

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5427896号
(P5427896)

(45) 発行日 平成26年2月26日(2014.2.26)

(24) 登録日 平成25年12月6日(2013.12.6)

(51) Int.Cl. F I
G O 1 B 11/06 (2006.01) G O 1 B 11/06 G

請求項の数 7 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2011-548872 (P2011-548872)	(73) 特許権者	000005821
(86) (22) 出願日	平成22年12月22日(2010.12.22)		パナソニック株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP2010/007439		大阪府門真市大字門真1006番地
(87) 国際公開番号	W02011/083544	(74) 代理人	100081422
(87) 国際公開日	平成23年7月14日(2011.7.14)		弁理士 田中 光雄
審査請求日	平成25年2月18日(2013.2.18)	(74) 代理人	100100158
(31) 優先権主張番号	特願2010-955 (P2010-955)		弁理士 鮫島 睦
(32) 優先日	平成22年1月6日(2010.1.6)	(74) 代理人	100132241
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		弁理士 岡部 博史
		(74) 代理人	100091524
			弁理士 和田 充夫
		(72) 発明者	追風 寛哉
			大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 干渉を用いた膜厚計測装置及び干渉を用いた膜厚計測方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

透明膜が表面に形成された基板を載置する載置部と、
前記載置部に載置された前記基板に光を照射する光源と、
前記光源からの前記光を分岐して前記基板の表面及び参照面に照射させると共に、前記基板の前記表面及び前記参照面からの反射光を重ね合わせて干渉光を形成するハーフミラーと、

前記光源と前記ハーフミラーとの間に配置されると共に、透過光の強度スペクトルが複数のピークを有する光学フィルタと、

前記干渉光を撮像する撮像装置と、

前記撮像装置での撮像結果に基づいて前記透明膜の膜厚を算出する演算装置とを備え、
前記演算装置は、

前記透明膜への入射光と反射光との間の第1位相スペクトルの変化量を予めデータベース化して作成されたスペクトル変化量データベースと、

前記撮像装置で撮像した前記透明膜の干渉信号をフーリエ変換して前記透明膜の第2位相スペクトルを算出する第2位相スペクトル算出部と、

前記第2位相スペクトルと最も一致度の高い第1位相スペクトルを前記スペクトル変化量データベースから選択し、選択した前記第1位相スペクトルを用いて前記透明膜の膜厚を計測する膜厚算出部とを有する、

干渉を用いた膜厚計測装置。

10

20

【請求項 2】

前記光学フィルタは、前記透過光の前記強度スペクトルが3つのピークを有するフィルタである、

請求項 1 に記載の干渉を用いた膜厚計測装置。

【請求項 3】

前記光学フィルタは、前記透過光の前記強度スペクトルの中心ピークの強度が、両サイドピークの強度に比べて小さい、

請求項 2 に記載の干渉を用いた膜厚計測装置。

【請求項 4】

前記光学フィルタは、前記透過光の前記強度スペクトルの前記中心ピークの強度が、前記両サイドピークの強度に対して80%より大きく100%未満の強度である、

請求項 3 に記載の干渉を用いた膜厚計測装置。

【請求項 5】

前記光学フィルタは、前記透過光の前記強度スペクトルの前記中心ピークの強度が、前記両サイドピークの強度の93.4%の強度である、

請求項 4 に記載の干渉を用いた膜厚計測装置。

【請求項 6】

前記光源が白色光源である

請求項 1 に記載の干渉を用いた膜厚計測装置。

【請求項 7】

透過光の強度スペクトルが複数のピークを有する光学フィルタを介して透明膜と参照面とに光を照射し、

透明膜が表面に形成された基板への入射光と反射光との間での第1位相スペクトルの変化量を予めデータベース化してスペクトル変化量データベースを作成し、

前記透明膜及び前記参照面からの光が干渉した干渉光の干渉信号をフーリエ変換して前記透明膜の第2位相スペクトルを算出し、

前記第2位相スペクトルと最も一致度の高い第1位相スペクトルを前記スペクトル変化量データベースから選択し、選択した前記第1位相スペクトルを用いて前記透明膜の膜厚を計測する、

干渉を用いた膜厚計測方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、干渉を用いた膜厚計測装置及び干渉を用いた膜厚計測方法に関する。

【背景技術】

【0002】

白色走査干渉計は、図10に示すような光学系となっている。図10において、白色光源1101は、例えばハロゲンランプのような広帯域の波長分布の光を照射する光源である。白色光源1101から照射された白色光は、ハーフミラー1102に入射する。ハーフミラー1102は光を分割し、試料1103と参照面1104に光を導く。これらの光は、試料1103と参照面1104にそれぞれ入射し、反射し、再びハーフミラー1102で重ね合わされる。重ね合わされた光は、エリアセンサ1105に入射する。その際、参照面1104を図の矢印1110方向にスキャンしながらエリアセンサ1105で画像を取り込む。入射した光は画像に変換され、演算装置1106に取り込まれる。

【0003】

次に、この装置を用いて膜厚分布の計測を行われる手順を図11に示すフローチャートを用いて説明する。なお、試料1103は、第1界面と第2界面をその内部に有している。

【0004】

図11において、まず、ステップS201で、図10の光学系で参照面1104を走査

10

20

30

40

50

しながら画像を取込み、画像の各画素における輝度変化を抽出することで、各画素での干渉波形を検出する。

【0005】

続いて、ステップS202で、第1界面での反射光との各干渉波形のピーク位置を算出する。ここで、ピーク位置の算出方法としては、例えば低域通過フィルタにより包絡線を算出し、その最大値をとる走査位置を検出する方法を用いる。

【0006】

続いて、ステップS203で、第2界面での反射光との各干渉波形のピーク位置を算出する。

【0007】

続いて、ステップS204で、ステップS202とステップS203で算出した各二つのピーク位置での参照面1104の距離を算出し、距離を屈折率で除する(divide)ことで膜厚を算出する。

【0008】

最後に、ステップS205で、膜厚の算出結果を出力し、計測を終了する。

【0009】

以上のようにして、試料1103に白色光を照射し、反射した光を参照面1104からの反射光と重ね合わせてエリアセンサ1105上に結像させる。その結果、ハーフミラー1102から参照面1104までの距離Zとハーフミラー1102から試料1103までの距離hが等しい部分にのみ、エリアセンサ1105上に干渉縞が現れる。この光学系においては、参照面1104を矢印1110方向に走査すると、各計測点での干渉波形が現れる。各計測点で干渉波形のピークを検出し、結合することにより試料1103の全面の干渉波形を求めることができる。そして、その干渉波形に基づいて物体の表面形状分布を計測する。更にこの技術を利用して、透明体の膜厚計測を行うことができる。

【0010】

試料1103として透明膜を選択した場合、図12Aに示すように、表面1111(第1界面)での反射光1112と裏面1113(第2界面)での反射光1114が存在する。光学系を試料1103の深さ方向に走査すると、これらの光が別々の干渉縞を作り、図12Bに示す測定結果が得られる。測定結果のピーク間隔が試料1103の厚みtに相当するため、干渉縞が重畳しない範囲で厚みを計測できる。

【0011】

この計測手法においては、干渉縞が現れる範囲である可干渉距離が最も短くなる白色光源1101を用いる方が良い。具体的には、白色光源1101の強度スペクトルは、可能な限り広い帯域を持ち、かつ正規分布となる方が良い。そのために、白色光源1101としてハロゲンランプのような広帯域光源を用いると共に、白色光源1101の直後に光の透過率に波長依存性のあるフィルタを挿入している(例えば、特許文献1を参照)。

【0012】

ここで、試料1115が複数の透明膜の層1116、1117から構成される場合、白色光源1101にハロゲンランプを採用する場合、可干渉距離が1 μ m以上となる。そのため、試料1103の膜厚が1 μ m以下の場合、図13A及び図13Bに示すように、透明膜の層1116と透明膜の層1117との界面1118と、透明膜の層1117とその下側の層との界面1119との間に干渉波形の重畳が発生する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0013】

【特許文献1】特開昭62-259006号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0014】

しかしながら、前記従来構成では、図13A及び図13Bに示すように干渉波形の重

10

20

30

40

50

量が発生すると、試料表面の膜厚分布計測が不可能になる。

【0015】

また、前記従来の構成では、参照面を走査しながらエリアセンサの画像を取り込む時の振動ノイズ、又は、電気ノイズの影響により、計測の精度が低下する可能性もある。

【課題を解決するための手段】

【0016】

本発明の第1態様によれば、透明膜が表面に形成された基板を載置する載置部と、
 前記載置部に載置された前記基板に光を照射する光源と、
 前記光源からの前記光を分岐して前記基板の表面及び参照面に照射させると共に、前記
 基板の前記表面及び前記参照面からの反射光を重ね合わせて干渉光を形成するハーフミラ
 ーと、

10

前記光源と前記ハーフミラーとの間に配置されると共に、透過光の強度スペクトルが複
 数のピークを有する光学フィルタと、

前記干渉光を撮像する撮像装置と、

前記撮像装置での撮像結果に基づいて前記透明膜の膜厚を算出する演算装置とを備え、

前記演算装置は、

前記透明膜への入射光と反射光との間の第1位相スペクトルの変化量を予めデータベ
 ース化して作成されたスペクトル変化量データベースと、

前記撮像装置で撮像した前記透明膜の干渉信号をフーリエ変換して前記透明膜の第2
 位相スペクトルを算出する第2位相スペクトル算出部と、

20

前記第2位相スペクトルと最も一致度の高い第1位相スペクトルを前記スペクトル変
 化量データベースから選択し、選択した前記第1位相スペクトルを用いて前記透明膜の膜
 厚を計測する膜厚算出部とを有する、
 干渉を用いた膜厚計測装置を提供する。

【0017】

本発明の第2態様によれば、透過光の強度スペクトルが複数のピークを有する光学フィ
 ルタを介して透明膜と参照面とに光を照射し、

透明膜が表面に形成された基板への入射光と反射光との間での第1位相スペクトルの
 変化量を予めデータベース化してスペクトル変化量データベースを作成し、

前記透明膜及び参照面からの光が干渉した干渉光の干渉信号をフーリエ変換して前記透
 明膜の第2位相スペクトルを算出し、

30

前記第2位相スペクトルと最も一致度の高い第1位相スペクトルを前記スペクトル変
 化量データベースから選択し、選択した前記第1位相スペクトルを用いて前記透明膜の膜厚
 を計測する、

干渉を用いた膜厚計測方法を提供する。

【発明の効果】

【0018】

以上のように、本発明によれば、1 μm以下の薄膜が表面に存在する物体の膜厚につい
 て、精度良く膜厚分布を計測することができる。

【図面の簡単な説明】

40

【0019】

本発明の特徴は、添付された図面についての実施形態に関連した次の記述から明らか
 になる。この図面においては、

【図1A】図1Aは、本発明の第1実施形態における白色走査干渉計の光学系の概略構成
 図であり、

【図1B】図1Bは、本発明の第1実施形態における白色走査干渉計の光学系の演算装置
 のブロック図であり、

【図1C】図1Cは、本発明の第1実施形態における白色走査干渉計の光学系の膜厚算出
 部のブロック図であり、

【図2】図2は、本第1実施形態における膜厚分布の計測手順を示すフローチャートであ

50

り、

【図3】図3は、本第1実施形態における薄膜での多重反射の様子を示す図であり、

【図4A】図4Aは、本第1実施形態における標準SiN膜での精度検証結果の図であって、波長と位相の関係を示す図であり、

【図4B】図4Bは、本第1実施形態における標準SiN膜での精度検証結果の図であって、計測回数と膜厚の関係を示す図であり、

【図5】図5は、本発明の第2実施形態における波長フィルタを挿入した白色走査干渉系の光学系の概略構成図であり、

【図6】図6は、本第2実施形態における波長フィルタを挿入することにより得られる白色光源の強度スペクトルの図であり、

【図7A】図7Aは、本第2実施形態における波長フィルタ挿入前での光源の強度スペクトルの比較の図であり、

【図7B】図7Bは、本第2実施形態における波長フィルタ挿入後での光源の強度スペクトルの図であり、

【図7C】図7Cは、本第2実施形態における波長フィルタ挿入前での干渉波形の図であり、

【図7D】図7Dは、本第2実施形態における波長フィルタ挿入後での干渉波形の図であり、

【図8A】図8Aは、本第2実施形態における波長フィルタ透過後の光の強度スペクトルのピーク数変化による、非線形成分のバラつき評価結果の図であり、

【図8B】図8Bは、本第2実施形態における波長フィルタ透過後の光の強度スペクトルのピーク数変化による、非線形成分のバラつき評価結果の図のうちのピーク数が1の場合の波長分布のグラフであり、

【図8C】図8Cは、本第2実施形態における波長フィルタ透過後の光の強度スペクトルのピーク数変化による、非線形成分のバラつき評価結果の図のうちのピーク数が1の場合の輝度信号のグラフであり、

【図8D】図8Dは、本第2実施形態における波長フィルタ透過後の光の強度スペクトルのピーク数変化による、非線形成分のバラつき評価結果の図のうちのピーク数が1の場合の非線形成分のグラフであり、

【図8E】図8Eは、本第2実施形態における波長フィルタ透過後の光の強度スペクトルのピーク数変化による、非線形成分のバラつき評価結果の図のうちのピーク数が2の場合の波長分布のグラフであり、

【図8F】図8Fは、本第2実施形態における波長フィルタ透過後の光の強度スペクトルのピーク数変化による、非線形成分のバラつき評価結果の図のうちのピーク数が2の場合の輝度信号のグラフであり、

【図8G】図8Gは、本第2実施形態における波長フィルタ透過後の光の強度スペクトルのピーク数変化による、非線形成分のバラつき評価結果の図のうちのピーク数が2の場合の非線形成分のグラフであり、

【図8H】図8Hは、本第2実施形態における波長フィルタ透過後の光の強度スペクトルのピーク数変化による、非線形成分のバラつき評価結果の図のうちのピーク数が3の場合の波長分布のグラフであり、

【図8I】図8Iは、本第2実施形態における波長フィルタ透過後の光の強度スペクトルのピーク数変化による、非線形成分のバラつき評価結果の図のうちのピーク数が3の場合の輝度信号のグラフであり、

【図8J】図8Jは、本第2実施形態における波長フィルタ透過後の光の強度スペクトルのピーク数変化による、非線形成分のバラつき評価結果の図のうちのピーク数が3の場合の非線形成分のグラフであり、

【図8K】図8Kは、本第2実施形態における波長フィルタ透過後の光の強度スペクトルのピーク数変化による、非線形成分のバラつき評価結果の図のうちのピーク数が4の場合の波長分布のグラフであり、

10

20

30

40

50

【図 8 L】図 8 L は、本第 2 実施形態における波長フィルタ透過後の光の強度スペクトルのピーク数変化による、非線形成分のバラつき評価結果の図のうちのピーク数が 4 の場合の輝度信号のグラフであり、

【図 8 M】図 8 M は、本第 2 実施形態における波長フィルタ透過後の光の強度スペクトルのピーク数変化による、非線形成分のバラつき評価結果の図のうちのピーク数が 4 の場合の非線形成分のグラフであり、

【図 9 A】図 9 A は、本第 2 実施形態における波長フィルタ透過後の光の強度スペクトルが 3 つのピークを持つ場合の、中心ピークと両サイドピーク比率を変化させた場合の、非線形成分のバラつき評価を示す図であり、

【図 9 B】図 9 B は、本第 2 実施形態における波長フィルタ透過後の光の強度スペクトルが 3 つのピークを持つ場合の、中心ピークと両サイドピーク比率を変化させた場合の、非線形成分のバラつき評価を示す図のうち、中心ピークと両サイドピーク比率が 81.5% のときの波長分布のグラフであり、

10

【図 9 C】図 9 C は、本第 2 実施形態における波長フィルタ透過後の光の強度スペクトルが 3 つのピークを持つ場合の、中心ピークと両サイドピーク比率を変化させた場合の、非線形成分のバラつき評価を示す図のうち、中心ピークと両サイドピーク比率が 81.5% のときの位相信号のバラつきのグラフであり、

【図 9 D】図 9 D は、本第 2 実施形態における波長フィルタ透過後の光の強度スペクトルが 3 つのピークを持つ場合の、中心ピークと両サイドピーク比率を変化させた場合の、非線形成分のバラつき評価を示す図のうち、中心ピークと両サイドピーク比率が 88.4% のときの波長分布のグラフであり、

20

【図 9 E】図 9 E は、本第 2 実施形態における波長フィルタ透過後の光の強度スペクトルが 3 つのピークを持つ場合の、中心ピークと両サイドピーク比率を変化させた場合の、非線形成分のバラつき評価を示す図のうち、中心ピークと両サイドピーク比率が 88.4% のときの位相信号のバラつきのグラフであり、

【図 9 F】図 9 F は、本第 2 実施形態における波長フィルタ透過後の光の強度スペクトルが 3 つのピークを持つ場合の、中心ピークと両サイドピーク比率を変化させた場合の、非線形成分のバラつき評価を示す図のうち、中心ピークと両サイドピーク比率が 93.4% のときの波長分布のグラフであり、

【図 9 G】図 9 G は、本第 2 実施形態における波長フィルタ透過後の光の強度スペクトルが 3 つのピークを持つ場合の、中心ピークと両サイドピーク比率を変化させた場合の、非線形成分のバラつき評価を示す図のうち、中心ピークと両サイドピーク比率が 93.4% のときの位相信号のバラつきのグラフであり、

30

【図 9 H】図 9 H は、本第 2 実施形態における波長フィルタ透過後の光の強度スペクトルが 3 つのピークを持つ場合の、中心ピークと両サイドピーク比率を変化させた場合の、非線形成分のバラつき評価を示す図のうち、中心ピークと両サイドピーク比率が 96.8% のときの波長分布のグラフであり、

【図 9 I】図 9 I は、本第 2 実施形態における波長フィルタ透過後の光の強度スペクトルが 3 つのピークを持つ場合の、中心ピークと両サイドピーク比率を変化させた場合の、非線形成分のバラつき評価を示す図のうち、中心ピークと両サイドピーク比率が 96.8% のときの位相信号のバラつきのグラフであり、

40

【図 9 J】図 9 J は、本第 2 実施形態における波長フィルタ透過後の光の強度スペクトルが 3 つのピークを持つ場合の、中心ピークと両サイドピーク比率を変化させた場合の、非線形成分のバラつき評価を示す図のうち、中心ピークと両サイドピーク比率が 99.0% のときの波長分布のグラフであり、

【図 9 K】図 9 K は、本第 2 実施形態における波長フィルタ透過後の光の強度スペクトルが 3 つのピークを持つ場合の、中心ピークと両サイドピーク比率を変化させた場合の、非線形成分のバラつき評価を示す図のうち、中心ピークと両サイドピーク比率が 99.0% のときの位相信号のバラつきのグラフであり、

【図 10】図 10 は、従来の白色走査干渉計の光学系の概略構成図であり、

50

【図 1 1】図 1 1 は、従来の白色走査干渉計での膜厚分布の計測手順を示すフローチャートであり、

【図 1 2 A】図 1 2 A は、従来の白色走査干渉計での膜厚計測方法の原理を示す図であり、

【図 1 2 B】図 1 2 B は、従来の白色走査干渉計での膜厚計測結果を示す図であり、

【図 1 3 A】図 1 3 A は、従来の膜厚計測方法における多層薄膜計測の原理を示す図であり、

【図 1 3 B】図 1 3 B は、従来の膜厚計測方法における多層薄膜計測時の干渉波形の重畳を示す図である。

【発明を実施するための形態】

10

【0020】

以下、本発明の実施形態について、図面を参照しながら説明する。なお、以下の説明において、同じ構成には同じ符号を付けて、適宜、説明を省略している。

【0021】

(第 1 実施形態)

本発明の第 1 実施形態の膜厚計測装置の一例としての白色走査干渉計 1 は、図 1 A に示す光学系である。白色走査干渉計 1 は、光源の一例としての白色光源 101 と、ハーフミラー 102 と、載置部 100 と、参照面 104 a を有する参照部材 104 と、撮像装置の一例としてのエリアセンサ 105 と、演算装置 106 とで構成されている。

【0022】

20

図 1 A において、白色光源 101 は、例えばハロゲンランプのような広帯域の波長分布の光を照射する光源である。この白色光源 101 は、白色光をハーフミラー 102 に入射する。

【0023】

ハーフミラー 102 は、光を分割し、載置部 100 に載置された試料 103 と参照部材 104 に、分割された光をそれぞれ導く。試料 103 は、基体 17 の表面に測定対象である透明膜 16 が形成された基板である。これらの光は、試料 103 と参照部材 104 にそれぞれ入射し、試料 103 の表面と参照面 104 a とでそれぞれ反射した後、再びハーフミラー 102 で重ね合わされる。重ね合わされた光は、エリアセンサ 105 に入射する。その際、参照部材移動装置 90 を用いて図 1 A の矢印 99 の方向に参照面 104 a をスキャンさせながら、エリアセンサ 105 で参照面 104 a の画像を取り込む。参照部材移動装置 90 は、参照部材 104 を矢印 99 沿いに直線移動させる駆動機構である。この駆動機構としては、例えば、モータによりボールネジを回転させて、ボールネジに螺合したナット部材に保持された参照部材 104 を矢印 99 沿いに直線移動させる駆動機構や、リアモータで参照部材 104 を矢印 99 沿いに直線移動させる駆動機構を用いる。

30

【0024】

エリアセンサ 105 に入射した光は、エリアセンサ 105 で画像に変換される。

【0025】

エリアセンサで変換された画像の情報は、演算装置 106 に取り込まれる。演算装置 106 では、スペクトル変化量データベース 106 s を参照しながら、膜厚分布の計測のための演算が行われる。この演算装置 106 での膜厚分布の計測については、詳しくは後述する。演算装置 106 は、干渉波形抽出部 106 a と、第 2 位相スペクトル算出部の一例としての位相成分算出部 106 b と、成分抽出部 106 c と、膜厚算出部 106 d とで構成されている。また、膜厚算出部 106 d は、エラー関数作成部 106 e と、最小膜厚選択部 106 f とで構成されている。

40

【0026】

この演算装置 106 は、以下の演算を行なう。まず、エリアセンサ 105 で撮像した透明膜の干渉信号をフーリエ変換して、透明膜の第 2 位相スペクトルを位相成分算出部 106 b で算出する。そして、第 2 位相スペクトルと最も一致度の高い第 1 位相スペクトルを、スペクトル変化量データベース 106 s から選択する。そして、選択した第 1 位相スペ

50

クトルを用いて、透明膜の膜厚を、膜厚算出部 106d で計測する。

【0027】

制御装置 200 は、白色光源 101 と、エリアセンサ 105 と、演算装置 106 と、参照部材移動装置 90 となどに接続されて、それぞれの動作を制御して、試料 103 の膜厚分布を計測する。

【0028】

次に、この白色走査干渉計 1 を用いて膜厚分布の計測を行う手順を、図 2 に示すフローチャートを用いて説明する。

【0029】

まず、ステップ S101 で、複数種類の膜厚に対して入射光に対する反射光の位相スペクトル（第 1 位相スペクトル）の変化量を算出し、複数種類の膜厚に対するデータベースを構築する。そして、構築した複数種類の膜厚に対するデータベースを、演算装置 106 で参照可能なスペクトル変化量データベース 106s に記憶する。データベースを構築して参照可能なスペクトル変化量データベース 106s に記憶する作業は、制御装置 200 の制御に基づいて、演算装置 106 で行う。

10

【0030】

白色走査干渉における干渉信号は、照射している光が白色光であるため、様々な波長の干渉波が重なり合う。様々な波長の干渉波が重なり合った結果、その打ち消し合いにより干渉波形が発生する。これを式で表すと下記（式 1）で表される。

【0031】

【数 1】

$$I(z) = \sum_{\lambda} I_0(\lambda) + I_1 \exp(-i \frac{4\pi}{\lambda}(z-h)) \quad (\text{式 1})$$

ここで、 I_0 、 I_1 は干渉信号の強度、 λ は照射している光の波長、 z は光学系の走査位置、 h はハーフミラーから透明体表面までの距離を表す。 $I(z)$ は、光学系の走査位置 z での干渉信号である。（式 1）中の i は、虚数単位である。

20

【0032】

干渉信号をフーリエ変換し、その位相項を抽出すると、得られる位相信号は下記（式 2）で表される。ここで、位相信号は、傾き（ $2h/\lambda$ ）を持つ一次関数になる。

【0033】

【数 2】

$$\phi = (2\pi h) \times \frac{2}{\lambda} \quad (\text{式 2})$$

前記（式 2）は、試料 103 の表面に透明膜が存在しない場合の位相信号である。ここで、試料 103 の表面に、膜厚 t 、屈折率 n の透明膜 16 が存在する場合、図 3 に示す多重反射が発生する。ここで、 t_{ij} は試料 103 の i 面から j 面に向けて入射する光の振幅透過率（ i は 0 以上の整数、 j は 1 以上の整数であって、 $i < j$ である。）、 r_{ij} は i 面から j 面に向けて入射する光の振幅反射率であり、 ϕ_{ij} は透明膜での位相変化量 $= 2\pi n t / \lambda$ である。例えば、 t_{01} は、試料 103 の S_0 面から S_1 面に向けて入射する光の振幅透過率である。 t_{10} は、試料 103 の S_1 面から S_0 面に向けて入射する光の振幅透過率である。 r_{01} は、 S_0 面から S_1 面に向けて入射する光の振幅反射率である。 r_{12} は、 S_1 面から S_2 面に向けて入射する光の振幅反射率である。 r_{10} は、 S_1 面から S_0 面に向けて入射する光の振幅反射率である。

30

40

【0034】

この試料 103 の透明膜 16 で反射した光の総和を取り、全体の位相変化量のスペクトルを求めると、下記（式 3）、（式 4）になる。

【0035】

【数3】

$$I = Ir_{01} + It_{01}t_{10}r_{12} \exp(-i2\xi) + \dots$$

$$= \frac{r_{01} + r_{12} \exp(-i2\xi)}{1 + r_{01}r_{12} \exp(-i2\xi)} I \equiv r_{012} e^{i\theta} I \quad (式3)$$

【0036】

【数4】

$$\theta = \arctan \left(\frac{r_{12}(1 - r_{01}^2) \sin(2\beta)}{r_{01}(1 + r_{12}^2) + r_{12}(1 + r_{01}^2) \cos(2\beta)} \right) \quad (式4)$$

最終的に、試料103に透明膜16が存在する場合の位相は、前記(式2)より変化して、下記(式5)になる。 10

【0037】

【数5】

$$\phi = (2\pi h) \times \frac{2}{\lambda} + \theta(\lambda) \quad (式5)$$

は非線形成分を含んでおり、前記(式5)は図7のような一次関数ではない。そこで、 $\phi = \alpha \times (2/\lambda) + \beta$ と仮定して、線形成分 $\{\alpha \times (2/\lambda)\}$ と非線形成分 β に分けると、前記(式5)は下記(式6)になる。

【0038】

【数6】

$$\phi = (2\pi h + \alpha) \times \frac{2}{\lambda} + \beta \quad (式6)$$

ここで、 β の非線形成分は、透明膜16の膜厚と屈折率のみに依存し、透明膜16の表面の高さに依存しない。透明膜16に想定される膜厚に対して理論計算により β を導出し、データベースを予め構築してスペクトル変化量データベース106sに記憶しておく。そして、実際に得られた位相信号の非線形成分を、スペクトル変化量データベース106sに記憶された情報とマッチングさせ、最も誤差の小さい波形を抽出する。これにより、透明膜16の膜厚を計測することができる。

【0039】

以上の説明では、最も単純な単層膜について記述したが、多層膜に対してもデータベースを作成してスペクトル変化量データベース106sに記憶して、多層膜の膜厚が計測できる。なお、多層膜の膜厚の計測では、一般的な多層膜の反射率を算出する理論を利用する。 30

【0040】

また、以上の説明では、理論計算によるデータベースを作成したが、標準(又は基準)として既知の膜厚を持つ試料を実際に計測することにより、非線形成分 β のデータベースを構築しても良い。実際に計測して構築した非線形成分 β のデータベースは、スペクトル変化量データベース106sに記憶される。

【0041】

続いて、ステップS102では、図1Aの光学系で参照面104aを走査しながら、エリアセンサ105を介して画像を演算装置106に取込む。そして、演算装置106に取り込んだ画像の各画素における輝度変化を演算装置106の干渉波形抽出部106aで抽出する。これにより、画像の各画素における干渉波形を、干渉波形抽出部106aで検出する。なお、ステップS101でデータベースを作成した後は、同じデータベースを利用できる試料103に対しては、ステップS101を省略できる。この場合、ステップS101を省略して、ステップS102以降のステップを繰り返す。 40

【0042】

続いて、ステップS103では、ステップS102で検出した各画素における干渉波形に対して、フーリエ変換を演算装置106の位相成分算出部(第2位相スペクトル算出部の一例)106bで実行する。そして、第2位相スペクトルとしての各位相成分を、位相 50

成分算出部 106b で算出する。

【0043】

続いて、ステップ S104 では、各画素について、ステップ S103 で算出した位相信号に対し線形フィッティングを演算装置 106 の成分抽出部 106c で行う。そして、線形成分と非線形成分を、成分抽出部 106c で抽出する。

【0044】

続いて、ステップ S105 では、各画素において、ステップ S104 で抽出した非線形成分とステップ S101 で構築したスペクトル変化量データベース 106s 内の情報とのマッチングを演算装置 106 の膜厚算出部 106d で行う。そして、スペクトル変化量データベース 106s の全波形の中で非線形成分に最も近い波形を膜厚算出部 106d で検出する（言い換えれば、第 2 位相スペクトルと最も一致度の高い第 1 位相スペクトルをスペクトル変化量データベース 106s から選択する）。そして、検出した最も近い波形を利用して（選択した前記第 1 位相スペクトルを用いて）、透明膜 16 の膜厚を膜厚算出部 106d で算出する。この具体的な方法としては、まず、データベースに含まれる波形を膜厚算出部 106d のエラー関数作成部 106e で 1 つ抽出し、両波形の差分 2 乗和をエラー関数作成部 106e で算出する。次に、スペクトル変化量データベース 106s の全波形に対して、この算出をエラー関数作成部 106e で行い、膜厚 t をパラメータとするエラー関数をエラー関数作成部 106e で作成する。その中で、最もエラー関数が小さくなる膜厚 t_{min} を最小膜厚選択部 106f で選択する。これにより、透明膜 16 の膜厚を算出する。

【0045】

続いて、ステップ S106 では、前記算出された膜厚の結果の情報を、演算装置 106 から、出力装置の一例としての表示装置 120 の画面に出力して表示し、計測を終了する。

【0046】

以上の手順を、具体的な実データを例に挙げて、以下に説明する。以下の説明では、透明膜 16 は SiN 膜 16 であり、基板 17 は Si 層 17 である。すなわち、91.4 nm の SiN 膜 16 が Si 層 17 上に形成されている試料 103 を計測した場合について、実データを例に挙げて説明する。

【0047】

まず、ステップ S101 において、0 ~ 200 nm の範囲で 1 nm ごとに SiN 膜 16 の膜厚を変化させ、前記（式 4）の非線形成分を算出する。この算出により、光波長 = 500 ~ 800 nm の波長分布の光を SiN 膜 16 に照射した場合のデータベースを作成して、スペクトル変化量データベース 106s に記憶する。

【0048】

次に、干渉波形に基づいてステップ S102 からステップ S104 において演算装置 106 で抽出した非線形成分とスペクトル変化量データベース 106s 内の情報とのマッチングを、演算装置 106 の膜厚算出部 106d で 20 回行う。

【0049】

このマッチングの結果を、図 4A 及び図 4B に示す。図 4A 及び図 4B に示すように、20 回のマッチングでは、平均膜厚 91.7 nm、膜厚 $\pm 1\sigma = \pm 0.38$ nm という結果を得た。

【0050】

かかる構成によれば、干渉波形の重畳が起きる 1000 nm 以下の薄膜であっても、精度良く膜厚分布が計測できるようになる。

【0051】

（第 2 実施形態）

本発明の第 2 実施形態の膜厚計測装置の一例としての白色走査干渉計 2 は、図 5 に示す光学系である。第 2 実施形態が第 1 実施形態と大きく異なるのは、波長フィルタ 107 を備えることである。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 2 】

図5において、白色光源101は、例えばハロゲンランプのような広帯域の波長分布の光を照射する光源である。波長フィルタ107は、白色光源101とハーフミラー102との間に配置されて、波長によって透過率が変化するフィルタである。白色光源101からの光を波長フィルタ107に透過させた後、後述する強度スペクトルの光として、ハーフミラー102に入射する。ハーフミラー102は、入射した光を分割し、試料103と参照部材104とに光をそれぞれ導く。これらの光は、試料103と参照部材104にそれぞれ入射し、試料103の表面と参照面104aとでそれぞれ反射する。その後、それぞれ反射した光は、ハーフミラー102で重ね合わされる。重ね合わされた光は、エリアセンサ105に入射する。その際、参照部材移動装置90により、参照面104aを図5の矢印99にスキャンしながら、エリアセンサ105で参照面104aの画像を取り込む。エリアセンサ105に入射した光は、エリアセンサ105で画像に変換され、演算装置106に取り込まれる。

10

【 0 0 5 3 】

ここで、波長フィルタ107の透過率 - 波長特性は、エリアセンサ105上での白色光強度スペクトルが複数ピークを持つように設計される。波長フィルタ107の透過率 - 波長特性は、白色光源101の強度スペクトルと光学系の透過特性、エリアセンサ105の感度特性を鑑みて、設計される。例えば、図6に示す波長と強度の関係を持つ場合について考える。 $\lambda = 500 \text{ nm}$ での強度比は、0.328である。 $\lambda = 550 \text{ nm}$ での強度比は、1.08である。 $\lambda = 600 \text{ nm}$ での強度比は、0.86である。 $\lambda = 650 \text{ nm}$ での強度比は、1.02である。 $\lambda = 700 \text{ nm}$ での強度比は、0.86である。 $\lambda = 750 \text{ nm}$ での強度比は、1.08である。 $\lambda = 800 \text{ nm}$ での強度比は、0.328である。

20

【 0 0 5 4 】

この波長フィルタ107の挿入の有無によって可干渉距離を変化させた場合の関係を、図7A～図7Dに示す。図7Aは、本第2実施形態における波長フィルタ107の挿入前での光源101の強度スペクトルの比較の図である。図7Bは、本第2実施形態における波長フィルタ107の挿入後での光源101の強度スペクトルの図である。図7Cは、本第2実施形態における波長フィルタ107の挿入前での干渉波形の図である。図7Dは、本第2実施形態における波長フィルタ107の挿入後での干渉波形の図である。図7A～図7Dから明らかなように、可干渉距離を拡大することで、ノイズ環境下における位相スペクトル波形の再現性が向上する。本発明の複数ピークでは、単一ピークの場合と比べて可干渉距離を大きくすることができる。そのため、本発明では、線形成分と非線形成分との抽出時のバラつきを小さくすることができる。ここで、線形成分は、振動ノイズ又は電気ノイズによるステップS104での成分抽出部106cによる成分である。

30

【 0 0 5 5 】

以下、振動ノイズ及び電気ノイズ環境下での非線形成分のバラつきを、演算装置106dにて仮想検証した結果を比較した。条件は以下の通りである。

【 0 0 5 6 】

まず、干渉波形を下記(式7)に定義する。ここで、 I_0 は、干渉縞の強度スペクトルである。 λ は、波長であって、 $\lambda = 500 \sim 800 \text{ nm}$ である。 h は、白色干渉計2から試料103の表面までの距離であって、 $h = 5 \mu\text{m}$ である。 z は、参照面104aのスキャン距離であって、 $z = 0 \sim 10 \mu\text{m}$ である。 ϕ は、位相信号であって、前記(式4)により算出された $r_{01} = 0.3$ 、 $r_{12} = 0.9$ 、 $t = 100 \text{ nm}$ である。 $\text{rand}1$ は、振動ノイズをモデル化したランダム変数である。 $\text{rand}2$ は、電気ノイズ等をモデル化したランダム変数である。(式7)中の k は、 $k = 2 / \lambda$ で表される波数である。

40

【 0 0 5 7 】

【 数 7 】

$$I = \sum_{\lambda} I_0(\lambda) \cos(2k(z - h + \text{rand}1(z)) + \phi) + \text{rand}2(z) \quad (\text{式 7})$$

50

この干渉信号 I をランダム変数により変化させながら 1000 信号作成し、フーリエ変換した。このフーリエ変換した干渉信号 I の非線形位相成分を、ノイズのない場合と比較する。そして、その誤差の 1000 回分を合計した値によって、耐環境性を評価した。その評価結果を、図 8 A ~ 図 8 M に示す。図 8 A ~ 図 8 M は、光源の強度スペクトルのピークが 1 ~ 4 個 (単一ピーク ~ 4 ピーク) 存在する場合について、それぞれ、まとめたものである。図 8 A の 2 段目の図 8 B , 図 8 E , 図 8 H , 図 8 K の波長分布は、光源の強度スペクトルのピークの数を示す。図 8 A の 3 段目の図 8 C , 図 8 F , 図 8 I , 図 8 L の輝度信号は、各ピーク数において、横軸が Z 位置で縦軸が輝度の結果をまとめたものである。ここで、Z 位置とは、図 1 A または図 5 に示す Z の位置である。図 8 A の 4 段目の図 8 D , 図 8 G , 図 8 J , 図 8 M の非線形成分は、各ピーク数において、横軸が波長で縦軸が位相の結果をまとめたものである。図 8 A の 5 段目の誤差値の総和は、各ピーク数において、誤差値の総和をまとめたものである。ここで、非線形成分については、ノイズ環境下で 1000 回繰り返して得られた結果である。

【 0 0 5 8 】

発明者らの評価により、図 8 A ~ 図 8 M に示すように、単一ピークに比べると、3 ピーク、4 ピークの方が形位相成分のバラつきが低くなることが分かった。なお、4 ピークでは飽和していると見られる。そこで、3 ピークの場合に関して、図 9 A ~ 図 9 K に示すように、中心ピークの強度を変化させながら、耐環境性を評価した。

【 0 0 5 9 】

図 9 A ~ 図 9 K は、中心ピークの強度と両サイドピークの強度の比率が、81.5%、88.4%、93.4%、96.8%、99.0% のそれぞれの場合についての結果をまとめたものである。図 9 A の 4 段目の図 9 C , 図 9 E , 図 9 G , 図 9 I , 図 9 K の波長分布は、各比率において、横軸が波長で縦軸が相対強度の結果をまとめたものである。図 9 A の 3 段目の図 9 B , 図 9 D , 図 9 F , 図 9 H , 図 9 J の非線形成分は、各比率において、横軸が波長で縦軸が位相の位相信号の結果をまとめたものである。図 9 A の 5 段目の誤差値は、各比率において、誤差値をまとめたものである。ここで、中心ピークの強度と両サイドピークの強度の比率が 100.0% 以上又は 80.0% 以下では、非線形成分に関する評価結果が良好な点は見られなかったため、これらについては説明を省略している。言い換えれば、光学フィルタ 107 は、非線形成分 (位相信号のバラつき) の観点から、透過光の強度スペクトルの中心ピークの強度が、両サイドピークの強度に対して 80% より大きく 100% 未満の強度であることが好ましい。図 9 A ~ 図 9 K で非線形成分の位相が最小となる場合は、ピーク値が 93.4% の場合である。ここで、図 6 に示す波形の波長 = 500 nm での強度比は、0.328 である。波長 = 600 nm での強度比は、0.86 である。波長 = 650 nm での強度比は、1.02 である。波長 = 700 nm での強度比は、0.86 である。波長 = 750 nm での強度比は、1.08 である。波長 = 800 nm での強度比は、0.328 である。この場合、非線形成分のバラつきは、従来の単一ピークの場合と比べて、83.0% 抑制できる。

【 0 0 6 0 】

本第 2 実施形態での波長フィルタ 107 は、波長フィルタ 107 の透過率 波長特性として、透過後の光の強度スペクトルが 3 つのピークを持ち、なおかつ、中心ピークの強度が両サイドピークの強度に比べ 93.4% となるように設計した。かかる構成によれば、同じノイズが加わった場合でも、従来に比べて、そのバラつき度合いを 83.0% 抑制できる。

【 0 0 6 1 】

なお、前記様々な実施形態又は変形例のうちの任意の実施形態又は変形例を適宜組み合わせることにより、それぞれの有する効果を奏することができる。

【 0 0 6 2 】

本発明は、添付図面を参照しながら好ましい実施形態に関連して十分に記載されているが、この技術の熟練した人々にとっては種々の変形又は修正は明白である。そのような変形又は修正は、添付した請求の範囲による本発明の範囲から外れない限りにおいて、その

10

20

30

40

50

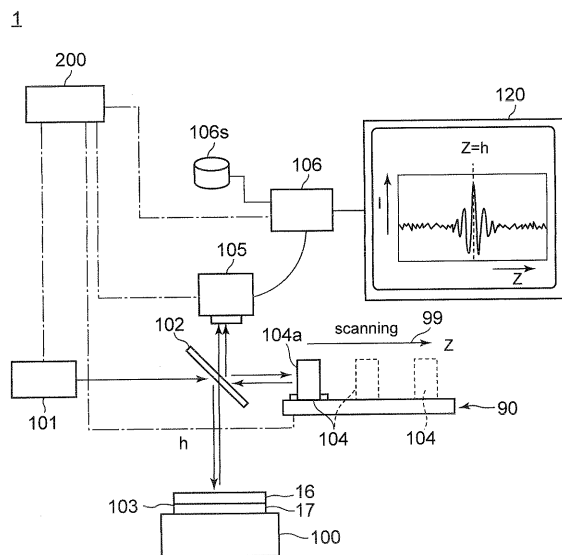
中に含まれると理解されるべきである。

【産業上の利用可能性】

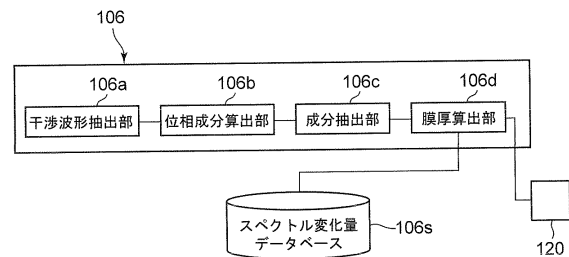
【0063】

本発明にかかる干渉を用いた膜厚計測装置及び干渉を用いた膜厚計測方法は、半導体膜、又は、フラットパネルディスプレイの透明膜の膜厚の計測検査技術などに利用できる可能性がある。

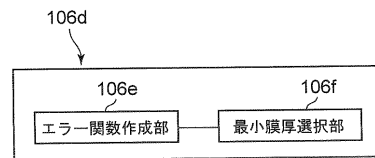
【図1A】



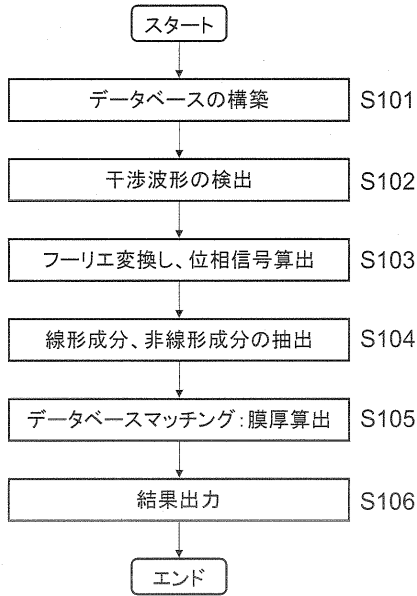
【図1B】



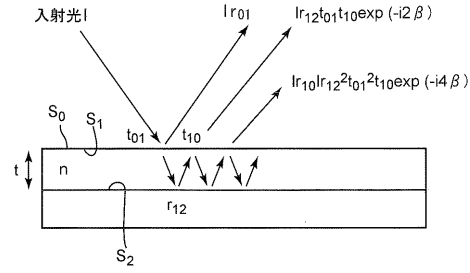
【図1C】



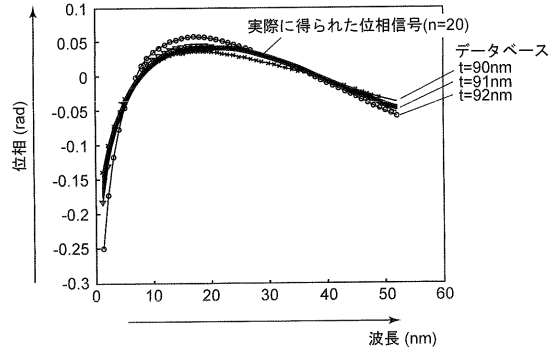
【図2】



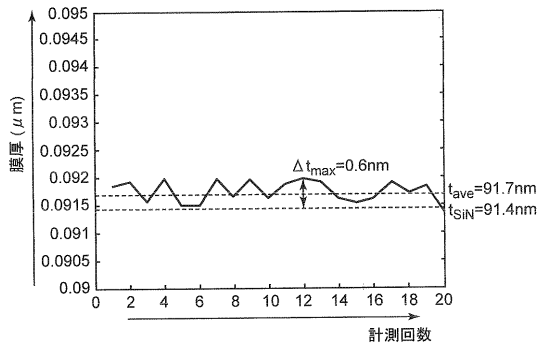
【図3】



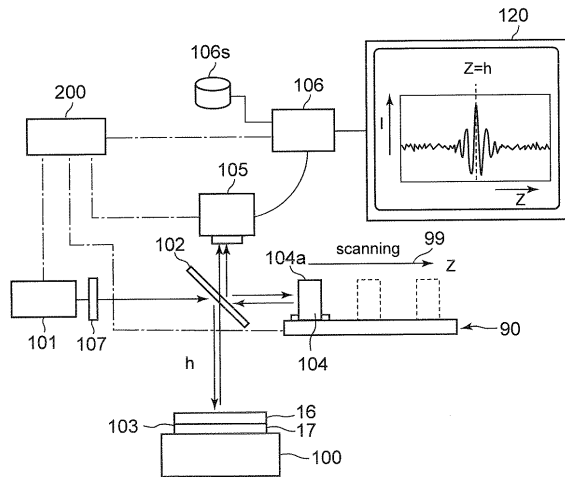
【図4A】



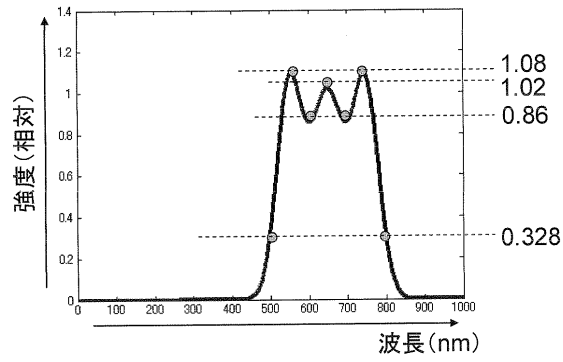
【図4B】



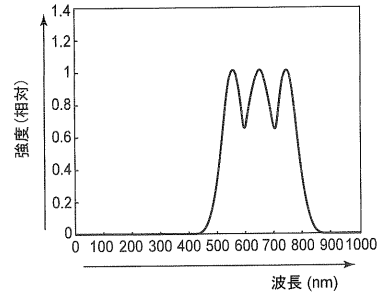
【図5】



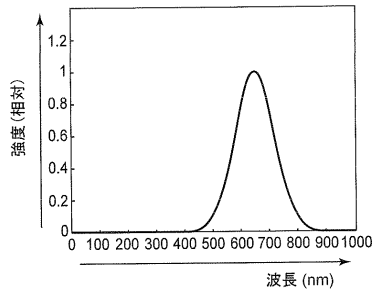
【図6】



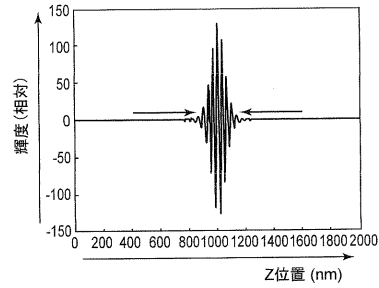
【図7B】



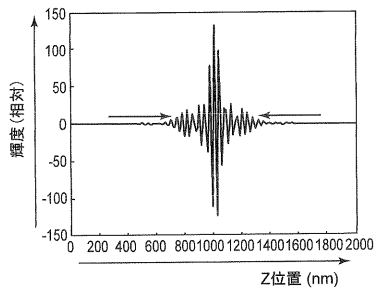
【図7A】



【図7C】



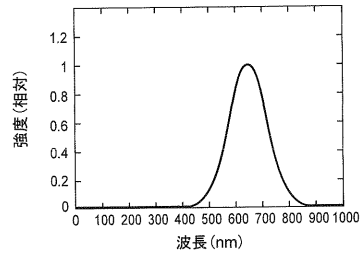
【図7D】



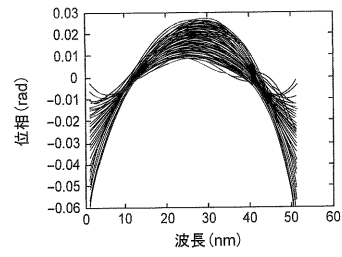
【図8A】

ピーク数	1	2	3	4
波長分布 横軸: 波長 (nm) 縦軸: 相対強度	図8B	図8E	図8H	図8K
輝度信号 横軸: Z位置 (nm) 縦軸: 輝度	図8C	図8F	図8I	図8L
非線形成分 (ノイズ環境下1000回繰返し) 横軸: 波長 (nm) 縦軸: 位相 (rad)	図8D	図8G	図8J	図8M
誤差値の総和	0.0023	0.0014	0.00056	0.00060

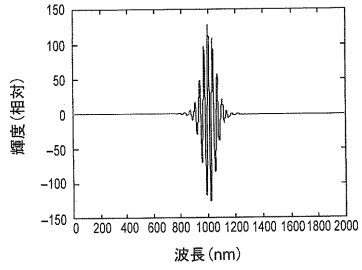
【 8 B 】



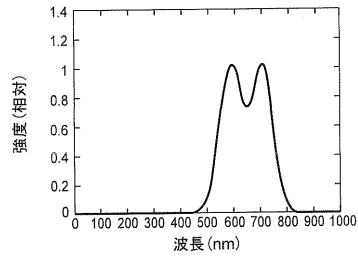
【 8 D 】



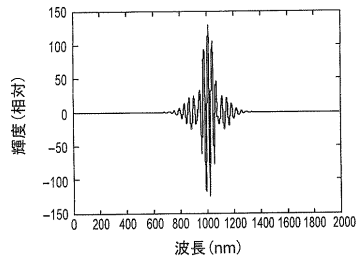
【 8 C 】



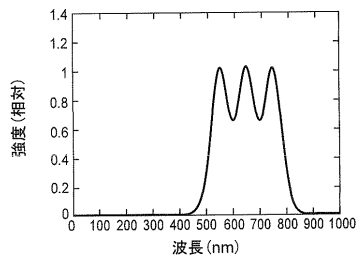
【 8 E 】



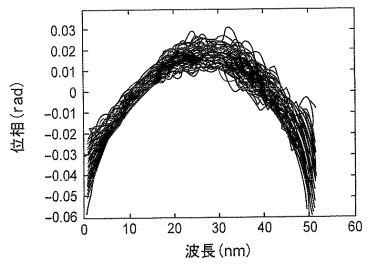
【 8 F 】



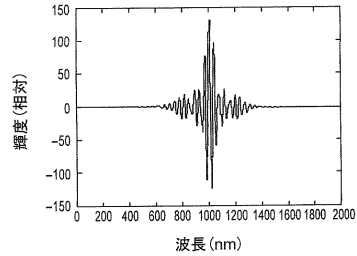
【 8 H 】



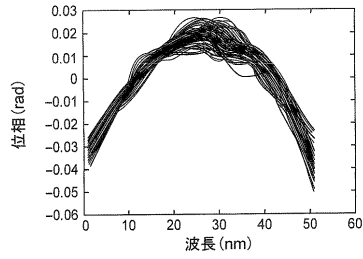
【 8 G 】



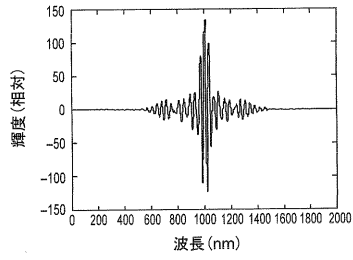
【 8 I 】



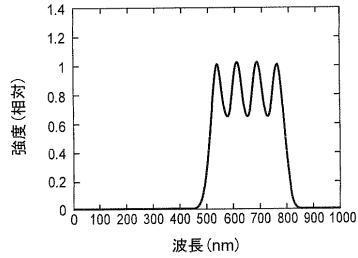
【 図 8 J 】



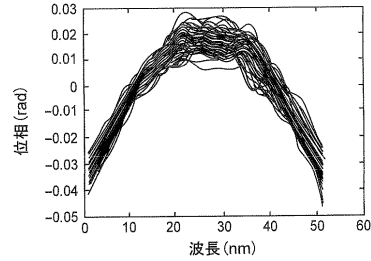
【 図 8 L 】



【 図 8 K 】



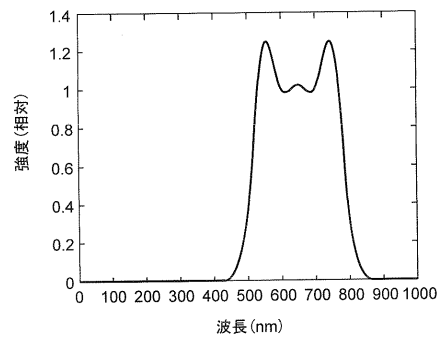
【 図 8 M 】



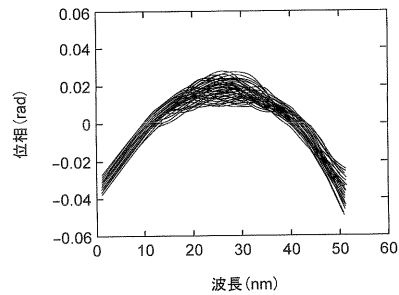
【 図 9 A 】

中心ピークと両サイドピーク比率				
81.5%	図9B	図9C	0.00047	0.00047
88.4%	図9D	図9E	0.00047	0.00047
93.4%	図9F	図9G	0.00039	0.00039
96.8%	図9H	図9I	0.00041	0.00041
99.0%	図9J	図9K	0.00056	0.00056
	位相信号 バラつき 横軸:波長 (nm) 縦軸:位相 (rad)	波長分布 横軸:波長 (nm) 縦軸: 相対強度	誤差値	

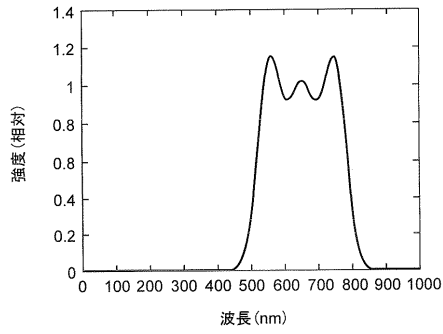
【 図 9 B 】



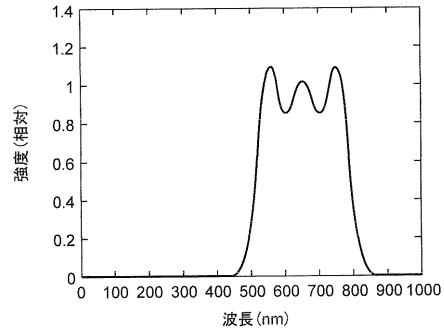
【 図 9 C 】



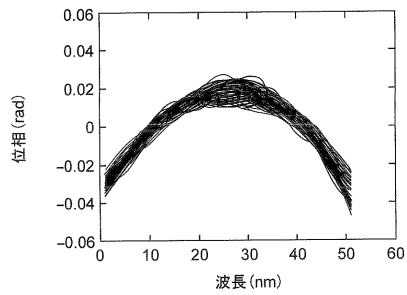
【図 9 D】



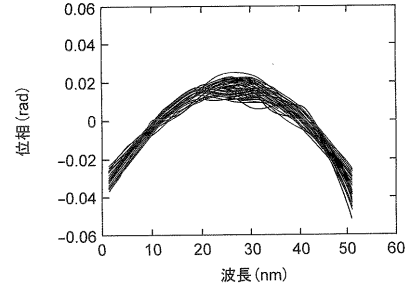
【図 9 F】



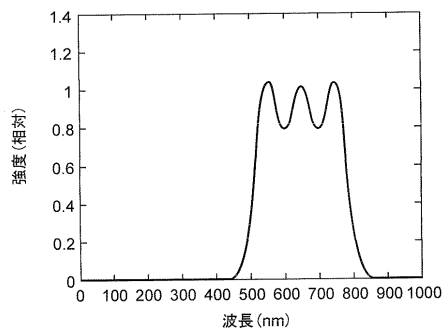
【図 9 E】



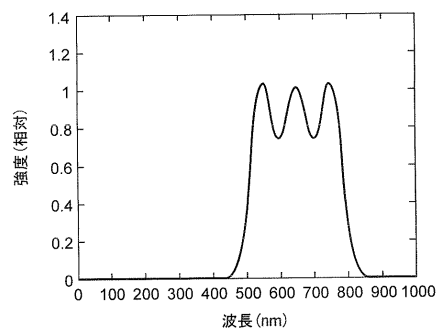
【図 9 G】



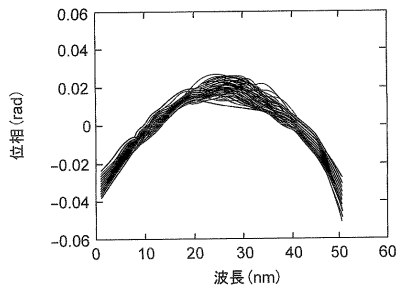
【図 9 H】



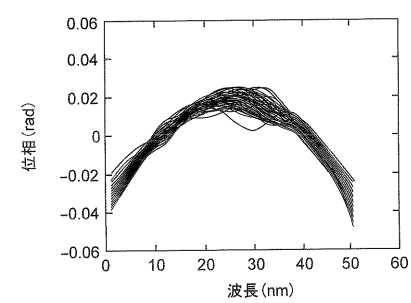
【図 9 J】



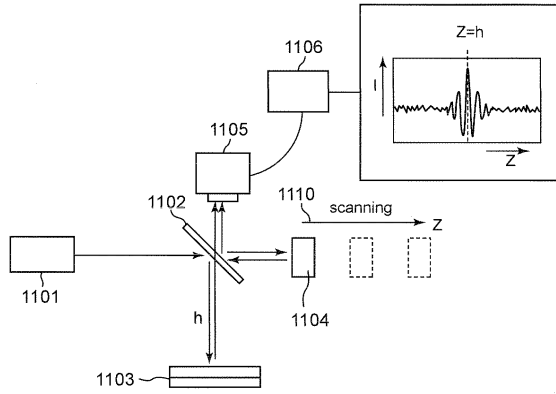
【図 9 I】



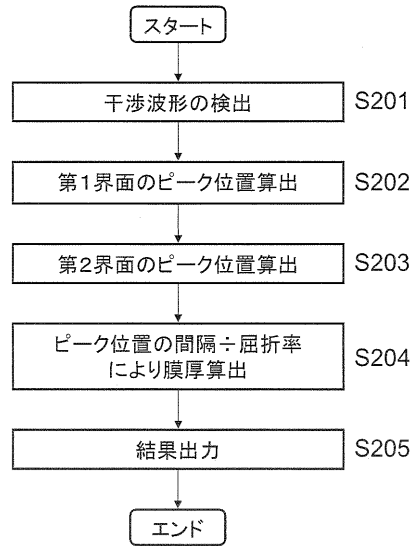
【図 9 K】



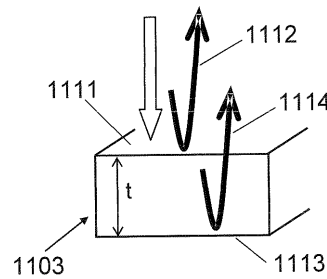
【図10】



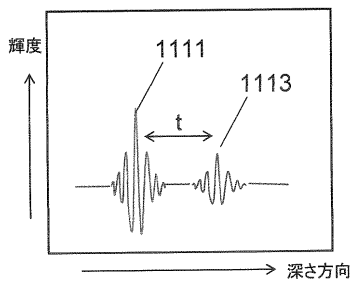
【図11】



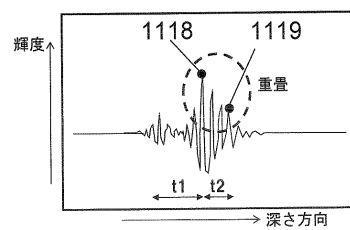
【図12A】



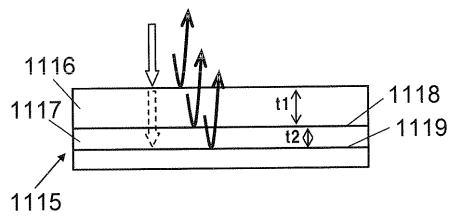
【図12B】



【図13B】



【図13A】



フロントページの続き

(72)発明者 浦島 毅史

福岡県福岡市博多区美野島4丁目1番62号 パナソニックシステムネットワークス株式会社内

審査官 うし 田 真悟

(56)参考文献 特表2009-516171(JP,A)

特開2008-299210(JP,A)

特表平08-502829(JP,A)

特開昭64-057108(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01B 9/00-11/30