmessungen der Dicke des beschichteten Films **12**. Der beschichtete Film **12** umfasst einen Trägerfilm **14** und eine Beschichtungszusammensetzung **16**, die auf den Trägerfilm **14** aufgebracht wird. Es ist zu bedenken, dass der beschichtete Film **12** ein mehrlagiges Produkt ist: ein Trägerfilm **14**, auf den die Beschichtungszusammensetzung **16** aufgebracht ist. In bestimmten Ausführungen der vorliegenden Erfindung ist das Ziel, die Dicke der Beschichtung **16** zu bestimmen. Die vorliegende Erfindung ist auch anwendbar auf bestimmte Ausführungen, bei denen die kombinierte Dicke der Grundschrift **14** und der Beschichtungszusammensetzung **16** gemessen wird. In solchen Ausführungen sind sowohl die Grundschrift **14** als auch die Beschichtungszusammensetzung **16** fluoreszierend. Die beschichtete Oberfläche **12** ist entweder ein- oder mehrlagig.

[0021] Das System **10** umfasst eine Lichtquelle **18** und eine Festkörperanordnung lichtempfindlicher Elemente **20**. Lichtwellen **22** mit einer Wellenlänge λ_1 werden von der Lichtquelle **18** emittiert und auf den beschichteten Film **12** gerichtet. Die Beschichtungszusammensetzung **16** absorbiert Licht der Wellenlänge λ_1 und emittiert Wellen **24** mit der Wellenlänge λ_2 . Die Lichtwellen **24** werden von der Festkörperanordnung **20** empfangen, die ihre Intensität misst.

[0022] Die Intensität der Lichtwellen **24** gibt einen Hinweis auf die Dicke der Beschichtungszusammensetzung **16**. Dieser Hinweis auf die Beschichtungsdicke wird gegeben, weil die Beschichtungszusammensetzung fluoreszierend ist und selektiv Licht der ersten Wellenlänge λ_1 absorbiert und Licht der Wellenlänge λ_2 emittiert. Die Intensität und Wellenlänge der emittierten Lichtwellen **24** ist abhängig von den Fluoreszenzeigenschaften der Beschichtungszusammensetzung **16** und der Intensität und Wellenlänge der einfallenden Lichtwellen **22**. Wenn die Intensität und Wellenlänge des einfallenden Lichtes konstant sind, variiert die Intensität der emittierten Lichtwellen **24** mit den Fluoreszenzeigenschaften der Beschichtungszusammensetzung **16**. Wenn die Beschichtungszusammensetzung **16** im wesentlichen homogen ist, variiert die Intensität des emittierten Lichtes mit der Dicke der Beschichtungszusammensetzung **16**. Eine dickere Beschichtungszusammensetzung **16** wird eine größere Menge fluoreszierenden Materials enthalten als eine dünne Beschichtung und wird Lichtwellen **24** mit einer größeren Intensität erzeugen als eine dünne Beschichtung. Diese Eigenschaft wird bei Beschichtungen beobachtet, die genügend dünn sind, so dass sie keine signifikante Absorption der Wellenlänge λ_2 aufweisen.

[0023] Es ist zu vermerken dass, obwohl die Wellenlängen als λ_1 und λ_2 bezeichnet werden, jede dieser Wel-

Wellenlängen, und die anderen Wellenlängen, auf die hier Bezug genommen wird, nicht notwendigerweise gesonderte einzelne Wellenlängen sein müssen, sondern eine oder mehrere Wellenlängen sein können, die allgemein als z.B. λ_1 etc. bezeichnet werden. Die Lichtwellen **22**, die von der Lichtquelle emittiert werden, können also mehr als nur eine Wellenlänge haben. In der Tat emittiert die Lichtquelle **18** in vielen Ausführungen ein Lichtspektrum, das eine Anzahl verschiedener Wellenlängen enthält. In diesen Fällen bezeichnet λ_1 dieses Spektrum von Wellenlängen des Lichts statt einer einzelnen Wellenlänge. Desgleichen können die emittierten Lichtwellen λ_2 ein Spektrum von Licht sein. Allerdings sind, auch wenn λ_1 und λ_2 jeweils gesonderte Lichtspektren sind, und etwas überlappen können, die beiden Spektren nicht identisch.

[0024] Die Lichtquelle **18** ist eine Strahlungsenergiequelle.

[0025] Die Strahlungsenergie ist jede Art von Strahlungsenergie, die eine Fluoreszenz des fluoreszierenden Materials in der Beschichtungszusammensetzung **16** erzeugt. Beispiele nützlicher Strahlungsenergiequellen umfassen solche, die thermische Energie emittieren (Wärme oder Infrarotstrahlung), Elektronenstrahlstrahlung, Mikrowellenstrahlung, UV-Strahlung, Gammastrahlung, sichtbare Strahlung und ähnliches.

[0026] Die Festkörperanordnung **20** umfasst eine Vielzahl lichtempfindlicher Elemente. Diese Elemente werden durch ihre Fähigkeit gekennzeichnet, Licht zu absorbieren, und eine elektronische Ausgabe der gleichzeitigen Lichtintensität bei einer Vielzahl gemessener Punkte entlang der beschichteten Oberfläche **12** bereitzustellen.

[0027] Bei jedem gemessenen Punkt wird die Dicke der Beschichtungszusammensetzung durch die Formel:

$$\text{Dicke der beschichteten Oberfläche} = \frac{T_{S_i}}{(I_{R_i} - I_{B_i})} \times (I_{S_i} - I_{B_i})$$

wiedergegeben, wobei

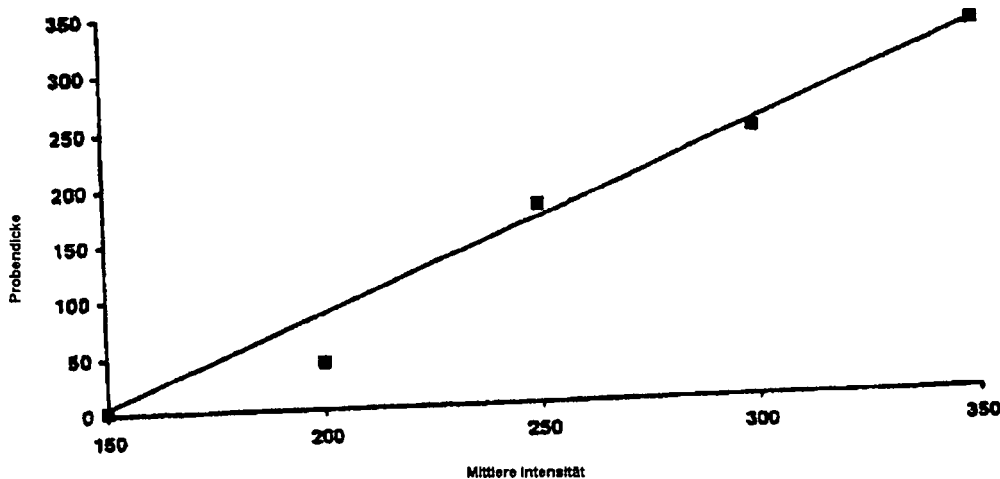
T_{S_i} = Dicke der beschichteten Oberfläche;
 T_{R_i} = Referenzdicke;
 I_{R_i} = Referenzintensität;
 I_{B_i} = Intensität der Unterlage;
 I_{S_i} = Intensität der beschichteten Oberfläche;

[0028] Die Beziehung zwischen der Beschichtungsdicke und der Intensität ist nachfolgend in Tabelle 1 und Diagramm 1 dargestellt. Wie in Tabelle 1 und Diagramm 1 angegeben, nimmt die mittlere Intensität des Lichtes zu, wenn die Dicke der Beschichtungszusammensetzung zunimmt. Während das generelle Prinzip auf verschiedene Beschichtungszusammensetzungen anwendbar ist, ist zu bedenken, dass die Neigung der Intensitätslinie in Diagramm 1 je nach dem fluoreszierenden Material in der Beschichtungszusammensetzung variiert. Dementsprechend wird eine Beschichtungszusammensetzung mit einer geringen Menge fluoreszierenden Materials eine steilere Intensitätslinie erzeugen, während eine hohe Menge fluoreszierenden Materials eine flachere Intensitätslinie erzeugen wird.

TABELLE 1

<u>Probendicke</u>	<u>Mittlere Intensität</u>	<u>Standardabweichung der mittleren Intensität</u>
350 nm	325.05	2.11
300 nm	238.85	0.49
250 nm	176.55	0.69
200 nm	42.65	0.62
150 nm	2.25	0.57

Diagramm 1



[0029] Aufgrund von statistischem Rauschen und der Ungleichmäßigkeit des optischen Feldes des Messsystems tendiert auch bei einer vollkommen gleichmäßig beschichteten Oberfläche oder Unterlage die Ausgabe der Festkörperanordnung dazu, eine nichtlineare Kurve zu sein. Deswegen kann die Intensität des Lichtes der zweiten Wellenlänge nicht immer durch ein arithmetisches Mittel der Ausgaben der Elemente der Anordnung bestimmt werden, weil, zum Beispiel, die Optik einen größeren Prozentsatz des Lichts von den zentralen Elementen der Anordnung als von den peripheren Elementen der Anordnung zurückgeben kann.

[0030] Um diesen Unterschied zu korrigieren, wird eine glatte Kurve $P(x)$ an die Ausgabe der Festkörperanordnung angepasst, wobei x die Position quer zur Bahn ist. Das Maximum dieser Anpassungskurve wird als die gemessene Intensität definiert, und das Verhältnis des Maximalwertes und der Anpassungskurve liefert einen Normalisierungskoeffizienten $G(x)$ für jedes Element der Anordnung. $G(x)$ ist zeitunabhängig.

[0031] Zusätzlich zu der Normalisierung wird die Dicke gegen die Intensitätskurve durch eine Kalibrierung vorherbestimmt. Diese Kurve, d.h. eine Funktion $T = F(I)$, wobei T = Dicke und I = Intensität ist, zeigt die Beziehung zwischen der Dicke einer beschichteten Oberfläche T und der Intensität $I = I_S - I_B$, wobei I_S und I_B jeweils die gemessenen Intensitäten der beschichteten Oberfläche und der Unterlage sind. Die Kurve wird erzeugt, indem einheitliche Proben der Unterlage mit verschiedenen bekannten Beschichtungsdicken T_{Ri} beschichtet werden, und dann ihre Intensität I_{Ri} und die Intensitäten der Unterlagen I_{Bi} gemessen werden. Experimente haben gezeigt, dass die Beziehung zwischen der Beschichtungsdicke und der Intensität der Fluoreszenz im Bereich dünner Beschichtungsdicken linear ist. Dementsprechend wird eine Gerade an die Kalibrierungsdaten (T_{Ri}, I_{Ri}, I_{Bi}) angepasst. Diese Gerade ist die Kurve Dicke gegen Intensität im Bereich von dünnen Beschichtungsdicken. Um eine genaue Kurve Dicke gegen Intensität zu erhalten, werden vorzugsweise mehrere Proben mit bekannter Beschichtungsdicke gemessen. Zusätzlich sollte die Beschichtungsdicke dieser Proben vorzugsweise gleichmäßig im Bereich der dünnen Beschichtungsdicken verteilt sein.

[0032] Die Intensität einer gleichmäßigen Probe I_{Rc} , die zur Kalibrierung der Kurve Dicke gegen Intensität gemessen wird, kann von der in Echtzeit gemessenen Intensität der gleichen Probe, sagen wir I_{Rr} , verschieden sein. Desgleichen kann die Intensität einer gleichmäßigen Unterlage I_{Bc} , die bei der Kalibrierung gemessen wird, von der in Echtzeit gemessenen Intensität der gleichen Unterlage, sagen wir I_{Br} , verschieden sein. Allerdings zeigen die Ergebnisse der Experimente, dass das Verhältnis:

$$\rho = \frac{I_{Rc}}{I_{Rr}} = \frac{I_{Bc}}{I_{Br}}$$

im wesentlichen unabhängig von der Dicke der Probe ist, und über einen relativ langen Zeitraum stabil ist. ρ ist ein Koeffizient, der allfällige Änderungen der Lichtintensität etc. mit der Zeit kompensiert. I_{Br} ist auch über einen relativ langen Zeitraum stabil und ist unabhängig von der Position quer zur Bahn, wenn die Unterlage gleichmäßig ist.

[0033] Die Echtzeitausgabe eines Elements der Anordnung, sagen wir $I_s(x, t)$, wobei x und t jeweils die Position quer zur Bahn und die Zeit darstellen, kann wie folgt bestimmt werden

$$T_s(x, t) = F(I(x, t))$$

wobei

$$I(x, t) = (I_s(x, t) \cdot \zeta G(x) - I_{Br}) \cdot p$$

[0034] Wir beziehen uns jetzt auf [Fig. 2](#), die eine schematische Vorderansicht einer Festkörperanordnung von lichtempfindlichen Elementen **20** darstellt. Die lichtempfindlichen Elemente sind als individuelle Elemente gezeigt, die als A, B, C, D etc. aufgeführt sind. Die Anordnung lichtempfindlicher Elemente **20** ist oberhalb der Beschichtungszusammensetzung angeordnet wie in [Fig. 1](#) gezeigt. Jedes Element A, B, C, D etc. entspricht einem bestimmten Anteil der Beschichtungszusammensetzung. Im Allgemeinen ist die Auflösung umso größer, und die Messungen umso detaillierter, je größer die Anordnung ist.

[0035] Das fluoreszierende Material in der Beschichtungszusammensetzung ist gewählt unter den Verbindungen, die (anregende) Strahlungsenergie einer ersten Wellenlänge absorbieren und Strahlungsenergie einer zweiten Wellenlänge fluoreszieren (emittieren). Die anregende Wellenlänge λ_1 ist üblicherweise in einem Bereich von anregenden Wellenlängen, wobei eine oder mehrere Wellenlängen in dem Bereich der anregenden Wellenlängen nützlich sind, um das fluoreszierende Material zum fluoreszieren von Strahlungsenergie anzuregen. Die emittierte Wellenlänge λ_2 ist in einem Bereich von Wellenlängen enthalten, die von dem fluoreszierenden Material bei Anregung fluoresziert werden.

[0036] In spezifischen Ausführungen liegen die anregenden Wellenlängen λ_1 irgendwo im Bereich von etwa 250 bis 550 Nanometern, oder von 250 bis 440 Nanometern. Die emittierten Wellenlängen λ_2 fallen irgendwo in den Bereich von 300 bis 600, oder von 300 bis 450 Nanometer. Üblicherweise ist die anregende Wellenlänge λ_1 kürzer als die emittierte Wellenlänge λ_2 .

[0037] Die Intensität des emittierten Lichtes von dem beschichteten Film **12** wird variieren, basierend auf der Menge von fluoreszierendem Material in der Beschichtungszusammensetzung **16**. Bevorzugte fluoreszierende Materialien umfassen, aber sind nicht begrenzt auf: Biphenyl, Fluor und Fluorderivate wie NN-Decylfluor, 9-9-Dibutylfluor, und 9,9-Decyl, 9-Methylfluor. In der Praxis der vorliegenden Erfindung kann die Intensität der Strahlungsenergie, die durch das fluoreszierende Material emittiert wird, bei jeder Wellenlänge λ_2 in einem Bereich von Wellenlängen gemessen werden, die von dem fluoreszierenden Material bei Anregung emittiert werden. Des Weiteren kann jede Wellenlänge λ_1 des anregenden Spektrums verwendet werden, um ein fluoreszierendes Material anzuregen, und eine Fluoreszenz im Wellenlängenbereich der Emissionsspektren zu erzeugen. Vorzugsweise wird die anregende Wellenlänge λ_1 so gewählt, dass Interferenz mit der gemessenen emittierten Wellenlänge λ_2 vermieden wird. Zum Beispiel, wenn das fluoreszierende Material Biphenyl ist, sollte die Anregungsenergie, die verwendet wird, um die Emission von Fluoreszenz bei einer Wellenlänge von etwa 290 Nanometern zu messen, vorzugsweise weniger als 270 Nanometer sein. In bestimmten Ausführungen der vorliegenden Erfindung ist die Wellenlänge der Anregungsenergie kürzer als die Wellenlänge der emittierten Energie.

[0038] Eine andere Ausführung der vorliegenden Erfindung ist in [Fig. 3](#) gezeigt, die einen schematischen Querschnitt eines Systems **110** zum Messen der Dicke einer beschichteten Oberfläche darstellt. Das System **110** gibt höchst genaue, hochauflösende Echtzeitmessungen der Dicke des beschichteten Films **112**. Der beschichtete Film umfasst einen Trägerfilm **114** und eine Beschichtungszusammensetzung **116**. Die Lichtquellen **118** und die Festkörperanordnung **120** emittieren bzw. empfangen Strahlungsenergie. Lichtwellen mit einer Wellenlänge **122** von λ_{1a} werden von den Lichtquellen **118** emittiert. Die Lichtquellen **122a** werden durch Bandpassfilter **126** gefiltert. Die Bandpassfilter **126** verschmälern das Spektrum der Lichtwellen **122a** und nur Lichtwellen **122b** mit einer Wellenlänge λ_{1b} passieren durch die Filter **126**. Dementsprechend ist λ_{1b} eine Untergruppe von λ_{1a} , und die Lichtwellen **122b** sind eine Untergruppe der Lichtwellen **122a**. Die Intensität der Lichtwellen **122b** ist notwendigerweise gegenüber der Intensität der Lichtwellen **122a** reduziert. Das Durchführen der Lichtwellen **122a** durch den Bandpassfilter **126** erlaubt die Auswahl eines bestimmten Spektrums oder einer bestimmten Wellenlänge von Licht λ_{1b} von anregendem Licht, und erlaubt auch das Entfernen unerwünschter Anteile aus dem Licht **122a**. Zum Beispiel ist es in bestimmten Ausführungen vorteilhaft, Licht der Emissionswellenlänge der Beschichtungszusammensetzung **116** zu entfernen. Die Entfernung der Emissionswellenlänge ist wichtig, um zum Beispiel zu verhindern, dass Lichtreflexion von der Beschichtungszusammensetzung die Messung des emittierten Lichtes stört. Wenn das reflektierte Licht und das emittierte Licht die gleiche Wellenlänge haben, kann die gemessene Dicke der Beschichtung durch das Messen von reflektiertem Licht fälschlicherweise vergrößert werden.

[0039] Die Beschichtungszusammensetzung **116** absorbiert anregendes Licht **122b** einer Wellenlänge λ_{1b} und emittiert Licht **124a** der Wellenlänge λ_{2a} . Das Emittierte Licht **124a** wird durch einen zweiten Bandpassfilter **128** geführt, der das Spektrum von λ_{2a} auf λ_{2b} verengt. Das Verengen des Spektrums von λ_{2a} auf λ_{2b} wird durchgeführt, um genaue Messungen zu erleichtern, indem das Licht **124b**, das auf der Festkörperanordnung lichtempfindlicher Elemente auftrifft auf eine spezifische Wellenlänge begrenzt wird, oder auf Wellenlängen, die das von der fluoreszierenden Beschichtung emittierte Licht umfassen und das reflektierte Licht herausfiltern.

[0040] Fig. 3 zeigt auch eine Verarbeitungseinheit **130** und einen Regelkreis mit Rückführung **132**, die zur Beschichtungszusammensetzung **134** führt. Die Verarbeitungseinheit **130** empfängt die gemessenen Intensitäten des Lichts **124b** und bestimmt, ob die Beschichtung gleichmäßig mit einer gewünschten Dicke aufgetragen wird oder nicht.

[0041] Wenn die Beschichtung nicht richtig aufgetragen wird, wirkt die Verarbeitungseinheit **130** über den Regelkreis mit Rückführung **132** auf die Beschichtungsauftragung **134** zurück, und die Dicke der aufgetragenen Beschichtungszusammensetzung wird angepasst.

[0042] Die verschiedenen oben beschriebenen Ausführungsformen werden nur zur Darstellung angeboten und sollten nicht als Begrenzung der Erfindung interpretiert werden. Fachleute werden leicht verschiedene Modifikationen und Abänderungen erkennen, die an der vorliegenden Erfindung vorgenommen werden können, ohne strikt den beispielhaften Ausführungsformen und Anwendungen zu folgen, die hierin dargestellt und beschrieben werden, ohne dass vom Anwendungsbereich der vorliegenden Erfindung abgewichen wird, der in den folgenden Ansprüchen dargestellt wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Messen der Dicke einer Beschichtung auf einer sich bewegenden Bahn, mit den folgenden Schritten:

- Bereitstellen einer Bahnoberfläche mit einer fluoreszierenden Beschichtung (**16**);
- Bereitstellen einer Strahlungsenergiequelle;
- Richten einer ersten Wellenlänge λ_1 von Licht aus der Strahlungsenergiequelle auf die beschichtete Bahnoberfläche, so dass die beschichtete Oberfläche (**16**) die erste Wellenlänge λ_1 des Lichts absorbiert und eine zweite Wellenlänge λ_2 von Licht emittiert;
- Messen der Intensität der zweiten Wellenlänge λ_2 des Lichts durch Verwendung einer Festkörperanordnung (**20**) lichtempfindlicher Elemente, wobei jedes Element (A, B, C, D) Licht misst, das einem Abschnitt der Bahnoberfläche entspricht; und
- Bestimmen der Dicke der Beschichtung auf Basis der gemessenen Intensität der zweiten Wellenlänge λ_2 des Lichts aus der Anordnung lichtempfindlicher Elemente, wobei das Bestimmen der Dicke der Beschichtung das Bereitstellen eines Normalisierungskoeffizienten $G(x)$, wobei x die Position quer zur Bahnrichtung ist, und das Normalisieren der gemessenen Intensität der zweiten Wellenlänge λ_2 des Lichts an jedem Anordnungselement basierend auf der Position des gemessenen Abschnitts der Bahnoberfläche quer zur Bahnrichtung umfasst.

2. Verfahren zum Messen der Dicke einer Beschichtung nach Anspruch 1, wobei die gemessene Intensität der zweiten Wellenlänge λ_2 des Lichts im Wesentlichen proportional zu der Dicke der Beschichtung ist.

3. Verfahren zum Messen der Dicke einer Beschichtung nach Anspruch 1, wobei das Verfahren ferner aufweist:

Vergleichen der gemessenen Intensität (I_{S_i}) des Lichts, das von einer Oberfläche mit unbekannter Beschichtungsdicke emittiert wird, mit der gemessenen Intensität (I_{R_i}) des Lichts, das von einer Oberfläche mit Licht emittierenden Eigenschaften emittiert wird, die dieselben wie eine Oberfläche mit einer bekannten Beschichtungsdicke sind.

4. Verfahren zum Messen der Dicke einer Beschichtung nach Anspruch 1, wobei die erste Wellenlänge λ_1 des Lichts im Ultraviolettpektrum liegt, wobei die zweite Wellenlänge λ_2 des Lichts im Ultraviolettpektrum liegt und wobei die erste Wellenlänge λ_1 des Lichts kürzer als die zweite Wellenlänge λ_2 des Lichts ist.

5. Verfahren zum Messen der Dicke einer Beschichtung nach Anspruch 1, wobei das Verfahren ferner aufweist:

Bereitstellen eines optischen Bandpassfilters (**128**) zwischen der Strahlungsenergiequelle und der beschichteten Oberfläche, wobei der optische Bandpassfilter (**128**) den Durchgang eines schmalen Wellenlängenban-

des des Lichts gestattet.

6. Verfahren zum Messen der Dicke einer Beschichtung nach Anspruch 1, wobei das Verfahren ferner aufweist:

Bereitstellen eines optischen Bandpassfilters (128) zwischen der beschichteten Oberfläche und der Anordnung (120) lichtempfindlicher Elemente, wobei der optische Bandpassfilter den Durchgang eines schmalen Bands ultravioletten Lichts gestattet.

7. Verfahren zum Messen der Dicke einer Beschichtung nach Anspruch 5, wobei das den Bandpassfilter (128) passierende Licht eine Wellenlänge von 250 nm bis 550 nm hat.

8. Verfahren zum Messen der Dicke einer Beschichtung nach Anspruch 6, wobei das den Bandpassfilter (128) passierende Licht eine Wellenlänge von 300 nm bis 600 nm hat.

9. Verfahren zum Messen der Dicke einer Beschichtung nach Anspruch 1, wobei das Verfahren ferner aufweist:

Zufügen eines Materials mit Fluoreszenzeigenschaften zu der Beschichtung.

10. Verfahren zum Messen der Dicke einer Beschichtung nach Anspruch 1, wobei die Dicke der Beschichtungszusammensetzung durch die Formel

$$\text{Dicke_der_beschichteten_Oberfläche} = T_{S_i} = \frac{(T_R)}{(I_{R_i} - I_{B_i})} \times (I_{S_i} - I_{B_i})$$

bestimmt wird, wobei

T_{S_i} = Dicke der beschichteten Oberfläche;

T_R = Referenzdicke;

I_{R_i} = Referenzintensität;

I_{S_i} = Intensität der beschichteten Oberfläche;

I_{B_i} = Intensität der Unterlage.

11. Verfahren zum Messen der Dicke einer Beschichtung auf einer Bahn, wobei das Verfahren aufweist:

a) Bereitstellen einer Oberfläche mit einer fluoreszierenden Beschichtung;

b) Bereitstellen einer Strahlungsenergiequelle;

c) Richten einer ersten Wellenlänge λ_1 von Lichts aus der Strahlungsenergiequelle auf die beschichtete Bahnoberfläche, so dass die beschichtete Oberfläche die erste Wellenlänge λ_1 des Lichts absorbiert und eine zweite Wellenlänge λ_2 von Licht emittiert;

d) Messen der Intensität der zweiten Wellenlänge des Lichts durch Verwendung einer Festkörperanordnung (20, 120) lichtempfindlicher Elemente (A, B, C, D), wobei jedes Element Licht misst, das einem Abschnitt der Bahnoberfläche entspricht; und

e) Bestimmen der Dicke der Beschichtung auf Basis der gemessenen Intensität der zweiten Wellenlänge λ_2 des Lichts aus der Anordnung lichtempfindlicher Elemente, wobei das Bestimmen der Dicke der Beschichtung das Bereitstellen eines Normalisierungskoeffizienten $G(x)$, wobei x die Position quer zur Bahnrichtung ist, und das Normalisieren der gemessenen Intensität der zweiten Wellenlänge λ_2 des Lichts an jedem Anordnungselement basierend auf der Position des gemessenen Abschnitts der Bahnoberfläche quer zur Bahnrichtung umfasst.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

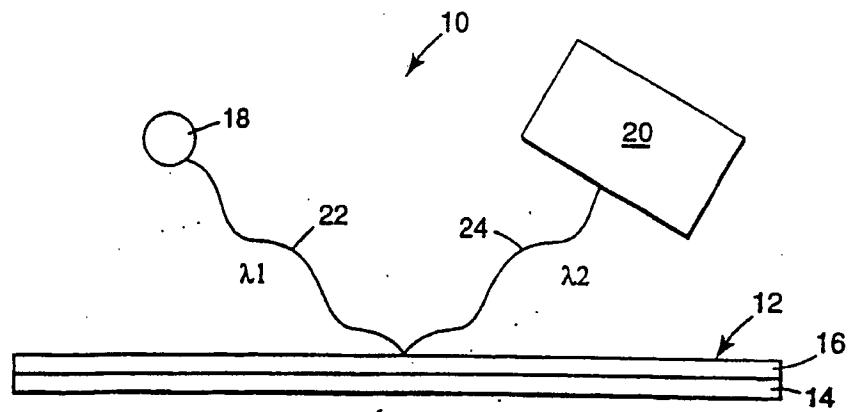


Fig. 1

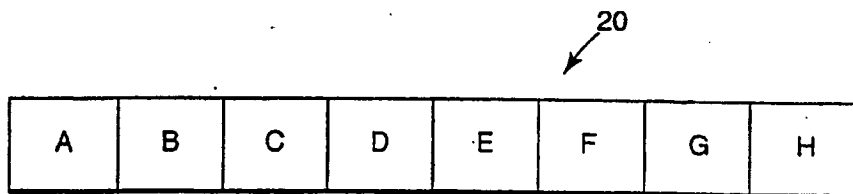


Fig. 2

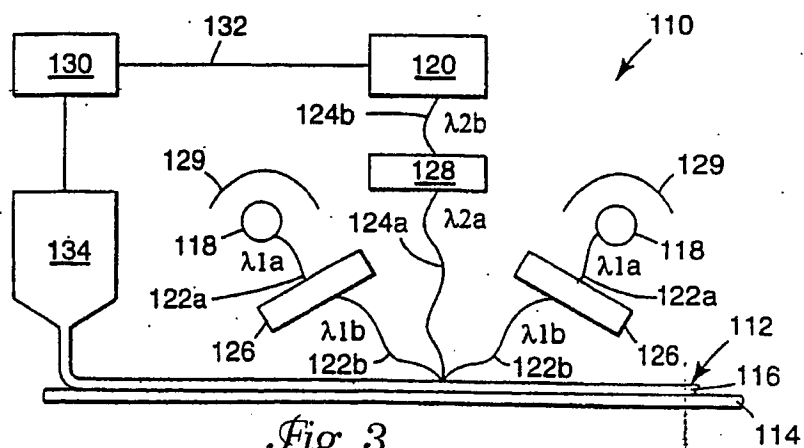


Fig. 3