

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2013-200299

(P2013-200299A)

(43) 公開日 平成25年10月3日 (2013. 10. 3)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO 1 N 21/17 (2006.01)	GO 1 N 21/17 6 1 O	2 F 0 6 7
GO 1 N 21/35 (2006.01)	GO 1 N 21/35 Z	2 G 0 5 9
A 6 1 B 5/107 (2006.01)	A 6 1 B 5/10 3 O O Q	4 C 0 3 8
A 6 1 B 5/00 (2006.01)	A 6 1 B 5/00 M	4 C 1 1 7
GO 1 B 15/08 (2006.01)	GO 1 B 15/08	
審査請求 未請求 請求項の数 17 O L (全 14 頁)		

(21) 出願番号	特願2013-15053 (P2013-15053)	(71) 出願人	000001007
(22) 出願日	平成25年1月30日 (2013. 1. 30)		キヤノン株式会社
(31) 優先権主張番号	特願2012-37487 (P2012-37487)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(32) 優先日	平成24年2月23日 (2012. 2. 23)	(74) 代理人	100086483
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		弁理士 加藤 一男
		(72) 発明者	加治木 康介
			東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内
		(72) 発明者	窪田 央一
			東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内
		Fターム (参考)	2F067 AA46 CC19 FF01 GG01 HH03
			JJ01 KK08 NN04 NN09 RR00
			RR14 RR25 RR41
			最終頁に続く

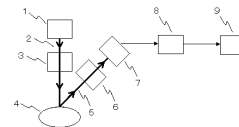
(54) 【発明の名称】 粗さ評価装置、それを用いた物体評価装置、及び粗さ評価方法

(57) 【要約】

【課題】 サンプルの内部界面の粗さの測定ないし評価を高精度に実施することができる粗さ評価装置ないし方法を提供する。

【解決手段】 粗さ評価装置は、電磁波パルス2を発生する発生手段1と、電磁波パルスが照射されたサンプル4からの電磁波パルス5を検出する検出手段7と、時間波形算出手段8と、処理手段9を有する。時間波形算出手段8は、検出手段により検出されるサンプルからの電磁波パルスの時間波形を算出する。処理手段9は、電磁波パルスの時間波形における内部界面に対応する部分である粗さ評価用パルスを電磁波パルスの時間波形から抽出して内部界面の粗さ情報を取得する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

電磁波パルスを発生する発生手段と、前記電磁波パルスが照射されたサンプルからの電磁波パルスを検出する検出手段と、前記検出手段により検出されるサンプルからの前記電磁波パルスの時間波形を算出するための時間波形算出手段と、前記電磁波パルスの時間波形からサンプルの内部界面の粗さ情報を取得する処理手段と、を有し、
前記処理手段は、前記電磁波パルスの時間波形における前記内部界面に対応する部分である粗さ評価用パルスを前記電磁波パルスの時間波形から抽出して前記内部界面の粗さ情報を取得することを特徴とする粗さ評価装置。

【請求項 2】

粗さ情報を取得する対象である前記内部界面以外の面で反射される前記電磁波パルスの一部を抽出して、前記電磁波パルスが通過する物質の屈折率または吸収係数または形状を取得することを特徴とする請求項 1 に記載の粗さ評価装置。

【請求項 3】

前記処理手段は、前記内部界面以外の物質の影響を補正するように前記粗さ評価用パルスを処理することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の粗さ評価装置。

【請求項 4】

前記電磁波パルスが通過する物質の屈折率または吸収係数または形状の情報を予め保持しているデータベースを有し、前記処理手段は前記データベースを用いて前記内部界面以外の物質の影響を補正するように前記粗さ評価用パルスを処理することを特徴とする請求項 1 に記載の粗さ評価装置。

【請求項 5】

前記補正は、前記電磁波パルスが通過する物質の屈折率または吸収係数または形状を用いることを特徴とする請求項 3 または 4 に記載の粗さ評価装置。

【請求項 6】

前記処理手段は、粗さ評価用パルスのスペクトルを利用して、前記内部界面の粗さ情報を取得することを特徴とする請求項 1 から 5 の何れか 1 項に記載の粗さ評価装置。

【請求項 7】

前記処理手段は、粗さ評価用パルスのスペクトルを参照データと比較して前記内部界面の粗さを評価する機能を備え、

前記参照データは、前記内部界面の粗さと前記電磁波パルスのスペクトルとの関係を保持することを特徴とする請求項 6 に記載の粗さ評価装置。

【請求項 8】

前記処理手段における補正は、前記粗さ評価用パルスのスペクトルを、前記内部界面以外の物質の吸収係数スペクトルを用いて補正することを特徴とする請求項 6 または 7 に記載の粗さ評価装置。

【請求項 9】

前記検出手段は、複数の角度でサンプルに入射またはサンプルから反射された前記電磁波パルスを検出し、

前記処理手段は、粗さ評価用パルスの反射角度分布を利用して、前記内部界面の粗さ情報を取得することを特徴とする請求項 1 から 5 の何れか 1 項に記載の粗さ評価装置。

【請求項 10】

前記処理手段は、粗さ評価用パルスの反射角度分布を参照データと比較して前記内部界面の粗さを評価する機能を備え、

前記参照データは、前記内部界面の粗さと前記電磁波パルスの反射角度分布との関係を保持することを特徴とする請求項 9 に記載の粗さ評価装置。

【請求項 11】

前記処理手段における補正は、前記粗さ評価用パルスの反射角度分布における反射角度を、前記内部界面以外の物質の屈折率または形状または吸収係数を用いて補正することを特徴とする請求項 9 または 10 に記載の粗さ評価装置。

10

20

30

40

50

【請求項 1 2】

請求項 1 から 1 1 の何れか 1 項に記載の粗さ評価装置を含み、
前記処理手段は、サンプルの前記内部界面の粗さ情報とともに、粗さ以外の情報をも取得することを特徴とする物体評価装置。

【請求項 1 3】

前記処理手段は、取得された前記内部界面の粗さ情報を用いて、前記内部界面が前記電磁波パルスに与える影響を補正して粗さ以外の情報を取得することを特徴とする請求項 1 2 に記載の物体評価装置。

【請求項 1 4】

請求項 1 から 1 1 の何れか 1 項に記載の粗さ評価装置を含み、
前記処理手段は、サンプルの前記内部界面の粗さ情報とともに、粗さ以外の情報も取得して皮膚の状態を評価する物体評価装置であって、
前記電磁波パルスはテラヘルツ波帯の周波数を含み、
前記内部界面の粗さと前記電磁波パルスのスペクトルとの関係、または、前記内部界面の粗さと前記電磁波パルスの反射角度分布との関係を保持する参照データは皮膚の健康状態や疾病に関する測定データを含み、
前記参照データと前記取得されたデータを比較して皮膚の状態を推定することを特徴とする物体評価装置。

10

【請求項 1 5】

前記処理手段は、取得された前記内部界面の粗さ情報を用いて、前記内部界面が前記電磁波パルスに与える影響を補正して粗さ以外の情報を取得することを特徴とする請求項 1 4 に記載の物体評価装置。

20

【請求項 1 6】

電磁波パルスを用いてサンプルの内部界面の粗さ情報を取得する粗さ評価方法であって、
サンプルに前記電磁波を照射するステップと、
サンプルからの前記電磁波パルスを検出して時間波形を算出するステップと、
前記電磁波パルスの時間波形における前記内部界面に対応する部分である粗さ評価用パルスを前記電磁波パルスの時間波形から抽出するステップと、
前記粗さ評価用パルスからサンプルの前記内部界面の粗さ情報を取得するステップと、
を有することを特徴とする粗さ評価方法。

30

【請求項 1 7】

前記粗さ情報を取得するステップの前に、前記内部界面以外の物質の影響を補正するように粗さ評価用パルスを処理するステップをさらに有することを特徴とする請求項 1 6 に記載の粗さ評価方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、電磁波パルスを用いて物体形状、特に物体の粗さを測定する粗さ評価装置に関する。さらには、電磁波パルスを用いて物体の情報を取得する物体評価装置、電磁波パルスを用いて物体の粗さを測定する粗さ評価方法等に関する。

40

【背景技術】

【0002】

電磁波を用いて物体の表面粗さを測定するために様々な装置が開発されている。このような装置の応用先は、加工物の評価や医用分野など多岐にわたっている。非特許文献 1 は、電磁波の反射スペクトルを用いて金属の表面粗さを評価する装置を提案している。本非特許文献 1 では、電磁波の波長に対して表面粗さの大きさが十分小さい時に良い近似となる下記式 F を用いて、金属の表面粗さを評価している。

$$R_{rough} = R_{smooth} \exp \left[- (4 k \cos \theta)^2 \right] \quad (\text{式 F})$$

ここで、 R_{rough} ：粗面で正反射したときの反射率、 R_{smooth} ：鏡面で正反射したときの反射率、 θ ：表面粗さ (rms)、 k ：波数、 θ ：電磁波の入射方向である。

50

式 F によると、周波数もしくは粗さが大きくなるほど正反射成分が小さくなることが分かる。周波数スペクトル上で、測定データと式 F の曲線をフィッティングすることにより、表面粗さを求めることができる。ここでは、1 THz 近辺の周波数領域の電磁波を用いて、例えば大きさ 16 μm 程度の表面粗さを評価している。

【0003】

また、特許文献 1 は、電磁波を用いてサンプルの物性を評価する装置に関し、電磁波の透過角度分布を用いてサンプルの粗さを評価する装置を開示している。本装置の一例は、複数の電磁波検出部を備えて、サンプルを透過した電磁波を複数の角度において検出できるように構成されている。サンプルの粗さが大きいほど電磁波の角度分布が広がる傾向にあることを利用して、こうして得られた電磁波の角度分布から、サンプルの粗さを評価する。透過配置だけでなく、反射配置でも、同様に反射角度分布から粗さを評価できることが知られている。このように、電磁波による種々の粗さ評価装置が一般に知られている。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開 2011 - 22011 号公報

【非特許文献】

【0005】

【非特許文献 1】Optics Letters, 34, 1927 (2009)

20

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、特許文献 1 や非特許文献 1 に記載の装置では、粗さを評価するための電磁波が物体から影響を受ける場合、粗さの測定精度が低下する場合があった。

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記課題に鑑み、本発明の粗さ評価装置は、電磁波パルスを発生する発生手段と、前記電磁波パルスが照射されたサンプルからの電磁波パルスを検出する検出手段と、前記検出手段により検出されるサンプルからの前記電磁波パルスの時間波形を算出するための時間波形算出手段と、前記電磁波パルスの時間波形からサンプルの内部界面の粗さ情報を取得する処理手段と、を備える。そして、前記処理手段は、前記電磁波パルスの時間波形における前記内部界面に対応する部分を前記電磁波パルスの時間波形から抽出して前記内部界面の粗さ情報を取得する。

30

【0008】

また、上記課題に鑑み、電磁波パルスを用いてサンプルの内部界面の粗さ情報を取得する本発明の粗さ評価方法は、以下のステップを有する。すなわち、サンプルに前記電磁波を照射するステップと、サンプルからの前記電磁波パルスを検出して時間波形を算出するステップと、前記電磁波パルスの時間波形における前記内部界面に対応する部分を前記電磁波パルスの時間波形から抽出するステップと、前記抽出した時間波形の部分からサンプルの前記内部界面の粗さ情報を取得するステップと、を有する。

40

【発明の効果】

【0009】

本発明の一側面である粗さ評価装置ないし方法では、粗さを評価するための電磁波から評価対象部位に対応する部分の情報を抽出するので、粗さの測定ないし評価を高精度に実施できる。また、粗さを評価するための電磁波に物体が及ぼす影響を補正する構成とする場合、粗さの測定ないし評価をさらに高精度に実施できる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図 1】本発明による粗さ評価装置の実施形態 1 の構成例を示す図。

【図 2】本発明による粗さ評価装置の実施形態 1 の構成例を示す図。

50

【図 3】本発明による粗さ評価装置の実施形態 1 の構成例を示す図。

【図 4】本発明による処理方法を説明するためのサンプル付近の構造例を示す図。

【図 5】本発明による処理方法を説明するための処理フローの例を示す図。

【図 6】反射強度分布の例を示すグラフ。

【図 7】サンプル表面による反射角度の変化の例を示す図。

【図 8】サンプル表面による反射角度の変化の例を示すグラフ。

【図 9】本発明による処理方法を説明するためのサンプル付近の構造例を示す図。

【図 10】本発明による物体評価装置の実施形態 3 の構成例を示す図。

【図 11】皮膚の表皮 - 真皮界面の様子を示す模式図。

【図 12】本発明による処理方法を説明するための処理フローの例を示す図。

【発明を実施するための形態】

【0011】

本発明の粗さ評価装置ないし方法及び物体評価装置は、サンプル（測定対象物）の内部界面の粗さ情報の取得に際し、サンプルからの電磁波パルスの時間波形における内部界面に対応する部分を該電磁波パルスの時間波形から抽出することを特徴とする。また、内部界面の粗さを評価するための電磁波に他の物体が及ぼす影響を補正する構成とすることもできる。電磁波が物体から受ける影響としては、例えば物体の内部界面の粗さを測定する際に物体の表層を通過することによる屈折、散乱、吸収、フレネルロス、表面での反射パルスと内部界面での反射パルスの時間的な重なりなどがある。以上の考え方に基づき、本発明の粗さ評価装置ないし方法は上記課題を解決するための手段のところで述べた様な基本的な構成を有する。この粗さ評価装置を含み、処理手段が、サンプルの内部界面の粗さ情報とともに、粗さ以外の情報も取得する様に構成することで物体評価装置を構成することができる。この場合、処理手段は、取得された内部界面の粗さ情報を用いて、内部界面が電磁波パルスに与える影響を補正して粗さ以外の情報を取得する様に構成できる。また、粗さ評価装置を含み、処理手段が、サンプルの内部界面の粗さ情報とともに、粗さ以外の情報も取得して皮膚の状態を評価する物体評価装置を構成することもできる。この場合、処理手段は、電磁波パルスの時間波形における内部界面に対応する部分の粗さ情報を参照データと比較して内部界面の粗さを取得する機能を備える。参照データは、内部界面の粗さと電磁波パルスのスペクトルとの関係或いは内部界面の粗さと電磁波パルスの反射角度分布との関係を保持する。そして、電磁波パルスはテラヘルツ波帯の周波数成分を含み、参照データは皮膚の健康状態や疾病に関する測定データを含み、参照データと前記取得されたデータを比較して皮膚の状態を推定する。

【0012】

以下、図を用いて本発明の実施形態を説明する。

（実施形態 1）

本発明の実施形態 1 である粗さ評価装置ないし方法について、図 1 を参照して説明する。図 1 において、発生手段 1 により発生した電磁波パルス 2 は照射光学系 3 によってサンプル 4 に照射される。サンプル 4 からの反射電磁波パルス 5 は、受光光学系 6 によって検出手段 7 に入射する。検出手段 7 で検出された反射電磁波パルス 5 の情報を使用して、時間波形算出手段 8 は反射電磁波パルス 5 の電界強度の時間波形を算出する。処理手段 9 はこの時間波形を処理して、サンプル 4 の内部の界面の粗さ情報を取得する。ここで、検出手段 7 には、サンプル 4 の内部界面によって反射されるパルス（粗さを評価したい面により反射されるパルス；以後、粗さ評価用パルスとも称する）と、その界面以外の面から反射されるパルスとが、パルス列となって入射している。粗さ評価用パルスは界面の粗さ情報を含んでいるため、この粗さ評価用パルスを利用して粗さを評価することができる。界面の粗さの評価方法について、次に説明する。

【0013】

粗さの評価方法としては、反射電磁波パルス 5 の反射角度分布から求める方法や、反射電磁波パルス 5 のスペクトルから求める方法がある。反射電磁波パルス 5 の反射角度分布から求める方法の場合、複数の角度でサンプル 4 から反射される反射電磁波パルス 5 を検出

10

20

30

40

50

できる構成とする。具体的には、複数の受光光学系 6 や検出手段 7 あるいは複数の発生手段 1 や照射光学系 3 を設ける。もしくは、サンプル 4 の測定箇所付近を軸にして、発生手段 1 や照射光学系 3、あるいはサンプル 4、あるいは受光光学系 6 と検出手段 7 を回転できるように構成とすればよい。なお、図 2 では、例として、受光光学系と検出手段の組を、受光光学系 2 6、2 6' と検出手段 2 7、2 7' の如く 2 組有する装置構成を示している。他の部分 (20 番台の数字で示す) は図 1 と同様である。この様に、本実施形態では、検出手段は、複数の角度でサンプルに入射した電磁波パルス (例えば、サンプルの測定箇所付近を軸にしてサンプルを回転する構成の場合) または複数の角度でサンプルから反射された電磁波パルスを検出する。そして、処理手段は、電磁波パルスの反射角度分布から内部界面の粗さ情報を取得する。

10

【0014】

内部界面からの電磁波パルスの反射成分である反射電磁波パルス 5 のスペクトルから求める方法では、サンプル 4 から反射される反射電磁波パルス 5 を検出する角度は 1 つでよいので、より単純な構成とできることがメリットである。ただし、粗さ評価用パルスと物体表面で反射したパルスが時間的に重なって検出されると、粗さ評価用パルスのスペクトルの測定精度が低下してしまうことに注意が必要である。このような重なりは、これら 2 つのパルスの時間間隔がパルスのパルス幅 (FWHM) 程度以下となるような場合に顕著に現れる。この他に、空気中の水分やサンプルでの電磁波の吸収などによりパルスピークより遅れて数 10 ps の範囲にわたって信号が現れることもある。

20

【0015】

粗さの算出ないし取得方法について説明する。粗さの評価は、反射電磁波パルスの反射角度分布やスペクトルの関係を示す理論式を用いる。そして、参照データ 30 (図 3 に記載。図 3 に記載の他の部分 (30 番台の数字で示す) は図 1 と同様である) と実測データ (電磁波パルスの時間波形における内部界面に対応する部分の粗さ情報の実測データ) を比較して、行うことができる。参照データ 30 は、予め内部界面の粗さの異なる複数のサンプルに対して反射電磁波パルスの反射角度分布やスペクトルを測定して得たデータ (内部界面の粗さと電磁波パルスのスペクトルまたは反射角度分布との関係のデータ) である。一例として、実測データと参照データ 30 の一致度を算出し、最も一致度の高い参照データ 30 が紐付けられる粗さ情報の値をサンプル 4 の粗さとすることができる。

30

【0016】

参照データ 30 の取得時と粗さ評価測定時との間で、電磁波パルス 2 がサンプル 4 において通過する物体の形状や複素屈折率などが変化するような場合は、その変化を検知し、参照データ 30 (或いは、後述する様に、実測データ) を補正することが必要である。この変化を検知するには、粗さを評価する面以外で反射するパルスなどを利用することができる。また、参照データが、界面以外の物質の影響を含んでいないデータである場合も、処理手段は、内部界面以外の物質の影響を補正するように、実測電磁波パルスの時間波形における内部界面に対応する部分を処理するのが望ましい。

【0017】

この補正方法について次に説明する。まず、反射角度分布を用いて内部界面の粗さを算出するケースについて説明する。図 4 のようなサンプル 40 に電磁波パルス 43 が入射する場合を考える。サンプル 40 は第 1 の物体 41 と第 2 の物体 42 からなる。空気と第 1 の物体 41 の界面を表面 46、第 1 の物体 41 と第 2 の物体 42 の界面を内部界面 47 とする。電磁波パルス 43 の反射波のうち、表面 46 で反射されたものを表面反射パルス 44、内部界面 47 で反射されたものを内部界面反射パルス 45 とする。第 1 の物体 41 の屈折率が変化する場合、図 5 に示すような処理フローにしたがって、粗さ評価を行うことができる。屈折率が変化する要因としては、サンプル自体が時系列変化する場合や、サンプルを走査してイメージングを行なう場合などがある。ここでは、理解を容易にするために、電磁波パルス 43 がサンプル 40 の表面 46 に垂直入射している場合を考える。また、反射角度分布の参照データを図 6 に示すように有しているが、粗さ評価時には、参照データ取得時と比べて第 1 の物体 41 の屈折率が変化しているとする。参照データは、内部界

40

50

面 4 7 の粗さが異なる複数の標準サンプルに対して測定された反射角度分布データ群を持っているものとする。

【 0 0 1 8 】

以下、図 5 の処理フローについて説明する。

(ステップ 1)

まず、表面 4 6 によって反射される表面反射パルス 4 4 を検出時間波形から抽出する。表面反射パルス 4 4 と内部界面反射パルス 4 5 が時間的に十分離れている場合は、単純に時間軸上の或る時刻で分離すればよい。表面反射パルス 4 4 と内部界面反射パルス 4 5 が互いに重なり部分を持つ場合は、回帰分析やウェーブレット変換などの分析手法を用いて互いの影響が小さくなるように分離することが望ましい。例として、電磁波パルス 4 3 のパルス幅 (F W H M) は 3 0 0 f s とする。この場合、表面 4 6 と内部界面 4 7 の間隔が光路長で約 5 0 μ m (往復で 1 0 0 μ m に相当) 以下であると、それぞれの反射パルス (4 4 、 4 5) の重なりが大きくなるため、前述の分離手法の利用が望まれる。

10

【 0 0 1 9 】

このようにして抽出された表面反射パルス 4 4 から下記式 A、式 B によって第 1 の物体 4 1 の複素屈折率を算出する (T E R A H E R T Z S E N S I N G T E C H N O L O G Y V o l u m e 1 (W o r l d S c i e n t i f i c) を参照した) 。

【 0 0 2 0 】

【数 1】

20

$$n_s(\omega) = \sqrt{\epsilon_s(\omega)} \quad \text{式 A}$$

$$\epsilon_s(\omega) = \left[\sin^2 \theta_i + \cos^2 \theta_i \left(\frac{1-r(\omega)}{1+r(\omega)} \right)^2 \right] \epsilon_1(\omega) \quad \text{式 B}$$

【 0 0 2 1 】

ここで、 $n_s()$: 対象物体 (ここでは第 1 の物体 4 1) の複素屈折率、 $s()$: 対象物体の複素誘電率、 $\epsilon_1()$: 入射側物体 (ここでは空気) の複素誘電率、 $r()$: 複素反射率、 θ_i : 電磁波の入射角、 ω : 電磁波の角周波数である。

30

【 0 0 2 2 】

(ステップ 2)

図 7 を参照して説明する。図 7 に記載の 7 0 番台の数字で示す各部分は図 4 に記載の 4 0 番台の数字で示す各部分と同様である。第 1 の物体 7 1 の屈折率を使い、サンプル 7 0 の外部に出射する内部界面反射パルス 7 5 の角度を補正する。内部界面反射パルス 7 5 の一部の成分は表面 7 6 に対して内部界面 7 7 側から斜めに入射するので、電磁波の入射角と出射角の関係を表すスネルの式に屈折率を代入して出射角を求める。図 7 中の点線は、第 1 の物体 7 1 の屈折率が増変した時の内部界面反射パルス 7 5 の出射角度の変化の例を示している。参照データ取得時の屈折率 n_1 が粗さ評価時には n_1' に変化したとすると、それぞれの時点におけるスネルの式 (式 C、式 D) から式 E のような関係を導くことができる。

40

【 0 0 2 3 】

【数 2】

$$n_1 \sin \theta_1 = \sin \theta_0 \quad \text{式 C}$$

$$n_1' \sin \theta_1 = \sin \theta_0' \quad \text{式 D}$$

$$\theta_0' = \arcsin \left(\frac{n_1'}{n_1} \sin \theta_0 \right) \quad \text{式 E}$$

【0024】

10

式Eによると、例えば屈折率が2.2のときに電磁波の一部が角度20度で物体外に出射していたとすると、屈折率が2に変化した場合にはその電磁波は角度18度で出射する。図6のグラフの横軸(1)を式Eにしたがって1'に置き換えることにより、角度を補正することができる。サンプル70を走査するなどによりサンプル表面形状が得られる場合には、その表面形状により表面の法線ベクトルが決まることを考慮して、前述のスネルの式を適用すればよい。これにより、反射角度を補正することができる。また、吸収係数が変化する場合は、第1の物体71での内部界面反射パルス75の光路長を算出し、吸収の影響を算出して参照データ取得時の内部界面反射パルス75の強度から該吸収分を除去すればよい。つまり、反射角度分布における電界強度から吸収分を除けばよい。なお、本ステップで用いる屈折率や吸収係数に関しては、電磁波パルスに含まれる波長の主要な一部のみに対応するものを利用してもよい。電磁波パルスに含まれる波長全体についての屈折率や吸収係数を利用しても勿論よい。

20

【0025】

(ステップ3)

粗さの評価に使用するために、時間波形上で内部界面反射パルス45を表面反射パルス44から切り離して抽出する。ステップ1で触れたように、それぞれのパルスが互いに重なり部分を持つ場合は、回帰分析やウェーブレット変換などの分析手法を用いて互いの影響が小さくなるように分離することが望ましい。

(ステップ4)

内部界面反射パルス45の強度を取得する。例えば、時間波形上のピーク電界強度を、複数の反射角度において取得する。

30

【0026】

(ステップ5)

ステップ4で得られた複数の反射角度における内部界面反射パルス45のピーク電界強度を、ステップ2で補正された参照データと比較し、もっとも一致度の高いデータから、内部界面47の粗さを判定する。このような処理フローによって、第1の物体41が内部界面反射パルス45に及ぼす影響を低減できる。反射角度分布に表面屈折が与える影響を、より具体的な例で以下に示す。図8は、表面による屈折の影響があるときと無いときの反射角度分布の一例を示す。なお、本図は特許文献(特許第03276577号)に記載の理論式をもとに、表面屈折の影響があるケースと無いケースを比較した反射角度分布の理論曲線の一例である。ここで、物体の屈折率を1.7、電磁波の波長を300 μm、Rrms/mを300 μm(Rrms: 界面の粗さの二乗平均平方根粗さ、m: 界面の傾斜角分布の二乗平均平方根)としている。図8から分かるように、表面屈折の影響によって反射角度分布は広がる。この広がり程度は第1の物体41の屈折率によるので、その値に応じた補正をかけることが望ましい。ここでは、参照データを補正したが、逆に、測定データを参照データ取得時の条件のものに補正して、補正された測定データと参照データを比較してもよい。

40

【0027】

なお、ここでは第1の物体41の複素屈折率を表面反射パルス44から算出したが、予め第1の物体41の複素屈折率をデータベースとして有していてもよい。第1の物体41の

50

表面 4 6 の形状を加味して反射角度を補正するケースでは、第 1 の物体 4 1 の表面 4 6 の形状を予めデータベースとして有していてもよい。

【 0 0 2 8 】

次に、スペクトルを用いて内部界面の粗さを算出するケースについて、内部界面以外の物質の影響を補正する方法を説明する。想定するサンプルは、図 4 と同様とする。図 1 2 に示した処理フローに沿って、以下説明する。図 5 の処理フローと同様な部分は説明を割愛する。

【 0 0 2 9 】

(ステップ 1)

図 5 のステップ 1 と同様である。ただし、ここでは吸収係数スペクトルが分かればよい。

10

(ステップ 2)

このステップでは、事前を取得している参照データ (粗さと反射電磁波パルスのスペクトルの関係を保持) を補正する。具体的には、ステップ 1 において取得されている第 1 の物質 4 1 の吸収係数スペクトルを用いて、参照データのスペクトルの電界強度から光路長分の吸収量を除去する。なお、本ステップで用いる吸収係数に関しては、電磁波パルスに含まれる波長の主要な一部のみに対応するものを利用してもよい。電磁波パルスに含まれる波長全体についての吸収係数を利用しても勿論よい。

(ステップ 3)

図 5 のステップ 3 と同様である。

(ステップ 4)

20

内部界面反射パルス 4 5 のスペクトルを取得する。

(ステップ 5)

ステップ 4 で得られた内部界面反射パルス 4 5 のスペクトルを、ステップ 2 で補正された参照データと比較し、もっとも一致度の高いデータから、内部界面 4 7 の粗さを判定する。

【 0 0 3 0 】

以上説明したような粗さ測定装置ないし方法によって、粗さを評価するための電磁波に物体が及ぼす影響を補正することができ、粗さの測定を高精度に実施することができる。

【 0 0 3 1 】

(実施形態 2)

30

実施形態 2 は、評価粗さの情報を利用して、物体内部の粗さ評価面以外の情報を補正することを特徴とする物体評価装置に関する。内部界面の評価には実施形態 1 に記載の装置と方法を使うことができる。実施形態 1 と重複する部分の説明は省略する。図 9 は、本実施形態における処理手法を説明するための図である。図 9 に記載の 1 0 0 番台の数字で示す各部分は図 4 に記載の 4 0 番台の数字で示す各部分と同様である。図 9 は、図 4 のサンプルに第 3 の物体 1 0 8 が付け加わったサンプル 1 0 0 に電磁波パルス 1 0 3 が入射した場合の図で、第 3 の面 1 1 0 によって第 3 の反射パルス 1 0 9 が生じている。図 9 では、第 3 の反射パルス 1 0 9 は第 2 の面 1 0 7 (粗さを評価する面とする) の影響を受けている。例えば、第 2 の面 1 0 7 による散乱にともなう電磁波透過強度の低下やスペクトルの変化の影響を受ける。そこで、第 3 の面 1 1 0 の形状や第 3 の物体 1 0 8 の物性を高精度に評価するために、第 2 の面 1 0 7 の粗さの影響を除去することが望ましい。

40

【 0 0 3 2 】

或る面に対する電磁波の入射光強度 I は、透過光強度 T 、散乱光強度 S 、反射光強度 R の和と等しい。そのため、第 2 の面 1 0 7 の反射・散乱の状況が実施形態 1 のような手法により分かれば、この面における透過光強度を算出することが可能である。図 9 の例では第 3 の面 1 1 0 によって反射される電磁波パルス 1 0 9 は第 2 の面 1 0 7 を 2 回透過する。この場合、上記の補正を 2 回行えばよい。

【 0 0 3 3 】

以上に説明したような物体評価装置によって、物体評価時に内部界面の粗さの影響を補正することが可能となるため、物体 (例えば第 3 の面 1 1 0 の形状や第 3 の物体 1 0 8 の物

50

性)の評価を高精度に実施できる。こうして、粗さ評価装置を含み、処理手段が、サンプルの所定の内部界面の粗さ情報とともに、この粗さ以外の情報をも取得する物体評価装置を実現することができる。

【0034】

(実施形態3)

実施形態3は、実施形態1、2で説明したような粗さ評価装置の機能を組み込んだ物体評価装置に関する。図10に、本実施形態における物体評価装置の構成例を示す。この物体評価装置は、30GHz~30THz程度の周波数領域の電磁波成分を含むテラヘルツ波を利用するTHz-TDS(Terahertz Time Domain Spectroscopy)装置である。

10

【0035】

図10において、励起光パルス発生部80は励起光パルス81を出射する。励起光パルス発生部80としては、ファイバレーザなどを使用することができ、励起光パルス81はここでは波長1.5μm帯、パルス時間幅(パワー表示での半値全幅)30fs程度のパルスレーザとする。励起光パルス81はビームスプリッタ82で二手に分けられる。一方の励起光パルス81は電磁波パルス発生素子83へ入射し、もう一方の励起光パルス81は第二次高調波発生部87へ入射する。電磁波パルス発生素子83は光伝導素子とシリコン半球レンズからなる。光伝導素子は、励起光パルス81を吸収して光励起キャリアを発生する光伝導層と、光伝導層に電界を印加するための電極と、発生した電磁波パルス84を放射するためのアンテナからなる。電磁波パルス84は、光励起キャリアが電界によって加速されることによって発生する。電磁波パルス84は、光伝導素子が形成された基板の裏面方向に強く放射されるため、基板裏面にシリコン半球レンズを接して配置して、空間への放射パワーを高めている。ここでは励起光パルス81の波長を1.5μm帯としたので、光伝導層としては、この波長の励起光を吸収して光励起キャリアを発生できる低温成長InGaAsを使えばよい。電圧源91は光伝導素子の電極へ電圧を印加する。

20

【0036】

上記説明の構成とすれば、パルス時間幅(半値全幅)数100fs、周波数領域で数THz程度までの電磁波パルス84を放射させることが一般に可能である。空間に放射された電磁波パルス84は、レンズやミラー等の光学素子によってサンプル85へと集光される。サンプル85から反射した電磁波パルス84は、光学素子によって電磁波パルス検出素子86に入射する。電磁波パルス検出素子86はサンプル85から2つの異なる角度で反射する電磁波パルス84を検出できるように配置されている。

30

【0037】

ビームスプリッタ82で分けられて第二次高調波発生部87へ入射したもう一方の励起光パルス81は、第二次高調波変換過程によって波長0.8μm帯のパルスレーザとなる。第二次高調波変換素子としてはPPLN結晶(Periodically Poled Lithium Niobate)などを使用できる。他の非線形過程で生ずる波長や、波長変換されずに射出してくる1.5μm帯の波長のレーザは、ダイクロイックミラー等によって励起光パルス81から排除される。0.8μm帯の波長に変換された励起光パルス81は、励起光遅延系88を通過して電磁波パルス検出素子86へと入射する。電磁波パルス検出素子86としては、電磁波パルス発生素子83と同じような構成の素子を2つ並べたものを使用することができる。2つの素子に対応して、励起光パルス81もさらに二手に分けられそれぞれの素子へ入射する。検出側では、第二次高調波発生部87で生成される波長0.8μm帯の励起光パルス81を吸収するために、光伝導層には低温成長GaAsが好適に用いられる。光伝導層で発生した光励起キャリアは電磁波パルス84の電界によって加速され、電極間に電流を生じさせる。電流は電流電圧変換部89によって電圧に変換される。この電圧値は、光電流が流れている時間内の電磁波パルス84の電界強度を反映している。励起光遅延系88によって励起光パルス81の遅延時間を掃引することで、電磁波パルス84の電界強度の時間波形を再構成することができる。処理部90では、電磁波パルス発生素子83の電圧や励起光遅延系88による遅延時間を制御したり、

40

50

実施形態 1 や 2 で説明したような粗さ評価方法や物体評価方法を用いて物体を評価したりする。また、電磁波パルス 8 4 の時間波形やその周波数成分からサンプル 8 5 の情報（複素屈折率や形状など）を取得し、表示部 9 2 に表示する。サンプル 8 5 の測定箇所を走査することで、トモグラフィックイメージングなどを行うことも可能である。以上のような物体評価装置によって、物体の同定やイメージングなどを高精度に行うことが可能となる。

【 0 0 3 8 】

このような物体評価装置は、例えばヒトの皮膚の評価などに応用できる。ヒトの皮膚の表皮 - 真皮界面は凹凸形状をしている。これは、界面の表面積を増やして栄養や酸素を多く伝達したり、突起により変位を感じ易くして触覚を鋭敏にしたりするなどといった効果をもたらすためと言われている。この表皮 - 真皮界面の凹凸形状は、湿疹などの疾病や健康状態により変化することが一般に知られている（図 1 1 参照）。図 1 1 (a) は通常の状態の皮膚、図 1 1 (b) は疾病（ここでは乾癬）状態の皮膚の模式図である。ここで、1 1 1、1 1 1' は表皮、1 1 2、1 1 2' は真皮、1 1 3、1 1 3' は表皮 - 真皮界面を示す。表皮 - 真皮界面の変化を利用して、例えば、皮膚の疾病に応じた参照データベースを構築しておき、検査対象の皮膚の測定データと比較して疾病を推定するなどの応用が考えられる。

10

【 0 0 3 9 】

このような応用にはテラヘルツ波帯の電磁波が適していると考えられる。なぜならば、上記の皮膚程度の構造（10 μm ~ 1 mm のオーダー）を判別できる奥行き分解能を持つためにはテラヘルツ波帯以上の周波数であることが望ましいからである。また、皮膚表面のより細かい凹凸形状や各細胞による散乱の影響を低減するためには、テラヘルツ波帯以下の周波数であることが望ましいからである。もちろん、それ以外の周波数の電磁波を用いてもよい。

20

複数の周波数の電磁波や超音波といった様々な測定手法を同時に用いて疾病の推定などを行うことも可能である。

【 0 0 4 0 】

本物体評価装置は内視鏡としても応用できる。この場合、電磁波パルスの導波部分（励起光パルスの導波部分でもよい）を導波ファイバに置き換えるなどにより、体内の観察位置に電磁波パルスを導く構成などが考えられる。このように、本実施形態の物体評価装置は、医療、美容の分野や、その他にも工業製品検査などの分野などで利用することができる。

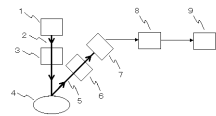
30

【 符号の説明 】

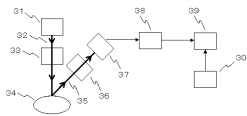
【 0 0 4 1 】

1・・・発生手段、2、5・・・電磁波パルス、4・・・サンプル、7・・・検出手段、8・・・時間波形算出手段、9・・・処理手段

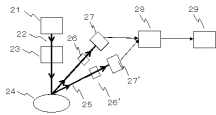
【図 1】



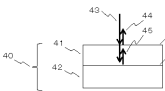
【図 3】



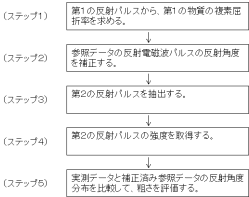
【図 2】



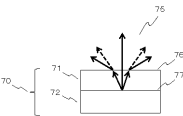
【図 4】



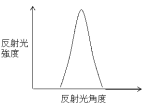
【図 5】



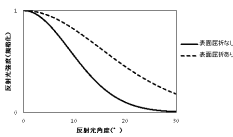
【図 7】



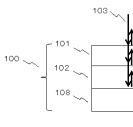
【図 6】



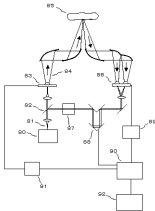
【図 8】



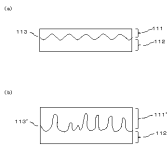
【 図 9 】



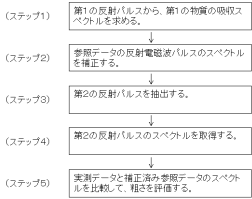
【 図 10 】



【 図 11 】



【 図 12 】



フロントページの続き

F ターム(参考) 2G059 AA05 AA06 BB12 BB15 DD20 EE02 EE12 FF02 FF04 FF08
GG01 GG08 HH01 HH06 JJ11 JJ17 JJ22 KK03 MM01 MM02
NN01
4C038 VA04 VB22 VC01
4C117 XB01 XD05 XE36