

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第4664971号
(P4664971)

(45) 発行日 平成23年4月6日 (2011.4.6)

(24) 登録日 平成23年1月14日 (2011.1.14)

(51) Int. Cl.

F I

GO 1 B 11/06 (2006.01)

GO 1 N 21/35 (2006.01)

GO 1 J 3/51 (2006.01)

GO 1 B 11/06 Z

GO 1 N 21/35 B

GO 1 J 3/51

請求項の数 10 (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2007-509711 (P2007-509711)	(73) 特許権者	500575824
(86) (22) 出願日	平成17年4月22日 (2005.4.22)		ハネウェル・インターナショナル・インコーポレーテッド
(65) 公表番号	特表2007-534945 (P2007-534945A)		アメリカ合衆国ニュージャージー州07962-2245, モーリスタウン, コロンビア・ロード 101, ピー・オー・ボックス 2245
(43) 公表日	平成19年11月29日 (2007.11.29)	(74) 代理人	100089705
(86) 国際出願番号	PCT/US2005/014075		弁理士 社本 一夫
(87) 国際公開番号	W02005/106387	(74) 代理人	100140109
(87) 国際公開日	平成17年11月10日 (2005.11.10)		弁理士 小野 新次郎
審査請求日	平成20年3月13日 (2008.3.13)	(74) 代理人	100075270
(31) 優先権主張番号	10/831, 074		弁理士 小林 泰
(32) 優先日	平成16年4月24日 (2004.4.24)	(74) 代理人	100080137
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 千葉 昭男
		最終頁に続く	

(54) 【発明の名称】 多チャンネル赤外線センサを使用した薄膜厚さの測定

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

- (a) プローブ放射光線 (40、41、42、43、44) を発するステップと、
- (b) 測定される膜 (69) を通して前記プローブ光線を透過させるステップと、
- (c) 前記膜 (69) を透過した前記光線を、ビームスプリッタ (66) で複数の平行光線に分割するステップと、
- (d) 所定の周波数帯を通すように設計された個々のフィルタ (67) 中を各平行光線を透過させるステップと、
- (e) 所定の各周波数帯を透過したエネルギーを光導電検出器 (57、63) で検出し記録するステップと、
- (f) 前記所定の周波数帯を透過したエネルギーのデータ (45) を曲線あてはめアルゴリズムで利用してスペクトル縞の特性曲線全体を回復するステップと、
- (g) 縞カウント法を利用して前記膜 (69) の特性を計算するステップとを含む、膜の特性の解析方法。

【請求項 2】

前記フィルタ (67) が帯域フィルタである請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記フィルタ (67) が狭帯域フィルタである請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

前記選択された全周波数帯における前記透過したエネルギーが同時に読み取られる請求

項 1 に記載の方法。

【請求項 5】

周波数帯の異なる少なくとも 2 つのフィルタ (6 7) が使用される請求項 1 に記載の方法。

【請求項 6】

前記特性が前記膜の厚さを測定した、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 7】

測定される膜 (6 9) を通るプローブ放射光線 (4 0 、 4 1 、 4 2 、 4 3 、 4 4) を発する手段と、

前記膜 (6 9) を透過した前記光線 (6 6) を複数の平行光線に分割する手段と、

それぞれ、様々な所定の周波数帯を平行光線が通過することを可能にする複数のフィルタ (6 7) と、

所定の各周波数帯を透過した前記エネルギーを検出し記録するための光導電検出器手段 (5 7 、 6 3) と、

前記所定の周波数帯を透過したエネルギーのデータを曲線あてはめアルゴリズムで利用してスペクトル縞の特性曲線全体を回復し、縞カウント法を利用して前記膜 (6 9) の特性を計算するための電子的手段 (4 5) とを含む、膜の特性の解析システム。

【請求項 8】

前記フィルタ (6 7) が帯域フィルタである請求項 7 に記載のシステム。

【請求項 9】

前記フィルタ (6 7) が狭帯域フィルタである請求項 7 に記載のシステム。

【請求項 10】

選択された全周波数帯における前記透過したエネルギーが同時に読み取られる請求項 7 に記載のシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、厚さや斤量など薄膜の特性を測定するための装置および方法に関する。

【背景技術】

【0002】

薄膜は、紙など別の材料の表面上にある材料の層である。薄膜は多くの製品に不可欠な構成要素である。一般的な例には、粘着ラベル用の剥離材被覆として使用される紙上のシリコン薄膜被覆、ならびに肌を乾燥させておく手段として水分を通さないようにおむつおよび他の衛生用品を内張りするシリコン膜がある。これらの製品で一般に使用される膜の厚さは、1 ナノメートル (1 0 Å) 未満から数百マイクロメートルである。それらは、スピンコーティング、真空蒸着、スパッタリング、気相成長およびディップコーティングを含めた異なる多くの方法によって形成され得る。所望の機能を果たすために、薄膜は、適切な厚さ、組成および他の重要な特性を有する必要がある。これらの特性は、製造中も製造後も正確に監視されなければならない。

【0003】

薄膜の厚さは、一般に、スタイラスベースの技術または光学技術によって測定される。スタイラス技法では、先端が細くなったスタイラスが膜の表面に沿って引きずられるときの偏光を監視することにより厚さを測定する。スタイラス器具は、測定されている薄膜を実際に損傷する恐れがあり、速度および精度が制限される。光学技法は、膜と光の相互作用を計測することにより膜厚を測定するものであり、非破壊でより正確である。光学技法はまた、供試体を下準備する必要が全くまたは殆どないので、通常好まれる。

【0004】

ある光学技法は、赤外線 (I R) スペクトルの 2 つ以上の波長帯域で供試体に吸収された光の相対量を測定することによって動作する。最も簡単な場合では、測定帯域と基準帯域の 2 つの帯域が使用される。測定帯域は、対象材料 (測定される膜) 中の強い吸収帯域

10

20

30

40

50

と一致するように選択され、基準帯域は対象材料の吸収が弱い領域と合致するように選択される。より複雑な場合では、ある対象の測定帯域が別の対象の基準帯域であり得る。

【0005】

透過測定は、 $I = I_0 e^{-\mu w}$ であるとするベールの法則に基づく。式中、 I_0 は供試体がない場合の信号、 I は供試体がある場合の信号、 μ は吸収係数、 w は供試体の重量である。これは、等価には $w = (1/\mu) \ln(I_0/I)$ と書かれ得る。したがって、IR放射の所与の波長において、膜の重量すなわち厚さは減衰の対数に比例する。

【0006】

実際には、薄膜領域で測定するとき、干渉縞の影響により、そのような透過法の精度は制限される。膜表面から反射された光と膜を透過した光の干渉により、測定された薄膜の透過スペクトル中の縞が発生する。図1中に例が示されており、これは16 μm ポリアミド膜の透過が様々な波長で測定されたときに生じる干渉縞31を示す。その結果、そのような膜用のセンサの較正誤差が著しく増加し、測定が不正確になる。IR放射の場合、下限は約15～30ミクロンであり、膜の材料に依存する。

【0007】

干渉縞の影響を理解するために、図2中に示されるように別の材料上に堆積された厚さ d および屈折率 n の薄膜について考える。膜の上面および下面は、どちらも入射光の一部を反射するはずである。反射光の総量は、この2つの反射の和である。光の波としての性質のために、2つの境界面からの反射は、それらの位相関係に応じて、互いに強め合うかまたは弱め合うように加算し得る。それらの位相関係は、2つの反射の光学距離の差によって決定され、この距離の差は膜の厚さ d によって決定される。この光の通路が光の1波長と等しいとき、2つの反射は同相であり、したがって強め合う加算となる。膜上に垂直に入射する光では、 $2nd = i\lambda$ のときこれが起こる。式中、 d は膜の厚さ、 i は整数、 λ は入射放射の自由空間波長である。(係数2は、光が2つの境界面を通過することを反映している。)反対に、同相条件と異なって光の経路が波長の半分のとき、すなわち $2nd = (i + 1/2)\lambda$ のとき、反射は位相がずれており、弱め合う加算となる。

【0008】

これらの反射の定性的な側面は、1つの式に組み合わされることができる。

$$R = A + B \cos(2\pi nd/\lambda)$$

この式から、反射率が波数 $1/\lambda$ で周期的に変化することが分かる。さらに、所与の波長(屈折率の係数 n は波長に依存する)では、振動の周波数はフィルム厚 d に比例する。反射されない光、すなわち透過光は、膜の反対側に配置されたセンサによって検出され得る。それは、非振動信号に重畳された同様の周期的成分を有することになる。

【0009】

縞のスペクトル位置および強度が膜厚に依存するので、縞の形状を測定し、縞のパラメータから膜厚を抽出することにより、現行の透過センサを薄膜領域へ拡張することが可能である。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

本発明は、一部には、透過スペクトル中の干渉縞の形状を測定することにより透過センサの能力を薄膜測定用に拡張するための新規技法の開発に基づく。

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明の一態様は、膜厚を測定する方法を対象とし、この方法は、
プローブ放射光線を発するステップと、
測定される膜を通して前記プローブ光線を透過させるステップと、
膜を透過した光線を、ビームスプリッタで複数の平行光線に分割するステップと、
所定の周波数帯を通すように設計された個々のフィルタ中を各平行光線を通過させるステップと、

所定の各周波数帯を透過したエネルギーを光導電検出器で検出し記録するステップと、
前記所定の周波数帯を透過したエネルギーのデータを曲線あてはめアルゴリズムで利用
してスペクトル縞の特性曲線全体を回復するステップと、
縞カウント法を利用して膜の特性を計算するステップとを含む。

【0012】

本発明の別の態様は、膜厚を測定するためのシステムを対象とし、このシステムは、
測定される膜を通るプローブ放射光線を発する手段と、
膜を透過した光線を複数の平行光線に分割する手段と、
それぞれ、様々な所定の周波数帯を平行光線が通過することを可能にする複数のフィル
タと、

10

所定の各周波数帯を透過したエネルギーを検出し記録するための光導電検出器手段と、
前記所定の周波数帯を透過したエネルギーのデータを曲線あてはめアルゴリズムで利用
してスペクトル縞の特性曲線全体を回復し、縞カウント法を利用して膜の特性を計算する
ための電子的手段とを含む。

【発明を実施するための最良の形態】

【0013】

本発明によれば、新規な赤外線（IR）膜厚測定システムが提供される。具体的には、
本発明は、適切に選択されたフィルタを備える多重検出チャンネルを構成することによっ
て薄膜を測定するようにIRセンサの能力を拡張する新規な方法を提供する。本発明によ
り、吸収に基づく測定と同時に、またはその測定の代わりに、干渉縞の特有のシグナチュ
アが検出され得る。

20

【0014】

本システムは3つの主要部分を備える。（i）変調されたIRエネルギーの発生源、（
i i）IRエネルギーと測定される供試体との中で相互作用する供試体セル、および（
i i i）選択された全チャンネル上を伝達されるエネルギーが同時に読み取られる受光器
／解析器。

【0015】

図3はIR源組立体40を示す。IR源は、上部ヘッドと下部ヘッドの間の供試体に広
帯域IRのパルスを送る。IR源は、白熱灯41、ミラー42、およびIRエネルギーの
変調を支援するためのハードウェアからなる。水晶タングステン・ハロゲン・ランプが、
サイズがコンパクトであり、水晶の包絡面がこの応用例で対象となる周波数帯中のIRエ
ネルギーに対して透過性であるために使用される。ランプのフィラメントが小さいので、
ウィンドウ上にはほとんどのエネルギーを集束させることが可能である。水晶タングステン
・ハロゲン・ランプからの放射は、ミラー42によって光導管に集束される。必要とされ
る調節は、受光器での信号強度を最大にするように、ホルダ中でランプをスライドさせる
ことによってランプの焦点を合わせることだけである。

30

【0016】

IRエネルギーは、チョッパ43（好ましくは8つの等間隔の穴を備えた軽量で回転す
るステンレス鋼ディスク）で変調される。チョッパ43は、 $620 \pm 25 \text{ Hz}$ で放射を変
調するブラシレス直流モータ44によって駆動される。IRエネルギーを変調すると、受
光器内の検出器によって受け取られた信号が周囲光または検出器中で生成される低周波ノ
イズによって不明瞭になるのを防止することになる。

40

【0017】

供試体セルは、IR源と受光器ウィンドウの間の空間に配置される。ここに、測定され
る供試体膜が、IRエネルギーと相互作用するように置かれる。透過したIRエネルギー
が、汚れや、ヘッドの位置ずれもしくは分離など外部からの影響によらず、供試体の特性
のみによって決定されることが非常に重要である。

【0018】

図4に受光器組立体50が示されている。受光器の機能は、選択された全帯域の透過エ
ネルギーを同時に読み取ることである。これは、ビームスプリッタ（図5中の66）を使

50

用してエネルギーを一連の平行光線に分割することによって行われる。次いで、各光線は、所定の周波数帯を通すように設計されたフィルタを通され、光導電検出器によってその帯域の総エネルギーが検出される。検出器は、硫化鉛（PbS）タイプ、セレン化鉛（PbSe）タイプまたはシリコン（Si）タイプから選択され得る。各検出器は、受け取った信号を増幅し、直流に変換し、受信器に伝達する、専用の従来型電子回路57を有する。

【0019】

受光器組立体50は、好ましくは12チャンネルまで対応する能力を有し、必要に応じて追加チャンネルを装備することができる。中央のアルミニウム支柱51は、12チャンネルまで対応することができるソケット55を有する。中央の支柱51は、センサを冷却するための天井（図示せず）の水冷プレートに取り付けられる。

10

【0020】

図5は、中央の支柱65に取り付けられたチャンネルを示す。理解しやすいように、この図中では6つのチャンネルだけ取り付けたものが示されている。必要に応じて、追加のチャンネルが、ソケット55の所で中央の支柱51に取り付けられ得る。各チャンネルは、検出器63、IR帯域選択フィルタ67、レンズ68および支援電子回路を備える。本発明の一実施形態によれば、好ましくは12チャンネルまで同時に利用される。電子回路からの熱および検出器のペルチエ冷却は、検出器組立体から支柱55を通して水冷プレートまで導かれる。

20

【0021】

薄膜供試体69は、供試体セルに装着されて固定され、IR源40が、供試体を通して広帯域IRのパルス透過させるように動作される。受光器が、選択された全帯域の透過エネルギーを同時に読み取り、各検出器の出力は、信号処理回路45（図3、図4）に伝達されて信号を処理する。次いで、波長および透過率（%）が、電子的にグラフ上にプロットされ得る。

【0022】

図6は、フーリエ変換赤外（FTIR）分光計を用いた5μmおよび16μmのNYLON膜の測定から形成された干渉縞を示す。干渉縞の特有のシグナチャを検出するために、適切に選択された光フィルタが利用される。縞の下の斜線領域は、本発明の一実施形態による12チャンネルIRセンサ向けに提案されたフィルタの波長を表す。

30

【0023】

本発明の一実施形態では、狭帯域光フィルタが使用されることになる。これらのフィルタは、一般に、2つの阻止帯域で囲まれたスペクトル透過帯域を有する干渉フィルタであり、スペクトルの一部分のみを透過させる。これは、選択された波長を中心として高い透過をもたらす。ニュージャージー州パーシッパニーのSpectrogon US社から入手可能な光フィルタが適している。

【0024】

適切なフィルタが選択され得る前に、いくつかの条件が考慮に入れられなければならない。これらの条件は、利用可能なチャンネル数の制限および入手可能な市販フィルタの選択肢の制限によって規定される。

40

【0025】

第1に、IRセンサのチャンネルは、選択された光導電検出器が入射光に感応するスペクトル領域について較正されなければならない。光導電検出器用の感光素子（PbS、PbSeまたはSi）のタイプを切り替えることによって、中間帯IR（PbSeを使用）または可視（Siを使用）領域のスペクトルを検出することが可能である。PbSおよびSi検出器を使用すると、IR Plusセンサの全動作スペクトル範囲は、400nmから5000nmである。しかし、多くのプラスチック膜がこのスペクトル範囲で強い表面散乱および強い基礎吸収線を示し、正確に干渉縞を調査することは困難になる。これらの理由で、PbS検出器セルが好まれる。PbS検出器セルは、1000nmから3000nmまでのスペクトル感応範囲を有する。1600nmと1800nmの間のスペクトル

50

領域では、ほとんどのプラスチック膜は吸収線を示さないか、または弱い吸収線を示すだけである。このことは、測定可能な干渉縞の生成にとって重要である。

【0026】

第2に、IR検出器からの信号を単一波長に起因するものにするために、各チャンネル用のフィルタが透過させる帯域は、できるだけ狭くするべきである。この波長は、以下に論じられる正弦波回復アルゴリズムで使用されることになる。

【0027】

第3の要件は、干渉縞の形状を回復するために少なくとも半分の周期(P)が必要とされることから生じる。膜が薄いほど、スペクトルの縞の周期は幅が広がる。(5 μm膜および16 μm膜のスペクトルの縞の比較については図6を参照のこと。)このことから、より薄い膜のスペクトル範囲をカバーするために、選択されたフィルタの透過帯域の中心波長(CWL)が、互いに十分大きなスペクトル間隔で配置されることが必要となる。

【0028】

反対に、より厚い膜は、あてはめアルゴリズムで一意的な解を見出すために、縞の各半周期ごとに少なくとも3つの測定点を必要とする。センサの測定範囲を、縞がより高いスペクトル振動周波数を有するより厚い膜へ拡張するために、スペクトルをオーバーラップさせることなく、互いにできるだけ近接するCWLを有するフィルタを選ぶことが有利である。そうするには、薄膜および厚膜の両方をカバーするために、フィルタ選択の過程でトレードオフが必要となる。

【0029】

本発明の一実施形態によれば、選択された12のフィルタは、1620 nmから1840 nmの範囲のCWLを有する。フィルタの特性は表1に示されている。フィルタの透過帯域の半値幅(HW)が、図6に斜線領域として示されている。

【0030】

下の表に、Spectrogon社製の選択されたフィルタを列記する。

【0031】

【表1】

	フィルタの品番	CWL, nm	HW, nm
1.	NB-1560-009-B	1560	9
2.	NB-1620-010-B	1620	10
3.	NB-1630-010-B	1630	10
4.	NB-1640-010-B	1640	10
5.	NB-1650-010-B	1650	10
6.	NB-1680-010-B	1680	10
7.	NB-1690-010-B	1690	10
8.	NB-1710-010-B	1710	10
9.	NB-1720-010-B	1720	10
10.	NB-1730-010-B	1730	10
11.	NB-1740-010-B	1740	10
12.	NB-1765-010-B	1765	10
13.	NB-1775-010-B	1775	10
14.	NB-1790-010-B	1790	10
15.	NB-1805-010-B	1805	10
16.	NB-1820-010-B	1820	10
17.	NB-1840-010-B	1840	10
18.	NB-1875-010-B	1875	10
19.	NB-1905-010-B	1905	10
20.	NB-1930-010-B	1930	10
21.	NB-1940-010-B	1940	10

【0032】

図6のFTIR測定を利用すると、提案された12個のフィルタの通過帯域における透過率が確認され得る。5 μm および16 μm のNYLONに対するこれら12の値のセットにあてはめられた曲線は、シミュレートされた実験データとして使用され得る。これらのシミュレートされたIR透過データは、図7および図8中にプロットされている。

【0033】

次いで、Levenberg-Marquardtの非線形あてはめアルゴリズムなどのあてはめアルゴリズムが適用され、測定データを正弦曲線にあてはめる。

【0034】

計算は以下の通りである。 $V_d(x) = b + A \sin(2\pi f(x - c))$
式中、

V_d - IR検出器出力であり、IR透過%の測度である

x - 波数 (cm^{-1}) = $10000000 / \text{波長 (nm)}$

b 、 c - スケールオフセットのあてはめパラメータ

A - 縞の振幅

f - 波数空間における縞の振動周波数

あてはめアルゴリズムの目標は、測定された膜の所与の厚さに特有のパラメータ f を見出すことである。

【0035】

あてはめた結果は、以下の表中に示されている。

【0036】

【表2】

膜の厚さ μm	5	16
Chi^2	1.8E-6	30.0E-6
A	0.02137	0.02102
f	0.00158	0.00476
b	0.06023	0.05099
c	5436.0	5525.8

【0037】

Chi^2 は、あてはめの適合度を表す。縞のパラメータがFTIR分光計を使用して測定されている場合は、それらのパラメータがあてはめから得られたパラメータと比較されることができる。このシミュレーションは、第1の方法として、たった12のスペクトル位置における信号振幅を用いて、先行あてはめプロシージャを使用してスペクトルの縞の全体の形状を完全に回復することが可能なことを確認する。図9および図10は、あてはめルーティンの計算結果を示す。

【0038】

上記あてはめアルゴリズムは、波数空間における縞の振動周波数 f を与える。回復されたスペクトル縞の曲線から、最初および最後の回復された干渉縞のスペクトル位置を調べることにより、次式を使用して膜厚 d が抽出され得る。

【0039】

【数1】

$$2\pi d \left(\frac{n_1}{\lambda_1} - \frac{n_2}{\lambda_2} \right) = N\pi$$

【0040】

または、

【0041】

【数 2】

$$d = \frac{N\lambda_1\lambda_2}{2(n_1\lambda_2 - n_2\lambda_1)}$$

【0042】

式中、 λ_1 —最初の回復された干渉縞のスペクトル位置

λ_2 —最後の回復された干渉縞のスペクトル位置

n_1 —波長 λ_1 での膜の屈折率

n_2 —波長 λ_2 での膜の屈折率

N — λ_1 と λ_2 の間のスペクトルの縞の数

この縞カウント法を使用すると、2つの波長 λ_1 および λ_2 での屈折率が必要とされるだけである。

【0043】

Honeywell International 社（ニュージャージー州モリスタウン）によって I R - P l u s 赤外透過センサという名前で市販されている I R センサが、上記 I R 膜厚測定システムで使用するために改造され得る。本発明の一実施形態によれば、I R - P l u s センサは、同時に 12 本までの受光器チャンネルを使用するように適合され得る。この 12 本のチャンネルは、測定された膜の屈折率が既知かどうかによって、測定を行う前に較正を必要とすることがある。上記の式中で使用される正確な屈折率を決定するために、この手順中にいくつかの膜供試体が測定されるべきである。

【0044】

本発明の別の実施形態では、上記の技法を使用して透過スペクトル中の干渉縞の形状の測定に取りかかる前に、従来の吸収モードでの膜特性を測定して予備的近似値を得るために多チャンネルのセンサが使用され得る。例えば、多重赤外線センサチャンネルの 12 未満のチャンネル、例えば 2 本のチャンネルが吸収測定専用とされ、残りのチャンネルは干渉計測のために使用され得る。

【0045】

本発明の別の実施形態では、上記の薄い厚さの測定システムは、紙または他のフラットシートの生産プロセスでの使用に適合され得る。I R センサは、欠陥を検出し、かつ斤量および厚さのパラメータを測定するために、動いている巻取り紙を端から端まで走査するように適合され得る。図 11 は、そのようなシステムの概略図を示す。測定される巻取り紙 120 がコンベア 121 上に置かれ、コンベアが、I R 源 40 および受光器組立体 50 を通って巻取り紙を移動させる。あるいは、I R 源および受光器組立体は、互いに同期して移動可能であるように作製され得る。測定された厚さの変化は、測定された厚さと時間の関係をプロットするグラフで示され得る。

【0046】

紙の生産では、紙および厚紙中の質量分布が不均一なので、厚さは測定するのが困難な特性である。その結果、紙の表面は、数 μm から数 cm まで様々なスケールの小さな凹みや割れ目を有する。新聞用紙の「厚さ」は、微視的なスケールでは短い距離で 30% 変わることがある。厚さの正確な測定が、新聞紙の密度および斤量を計算するのに必要とされ、この測定は、強度および光学的性質に対して密度および斤量（b a s i s w e i g h t）が影響を及ぼすことから重要である。斤量は、坪量（g r a m m a g e）とも連量（r e a m w e i g h t）とも呼ばれ、その紙の等級用の所与の標準サイズに切断された紙の連（500 枚）の重量をポンドで表したものである。I S O の用紙寸法を使用する国々では、斤量は 1 平方メートルの紙のグラムで示される。

【0047】

1 つの巻取り紙の厚さを測定し記録する際の困難を克服するために、代わりに有効厚が測定され得る。巻取り紙の厚さプロファイルは、上記の方法を使用して、巻取り紙に沿っ

10

20

30

40

50

て2つの選択された個所で得られる。有効厚は、2つの測定値間の差の平均である。次いで、供試体の連の既知の重量および測定された紙の有効厚から、斤量が計算され得る。

【0048】

上記の、本発明の好ましい実施形態の説明は、例示および説明のために提供されたものである。それは、網羅的なものでも、本発明を開示された形態に厳密に制限するように意図されたものでもない。本発明の原理および実用的応用例について最もよく説明するために、多くの実施形態が選択され説明された。それによって、当業者は、様々な実施形態における、また企図される特定の使用に適する様々な変更を加えた本発明を理解することができる。本発明の範囲が、特許請求の範囲およびそれらの等価物によって定義されることが意図される。

10

【図面の簡単な説明】

【0049】

【図1】干渉縞を示す厚さ16 μm のポリアミド膜について測定されたパーセント透過と波長の関係のグラフである。

【図2】厚さdの薄膜を通過する光波の基本概念を示すグラフである。

【図3】本発明による赤外線膜厚測定システムの光源組立体を示す図である。

【図4】本発明による受光器組立体を示す図である。

【図5】受光器組立体の中央の支柱に取り付けられたチャンネルを示す図である。

【図6】5 μm および16 μm のNYLON膜の測定から形成された干渉縞を示す図である。

20

【図7】5 μm のNYLON膜の測定から得られたデータをプロットしたグラフである。

【図8】16 μm のNYLON膜の測定から得られたデータをプロットしたグラフである。

。

【図9】図8中に示されたデータに曲線あてはめ計算を行った結果を示すグラフである。

【図10】図9中に示されたデータに曲線あてはめ計算を行った結果を示すグラフである。

。

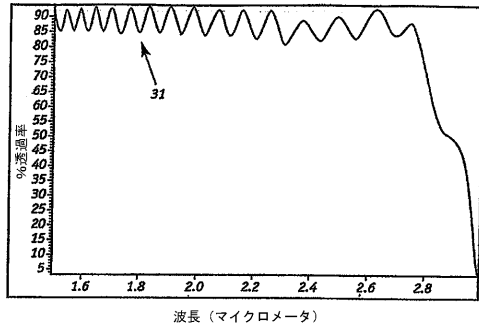
【図11】動いている巻取り紙を測定するように適合されたシステムを示す概略図である。

。

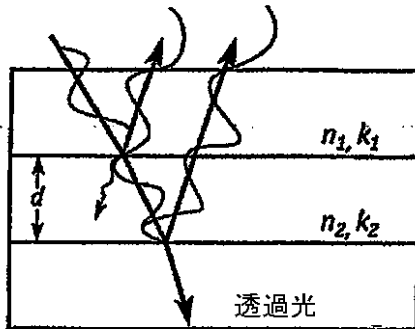
【図12】動いている巻取り紙で測定された厚さの経時的变化をプロットした例示的なグラフである。

30

【図 1】



【図 2】



【図 3】

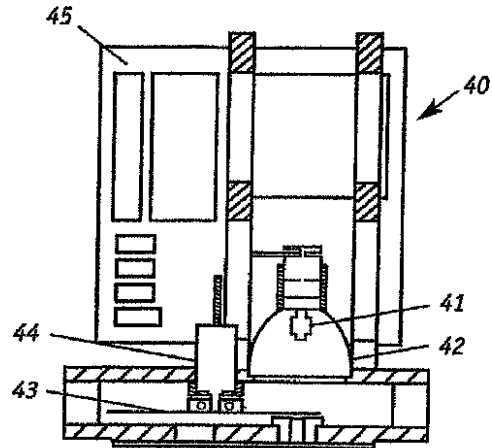


FIG. 3

【図 4】

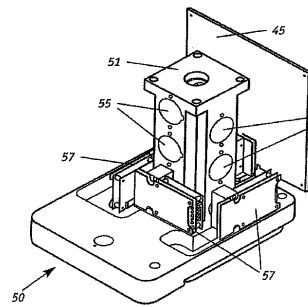


FIG. 4

【図 5】

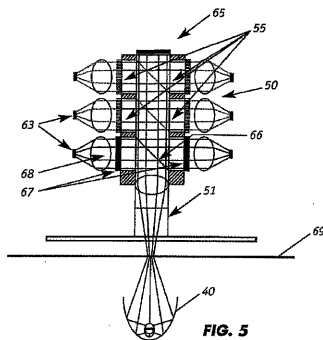
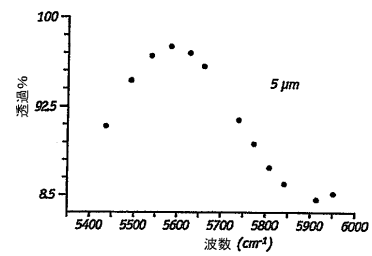
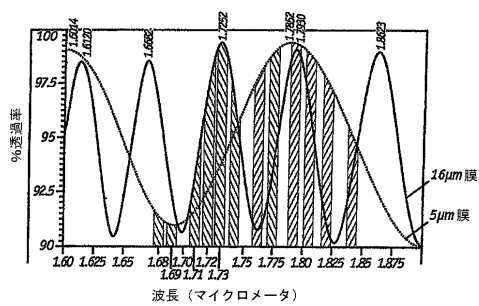


FIG. 5

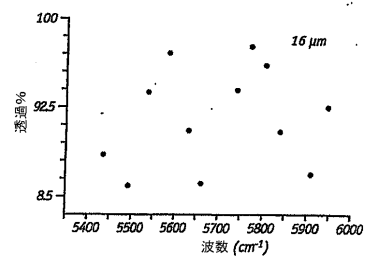
【図 7】



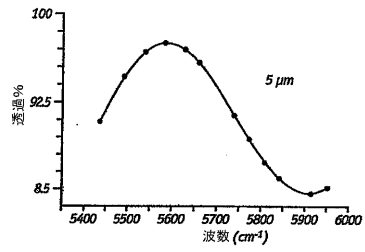
【図 6】



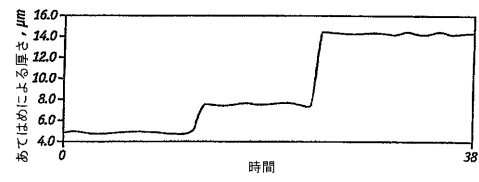
【図 8】



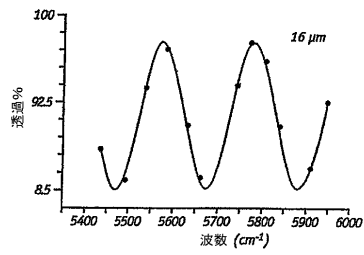
【図 9】



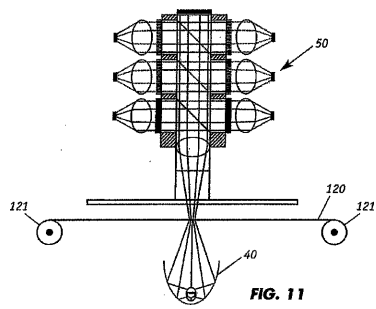
【図 12】



【図 10】



【図 11】



フロントページの続き

(74)代理人 100096013

弁理士 富田 博行

(74)代理人 100101373

弁理士 竹内 茂雄

(72)発明者 ゲルマネンコ, イゴール・エヌ

アメリカ合衆国カリフォルニア州 9 5 1 2 8, サン・ホセ, ウィルプウリーフ・ドライブ・ロード
9 3 6

(72)発明者 アクセルロッド, スティーヴ

アメリカ合衆国カリフォルニア州 9 4 0 2 2, ロス・アルトス, ロックハート・レーン 1 0 6

審査官 有家 秀郎

(56)参考文献 特表平 7-5 0 1 8 9 0 (J P, A)

特開平 4-1 3 1 7 0 4 (J P, A)

特開 2 0 0 1-9 9 7 1 0 (J P, A)

特開昭 6 3-2 9 8 0 3 0 (J P, A)

特開昭 5 5-7 5 6 0 5 (J P, A)

特開平 7-9 1 9 2 1 (J P, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., D B名)

G01B 11/00-11/30

G01J 3/51

G01N 21/00-21/958