

(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2014-174124
(P2014-174124A)

(43) 公開日 平成26年9月22日(2014.9.22)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
G 0 1 B 11/08 (2006.01)	G 0 1 B 11/08 Z	2 F 0 6 5
G 1 1 B 7/24 (2013.01)	G 1 1 B 7/24 5 0 1 Z	2 G 0 5 9
G 1 1 B 7/24035 (2013.01)	G 1 1 B 7/24 5 2 2 L	5 D 0 2 9
G 1 1 B 7/2407 (2013.01)	G 1 1 B 7/24 5 6 1 Z	
G 0 1 B 11/14 (2006.01)	G 0 1 B 11/08 H	

審査請求 未請求 請求項の数 43 O L (全 81 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2013-49705 (P2013-49705)
(22) 出願日 平成25年3月12日 (2013.3.12)

(特許庁注：以下のものは登録商標)

1. Blu-ray

(71) 出願人 504171134
国立大学法人 筑波大学
茨城県つくば市天王台一丁目1番1

(74) 代理人 100110179
弁理士 光田 敦

(72) 発明者 伊藤 雅英
茨城県つくば市天王台一丁目1番1 国立
大学法人筑波大学内

(72) 発明者 谷田貝 豊彦
茨城県つくば市天王台一丁目1番1 国立
大学法人筑波大学内

(72) 発明者 星野 鉄哉
茨城県つくば市天王台一丁目1番1 国立
大学法人筑波大学内

最終頁に続く

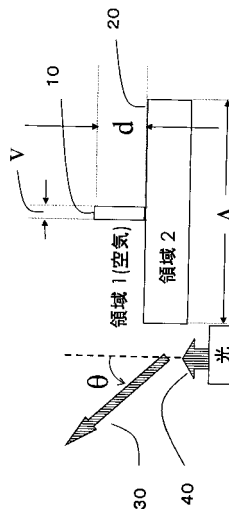
(54) 【発明の名称】 光散乱体の光学的測定方法、光学的測定装置及び光学的記録媒体

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 光散乱の厳密な計算の方法を用いて、光散乱体の大きさ・形状や光散乱体間の距離を精度よく評価することであり、また、この評価を用いて、粒子の形状・大きさ複素屈折率、粒子間の距離を高速に測定できる光学的測定方法及び光学的測定装置を提供する。また、この計測手段を用いて、回折限界を超える密度の光メモリを提供する。

【解決手段】 入射光40の光軸から0.05ラジアン以上はずれた散乱光30の強度分布と、周期的な構造に関する光学的計算手法を周期の1/3よりも長径が短い孤立した光散乱体10に適用して算出した散乱光30の強度分布を比較することによって、光散乱体10を計測する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

入射光の光軸から 0.05 ラジアン (rad) 以上はずれた散乱光の強度分布と、周期的な構造に関する光学的計算手法を周期の $1/3$ よりも長径が短い孤立した光散乱体に適用して算出した散乱光の強度分布を比較することによって、光散乱体を計測することを特徴とする光学的測定方法。

【請求項 2】

入射光の光軸から 0.05 ラジアン (rad) 以上はずれた散乱光の角度又は波長に対する強度分布を用い、周期的な構造に関する光学的計算手法を用いて計算した散乱光の強度分布と、強度が変動する周期を比較することによって、光散乱体の大きさや形状を計測することを特徴とする光学的測定方法。

10

【請求項 3】

入射光の光軸から 0.05 ラジアン (rad) 以上はずれた散乱光の強度分布を用い、周期的な構造に関する光学的計算手法を用いて計算した散乱光の強度分布と、散乱強度を比較することによって、光散乱体の複素屈折率を計測することを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の光学的測定方法。

【請求項 4】

散乱光の波長に対する強度分布を用い、周期的な構造に関する光学的計算手法を用いて計算した散乱光の消光係数から、光吸収や光路長を算出することを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の分光スペクトルの光学的測定方法。

20

【請求項 5】

光散乱体の形状を計測すること及び該光散乱体の散乱光を計測することを、該光散乱体を動かさずにでき、該形状に基づいて散乱強度を周期的な構造に関する光学的計算手法を用いて計算することにより、光散乱体を計測することを特徴とする請求項 1 ないし 4 のいずれかに記載の光学的測定方法。

【請求項 6】

光散乱体が二つの光散乱体であり、計測にいずれの光散乱体の長径よりも短い波長 λ の光を用い、一軸は光散乱体と光散乱体の間隔 w よりも長くかつ他の一軸は波長 λ より短いビームスポットを照射し、光軸から (λ/w) rad 以上はずれた散乱光の強度の角度分布または波長分布を用い、周期的な構造に関する光学的計算手法を用いて計算した散乱光の分布と、強度が変動する周期について比較することによって、光散乱体と光散乱体の距離を計測することを特徴とする請求項 1 ないし 5 のいずれかに記載の光学的測定方法。

30

【請求項 7】

光を散乱させて測定・解析するための入射光波長の最小値を λ_0 とするとき、周囲と屈折率の異なる二つの光散乱体の間の距離が $0.4\lambda_0$ 以上 $100\lambda_0$ 以下であり、前記二つの光散乱体の全光線透過率または全光線反射率が 50% 以上である条件において、前記二つの光散乱体によって生じる散乱光の光散乱強度角度分布または所定の散乱角度での光散乱強度波長分布を得て、角度の正弦または $1/\lambda$ を横軸としたデータを元に、フーリエ変換したときのピークの横軸を算出することで、二つの光散乱体間の距離を求めることを特徴とする請求項 6 に記載の光学的測定方法。

40

【請求項 8】

二つの光散乱体間の距離を求めるための測定波長は、所定の波長範囲 λ_1 から λ_2 ($\lambda_1 < \lambda_2$) を使用し、 $100 \times \lambda_1 > \lambda_2$ であって、前記二つの光散乱体の屈折率 n_2 は、空気の屈折率 n_0 と異なり、前記二つの光散乱体は、互いに同じ種類の形状で 1 組または 2 組以上が、互いに距離 w_m ($m = 1, 2, 3 \dots m_{max}$) を隔てて、屈折率 n_1 の平板上に存在する構成、または屈折率 n_3 ($n_3 > n_1$) の平板内部に存在する構成であり、二つの光散乱体によって生じる散乱光の光散乱強度は、該散乱光を、二つの光散乱体を結ぶ軸から外れた方向で、二つの光散乱体を通った光が干渉した光を測定し、この二つの光散乱体を結ぶ軸から外れた方向は、入射光と光散乱体を結ぶ軸を含む面内において

50

は、軸となす角度を入射光の進行方向と同じ向きに 180° 、または、入射光の進行方向と逆向きに 180° とした範囲にあって、2つの光散乱体を結ぶ軸方向を含まない範囲の方向であることを特徴とする請求項7に記載の光学的測定方法。

【請求項9】

2つの屈折発生体の重心を結ぶ軸を含み入射光に平行な平面における光散乱体の断面が矩形、楕円形または正弦形の場合には、光散乱強度角度分布を角度の正弦を横軸としてフーリエ変換し、三角形の場合には、ある角度で観測した光散乱強度波長分布について、波長を横軸としてフーリエ変換することを特徴とする請求項6ないし8のいずれかに記載の光学的測定方法。

【請求項10】

2つの光散乱体の断面の面積が5%以上異なるときに、ピークの横軸から読み取った2つの光散乱体の距離を1%以上補正することを特徴とする請求項6ないし9のいずれかに記載の光学的測定方法。

【請求項11】

フーリエ変換後のピークの横軸を読み取ることで求められた2つの光散乱体間の距離を、2つの光散乱体の高さや幅が異なるとき、フーリエモーダル法、時間領域差分法(FDTD法)または境界要素法で得られた光散乱分布についてフーリエ変換した結果に基づいて、補正することを特徴とする請求項6ないし10のいずれかに記載の光学的測定方法。

【請求項12】

2つの光散乱体は、3つ以上の光散乱体 S_m ($m = 1, 2, 3, \dots$) があるときの2つであり、そのうち1つの光散乱体 S_1 だけの散乱強度を変えて測定し、変える前と後の波長分布または角度分布を比較することで、光散乱体 S_1 と他の散乱体の距離を測定することを特徴とする請求項6ないし11のいずれかに記載の光学的測定方法。

【請求項13】

2つの光散乱体に対して入射光路の前方にピンホールまたはスリット設けるとともに、該ピンホールまたはスリットと光散乱体との間にレンズを配置して2つの光散乱体に光源からの光を集光し、散乱光の光散乱強度角度分布の角度が前記レンズの光軸から 20° 以上ずれた角度を含み、前記ピンホールまたはスリットを通過できる光源からの光の強度が $10 \mu W$ 以上であり、ピンホールの直径またはスリットの短軸の幅が $100 \mu m$ 以下であり、さらに2つの光散乱体の散乱光を平行化するために光散乱強度角度分布の中央付近の角度または所定の散乱角度の軸上に別のレンズを配置し、さらに、散乱光を計測するためのイメージセンサを備えたことを特徴とする請求項6ないし12のいずれかに記載の光学的測定方法

【請求項14】

白色光源の光を集光するために、ピンホールまたはスリットと該光源の間に第1のレンズを配置し、2つの光散乱体を集光するために前記ピンホールまたはスリットと2つの光散乱体との間に第2のレンズを配置し、散乱光の所定の散乱角度の角度が第2のレンズの光軸から 20° 以上ずれた角度を含み、前記ピンホールまたはスリットを通過できる光源からの光の強度が $10 \mu W$ 以上であり、前記ピンホールの直径または前記スリットの短軸の幅が $100 \mu m$ 以下であり、さらに光散乱体の散乱光を集光するために所定の散乱角度の軸上に第3のレンズを配置し、第3のレンズと受光部を、受光部に該散乱光の焦点が来るよう配置し、さらに、受光部で受けた光をスペクトラムアナライザに伝播させる機構を備え、受光部を $100 \mu m$ 以下の精度で動かせることを特徴とする請求項6ないし12のいずれかに記載の光学的測定方法。

【請求項15】

平面の板の上または内部に、複数の光散乱体が存在し、板に平行な面内における光散乱体の平均の短径が $0.01 \mu m$ 以上、 $0.32 \mu m$ 以下であり、最も近くに隣接する光散乱体の重心間の平均距離 w が $0.3 \mu m$ 以上 $1.6 \mu m$ 以下であり、光散乱体間距離 w の80%以上が該平均距離の $\pm 45\%$ にあり、かつ光散乱体間距離の80%を含む範囲が $w - x$ から $w + x$ であるとき、 $w - x / 2$ から $w + x / 2$ の範囲には光散乱体間距離が60

10

20

30

40

50

%以下しか存在しない請求項6ないし14のいずれかに記載の光学的測定方法を用いることを特徴とする光学的記録媒体。

【請求項16】

平面の板の上または内部に、複数の光散乱体が存在し、板に平行な面内における光散乱体の平均の短径が $0.01\mu\text{m}$ 以上、 $0.32\mu\text{m}$ 以下であり、各光散乱体の最も近くに隣接する光散乱体の重心間の距離（光散乱体間距離）の平均 w が $0.3\mu\text{m}$ 以上 $1.6\mu\text{m}$ 以下であり、光散乱体間距離 w の95%以上が w_1 より大きい範囲に存在し、光散乱体間距離が離散的に分布し、分布の最少の間隔が w であるとき、次式の極大値を与える w_2 と、 w_1 との間に85%以上の光散乱体間距離が存在する請求項6ないし14のいずれかに記載の光学的測定方法を用いることを特徴とする光学的記録媒体。

10

$$[\text{LOG}_2\{(w_2 - w_1) / (w_1 + 1)\}] / w_2$$

【請求項17】

記録媒体の形状が円板であるとき、2つの光散乱体間距離が、円板の中心を通る軸上の光散乱体同士のみを考えるか、円板を中心とする円の円弧上の光散乱体同士のみを考えることを特徴とする請求項15又は16に記載光学的記録媒体。

【請求項18】

円形の軌道の上に2つの光散乱体の組が多数形成されており、2つの光散乱体間の距離が、2つの光散乱体の組毎に一定ではなく、かつ、2つの光散乱体間の距離を求めるための測定波長範囲が λ 以上とするとき、全ての2つの光散乱体の組の90%以上について、2つの光散乱体間の距離が 0.4λ 以上 2λ 以下である光学的記録媒体であって、前記2つの光散乱体の全光線透過率または全光線反射率が50%以上である条件において、前記2つの光散乱体によって生じる散乱光の光散乱強度角度分布または所定の散乱角度での光散乱強度波長分布を光学的に測定し、角度の正弦または $1/\lambda$ を横軸としてフーリエ変換し、フーリエ変換後のピークの横軸を読み取ることで、各組の2つの光散乱体間の距離が求められる構成であることを特徴とする請求項6ないし14のいずれかに記載の光学的測定方法を用いる光学的記録媒体。

20

【請求項19】

各組の光散乱体の形状は、それぞれ幅 v が 0.05λ 以上 5λ 以下で、高さ d が $0.05v$ 以上 $2v$ 以下の矩形であって、各組の2つの光散乱体の距離 w が 0.4λ 以上であり、各組の2つの光散乱体のうち、ひとつの光散乱体の幅、高さを v_a 、 d_a とし、もうひとつの光散乱体の幅、高さを v_b 、 d_b とするとき、 $d_a \geq d_b$ として、 $(d_a - d_b) / d_b < 4$ であり、 $v_a \geq v_b$ として、 $(v_a - v_b) / v_b < 0.1$ である請求項6ないし14のいずれかに記載の光学的測定方法を用いることを特徴とする光学的記録媒体。

30

【請求項20】

各組の光散乱体の形状は、それぞれ幅 v が 0.1λ 以上 10λ 以下で、高さ d が $0.05v$ 以上 $2v$ 以下の正弦形であって、各組の2つの光散乱体の距離 w が 0.4λ 以上であり、各組の2つの光散乱体のうち、ひとつの光散乱体の幅、高さを v_a 、 d_a とし、もうひとつの光散乱体の幅、高さを v_b 、 d_b とするとき、 $d_a \geq d_b$ として、 $(d_a - d_b) / d_b < 4$ であり、 $v_a \geq v_b$ として、 $(v_a - v_b) / v_b < 0.1$ である請求項6ないし14のいずれかに記載の光学的測定方法を用いることを特徴とする光学的記録媒体。

40

【請求項21】

各組の光散乱体の形状は、それぞれ幅 v が 0.5λ 以上 5λ 以下で、高さ d が $0.25v$ 以上 $2v$ 以下の三角形であって、各組の2つの光散乱体の距離 w が 0.4λ 以上であり、各組の2つの光散乱体のうち、ひとつの光散乱体の幅、高さを v_a 、 d_a とし、もうひとつの光散乱体の幅、高さを v_b 、 d_b とするとき、 $d_a \geq d_b$ 、 $v_a \geq v_b$ として、 $0.7 < (v_a / d_a) / (v_b / d_b) < 1.5$ であることを特徴とする請求項6ないし14のいずれかに記載の光学的測定方法を用いる光学的記録媒体。

50

【請求項 2 2】

直線上に形成された 3 つ以上の光散乱体を含む領域を有し、該領域では、2 つの光散乱体間の距離を求めるための測定波長範囲が λ 以上とすると、各光散乱体が互いに距離が 0.4λ 以上離れており、且つ、前記領域のもっとも端にある光散乱体の光路差が、他の光散乱体の光路差の平均の 1.5 倍以上で最も大きいか、または吸収係数が他の光散乱体の平均の 1.5 倍以上で最も大きい光学的記録媒体であって、前記 3 つ以上の光散乱体によって生じる散乱光の光散乱強度角度分布または所定の散乱角度での光散乱強度波長分布を光学的に測定し、角度の正弦または $1/\lambda$ を横軸としてフーリエ変換し、フーリエ変換後のピークの横軸を読み取ることで、3 つ以上の光散乱体相互間の距離が求められる構成であることを特徴とする請求項 7 ないし 14 のいずれかに記載の光学的測定方法を用いる光学的記録媒体。

10

【請求項 2 3】

各組の 2 つの光散乱体について、それぞれの光散乱体の重心を直線で結び、該直線を含む平面で断面を切り出したときに、平均の充填係数が 30 ~ 60 % であることを特徴とする請求項 18 ないし 21 のいずれかに記載の光学的記録媒体。

【請求項 2 4】

各組の 2 つの発生体は、平板に埋め込まれており、光または熱が付与されると屈折率が変わり、信号を記録または消去することが可能な構成であることを特徴とする請求項 18 ないし 21 のいずれかに記載の光学的記録媒体。

【請求項 2 5】

円形の軌道の上に 2 つの光散乱体の組が多数形成されており、2 つの光散乱体間の距離が、2 つの光散乱体の組毎に一定ではなく、かつ、2 つの光散乱体間の距離を求めるための測定波長範囲が λ 以上とすると、全ての 2 つの光散乱体の組の 90 % 以上について、2 つの光散乱体間の距離が 0.4λ 以上 2λ 以下である光学的記録媒体であって、前記 2 つの光散乱体の全光線透過率または全光線反射率が 50 % 以上である条件において、前記 2 つの光散乱体によって生じる散乱光の光散乱強度角度分布または所定の散乱角度での光散乱強度波長分布を得ることができ、角度の正弦または $1/\lambda$ を横軸としてフーリエ変換し、フーリエ変換後のピークの横軸を読み取ることで、各組の 2 つの光散乱体間の距離が求められる構成であることを特徴とする請求項 6 ないし 14 のいずれかに記載の光学的測定方法を用いた光学的記録媒体。

20

【請求項 2 6】

直線上に形成された 3 つ以上の光散乱体を含む領域を有し、該領域では、2 つの光散乱体間の距離を求めるための測定波長範囲が λ 以上とすると、各光散乱体が互いに距離が 0.4λ 以上離れており、且つ、前記領域のもっとも端にある光散乱体の光路差が、他の光散乱体の光路差の平均の 1.5 倍以上で最も大きいか、または吸収係数が他の光散乱体の平均の 1.5 倍以上で最も大きい光学的記録媒体であって、前記 3 つ以上の光散乱体によって生じる散乱光の光散乱強度角度分布または所定の散乱角度での光散乱強度波長分布を得ることができ、角度の正弦または $1/\lambda$ を横軸としてフーリエ変換し、フーリエ変換後のピークの横軸を読み取ることで、3 つ以上の光散乱体相互間の距離が求められる構成であることを特徴とする請求項 1 ないし 14 のいずれかに記載の光学的測定方法を用いた光学的記録媒体。

30

40

【請求項 2 7】

直線上に形成された 3 つ以上の光散乱体を含む領域では、入射光波長の最小値を λ とするとき、各光散乱体が互いに距離 0.4λ 以上 100λ 以下離れており、且つ、前記領域の最も端にある光散乱体だけが光または熱で屈折率を 0.01 以上または吸光係数 $[cm^{-1}]$ を 1 以上変えられることを特徴とする請求項 1 ないし 14 のいずれかに記載の光学的測定方法を用いた光学的記録媒体。

【請求項 2 8】

直線上に形成された 2 つ以上の光散乱体を含む領域を有し、該領域では、2 つの光散乱体の組が多数形成されており、2 つの光散乱体間の距離が、2 つの光散乱体の組毎に一定

50

ではなく、かつ、2つの光散乱体間の距離を求めるための測定波長範囲が λ_1 以上とするとき、全ての2つの光散乱体の組の90%以上について、2つの光散乱体間の距離が $0.4\lambda_1$ 以上 $2\lambda_1$ 以下である光学的記録媒体であって、前記2つの光散乱体の全光線透過率または全光線反射率が50%以上である条件において、前記2つの光散乱体によって生じる散乱光の光散乱強度角度分布または所定の散乱角度での光散乱強度波長分布を得ることができ、角度の正弦または $1/\lambda$ を横軸としてフーリエ変換し、フーリエ変換後のピークの横軸を読み取ることで、各組の2つの光散乱体間の距離が求められる構成であり、前記領域では、光散乱体が $10 \sim 300 \text{ nm}$ 離れており、ある散乱体 S_1 から $40 \mu\text{m}$ 以下の距離にある散乱体 S_m ($m = 2, 3, \dots$) のうち少なくとも1つが散乱体 S_1 との間を結ぶ軸と試料面に垂直な別の軸を含む平面内において、別の軸について非対称であり、かつ、 S_1 と略相似であり、しかも、入射角を θ_i 、散乱角を θ_d とするとき、該領域の散乱は $\theta_i = 0$ の入射光に対して $10^\circ < \theta_d$ の範囲において最大の散乱強度を与える θ_d と $-\theta_d$ の散乱強度 $A(\theta_d)$ の比 $A(\theta_d)/A(-\theta_d)$ が2以上であることを特徴とする請求項1ないし14のいずれかに記載の光学的測定方法を用いた光学的記録媒体。

【請求項29】

最も端の光散乱体が測定波長範囲内での吸収がなく、他の光散乱体に一部の測定波長のみを透過または散乱するものがあり、測定波長である入射光波長の最小値を λ_1 とするとき、他の光散乱体間の距離に、 λ_1 の半分未満のものがあることを特徴とする請求項26ないし28のいずれかに記載の光学的記録媒体。

【請求項30】

最も端の光散乱体以外の散乱体について、特定の偏光が選択的に反射されるよう複屈折を与え、散乱光を偏光選択でき、散乱光を端の散乱体を含め選択的に検出できることを特徴とする請求項26ないし28のいずれかに記載の光学的記録媒体。

【請求項31】

白色光源、レンズ、スリット、レンズ、光散乱体、レンズ、円形の遮光フィルタ、分光器の順に並ぶことを特徴とする請求項6ないし14のいずれかに記載の光学的測定方法に用いる光学的測定装置。

【請求項32】

白色光源、レンズ、スリット、レンズ、光散乱体、レンズ、円形の遮光フィルタ、分光器の順に並ぶ構成において、分光器がインターフェログラムを計測することを特徴とする請求項1ないし14のいずれかに記載の光学的測定方法に用いる光学的測定装置。

【請求項33】

レーザー光源、レンズ、穴あきマスク、レンズ、光散乱体、レンズ、穴あきマスク2の順に並び、散乱光の角度分布をCCDイメージセンサで計測することを特徴とする請求項1ないし3、5ないし8、10、11、13のいずれかに記載の光学的測定方法に用いる光学的測定装置

【請求項34】

光を散乱させて測定・解析するための入射光波長の最小値を λ_1 とするとき、周囲と屈折率の異なる2つの光散乱体の間の距離が $0.4\lambda_1$ 以上 $100\lambda_1$ 以下であり、前記2つの光散乱体の全光線透過率または全光線反射率が50%以上である条件において、前記2つの光散乱体によって生じる散乱光の光散乱強度角度分布または所定の散乱角度での光散乱強度波長分布を光学的に測定する手段と、角度の正弦または $1/\lambda$ を横軸としてフーリエ変換し、フーリエ変換後のピークの横軸を読み取ることで、2つの光散乱体間の距離を求める手段とを備えた光学的測定装置であって、前記測定手段は、光源と、散乱光を受光する一辺の画素が600以上で応答時間 $100 \mu\text{s}$ 以下のCCDイメージセンサと、を備えていることを特徴とする請求項6ないし14のいずれかに記載の光学的測定方法に用いる光学的測定装置。

【請求項35】

光源からの光の屈折発生体近傍での強度分布を、入射光の方向に垂直な平面で切りだし

たときに、半値幅の縦横比が2倍以上に長くなるような構成としたことを特徴とする請求項31ないし34のいずれかに記載の光学的測定装置。

【請求項36】

光源からの光を通過させ、2つの光散乱体に照射するための長さ幅を調整したスリットと、散乱光を平行光にする開口数0.8以上のレンズと、を備えていることを特徴とする請求項31ないし34のいずれかに記載の光学的測定装置。

【請求項37】

2つの光散乱体に対して入射光側に置いたフレネルゾーンプレートと幅10 μ m以下のスリットと、散乱光の光散乱強度角度分布を測るゴニオメータと幅1cm以下のスリット付きPINフォトダイオードと、を備えていることを特徴とする請求項6ないし14のいずれかに記載の光学的測定方法に用いる光学的測定装置。

10

【請求項38】

光を散乱させて測定・解析するための入射光波長の最小値を λ とするとき、周囲と屈折率の異なる2つの光散乱体の間の距離が0.4 λ 以上100 λ 以下であり、前記2つの光散乱体の全光線透過率または全光線反射率が50%以上である条件において、前記2つの光散乱体によって生じる散乱光の光散乱強度の所定の散乱角度での光散乱強度波長分布を光学的に測定する分光手段と、角度の正弦または1/波長を横軸としてフーリエ変換し、フーリエ変換後のピークの横軸を読み取ることで、2つの光散乱体間の距離を求める手段とを備えた光学的測定装置であって、前記測定手段は、光源と、散乱光を受光する一辺の画素が1000以上で応答時間100 μ s以下のCCDイメージセンサと、を備えていることを特徴とする請求項6ないし14のいずれかに記載の光学的測定方法に用いる光学的測定装置。

20

【請求項39】

前記測定手段は、光源からの光を曲げると同時にほぼ同じ強さに分けるハーフミラー及びミラーと、ハーフミラーとミラーの距離をマイクロメータで機械的に調整する手段と、を備えていることを特徴とする請求項1ないし14のいずれかに記載の光学的測定方法に用いる光学的測定装置。

【請求項40】

請求項1ないし14のいずれかに記載の光学的測定方法に用いることができ、入射光は、略平行光であり、反射による散乱光を集光または平行化するレンズと同じレンズの中心から外れた部分に光を入射させ、光散乱体への入射平面内で $40^\circ < \theta < 90^\circ$ とできることを特徴とする光学的測定装置。

30

【請求項41】

請求項1ないし14のいずれかに記載の光学的測定方法に用いることができ、入射光は、試料面に垂直なZ軸について、Z軸となす角 θ が、 $40^\circ < \theta < 90^\circ$ である入射角 θ に60%以上の光量(W単位)があり、Z軸について軸対称であることを特徴とする光学的測定装置。

【請求項42】

請求項1ないし14のいずれかに記載の光学的測定方法に用いることができ、光散乱を波長ごとにノッチフィルタで3つ以上に分け、受光することで、波長ごとの角度分布を計測することを特徴とする光学的測定装置。

40

【請求項43】

請求項6ないし14のいずれかに記載の光学的測定方法に用いることができ、直線上に形成された3つ以上の光散乱体に対して用いることができ、時間変調のある入射光AとBの二つを用い、入射光Aと入射光Bの照射部分は隣接しておりかつ、各照射部分の範囲の大きさは、入射光波長の最小値を λ とするとき、 0.4λ 以上100 λ 以下であり、入射光AとBの時間変調のタイミングをずらすことができ、該時間変調を測定可能な時間分解能を持っていることを特徴とする光学的測定装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

50

【0001】

本発明は、光散乱体の光学的測定方法、光学的測定装置及び光学的記録媒体に関し、特に、微粒子のような屈折率分布を発生する部材（後記するが、これを本明細書及び発明では「光散乱体」という）の大きさや、2つの光散乱体間の距離を精密に測定する技術であって、例えば、微粒子の形状と大きさの計測、微粒子の吸収スペクトルの測定、高密度記録媒体のデータ読み出しや、集積回路の微細金属配線の間隔のオンライン検査、フローサイトメトリー等に適用可能な技術に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、光学的に粒子の大きさや粒子間距離を計測、読取する技術として、レーザー顕微鏡、ホログラフィック顕微鏡がある。その他、光学顕微鏡、顕微赤外分光法、顕微ラマン分光法等の手段がある。

【0003】

レーザー顕微鏡は、レーザーとレンズを用いて、レンズの結像から光散乱体の形状や大きさを読み取る装置である（非特許文献1および非特許文献2参照）。

【0004】

ホログラフィック顕微鏡は、光散乱体由来の光と平面波を干渉させ、その干渉縞を取り、干渉縞の変動周期とその強度を解析することで光散乱体の形状や大きさを読み取る装置である（非特許文献3参照）。

【0005】

光学顕微鏡は、白色光とレンズを用いて、レンズの結像から光散乱体の形状や大きさを読み取る装置である（非特許文献4参照）。

【0006】

顕微赤外分光法は、赤外光と集光システムを用いて、散乱体の吸収スペクトルから光散乱体の消光係数（あるいは吸収係数）を読み取る方法である（非特許文献5参照）。一般に、この方法で粒状の試料から、フィルム状の試料と同様の定量的なスペクトルを得るのは難しい。

【0007】

顕微ラマン分光法は、可視光とレンズを用いて、散乱体のラマン散乱スペクトルから光散乱体の散乱成分を読み取る方法である（非特許文献6参照）。

【0008】

上記5つの計測装置、方法においては、輪郭の評価を単にコントラストの違いだけで行っているため、実際の厳密な輪郭とは異なる。コントラストは輪郭ではなく、光の散乱強度の変化が最も大きい場所に現れる。この場所は必ずしも物理的な輪郭とは一致しない。したがって、厳密な粒径の評価や距離の計測のためには、後記する本発明で示されるように光散乱の計算を合わせて行う必要がある。

【0009】

光散乱の計算手法としては、M i e 散乱理論、フラウンホーファー近似やF D T D（時間領域差分）法、境界要素法が知られている。

【0010】

まず、一つの光散乱体の散乱について述べる。M i e 散乱理論は球形粒子について、解析的に散乱を計算できるが、一般に球形粒子と矩形や三角形の粒子は散乱パターンが異なる（非特許文献7参照）。また、一般の形状の散乱パターンに関する、解析的な解は知られていない。

【0011】

二つの光散乱体として最も単純な形状は2スリットである。2スリット回折では、1つの光源からの光を2つのスリットを通して干渉させる。スリットとスリットの距離により、干渉縞が変化することが知られている（非特許文献8参照）。

【0012】

一つあるいは二つのスリットについては、光散乱の近似式の存在が知られている。スリ

10

20

30

40

50

ットの場合には、光軸方向に高さ（深さ）のある屈折率を発生する手段ではないので、散乱体の材質や厚さ考える必要はなく、散乱光の角度分布について、フラウンホーファー回折の近似を用いて簡便に求めることができる。この角度分布は、角度の正弦に対して、周期的に変動することが近似式で与えられている（例えば、非特許文献 25 参照）。

【0013】

フラウンホーファー回折の近似式を用いて、1スリットの幅や2スリット間の距離を得ることができる（非特許文献 8 参照）。このような際に、フーリエ変換による特殊なアルゴリズムを用いている例がある（特許文献 2 参照）が、このフーリエ変換については、すでに知られている（例えば、非特許文献 8 参照）。

【0014】

スリットでなく、凹凸のある形状のときには、FDTD（時間領域差分）法や境界要素法を使って光散乱強度を計算できることは知られている（例えば、非特許文献 9、非特許文献 10 参照）。しかし、これらの方法は、計算時間がかかったり、異なる形状に適用するためにプログラムを書きなおす必要があったりして、様々な形状を比較検討するには不適である。また、遠距離場での光散乱強度の精度については信頼性が低い。

【0015】

他方、凹凸が周期的に変化するときには、RCWA（厳密結合波解析）を用いることができる。RCWAは精度が良いことがすでに知られており、（例えば、非特許文献 11、非特許文献 12）、また発明者らの検討からFDTD法や境界要素法より、簡便に計算でき、計算速度が速いことが分かっている。しかし、孤立した凹凸については、RCWAは一般には適用できない。

【0016】

次に、粒子の形状や大きさ、粒子間あるいは凸部間の距離についての従来の技術開発の状況について述べる。これまで、任意の形状の孤立した一つの微粒子、より一般的には1つの屈折率分布を発生する部材の散乱光の角度分布や波長分布の変動周期から、部材の大きさを求める方法についての技術はない。

【0017】

さらに、任意の形状の孤立した一つの微粒子の吸光係数を、正確に求める方法についての技術はない。ここで、微粒子とは、測定波長より大きいサイズの200nmから20μm程度の短径の粒子である。測定波長がX線の場合には、5～100nmのサイズとなる。なお、微粒子が波長より十分小さいと見なせるときには、微分干渉法を用いて、吸収係数を求める方法が知られている（非特許文献 13）。

【0018】

また、これまで、孤立した任意の形状の2つの凹凸、より一般的には2つ屈折率を発生する部材の散乱光の角度分布や波長分布について該分布の変動周期から、2屈折率を発生する部材間の距離を求めた技術はない。従来法では、屈折率を発生する部材を、光軸方向に高さのないスリットとして近似して変動周期から距離を求めることができる（非特許文献 8 参照）。他方、別のいくつかの方法でこの距離が求められている。

【0019】

屈折率を発生する部材間の距離の光学的測定技術の第一の例として、回折格子の間隔をX線回折により求める方法がある（非特許文献 14 参照）。この方法は、等間隔に多数並んだ屈折率を持つ部材の間隔を求めるのに有効である。

【0020】

屈折率を発生する部材間の距離の光学的測定技術の第二の例として、3次元的に複数の方向の入射光について、それぞれの散乱光の角度分布を集めることで、凹凸像を得る方法がある（非特許文献 18）。この像から、2つの屈折率を発生する部材の重心間の距離を精密に求めることができる。一方で、一方向の入射光についてのデータで、屈折率を発生する部材間の距離を短時間に測定するには不向きである。

【0021】

屈折率を発生する部材間の距離の光学的測定技術の第三の例として、共焦点顕微鏡があ

10

20

30

40

50

る。共焦点顕微鏡は、対物レンズからの光が試料面に垂直方向に進むとき、水平方向の分解能はレンズの集光径で決まる。この水平方向の分解能は回折限界のため、0.3波長程度が限界である（非特許文献15）。しかし、垂直方向の分解能は非常に高い。同じ原理で、レンズを用いて凹凸を観測すれば、記録媒体の段差が小さくても読み取りができる。

【0022】

光学的記録媒体の例として、相変化型光ディスクがある。この媒体は、結晶とアモルファスで光の散乱特性が異なることを利用して、1と0を記録する（特許文献2参照）。この最大記録密度は、レンズの集光径できまり、1ビットあたり、0.8波長角程度が規格とされている（非特許文献14）。ディスク1枚で1層当たり25Mbyteのものが市販されている。

10

【0023】

相変化型記録は、相転移温度以上の高温を与えた後、急冷すると結晶構造が非結晶化（アモルファス）し、一方で、徐冷すると再び結晶化する材料を記録層として用い、両状態の反射率の差を用いて情報の記録を行い、また再生を行う手段である（特許文献1、非特許文献16参照）。

【0024】

光学的記録媒体の別の例としてホログラムがある。この媒体は、位相情報を屈折率分布として記録するものであり、記録は物体光と参照光を用いてなされ、物体光の再生は参照光でなされる（非特許文献17）。物体光を碁盤目状に区切った空間光変調器（SLM）とし、各升目を透過する場合と透過しない場合を1と0に対応させることでデジタルデータを記録できる。

20

【0025】

ホログラム記録では、データを空間変調器で変調された物体光と参照光の2つの光を記録媒体上で干渉させ、その干渉縞を記録媒体に物理変化として記録し、再生時には参照光のみ照射して回折光を読み取る手段である（非特許文献18参照）。

【0026】

1層当たりの記録密度は相変化型光ディスクより高いが、材料が特殊なことで読み取りエラーが多いことが課題である。そのため、品質管理が難しい。記録密度については、記録層に厚みがあり、重ねて記録できるので、高密度にできる。ディスク1枚で200Mbyteのものが発表されている。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0027】

【特許文献1】特開2001-096919号公報

【特許文献2】特開2006-331901号公報

【特許文献3】特開2007-147988号公報

【特許文献4】特開2009-196041号公報

【特許文献5】特開平6-102168号公報

【特許文献6】特開2011-163830号公報

【非特許文献】

40

【0028】

【非特許文献1】土淵毅、藤井岳直：「フーリエ変換赤外分光光度計および走査型共焦点レーザ顕微鏡を用いた繊維異物に対する多角的アプローチ」、島津評論、65〔1・2〕、109-115（2008）

【非特許文献2】Edward T. F. Rogers他："A super-oscillatory lens optical microscope for subwavelength imaging", Nature Materials 11,432-435(2012)

【非特許文献3】Inkyu Moon, Mehdi Daneshpanah, Arun Anand と Bahram Javidi:"Cell Identification Computational 3-D Holographic Microscopy", Optics & Photonics News, June, 2011

【非特許文献4】野島博編：改訂第3版「顕微鏡の使い方ノート：はじめての観察からイ

50

メージングの応用まで」、羊土社(2011)

【非特許文献5】田隅三生編著：「赤外分光測定法 - 基礎と最新手法」、エス・ティ・ジャパン(2012)

【非特許文献6】Chris Tachibana: "LIFE SCIENCE TECHNOLOGIES Innovation in Japan Results from Reforms", Science, vol.332, No.6078, 249-255 (2012)

【非特許文献7】山下克也：「光散乱式粒子計数装置の非球形粒子に対する応答に関する研究」福岡大学理学集報、35(1)、98-102(2005)

【非特許文献8】谷田貝 豊彦著：「光とフーリエ変換」、朝倉書店、1992年

【非特許文献9】Ronald E. Mickens編, "Advances in the Applications of Nonstandard Finite Difference Schemes", World Scientific、2006年

【非特許文献10】加川 幸雄, 武田 毅と榎園 正人著：「電気・電子境界要素法 基礎と応用(計算電気・電子工学シリーズ)」, 森北出版、2001年

【非特許文献11】M. G. Moharamと T. K. Gaylord, "Diffraction analysis of dielectric surface-relief gratings," Journal of Optical Society of America. 72巻, 1982年、p .1385 ~p .1392

【非特許文献12】M. G. Moharam, Drew A. Pommet, Eric B. Grannと T.K. Gaylord: "Stable implementation of the rigorous coupled-wave analysis for surface-relief gratings: enhanced transmittance matrix approach." Journal of Optical Society of America A、12巻、5号、1995年、p .1077 ~p .1086

【非特許文献13】松尾 保孝：北海道大学博士論文 「光散乱を利用した単一微粒子吸収分光法に関する研究」2001年12月

【非特許文献14】清水 明彦ら：「相変化型光ディスクへの多値記録技術」、Ricoh Technical Report、28、2002年、p .34 ~p .41

【非特許文献15】高森 信之、山本 真樹、森 豪、田島 秀春、高橋 明：「ZnO 超解像技術を用いた大容量次世代Blu-ray Disc」、シャープ技報、第90号、2004年、p .31 ~p .36

【非特許文献16】Ronald L. Jones, Tengjiao Hu, Eric K. Lin, Wen-Li Wu, Rainer Kolb, Diego M. Casa, Patrick J. Bolton と George G. Barclay: "Small angle x-ray scattering for sub-100 nm pattern characterization", APPLIED PHYSICS LETTERS, 83巻, 2003年、p .4059 ~p .4061

【非特許文献17】服部 覚、佐藤 伸：「ホログラフィックデータストレージの技術動向」、東亜合成研究年報 TREND 2005、8巻、2005年、p .26 ~p .28

【非特許文献18】Yoshinori Nishino, Yukio Takahashi, Naoko Imamoto, Tetsuya Ishikawaと Kazuhiro Maeshima、"Three-Dimensional Visualization of a Human Chromosome Using Coherent X-Ray Diffraction" Physical Review Letters, 102巻、018101号、2009年、p .1 ~p .4

【非特許文献19】M. G. Moharamと T. K. Gaylord, "Rigorous coupled-wave analysis of grating diffraction E-mode polarization and losses," Journal of Optical Society of America. 73巻, 1983年、p .451 ~p .455

【非特許文献20】Kisalaya Chakrabarti と James B. Cole 著: "Simulation study on the detection of size, shape and position of three different scatterers using Non-standard time domain time inverse Maxwell's algorithm" Optics Express, Vol . 18, Issue 5, pp. 4148-4157 (2010)

【非特許文献21】志村 努：「光メモリの現状と今後の展望」、応用物理、第79巻、第12号、2010年、p .1059 ~p .1064

【非特許文献22】Yoshiyasu Ito, Katsuhiko Inaba, Kazuhiko Omote, Yasuo Wada, と Susumu Ikeda著: "Characterization of Submicron-scale Periodic Grooves by Grazing Incidence Ultra-small-angle X-ray Scattering", Japanese Journal of Applied Physics, 46巻, 2007年、p . L773 ~p . L775

【非特許文献23】Masato Hoshino と Sadao Aoki: "Laser Plasma Soft X-ray Micros

10

20

30

40

50

cope with Wolter Mirrors for Observation of Biological Specimens in Air”, Japanese Journal of Applied Physics, 45巻, 2006年, p .989 ~ p .994

【非特許文献 2 4】Shinya Yoshioka と Shuichi Kinoshita: ” Wavelength-selective and anisotropic light-diffusing scale on the wing of the Morpho butterflyM. ” Proceedings of the Royal Society London B, 271巻、 2 0 0 4 年, p . 581 ~ p . 587

【非特許文献 2 5】Eugene Hecht 著 : ” Optics ”、4th ed.、 Addison-Wesley, 2 0 0 2 年

【非特許文献 2 6】Howard M. Shapiro:”Practical Flow Cytometry”, 4th edition, John Wiley & Sons, 2005

【非特許文献 2 7】Huang, Z., McWilliams, A., Lui, H., McLean, D. I., Lam, S. と Zeng, H., “Near-infrared Raman spectroscopy for optical diagnosis of lung cancer”, International Journal of Cancer. 107巻, 2 0 0 3 年, p .1047 ~ p .1052

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0029】

本発明の課題は、光散乱の厳密な計算の方法を用いて、光散乱体の大きさ・形状や光散乱体間の距離を精度よく評価することであり、また、この評価を用いて、粒子の形状・大きさ複素屈折率、粒子間の距離を高速に計測することであり、さらに、この計測手段を用いて、回折限界を超える密度の光メモリを実現することである。本発明のこれらの課題を、さらに従来の問題点とともに、以下、説明する。

【0030】

まず、一つの光散乱体における課題について説明する。一つの光散乱体の大きさ、形状の評価について、従来、光散乱から粒径を評価する検討はなされてきたが、粒子を球形で近似したり、フラウンホーファー近似で計算したりしていたため、その精度はあまり高くなかった。そのため、たとえば、光学的手段による粒度分布の計測は簡便ではあるが、信頼性が不十分であった。

【0031】

光散乱体の大きさと形状を正確に評価できれば、複素屈折率の値を仮定することで、光散乱の散乱パターンを計算によって取得できるはずである。そのためには、散乱の角度分布を厳密に計算する必要があったが、任意の形状について厳密に計算する手段は存在しなかった。

【0032】

本発明は、上記従来の問題を解決することを目的とするものであり、屈折率を発生する部材による光の散乱パターンと、屈折率を発生する部材の複素屈折率および分布の形状の関係を明らかにして、屈折率を発生する部材の複素屈折率および分布を、精度よく、非破壊で、高速に測定する技術を実現することを課題とする。

【0033】

具体的には、本発明は、光散乱の角度分布の実験値と計算値を比較することで、複素屈折率を求め、この複素屈折率に基づいて、吸収スペクトルを得る課題の一つとする。

【0034】

例えば、散乱光の波長を変えて複素屈折率を求めれば、各波長ごとの複素屈折率の虚部にあたる消光係数 k を求めることができる。消光係数から、吸光係数が定まるので、単位長さに対する吸収スペクトルを得ることができる。さらに、粒子形状・大きさと複素屈折率から、特定の波長における粒子の吸収スペクトルを得ることができる。

【0035】

従来は、吸光度は試料形状の影響を受けるので定量は難しかった。そのため、前処理として、細かく砕いてフィルムにしたり、溶媒に溶かしたりしていた。しかし、上記のように、微粒子試料の吸収スペクトルを、そのまま、定量的に計測できれば、試料の前処理を省略で、非破壊で分析可能となる。

【0036】

10

20

30

40

50

このような分析が可能となれば、微小細胞の分析においても役に立つ。即ち、細胞懸濁液を細い流路に通すことで、細胞が1列に並んで流れるが、この1列に流れる細胞に対してレーザー光を照射することで、細胞ごとの散乱光を解析するフローサイトメトリーとよばれている（非特許文献26）技術にも適用可能となる。

【0037】

一例をあげると、循環腫瘍細胞（CTCs）と呼ばれるがん細胞は、赤血球や白血球よりもサイズが大きいため、区別が容易にできる（特許文献6）。また、この細胞は、近赤外におけるラマン散乱が正常細胞と異なることが分かっている（非特許文献27）。散乱光から、定量的な、ラマン散乱のスペクトルが得られれば、循環腫瘍細胞を見つける精度が向上できる。

10

【0038】

次に、二つの光散乱体間の距離計測における課題について説明する。2つの屈折率を発生する部材間の距離について、フラウンホーファー回折に基づいたスリットのような光軸方向に高さのない形状に適用される距離の測定方法を、例えば凹凸等の高さのある形状に適用すると、次のような問題があることが、本発明の技術開発の過程で明らかとなっている。

【0039】

- (1) 屈折率を発生する部材の形状によっては、フーリエ変換によって得られる距離が、実際の距離と異なる。
- (2) 屈折率を発生する部材の形状が同じでも、高さや幅が異なる場合、フーリエ変換によって得られる距離が、実際の距離と異なる。
- (3) 上記(1)(2)のように高さの影響が考慮できないので、平板に埋め込まれており、平板と屈折率差が小さいが高さのある領域について、取り扱いができない。

20

【0040】

また、スリットを記録媒体に用いた場合、次のような問題がある。

- (1) 透過率が低くなるので多層化が難しい。
- (2) 多数の屈折率を発生する部材がある場合、端の屈折率を発生する部材からの距離を求めるには、端の屈折率を発生する部材にあたる入射光の輝度を上げるという光源側の工夫が必要である。
- (3) スリットの作成が面倒であり、さらに、いったんスリットを形成するとスリットの位置を変更できないので、書き換えができない等の問題がある。

30

【0041】

ところで、従来の光記録技術である相変化型記録は、記録密度が記録用レンズの集光径によって制約を受けるため、記録密度を上げるのが難しいという問題がある。また、ホログラム記録は、その実施に必要な装置は複雑であり、さらに、記録面の屈折率分布も複雑であるため、記憶媒体等の作成、品質管理等が面倒であるという問題がある。

【0042】

一方、従来の計測技術である共焦点顕微鏡についても、対物レンズの集光径によって制約を受けるため、計測精度を上げるのが難しいという問題がある。

【0043】

本発明は、上記従来の問題を解決することを目的とするものであり、屈折率を発生する部材が2つの屈折率を発生する部材である場合、該部材による光の散乱パターンと2つの屈折率を発生する部材間の距離および分布の形状の関係を明らかにして、2つの屈折率を発生する部材間の距離を、精度よく、非破壊で、高速に測定する技術を実現することを課題とする。

40

【0044】

さらに、本発明は、多層化が可能で記録密度を大きく向上でき、記録媒体の作成、品質検査が容易にでき、計測が非破壊で高精度にできる、高密度記録媒体の計測、読取等に利用可能な光学的計測技術を実現することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

50

【 0 0 4 5 】

以下、課題を解決するための手段として、本発明の光学的測定方法、光学的記録媒体及び光学的測定装置について、それぞれ3つの態様を、光学的測定方法(1)~(3)、光学的記録媒体(1)~(3)、光学的測定装置(1)~(3)として説明する。

【 0 0 4 6 】

(光学的測定方法(1))

本発明は上記課題を解決するために、入射光の光軸から0.05ラジアン(rad)以上はずれた散乱光の強度分布と、周期的な構造に関する光学的計算手法を周期の1/3よりも長径が短い孤立した光散乱体に適用して算出した散乱光の強度分布を比較することによって、光散乱体を計測することを特徴とする光学的測定方法を提供する。

10

【 0 0 4 7 】

光散乱体の長径より、計算の周期を3倍以上にすることになる。より好ましくは、計算の周期を長径の10倍以上とする。長径に対する周期が大きいほど、より正確な散乱強度が計算できる。周期的な構造に関する光学的計算手法とは、一般に、周期的回折格子やブリズムアレイなどの周期的な構造の光散乱を計算する方法である。

【 0 0 4 8 】

周期の1/3よりも長径が短いとは、計算に用いる周期の1/3より、計算に用いる構造の長径が短いということである。計算に用いる構造は、散乱体の構造を一部切り出したものであってもよい。散乱光の強度分布とは、透過光や反射光の角度分布や波長分布である。

20

【 0 0 4 9 】

本発明の技術的な要点は、計算の周期が、散乱体の大きさより十分大きければ、孤立した散乱体の光散乱特性と一致することを利用して、任意の形状について厳密かつ高速に光散乱特性を計算することにある。また、この計算結果から、様々な形状で、散乱パターンの変動周期から、大きさを読み取ることができることを見出した点にある。

【 0 0 5 0 】

本発明はまた、入射光の光軸から0.05ラジアン(rad)以上はずれた散乱光の角度又は波長に対する強度分布を用い、周期的な構造に関する光学的計算手法を用いて計算した散乱光の強度分布と、強度が変動する周期を比較することによって、光散乱体の大きさや形状を計測する光学的測定方法を提供する。

30

【 0 0 5 1 】

散乱光の強度は、散乱体の一つの微粒子である場合、典型的には入射光の光軸近傍に強い一つのピークが現れる。その角度から少し離れた角度に小さいピークが角度の正弦に対して等間隔に現れる。(非特許文献8参照)このピークの間隔は粒子の径が大きくなると、小さくなるので、計算と実験結果を対応させることで粒子の径を見積もることができる。

【 0 0 5 2 】

このピークの間隔を評価する方法の一つにフーリエ変換がある。フーリエ変換したデータをプロットするとピークが得られる。このピークの横軸は、散乱光のピーク間隔の逆数に対応している。

40

【 0 0 5 3 】

角度分布でなく、波長分布についても、波長の逆数に対して、散乱強度が周期的に変動する。波長の逆数に対する変動をフーリエ変換すると、ピークの横軸から、粒子の径を見積もることができる。

【 0 0 5 4 】

周期的な構造に関する光学的計算手法としてはフーリエモーダル法が好ましく。その一種である厳密結合波解析(RCWA)が、精度の検証等がなされており信頼性が高いことから、特に好ましい。なお、散乱光の計測後に計算するのではなく、あらかじめ、予想される散乱強度の分布を計算したデータを用意しておいてもよい。

【 0 0 5 5 】

50

周期的な構造に関する光学的計算手法において、粒径よりも周期をずっと大きくすることで、任意の形状の孤立した粒子の散乱強度を計算できる。なお、周期は、粒子の長径の3倍以上が好ましい。より好ましくは6倍以上である。周期を大きくする方が、より孤立した状態で計算することができるので値が正確になる。

【0056】

散乱体が二つの微粒子あるいは凸部である場合については、後で詳述し、ここではその概略を述べる。散乱光の角度分布のピーク間隔が等間隔になることは、微粒子が一つの場合と同様である。また、散乱光の波長分布の場合についても、微粒子が一つの場合と同様、ピーク間隔が等間隔となる。さらに、微粒子が一つの場合と同様、この間隔の逆数が、距離に対応している。

10

【0057】

本発明はまた、入射光の光軸から0.05ラジアン(rad)以上はずれた散乱光の強度分布を用い、周期的な構造に関する光学的計算手法を用いて計算した散乱光の強度分布と、散乱強度を比較することによって、光散乱体の複素屈折率を計測する方法を提供する。

【0058】

屈折率分布として、ここでは微粒子を考える。微粒子に入射した光は、前方散乱、後方散乱または吸収される。微粒子に入射した光量でそれらの値を割ることで、前方散乱された光や後方散乱された光の割合を知ることができる。

【0059】

入射光から散乱光量を引くことで、吸収光量を得ることができる。微粒子の形状と複素屈折率のおおよその実部が分かれば、複素屈折率の虚部(消光係数)を得ることができる。消光係数から吸収の割合を計算できるので、実験値と対応させることで、消光係数の実験値を得ることができる。

20

【0060】

本発明はまた、散乱光の波長に対する強度分布を用い、周期的な構造に関する光学的計算手法を用いて計算した散乱光の消光係数から、光吸収や光路長を算出する、分光スペクトルの光学的測定方法を提供する。

【0061】

波長ごとに、複素屈折率評価を行うことで、粒子の吸収スペクトルを算出することができる。フィルムでは、波長によって光路長は変化しないが、粒子では波長ごとに、光路長が異なると考えられる。そこで、光路長を計算と実験から評価する。評価の方法としては、消光係数をわずかに変えた時に、前方散乱あるいは後方散乱される光量から、どのくらい吸収量が増えるかを計算する。

30

【0062】

消光係数から得られる吸光係数と光路長の積から、吸収量を見積もることができる。吸収量の変化から、光路長が得られるので、単位長さ当たりの吸収スペクトルを得ることができる。同様にして、単位長さ当たりの散乱スペクトルを得ることもできる。散乱スペクトルの例として、ラマン散乱が挙げられる。

【0063】

本発明は、光散乱体の形状を計測すること及び該光散乱体の散乱光を計測することを、該光散乱体を動かさずにでき、該形状に基づいて散乱強度を周期的な構造に関する光学的計算手法を用いて計算することにより、光散乱体を計測する光学的測定方法を提供する。

40

【0064】

光散乱体の形状を計測した後、光散乱体を動かさずに散乱光を計測することにより、光散乱体の正確な位置情報を元にした光散乱の計算結果が得られるので計測精度が上がる。

【0065】

光散乱体の固定方法の一つとしては、平滑で透明なガラス板の上に載せる方法が挙げられる。必要であれば、光散乱体をマッチングオイルに浸して、散乱光の集光のために液浸レンズを用いてもよい(特許文献3参照)。もう一つの方法として、カーボンナノチューブの先端に固定する方法が挙げられる(特許文献4参照)。さらに、第3の固定方法とし

50

て、特許文献5のように集光位置に光圧で試料を固定する方法が挙げられる。

【0066】

光散乱体に入射する光量の測定方法としては、市販のパワーメータ及びビームプロファイラを使うことができる。白色光源としては、市販のハロゲンランプや白色LEDレーザーを用いることができる。

【0067】

散乱光の角度分布を測定する装置としては、市販のスペクトラムアナライザや、CCDイメージセンサ、パワーメータが挙げられる。波長分布を測定する方法としては市販のスペクトラムアナライザを挙げることができる。前方散乱または後方散乱の総量を知る方法として、市販の積分球が挙げられる。

10

【0068】

(光学的測定方法(2))

本発明は上記課題を解決するために、光を散乱させて測定・解析するための入射光波長の最小値をとるとき、周囲と屈折率の異なる2つの光散乱体の間の距離が0.4以上100以下であり、前記2つの光散乱体の全光線透過率または全光線反射率が50%以上である条件において、前記2つの光散乱体によって生じる散乱光の光散乱強度角度分布または所定の散乱角度での光散乱強度波長分布を得て、角度の正弦または1/波長を横軸としたデータを元に、フーリエ変換したときのピークの横軸を算出することで、2つの光散乱体間の距離を求めることを特徴とする光学的測定方法を提供する。

20

【0069】

2つの光散乱体間の距離を求めるための測定波長は、所定の波長範囲 λ_1 から λ_2 ($\lambda_1 < \lambda_2$)を使用し、 $\lambda_1 > \lambda_2$ であって、前記2つの光散乱体の屈折率 n_2 は、空気の屈折率 n_0 と異なり、前記2つの光散乱体は、互いに同じ種類の形状で1組または2組以上が、互いに距離 w_m ($m = 1, 2, 3, \dots, \text{max}$)を隔てて、屈折率 n_1 の平板上に存在する構成、または屈折率 n_3 ($n_3 < n_1$)の平板内部に存在する構成であり、2つの光散乱体によって生じる散乱光の光散乱強度は、該散乱光を、2つの光散乱体を結ぶ軸から外れた方向で、2つの光散乱体を通った光が干渉した光を測定し、この2つの光散乱体を結ぶ軸から外れた方向は、入射光と光散乱体を結ぶ軸を含む面内においては、軸となす角度を入射光の進行方向と同じ向きに 180° 、または、入射光の進行方向と逆向きに 180° とした範囲にあつて、2つの光散乱体を結ぶ軸方向を含まない範囲の方向であることが好ましい。

30

【0070】

1と2の範囲は、光源や散乱光測定機の測定範囲と2つの光散乱体を通った散乱光が干渉できる距離 w によって制約を受けるため、 $\lambda_1 > \lambda_2$ であることが好ましい。

【0071】

2つの光散乱体間の距離を求めるための測定波長範囲が λ_1 から λ_2 であり(ここで $\lambda_1 < \lambda_2$)、空気の屈折率が n_0 、2つの光散乱体を設けた平板の屈折率が n_1 であり、2つの光散乱体は、互いに同じ種類の形状で1組または2組以上設けられており、屈折率が n_2 ($n_2 < n_0$)で、各組の2つの光散乱体間の距離が w_m ($m = 1, 2, 3, \dots, \text{max}$)であつて、平板上に存在する構成または屈折率が n_3 ($n_3 < n_1$)で、2つの光散乱体間の距離が w_m で平板内部に存在する構成であり、2つの光散乱体によって生じる散乱光の光散乱強度は、該散乱光を、2つの光散乱体を結ぶ軸から外れた方向で干渉させることによって測定することが好ましい。

40

【0072】

また、2つの領域に隣接して距離 w_{m+1} の別の2つの領域が存在する場合は、 w_{m+1} のいずれかは w_m と同じではない方が、違う距離として認識できるので好ましい。さらに、 $n_2 - n_1$ の絶対値が2.5以下である方が、透過光を多くできるので好ましい。

【0073】

2つの屈折発生体の重心を結ぶ軸を含み入射光に平行な平面における光散乱体の断面が

50

矩形、楕円形または正弦形の場合には、光散乱強度角度分布を角度の正弦を横軸としてフーリエ変換し、三角形の場合には、ある角度で観測した光散乱強度波長分布について、波長を横軸としてフーリエ変換することが好ましい。

【0074】

この光学的測定方法では、2つの屈折発生体の重心を結ぶ軸を含み入射光に平行な平面における2つの光散乱体の断面の面積が5%以上異なるときに、ピークの横軸から読み取った2つの光散乱体の距離を1%以上補正するようにしてもよい。

【0075】

この光学的測定方法では、フーリエ変換後のピークの横軸を読み取ることで求められた2つの光散乱体間の距離を、2つの光散乱体の高さや幅が異なるとき、フーリエモーダル法、時間領域差分法(FDTD法)または境界要素法で得られた光散乱分布についてフーリエ変換した結果に基づいて、補正するようにしてもよい。

10

【0076】

(光学的測定方法(3))

2つの光散乱体は、3つ以上の光散乱体 S_m ($m = 1, 2, 3 \dots$)があるときの2つであり、そのうち1つの光散乱体 S_1 だけの散乱強度を変えて測定し、変える前と後の波長分布または角度分布を比較することで、光散乱体 S_1 と他の散乱体の距離を測定することが好ましい。

【0077】

2つの光散乱体に対して入射光路の前方にピンホールまたはスリット設けるとともに、該ピンホールまたはスリットと光散乱体との間にレンズを配置して2つの光散乱体に光源からの光を集光し、散乱光の光散乱強度角度分布の角度が前記レンズの光軸から 20° 以上ずれた角度を含み、前記ピンホールまたはスリットを通過できる光源からの光の強度が $10 \mu W$ 以上であり、ピンホールの直径またはスリットの短軸の幅が $100 \mu m$ 以下であり、さらに2つの光散乱体の散乱光を平行化するために光散乱強度角度分布の中央付近の角度または所定の散乱角度の軸上に別のレンズを配置し、さらに、散乱光を計測するためのイメージセンサを備えていることが好ましい。

20

【0078】

白色光源の光を集光するために、ピンホールまたはスリットと該光源の間に第1のレンズを配置し、2つの光散乱体を集光するために前記ピンホールまたはスリットと2つの光散乱体との間に第2のレンズを配置し、散乱光の所定の散乱角度が第2のレンズの光軸から 20° 以上ずれた角度を含み、前記ピンホールまたはスリットを通過できる光源からの光の強度が $10 \mu W$ 以上であり、前記ピンホールの直径または前記スリットの短軸の幅が $100 \mu m$ 以下であり、さらに光散乱体の散乱光を集光するために所定の散乱角度の軸上に第3のレンズを配置し、第3のレンズと受光部を、受光部に該散乱光の焦点が来るよう配置し、さらに、受光部で受けた光をスペクトラムアナライザに伝播させる機構を備え、受光部を $100 \mu m$ 以下の精度で動かせるようにすることが好ましい。

30

【0079】

(光学的記録媒体(1))

本発明は上記課題を解決するために、平面の板の上または内部に、複数の光散乱体が存在し、板に平行な面内における光散乱体(散乱体)の平均の短径が $0.001 \mu m$ 以上、 $0.32 \mu m$ 以下であり、最も近くに隣接する光散乱体の重心間の平均距離 w が $0.3 \mu m$ 以上 $1.6 \mu m$ 以下であり、光散乱体間距離 w の80%以上が該平均距離の $\pm 45\%$ にあり、かつ光散乱体間距離の80%を含む範囲が $w - x$ から $w + x$ であるとき、 $w - x / 2$ から $w + x / 2$ の範囲には光散乱体間距離が60%以下しかないと特徴とする光学的記録媒体を提供する。

40

【0080】

記録媒体の読み取りに用いられる光の波長は、 $300 \sim 500 nm$ である。この時、十分な光散乱強度を得るためには、短径が $0.001 \mu m$ 以上が好ましく、より好ましくは $0.01 \mu m$ 以上である。また、高い記録密度を得るためには、短径が短い方がよく、0

50

． 3 2 μ m 以下が好ましく、より好ましくは 0 . 2 μ m 以下である。

【 0 0 8 1 】

光散乱体間距離を情報とすることで、光散乱体の有無を情報とする場合に比べて、情報量が増大する。光散乱体間距離の分布は、情報量を増やすために最適な広がりがある。光散乱体間距離 w の 8 0 % 以上が該平均距離の $\pm 4 5 %$ にあるのが好ましく、より好ましくは、 $\pm 3 0 %$ である。光散乱体間距離の 8 0 % を含む範囲が $w - x$ から $w + x$ であるとき、 $w - x / 2$ から $w + x / 2$ の範囲には光散乱体間距離が 6 0 % 以下であることが好ましく、より好ましくは 5 0 % 以下である。

【 0 0 8 2 】

本発明は上記課題を解決するために、平面の板の上または内部に、複数の光散乱体が存在し、板に平行な面内における光散乱体の平均の短径が 0 . 0 0 1 μ m 以上、0 . 3 2 μ m 以下であり、各光散乱体の最も近くに隣接する光散乱体の重心間の距離（光散乱体間距離）の平均 w が 0 . 3 μ m 以上 1 . 6 μ m 以下であり、光散乱体間距離 w の 9 5 % 以上が $w 1$ より大きい範囲に存在し、光散乱体間距離が離散的に分布し、分布の最少の間隔が w であるとき、次式の極大値を与える $w 2$ と、 $w 1$ との間に 8 5 % 以上の光散乱体間距離が存在することを特徴とする光学的記録媒体を提供する。

$$[\text{LOG}_2\{(w 2 - w 1) / (w 1 + 1)\}] / w 2 \quad (1)$$

【 0 0 8 3 】

光散乱体間距離には、記録媒体の情報量を増やすために最適な値 $w 2$ がある。この値は、最小値が光学的測定精度で決まる光散乱体間距離の分布の最少の間隔 w と、最少値が分解能で決まる距離 $w 1$ で定まる。上記の式 (1) は単位長さ当たりのビット数（ビットは情報量の単位）を与えている。 $w 2$ の最適値は式 (1) が極大となる値で与えられる。この極大値における $w 2$ は、数値計算でグラフを描くことで求めることができる。

【 0 0 8 4 】

本発明は上記課題を解決するために、記録媒体の形状が円板であるとき、光散乱体間距離が、円板の中心を通る軸上の光散乱体同士のみを考えるか、円板を中心とする円の円弧上の光散乱体同士のみを考えることを特徴とする光学的記録媒体を提供する。

【 0 0 8 5 】

記録媒体の情報、一軸方向のみに記録されている時には、光散乱体間の距離の分布は、その方向だけ考えればよい。

【 0 0 8 6 】

(光学的記録媒体 (2))

本発明は上記課題を解決するために、円形の軌道の上に 2 つの光散乱体の組が多数形成されており、2 つの光散乱体間の距離が、2 つの光散乱体の組毎に一定ではなく、かつ、2 つの光散乱体間の距離を求めるための測定波長範囲が $\lambda 1$ 以上とするとき、全ての 2 つの光散乱体の組の 9 0 % 以上について、2 つの光散乱体間の距離が $0 . 4 \lambda 1$ 以上 $2 \lambda 1$ 以下である光学的記録媒体であって、前記 2 つの光散乱体の全光線透過率または全光線反射率が 5 0 % 以上である条件において、前記 2 つの光散乱体によって生じる散乱光の光散乱強度角度分布または所定の散乱角度での光散乱強度波長分布を光学的に測定し、角度の正弦または $1 / \text{波長}$ を横軸としてフーリエ変換し、フーリエ変換後のピークの横軸を読み取ることで、各組の 2 つの光散乱体間の距離が求められる構成であることを特徴とする光学的記録媒体を提供する。

【 0 0 8 7 】

各組の光散乱体の形状は、それぞれ幅 v が $0 . 0 5 \lambda 1$ 以上 $5 \lambda 1$ 以下で、高さ d が $0 . 0 5 v$ 以上 $2 v$ 以下の矩形であって、各組の 2 つの光散乱体の距離 w が $0 . 4 \lambda 1$ 以上であり、各組の 2 つの光散乱体のうち、ひとつの光散乱体の幅、高さを $v a$ 、 $d a$ とし、もうひとつの光散乱体の幅、高さを $v b$ 、 $d b$ とするとき、 $d a \leq d b$ とし、 $(d a - d b) / d b < 4$ であり、 $v a \leq v b$ とし、 $(v a - v b) / v b < 0 . 1$ としてもよい。

【 0 0 8 8 】

10

20

30

40

50

各組の光散乱体の形状は、それぞれ幅 v が 0.1 以上 10 以下で、高さ d が $0.05v$ 以上 $2v$ 以下の正弦形であって、各組の2つの光散乱体の距離 w が 0.4 以上であり、各組の2つの光散乱体のうち、ひとつの光散乱体の幅、高さを v_a 、 d_a とし、もうひとつの光散乱体の幅、高さを v_b 、 d_b とするとき、 $d_a > d_b$ とし、 $(d_a - d_b) / d_b < 4$ であり、 $v_a > v_b$ とし、 $(v_a - v_b) / v_b < 0.1$ としてもよい。

【0089】

各組の光散乱体の形状は、それぞれ幅 v が 0.5 以上 5 以下で、高さ d が $0.25v$ 以上 $2v$ 以下の三角形であって、各組の2つの光散乱体の距離 w が 0.4 以上であり、各組の2つの光散乱体のうち、ひとつの光散乱体の幅、高さを v_a 、 d_a とし、もうひとつの光散乱体の幅、高さを v_b 、 d_b とするとき、 $d_a > d_b$ 、 $v_a > v_b$ とし、 $0.7 < (v_a / d_a) / (v_b / d_b) < 1.5$ としてもよい。

10

【0090】

本発明は上記課題を解決するために、直線上に形成された三つ以上の光散乱体を含む領域を有し、該領域では、2つの光散乱体間の距離を求めるための測定波長範囲が 1 以上とするととき、各光散乱体が互いに距離が 0.4 以上離れており、且つ、前記領域のもっとも端にある光散乱体の光路差が、他の光散乱体の光路差の平均の 1.5 倍以上で最も大きいか、または吸収係数が他の光散乱体の平均の 1.5 倍以上で最も大きい光学的記録媒体であって、前記三つ以上の光散乱体によって生じる散乱光の光散乱強度角度分布または所定の散乱角度での光散乱強度波長分布を光学的に測定し、角度の正弦または $1 / \text{波長}$ を横軸としてフーリエ変換し、フーリエ変換後のピークの横軸を読み取ることで、三つ以上の光散乱体相互間の距離が求められる構成であることを特徴とする光学的記録媒体を提供する。

20

【0091】

この光学的記録媒体では、各組の2つの光散乱体について、それぞれの光散乱体の重心を直線で結び断面を切り出したときに、平均の充填係数が $30 \sim 60\%$ であることが好ましい。

【0092】

この光学的記録媒体では、各組の2つの発生体は、平板に埋め込まれており、光または熱が付与されると屈折率が変わり、信号を記録または消去することが可能な構成としてもよい。

30

【0093】

(光学的記録媒体(3))

本発明は上記課題を解決するために、円形の軌道の上に2つの光散乱体の組が多数形成されており、2つの光散乱体間の距離が、2つの光散乱体の組毎に一定ではなく、かつ、2つの光散乱体間の距離を求めるための測定波長範囲が 1 以上とするととき、全ての2つの光散乱体の組の 90% 以上について、2つの光散乱体間の距離が 0.4 以上 2 以下である光学的記録媒体であって、前記2つの光散乱体の全光線透過率または全光線反射率が 50% 以上である条件において、前記2つの光散乱体によって生じる散乱光の光散乱強度角度分布または所定の散乱角度での光散乱強度波長分布を得ることができ、角度の正弦または $1 / \text{波長}$ を横軸としてフーリエ変換し、フーリエ変換後のピークの横軸を読み取ることで、各組の2つの光散乱体間の距離が求められる構成であることを特徴とする光学的記録媒体を提供する。

40

【0094】

光散乱体の組のとりかたの構成は二つある。一つは、円形の軌道の接線方向に隣り合う、光散乱体間の距離を求め情報とする構成である。もう一つは、異なる径の円形の軌道を同心円状に形成し、円の中心方向に直線を引き、同じ直線状に乗った光散乱体間の距離を求め情報とする構成である。

【0095】

本発明は上記課題を解決するために、直線上に形成された三つ以上の光散乱体を含む領

50

域を有し、該領域では、2つの光散乱体間の距離を求めるための測定波長範囲が λ 以上とすると、各光散乱体が互いに距離が 0.4λ 以上 1.0λ 以下離れており、且つ、前記領域のもっとも端にある光散乱体の光路差が、他の光散乱体の光路差の平均の1.5倍以上で最も大きいか、または吸収係数が他の光散乱体の平均の1.5倍以上で最も大きい光学的記録媒体であって、前記3つ以上の光散乱体によって生じる散乱光の光散乱強度角度分布または所定の散乱角度での光散乱強度波長分布を得ることができ、角度の正弦または $1/\lambda$ を横軸としてフーリエ変換し、フーリエ変換後のピークの横軸を読み取ることで、3つ以上の光散乱体相互間の距離が求められる構成であることを特徴とする光学的記録媒体を提供する。

【0096】

直線上に形成された3つ以上の光散乱体を含む領域では、入射光波長の最小値を λ とすると、各光散乱体が互いに距離 0.4λ 以上 1.0λ 以下離れており、且つ、前記領域の最も端にある光散乱体だけが光または熱で屈折率を 0.01 以上または吸光係数 $[cm^{-1}]$ を1以上変えられるようにすることが好ましい。

【0097】

本発明は上記課題を解決するために、直線上に形成された2つ以上の光散乱体を含む領域を有し、該領域では、2つの光散乱体の組が多数形成されており、2つの光散乱体間の距離が、2つの光散乱体の組毎に一定ではなく、かつ、2つの光散乱体間の距離を求めるための測定波長範囲が λ 以上とすると、全ての2つの光散乱体の組の90%以上について、2つの光散乱体間の距離が 0.4λ 以上 2λ 以下である光学的記録媒体であって、前記2つの光散乱体の全光線透過率または全光線反射率が50%以上である条件において、前記2つの光散乱体によって生じる散乱光の光散乱強度角度分布または所定の散乱角度での光散乱強度波長分布を得ることができ、角度の正弦または $1/\lambda$ を横軸としてフーリエ変換し、フーリエ変換後のピークの横軸を読み取ることで、各組の2つの光散乱体間の距離が求められる構成であり、前記領域では、光散乱体が $10 \sim 3000 \text{ nm}$ 離れており、ある散乱体 S_1 から $40 \mu\text{m}$ 以下の距離にある散乱体 S_m ($m = 2, 3, \dots$) のうち少なくとも1つが散乱体 S_1 との間を結ぶ軸と試料面に垂直な別の軸を含む平面内において、別の軸について非対称であり、かつ、 S_1 と略相似であり、しかも、入射角を i 、散乱角を d とするとき、該領域の散乱は $i = 0$ の入射光に対して $10^\circ < d$ の範囲において最大の散乱強度を与える d と $-d$ の散乱強度 $A(d)$ の比 $A(d)/A(-d)$ が2以上であることを特徴とする光学的記録媒体を提供する。

【0098】

最も端の光散乱体が測定波長範囲内での吸収がなく、他の光散乱体に一部の測定波長のみを透過または散乱するものがあり、測定波長である入射光波長の最小値を λ とするとき、他の光散乱体間の距離に、 λ の半分未満のものがあるようにすることが好ましい。

【0099】

最も端の光散乱体以外の散乱体について、特定の偏光が選択的に反射されるよう複屈折を与え、散乱光を偏光選択でき、散乱光を端の散乱体を含め選択的に検出できるようにすることが好ましい。特定の偏光とは、ある方向の直線偏光や円偏光である。

【0100】

(光学的測定装置(1))

本発明は上記課題を解決するために、白色光源、第1のレンズ、スリット、第2のレンズ、光散乱体、第3のレンズ、遮光フィルタ、分光器の順に並ぶことを特徴とする光学的測定装置を提供する。

【0101】

スリットを入れることで、光散乱体に当てる光を直線状にすることができ、該直線と入射光の光軸を含む面内で計算ができるので、解析が容易になる。さらに、スリットを該スリットを含む面内で動かしたり、スリットの幅を変えることで光散乱体の照射範囲を制御できる。遮光フィルタを挿入することで、入射光の光軸近傍の光をカットすることができる。

10

20

30

40

50

【0102】

光散乱体が光記録媒体の時、その吸収スペクトルを計測することで、吸収スペクトルの違いを情報とすることができる。たとえば、赤い吸収を持つ色素または青い吸収を持つ色素を混ぜておけば、青と赤で情報量は2となる。

【0103】

本発明は上記課題を解決するために、分光器がインターフェログラムを計測することを特徴とする光学的測定装置を提供する。

【0104】

インターフェログラムは、入射光の光軸上の光で解析されてきた。入射光の光軸から外れると、吸光度は増すため、弱い吸収でも解析が可能となる。一方、直進していないので、吸収スペクトルを直接得ることができない。本発明により、観測角度が定めれば、計算で吸収スペクトルを見積もることができるようになったので、光軸から外れた光でも解析可能である。

10

【0105】

本発明は上記課題を解決するために、レーザー光源、第1のレンズ、第1の穴あきマスク、第2のレンズ、光散乱体、第3のレンズ、第2の穴あきマスクの順に並び、散乱光の角度分布をCCDイメージセンサで計測することを特徴とする装置を提供する。

【0106】

穴あきマスクはピンホールやスリットである。第1の穴あきマスクで光散乱体への照射範囲を決定する。第2の穴あきマスクで光散乱体の照射部分だけからの散乱光を選択的に計測する。また、光散乱体を中心として、第3のレンズ、第2の穴あきマスクおよびCCDイメージセンサの受光部を同時に回転させることで、広い散乱角度を計測するのが望ましい。第1及び第2の穴あきマスク、及び光散乱体の位置を動かすことで特定の範囲を計測できる。

20

【0107】

光源の光が、単色である場合、レンズは、球面レンズよりも、非球面レンズを用いる方が好ましい。第2のレンズは、開口数NAが0.0001以上0.2以下であることが、望ましい。より好ましくはNAが0.0001以上0.1以下である。

【0108】

NAを小さくすることで、収差の影響を小さくし、集光系を設計通りにできる。第1のレンズと第2のレンズは、穴あきマスクに合わせて、シリンドリカルレンズを用いてもよい。第1の穴あきマスクと光散乱体の間には光束の範囲を、狭めるために絞りを置くことが好ましい。絞りを置くことで、光散乱体への入射光の角度範囲を調節できる。

30

【0109】

光散乱体が光記録媒体の時、その散乱パターンを計測することで、その形状を情報とすることができる。たとえば、三角と矩形では散乱の角度分布が異なり、三角の方が、入射光の光軸からずれたところに光が曲げられる。三角と矩形で情報量は2となる。穴あきマスクを使用することで、光散乱体への照射範囲を容易に制御できる。

【0110】

(光学的測定装置(2))

40

本発明は上記課題を解決するために、光を散乱させて測定・解析するための入射光波長の最小値をとるとき、周囲と屈折率の異なる2つの光散乱体の間の距離が0.4以上100以下であり、前記2つの光散乱体の全光線透過率または全光線反射率が50%以上である条件において、前記2つの光散乱体によって生じる散乱光の光散乱強度角度分布または所定の散乱角度での光散乱強度波長分布を光学的に測定する手段と、角度の正弦または1/波長を横軸としてフーリエ変換し、フーリエ変換後のピークの横軸を読み取ることで、2つの光散乱体間の距離を求める手段とを備えた光学的測定装置であって、前記測定手段は、光源と、散乱光を受光する一辺の画素が600以上で応答時間100 μ s以下のCCDイメージセンサと、を備えていることを特徴とする光学的測定装置を提供する。

50

【0111】

この光学的測定装置では、光源からの光の強度分布を、半値幅の縦横比を2倍以上に長くする手段を設けた構成としてもよい。

【0112】

この光学的測定装置では、光源からの光を通過させ、2つの光散乱体に照射するための長さと幅を調整したスリットと、散乱光を平行光にする開口数0.8以上のレンズを備えていることが好ましい。

【0113】

この光学的測定装置では、2つの光散乱体に対して入射光側に置いた光源からの光を集光するためのフレネルゾーンプレートと幅10 μ m以下のスリットと、散乱光の光散乱強度角度分布を測るゴニオメータと幅1cm以下のスリット付きPINフォトダイオードとを備えている構成としてもよい。

【0114】

本発明は上記課題を解決するために、光を散乱させて測定・解析するための入射光波長の最小値をとるとき、周囲と屈折率の異なる2つの光散乱体の間の距離が0.4以上100以下であり、前記2つの光散乱体の全光線透過率または全光線反射率が50%以上である条件において、前記2つの光散乱体によって生じる散乱光の光散乱強度の所定の散乱角度での光散乱強度波長分布を光学的に測定する分光手段と、角度の正弦または1/波長を横軸としてフーリエ変換し、フーリエ変換後のピークの横軸を読み取ることで、2つの光散乱体間の距離を求める手段とを備えた光学的測定装置であって、前記測定手段は、光源と、散乱光を受光する一辺の画素が1000以上で応答時間100 μ s以下のCCDイメージセンサと、を備えていることを特徴とする光学的測定装置を提供する。

【0115】

この光学的測定装置では、前記測定手段は、光源からの光を曲げると同時にほぼ同じ強さに分けるハーフミラー及びミラーと、ハーフミラーとミラーの距離をマイクロメータで機械的に調整する手段と、を備えている構成としてもよい。

【0116】

(光学的測定装置(3))

本発明では、上記いずれかの測定方法に用いることができ、入射光は、略平行光であり、反射光を測定する反射による散乱光を集光または平行化するレンズと同じレンズの中心から外れた部分に光を入射させ、光散乱体への入射平面内で $40^\circ < |i|$ とできることを特徴とする光学的測定装置を提供する。

【0117】

本発明では、上記いずれかの測定方法に用いることができ、入射光は、試料面に垂直なZ軸について、Z軸となす角 z が、 $40^\circ < z < 90^\circ$ である入射角 z に60%以上の光量(W単位)があり、Z軸について軸対称であることを特徴とする光学的測定装置を提供する。

【0118】

本発明では、上記いずれかの測定方法に用いることができ、光散乱を波長ごとにノッチフィルタで3つ以上に分け、受光することで、波長ごとの角度分布を計測することを特徴とする光学的測定装置を提供する。

【0119】

上記いずれかの測定方法に用いることができ、直線上に形成された3つ以上の光散乱体に対して用いることができ、時間変調のある入射光AとBの二つを用い、入射光Aと入射光Bの照射部分は隣接しておりかつ、各照射部分の範囲の大きさは、入射光波長の最小値を1とすると、0.4以上100以下であり、入射光AとBの時間変調のタイミングをずらすことができ、該時間変調を測定可能な時間分解能を持っていることを特徴とする光学的測定装置を提供する。

【発明の効果】

【0120】

10

20

30

40

50

本発明によると、光散乱体の計測について、次のような効果が生じる。

1．従来は、周期的構造にのみ適用されてきた計算手法が、孤立系の構造にも容易に使える。

2．一般には、レンズを用いて画像情報が得られる。レンズを用いずに、散乱光を解析して画像を得る場合、従来、位相情報を用いて3次元画像再構成を行っていたが、光散乱の強度情報のみで再構成ができる。

【0121】

3．レンズを用いた、これまでの3次元画像再構成では、光学的な輪郭から距離を算出していたが、これは実際の物理的な輪郭とは必ずしも同じではなく補正が必要である。本発明では、3次元構造の光散乱を厳密に計算することで、正しい形状と大きさを得ることができる。

10

【0122】

4．散乱光について、位相情報を用いた3次元画像再構成を行う場合、フラウンホーファー近似に基づいて、フーリエ変換で計算していた。本発明は、フラウンホーファー近似より厳密な解を与える方法を用いることで、正しい距離を得ることができる。

【0123】

さらに、上記効果を生じる本発明を用いることで、次のことができる。

1．散乱光から散乱体の大きさを精度よく測定することができる。

2．一つの光散乱体の光路長と大きさの関係を見積もることができる。

3．散乱光から一つの光散乱体の吸収スペクトルを得ることができる。

20

【0124】

本発明によると、光散乱体が二つ以上の分布に分けられる場合にその距離の計測において次のような効果が生じる。

(1) 回折限界の制約がない方法のため、従来より10倍以上の精度で、孤立した2つの光散乱体間の距離を測定可能となる。

【0125】

(2) 屈折率の違いはわずかでも、光軸方向に長い光散乱体があれば、検出できる。

(3) フーリエ変換を使うのでノイズに対して強い。

(4) 光学的記録媒体の記録密度が大きく向上でき、作成、品質検査が容易にできる。

(5) 計測が、非破壊で高速、高精度でできる。

30

【0126】

本発明は、上記のような効果が生じるので、本発明の技術を使用することを前提とした光学的記録媒体、その光学的読取、光学測定等に広く応用できる。応用としては、主に次の3つがあるが、これをその応用面における効果とともに説明する。

【0127】

(1) 光吸収スペクトルの計測

吸収スペクトルの定量的な計測においては、溶媒に溶かしたり、フィルム化したりという前処理が必要である。また、タンパク質の結晶のように、試料量がもともと少ない場合は、これらの前処理を行うことも難しい。微光散乱体から直接、光吸収スペクトルを得ることができれば、前処理の簡略化とともに、少ない試料量でも、定量的な計測が可能となる。

40

【0128】

(2) 光学的記録媒体、光学的読取

光学的記録媒体としては、凸と凸あるいは凹と凹の間隔を記録データとする光学的記録媒体に適用可能である。単純な凹凸構造なので、光学的記録媒体の作製や品質検査が容易になる。凹凸の周囲との屈折率差が小さくても、光軸方向に高さがあるので十分光を拡散させることができる。たとえば、相変化で屈折率を変えて記録する場合に有効である。また、透過率を高くできるので、一枚のディスクに複数の記録層を設ける場合にも有効である。一方で、吸収スペクトルを情報とすれば、さらに、情報量を増やすことができる。

【0129】

50

(3) 光学測定方法、測長装置

光学測定方法、測長装置に適用すると、高速で精度の高い検査が可能となる。投影像でなく、光軸方向の分布を含めた重心で距離を出すことができる。

【図面の簡単な説明】

【0130】

【図1】光散乱体の形状、散乱角度、計算の変数を示す図である。

【図2】光散乱体の形状、散乱角度、計算の変数を示す図である。

【図3】光散乱体の形状、計算の変数を示す図である。

【図4】入射光の偏光TE、散乱角度 19.47° で異なる縦横比を持つ矩形散乱体の計算周期による相対散乱強度の変化を示す図である。

10

【図5】入射光の偏光TM、散乱角度 19.47° で異なる縦横比を持つ矩形散乱体の計算周期による相対散乱強度の変化を示す図である。

【図6】入射光の偏光TE、散乱角度 41.8° で異なる縦横比を持つ矩形散乱体の計算周期による相対散乱強度の変化を示す図である。

【図7】入射光の偏光TM、散乱角度 41.8° で異なる縦横比を持つ矩形散乱体の計算周期による相対散乱強度の変化を示す図である。

【図8】図である。1の入射光と配置における $v=1$ の矩形の透過散乱強度の角度分布を示す図である。

【図9】図1の入射光と配置における $v=3$ の矩形の透過散乱強度の角度分布を示す図である。

20

【図10】図1の入射光と配置における $v=5$ の矩形の透過散乱強度の角度分布を示す図である。

【図11】図9の角度分布のフーリエ変換を示す図である。

【図12】図10の角度分布のフーリエ変換を示す図である。

【図13】図1の入射光と配置における $v=3$ の矩形の反射散乱強度の角度分布を示す図である。

【図14】図1の入射光と配置における $v=5$ の矩形の反射散乱強度の角度分布を示す図である。

【図15】図2の入射光と配置における $v=3$ の三角形の透過散乱強度の角度分布を示す図である。

30

【図16】図2の入射光と配置における $v=5$ の三角形の透過散乱強度の角度分布を示す図である。

【図17】 $v=3$ の円の透過散乱強度の角度分布を示す図である。

【図18】 $v=5$ の円の透過散乱強度の角度分布を示す図である。

【図19】 $v=1$ で $\theta=45^\circ$ における図2の三角の透過散乱強度の波長分布を示す図である。

【図20】図19の波長分布のフーリエ変換を示す図である。

【図21】散乱光の角度分布を計測する方法を示す図である。

【図22】散乱光の波長分布を計測する方法を示す図である。

【図23】散乱光の特定角度における波長分布を計測する方法を示す図である。

40

【図24】本発明の光散乱体の形状を示す図であり、(a)は光散乱体が矩形である構成を示し、(b)は光散乱体が矩形で複数ある構成を示し、(c)は光散乱体が正弦凸部であることを示す図である。

【図25】(a)、(b)は、光散乱体が三角形である構成を示す図であり、(c)は充填係数の定義を説明するための図である。

【図26】本発明の実施例3の光学的測定方法及び光学的測定装置の全体構成を説明する図である。

【図27】本発明の光散乱強度角度分布を示す図である。

【図28】本発明の光散乱強度角度分布のフーリエ変換を示す図である。

【図29】(a)、(b)は、本発明の光散乱体が複数ある場合において、2つの光散乱

50

体の組の組み合わせ方、及び複数の組とビームスポットの位置関係を示す図である。

【図 3 0】本発明の光学的測定試験 4 の結果であり、距離 $w /$ を 3, 4, 5 と変えたときの散乱角に対する相対散乱強度分布を示すグラフである。

【図 3 1】図 3 0 の相対散乱強度分布をフーリエ変換後の相対散乱強度を示す図である。

【図 3 2】FT ディスクの測定系を示す図であって、本発明に係る光学的記録媒体を適用したディスク (FT ディスク) の光学的測定装置 (光学的読取装置) を説明する図である。

【図 3 3】FT ディスクの光散乱体 (ピット) の並びと、移動するビームスポットの位置関係を示す図である。

【図 3 4】本発明の光散乱体が複数存在する多点の光散乱用に形成された、複数の矩形凸部の構成を示す図である。

【図 3 5】本発明の左端の光散乱体が高い複数の矩形の光散乱体の構成、及び光散乱体とビームスポットの位置関係の例を示す図である。

【図 3 6】本発明の光学的測定試験 5 で得られる光散乱強度角度分布をフーリエ変換したときの相対散乱強度を示す図である。

【図 3 7】本発明の光学的測定試験 6 で得られる光散乱強度角度分布をフーリエ変換したときの相対散乱強度を示す図である。

【図 3 8】散乱角を 47.2° または 19.5° としたときの、三角形の光散乱体による光散乱強度波長分布 (光散乱強度の波長依存性) を示す図である。

【図 3 9】図 3 8 に示す光散乱強度波長分布についてフーリエ変換したときの相対散乱強度を示す図である。

【図 4 0】本発明の実施例 4 の光学的測定方法及び光学的測定装置を説明する全体構成を示す図である。

【図 4 1】本発明の光学的測定試験 8 で得られた正弦凸部の光散乱体による光散乱強度角度分布をフーリエ変換したときの相対散乱強度を示す図である。

【図 4 2】本発明の実施例 6 において、光学的測定試験 9 によって得られた、順に並べられた矩形、三角形、矩形形、正弦の光散乱体による光散乱強度角度分布をフーリエ変換したときの相対散乱強度を示す図である。

【図 4 3】本発明の実施例 6 において、光学的測定試験 10 で得られた結果であり、順に並べられた三角形、矩形、三角形、矩形、正弦の光散乱体による光散乱強度波長分布をフーリエ変換したときの相対散乱強度を示す図である。

【図 4 4】本発明の実施例 7 において、光学的測定試験 11 によって得られる光散乱強度波長分布をフーリエ変換したときの相対散乱強度を示す図であり、片方の矩形のサイズが変化したときの 2 つの光散乱体間の距離のずれを説明する図である。

【図 4 5】本発明の実施例 8 を説明する図であり、平板に埋め込まれた光散乱体の矩形格子を示す図である。

【図 4 6】本発明の実施例 8 において、光学的測定試験 11 によって得られる結果であり、埋め込まれた矩形格子の光散乱体による光散乱強度波長分布をフーリエ変換したときの相対散乱強度を示す図である。

【図 4 7】光源からの光をハーフミラーとミラーで二つに分ける装置、方法を示す図である。

【図 4 8】光源からの光をフレネルゾーンプレートとスリットで光散乱体に当てる装置、方法を示す図である。

【図 4 9】端の光散乱体を含んだ光散乱と含まない光散乱を得る方法を示す図である。

【図 5 0】端からの距離に対応するピークが強調されたことを示す図である。

【図 5 1】斜め入射での光散乱の計測方法を示す図である。

【図 5 2】三角形の凸部による透過光の波長分布を示す図である。

【図 5 3】光散乱波長分布の実験・解析結果と計算結果を比較する図である。

【図 5 4】蝶の羽の反射光の波長分布を示す図である。

10

20

30

40

50

【図 5 5】光散乱体の間隔とピークの分離の関係を示す図である。

【図 5 6】プリズムを用いて光散乱体に斜めに光を入射させる方法を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0131】

本発明に係る光学的記録媒体の光学的測定方法、光学的測定装置及び光学的記録媒体を実施するための形態を、図面を参照して、まず発明の原理、構成を説明して、さらに実施例に基づいて以下に説明する。

【0132】

(発明の原理 1)

本発明者は、光学的記録媒体、該光学的記録媒体の光学的測定方法及び光学的測定装置等の研究開発を通して、反射光または透過光を照射した際に光の屈折率分布を発生する部材である孤立した凸部（矩形や三角形等の凸部）について、RCWAで精度良く散乱光を計算する手段を見出した。

10

【0133】

このように光の屈折率分布を発生する凸部等の部材を、本明細書では、「光散乱体」と称する。なお、このRCWAによる計算手法自体は、光強度分布等の解析に通常用いられる周知の計算手段であり、本発明の特徴とする構成ではない。

【0134】

入射光の波長 λ に関して、RCWAによる計算によって、孤立した光散乱体の長径が 3λ 以下であれば、計算上の周期を、長径 + 1.7λ 以上とすることで散乱パターンの包絡線を得ることができた。この手段を用いることで、これまでスリットや楕円形、円形以外には計算例が少なく、精度も低かった、光散乱体の散乱パターンを、ある程度の精度で数多く得ることができた。

20

【0135】

従来、一つのスリットについては、その散乱光強度分布の周期的変動とスリット幅との関係は明らかになっていた（非特許文献 8）。しかし、矩形や三角形等のような、光軸方向に高さのある 2 つの光散乱体については散乱光の強度分布の周期的変動とスリット幅との関係は、明らかでなかった。また、周期的に変動すること自体が明確でなかった。

【0136】

今回、本発明によって厳密な計算手法を開発できたことで、任意の形状について、角度分布の周期的変動と長径との間に関係があることを明らかにできた。周期的変動の周期の逆数は長径に比例しており、その比例係数は、形状によって異なる。この比例係数は、RCWAで計算することで得られる。また、周期の逆数を得る方法として、角度分布をフーリエ変換する方法が挙げられる。

30

【0137】

また、散乱光から微粒子の吸光係数についても、算出することができる。既知の粒子サイズ・形状の透過散乱光または反射散乱光から、直接、吸光係数が分かれば、波長ごとにこれを算出することで、吸収スペクトルが得られる。

【0138】

特定の粒子サイズ・形状について、屈折率の実部を仮定しその消光係数を増やしていくと、その吸収により透過散乱光や反射散乱光が単調に減少する。実験的に得られた、透過散乱量や反射散乱量を、対応する計算値と比較することで、消光係数を求めることができる。さらに、消光係数から吸光係数を求めることができる。

40

【0139】

本発明者は、図 1 のような矩形の光散乱体 10 について、パラメータ T/L を用いて、幅 v と深さ d の比率を変え、また、計算上の周期 Λ を変えて、ある角度における散乱強度を計算した。入射光は、光散乱体 10 を載せた透明な平板（基板）20 について垂直に入射した。30 は出射角 θ の散乱光を示す。

【0140】

図 4 から図 7 はその結果である。波長を λ とするとき、横軸が Λ/λ であり、縦軸が I/I_0 が

50

3や6では安定していないが、大きくなると数値が一定に近づくことがわかる。なお、領域2の透明な平板(基板)20の厚みは、十分厚く、裏面での反射を考慮しなくてよいとした。

【0141】

ここで、 $v = 2 / TL$ 、 $d = 2 \times TL / 4$ とし、 TL を1から4まで変えた。光散乱体10及び透明な平板(基板)60の屈折率は1.5である。図4と図5は散乱角度が 19.47° であり、入射光の偏光は図4がTE、図5がTMである。図6と図7は散乱角度が 41.8° であり、入射光の偏光は図6がTE、図7がTMである。TEとTMの定義は、非特許文献19にTEがHモード、TMがEモードとして記載されている。以下、特に記載がない場合、入射光は偏光がTEである。

10

【0142】

図4から図7では、 θ を3から48まで3ずつ変えた。回折角度は、 θ によって、取り得る値が定まるが、いずれの周期 θ にも、回折角度 19.47° と 41.8° が存在する。計算の周期が大きくなると、回折角度の間隔が狭まるため、見かけ上の回折効率(散乱強度)が小さくなる。

【0143】

また、図1および図2で明らかのように、計算の1周期 θ に占める散乱体の幅 v が小さくなる。この効果を打ち消すために、散乱強度に θ / v の二乗を掛けた値を相対散乱強度として図にプロットした。図6や図7で、 TL が3のとき、 θ が6までは変化が大きい、 θ が6以上では比較的安定していることがわかる。また、図6で TL が4のとき、 θ が21以上で安定していることがわかる。

20

【0144】

以上の知見から、周期構造に適用される計算手法で、孤立系の計算ができることが分かった。一般に、周期構造に適用される計算手法は短い計算時間で厳密な解を与えるので、有効な手段となる。

【0145】

本発明者らは、光散乱体10の形状が図1に示すように矩形の凸部の場合には、図8~図10に示すように、光散乱体10に起因する散乱パターン(図8~図10では相対散乱強度で示す)は、散乱角 θ (入射光40の光軸に対する透過または反射による散乱光30の角度。より正確には、測定したい粒子の距離に対応する軸と入射光40の直線を含む面内において、入射光40の光軸に対する角度。)に対して、周期的に変化するという知見を得た。

30

【0146】

光散乱の角度分布の周期的な変化は、図2の三角形の光散乱体50や、図3の円形の光散乱体70についても同様にみられる。矩形の光散乱体10の場合には、図8~図10に示したように、透過散乱光の強度が周期的に変化する。この周期の逆数は、図11~図12に示したようなフーリエ変換によって求めることができる。この結果のピークの横軸が周期に対応する。

【0147】

入射光の波長を1としたとき、この値は図11は3.8で、図12は4.8となっており、幅 v の3および5に対応して大きくなることが分る。なお、領域2の板の厚みは、十分厚く、裏面での反射を考慮しなくてよいとした。

40

【0148】

反射散乱光の強度については、図13、図14のように、周期性はあるが、 40° 付近の角度だけが強度が強くなっており、周期の解析が難しくなっている。

【0149】

また、図1と入射光の向きを逆にして、矩形の光散乱体10(矩形凸部)側から光を入射したとき、図15、図16のように、散乱の角度範囲が狭くなる。解析は少し難しくなる。

【0150】

50

円形の光散乱体 70 の場合についての透過散乱光についての計算も行った。入射光の波長を 1 としたとき、図 17、図 18 は、直径が 3 および 5 の場合の計算結果である。この粒径は Mie 散乱の領域である。Mie の散乱理論は球に対して解析的な散乱パターンを与える（非特許文献 20 参照）。図 17 と図 18 の計算結果は、同サイズの球の散乱パターンと似ているが、厳密には円でなく球で計算する。

【0151】

この理論を直径 3 の球に適用し、RCWA の 3 次元の計算結果と比較した。計算範囲を幅 = 31、奥行き = 2 = 4 とし、入射の偏光が TE および TM のそれぞれの場合について、透過散乱光の角度分布を検討した。RCWA の計算結果では、40° と 60° 近傍にピークがあり、Mie 散乱理論の予測値と一致した。

10

【0152】

特定の角度で、波長分布を観察することで、光散乱体の径に関する情報を得ることもできる。図 2 の三角形の光散乱体 60 の場合について、散乱角 θ が 45° の場合について、計算した結果が図 19 と図 20 である。

【0153】

図 19 は、 ν が 1 μm の場合について、波長 λ を 0.2 μm から 1 μm まで変えて計算した散乱強度の変化である。 $1/\lambda$ に関して、周期的に変化していることがわかる。さらに、これをフーリエ変換することで、図 20 のように周期の逆数が得られる。図 20 のピークの横軸は 1 μm 近傍にあり、 ν が求められたことがわかる。

20

【0154】

（発明の原理 2）

以上は一つの散乱体のサイズに関するものであるが、二つの散乱体間の距離についても、類似の計算で、距離を算出することができる。RCWA による計算によって、孤立した 2 つの光散乱体間の距離（正確には、2 つの光散乱体のそれぞれ重心を結ぶ距離）が 30 以下であれば、計算上の周期を、距離 + 17 以上とすることで散乱パターンの包絡線を得ることができた。この手段を用いることで、これまで計算例が少なく、精度も低かった 2 つの光散乱体の散乱パターンを、ある程度の精度で数多く得ることができた。

【0155】

従来、2 つのスリットについては、その散乱光強度分布の計算をする手段はあるが、矩形や三角形等の突起のような、光軸方向に高さのある 2 つの光散乱体については散乱光の強度分布の計算は困難で、簡便な手段はなく、どのような分布が明らかでなかった。

30

【0156】

本発明者らは、図 24 (a) に示すように、基材（基板）である平板 1040 上に形成された光散乱体 1060 の形状が矩形の凸部の場合には、図 27 に示すように、光散乱体 1060 に起因する散乱パターン（図 27 では相対散乱強度で示す）は、散乱角 θ （入射光 1020 の光軸に対する透過または反射による散乱光 1030 の角度、より正確には、2 つの光散乱体 1060 の重心を結ぶ直線と入射光 1020 の直線を含む面内において、2 つの光散乱体 1060 の重心を結ぶ直線に垂直な方向に対する角度である。図 24 (a) 参照）に対して、周期的に変化するという知見を得た。

【0157】

また、この周期が 2 つの光散乱体 1060 間の距離（正確には、受光側の屈折率 \times 2 つの光散乱体間の距離 w ）によって定まることを見出した。「受光側の屈折率」とは、図 24 において平板 1040 側から散乱強度を計測し散乱光測定機と平板 1040 の間に別の屈折率層がない場合は、平板 1040 の屈折率であり、空気層等別の屈折率層が存在するか、凹凸側から空気層等の中で計測する場合は、空気層等の屈折率となる。

40

【0158】

このように屈折率によって、2 つの光散乱体間の距離が変化する理由は、図 24 における角度 θ が散乱光測定機と光屈折率発生体の間の屈折率で変化するためである。「2 つの光散乱体間の距離」は、正確には、2 つの光散乱体 1060 の重心間の距離である。

【0159】

50

さらに、この結果を散乱角の正弦を横軸として、フーリエ変換すると、詳細は実施例3で説明するが、図28に示すように、横軸が2つの光散乱体1060間の距離 w に対応したピークが得られるという知見を得た。要するに、ピークのでている横軸の箇所は、光散乱体1060間の距離 w に対応した部分である。この知見に基づき、2つの光散乱体間の距離を求めることが可能となる。

【0160】

図25(a)、(b)は、基材である平板1040上に形成された光散乱体1070が三角形の凸部の形状をしている。このように光散乱体1070が三角凸部の形状をしている場合には、光散乱体1070に起因する散乱パターンは、散乱角に対しては周期的でないこともあるが、図38に示すように、ある散乱角で観測した波長に対しては、周期的に変動することを見出した。また、この周期が2つの光散乱体1070間の距離 w 、 $w/2$ によって定まることを見出した(図38の $w/2$ 参照)。

10

【0161】

さらに、この図38に示す光散乱強度分布を、波長を横軸として、フーリエ変換すると、図39に示すように、横軸が距離に対応したピークが得られるという知見が得られた。この知見は、2つの光散乱体1070間の距離を求めるのに応用できる。

【0162】

上記のとおり、同じまたはほぼ同じ種類の形状の2つの光散乱体間の距離については、光散乱強度角度分布または光散乱強度波長分布をフーリエ変換することで、高速・高精度に算出できる。本発明では、フーリエ変換を使うことで、検出がノイズに強くなり、繰り返し測定が不要なので高速に測定可能である。

20

【0163】

なお、本明細書で、2つの光散乱体について「同じ種類の形状」における「種類」とは、三角形、矩形、正弦等の形状の種類を言う。従って、「同じ種類の形状」例えば、とは、2つの光散乱体が共に、三角形、矩形、正弦等の形状の種類について同じ意味で使用する。

【0164】

光散乱の計測は、実施例において後記するが、CCDイメージセンサを用いることで高速にできる。フーリエ変換は、2つの光散乱体の形状が矩形または矩形に近いときには、角度分布(図27に示す散乱角に対する光散乱強度)から、三角形または三角形に近いときには波長分布(図38に示す波長に対する光散乱強度)から算出して行われる。

30

【0165】

なお、本明細書記載の実施例では、光散乱の計測は、CCDイメージセンサを用いる例で説明するが、CMOSイメージセンサ(相補型金属酸化膜半導体)を用いてもよい。

【0166】

ここで、光散乱体が「矩形に近い」と「三角形に近い」の数学的な意味は、散乱特性に影響する高さ h と幅 b (図24(a)では v で示される)の2つのパラメータのうち、幅の影響が大きい場合が三角形であり、高さの影響も大きい場合が矩形である(星野鉄哉、伊藤雅英、谷田貝豊彦: "高次の回折効率を持つ透明回折格子の簡便な特性予測"、第35回光学シンポジウム予稿集、2010年、p.23~p.26参照)。

40

【0167】

本発明の基本的な原理は以上のとおりであるが、より細かい点を補足すると、次のとおりである。なお、本明細書では、光散乱体の寸法を表現するとして、「高さ」、「深さ」、「高さまたは深さ」という用語を使用しているが、いずれも光散乱体の下端と上端の間の長さ寸法を表現しており同じである。

【0168】

2つの光散乱体の、それぞれの高さや幅が、互いに異なっているときには、測定データをフーリエ変換をして読み取った距離が、実際の距離とずれてしまう。そこで、光散乱体の高さや幅が別の手段により分かっている場合には、ずれの大きさを計算し補正する。ずれ補正の計算には、計算条件をうまく設定することで、RCWA法を適用する。つまり、

50

周期構造でない孤立構造について、正しい計算ができるよう、計算上の周期等を設定する。

【0169】

矩形で高さが違う場合は高さの違いに応じて、計算された距離がずれる。各光散乱体が、中心軸に対して、線対称でない場合も、計算した距離が上から見た距離とはずれる。これを逆に利用して、高さの違いや、分布の線対称からのずれを知ることができる。

【0170】

例えば、幅が同じで、高さが未知で奥行きが幅や高さ比べて十分大きい2つの矩形が存在したとする。上面からしか観察できない場合や、光散乱体が平板に埋まっている場合が、これに相当する。

10

【0171】

あらかじめ、予想される高さの近傍で、2つの高さのずれと距離のずれの関係を計算しておく。光散乱を計測して、角度分布または波長分布から本願で述べているやり方に従い距離を計算した結果、測定値と距離がずれれば、あらかじめ計算した距離と対応させることで、高さのずれを見積もることができる。

【0172】

ところで、光散乱体を、光学的記録媒体として適用するとき、温度変化により材料が伸縮すると、2つの光散乱体間の距離が変わることにより、読み取りデータが変化してしまう。これを防ぐために、校正用のデータを、余分に付け加え、どの程度伸縮したかを知ることができる。

20

【0173】

例えば、長さを校正することで、線膨脹係数の大きな材料でも正確な値が出るので、ポリイミドや無機ガラスなど特殊な材料だけでなく、ポリカーボネートやアクリルなどの汎用の透明材料が使えるようになる。

【0174】

(発明の構成)

以上は本発明の原理であるが、このような原理に基く発明に係る光学的測定方法、光学的測定装置及び光学的記録媒体のそれぞれの構成について、以下説明する。

【0175】

<光学的測定方法1>

30

本発明の光学的測定方法についてまず、基本的な構成を説明する。1つの光散乱体に光を入射させ、その透過散乱光の強度分布を測定する。この測定の条件は、光を散乱させて測定・解析するための入射光波長の最小値をとるとき、周囲と屈折率の異なる1つの光散乱体の短径が0.4以上100以下であり、1つの光散乱体での全光線透過率または光線反射率が50%以上である。全光線透過率または全光線反射率が50%以上である方が、多層の屈折率分布を測る際に、散乱強度を十分取ることができるので好ましい。

【0176】

なお、周囲と屈折率の異なる1つの光散乱体の短径は、0.4以上100以下であることが好ましい。散乱光の分布は、一つの光散乱体の測定対象とする幅 v を結ぶ軸を含み入射光と平行な平面内において計測される。

40

【0177】

全光線透過率と全光線反射率の測定方法は、日本工業規格のJIS K7375に従う。ただし、入射光を粒子内に集光するためにレンズを用い、「平行入射光束」の代わりに立体角が $(4/12)$ ステラジアン以下の入射光を用いる。

【0178】

上記測定により得られた光散乱強度の角度分布(光散乱強度角度分布)、またはある角度での光散乱強度の波長分布(光散乱強度波長分布)を、角度の正弦または $1/\text{波長}$ を横軸としてフーリエ変換し、フーリエ変換後のピークの横軸を読み取ることで、光散乱体の測定対象とする幅 v を求めることができる。

【0179】

50

ここで、入射光の波長は、測定対象とする散乱光の波長に対応する波長である。例えば、入射光の波長分布が200nmから800nmである場合でも、測定対象の波長が400nmから700nmであれば、ここで光を散乱させて測定・解析するための入射光波長の最小値とする波長は400nmである。

【0180】

屈折率は、複素屈折率を用いる。光散乱体は、内部でほぼ同じ屈折率をもっているとする。光散乱体の幅 v は入射光に垂直な面内において、測定対象となる端から端までの距離である。

【0181】

図8から図10に示すように、光散乱強度分布が散乱角を横軸とする場合（光散乱強度角度分布の場合）は、角度の正弦に対する光散乱強度についてフーリエ変換する（図11および図12参照）。また、図19に示すように、光散乱強度分布が波長を横軸とする場合（光散乱強度波長分布の場合）は、 $1/\text{波長}$ に対する光散乱強度についてフーリエ変換する。フーリエ変換後のグラフのピークはゼロ近傍とそれ以外に生じる（図20参照）。

10

【0182】

光散乱強度分布が角度を横軸とする場合におけるフーリエ変換後のグラフ（図11および図12参照）では、ゼロ近傍以外のピークの横軸の値を散乱光の観測される側（例、空气中、水中等）の複素屈折率の実部 n で割った値が、光散乱体の幅 v に対応している。この屈折率は、空气中での散乱光観測では空気の屈折率で1、水中での観測では水の屈折率で1.3となる。

20

【0183】

ある散乱角での光散乱強度波長分布について、フーリエ変換したグラフのピークの横軸は、 $[\text{実部 } n \times \sin(\text{散乱角度})]$ で割った値が、光散乱体の幅 v に対応している。散乱角度は、測定対象の幅 v を結ぶ直線と入射光の直線を含む面内において、測定対象の幅 v を結ぶ直線に垂直な方向に対する角度である。

【0184】

上記本発明に係る光学的測定方法では、測定対象の幅 v を求めるための測定波長範囲が1から2である（ここで1、2）。ここで、測定対象の幅 v を求めるための測定波長範囲とは、フーリエ変換等の解析に用いる波長範囲であり、通常、入射光の波長分布より狭い範囲となる。測定対象である光散乱体は、次のような態様がある。

30

【0185】

一つは、図1や図2のように、透明な平板（基板）20の上に光散乱体10、50が載っている場合である。もう一つは、図3のように、光散乱体70が全く孤立している場合である。光散乱体の形状は、その内部がほぼ均一であればどのような形状でもよい。ここで、光散乱体の形状とは、平面に接することが可能なすべての点を結んだ多面体で囲まれる領域のことを意味する。

【0186】

散乱光の測定は、1つの光散乱体で散乱した光を、測定対象の幅 v を結ぶ軸から外れた方向で干渉させることによって測る。測定対象の幅 v を結ぶ軸から外れた方向とは、入射光と測定対象の幅 v を結ぶ軸を含む面内においては、軸となす角度を入射光の進行方向と同じ向きに 180° 、または、入射光の進行方向と逆向きに 180° とした範囲にあって軸方向を含まない範囲である。

40

【0187】

即ち、散乱光は、測定対象の幅 v を結ぶ直線と入射光の直線を含む面内において、測定対象の幅 v を結ぶ直線に垂直な方向に対して、 $\pm 90^\circ$ の範囲について観測する。図1においては、光散乱体10を結ぶ軸は透明な平板（基板）60に平行な方向であり、透過光の観測範囲は $\pm 90^\circ$ の範囲となり、反射光の観測範囲は $180^\circ \pm 90^\circ$ の範囲となる。

【0188】

なお、1、2は赤外域では $2.5 - 20 \mu\text{m}$ 、UV可視域では、 $400 - 800 \text{nm}$

50

m、硬 X 線領域では 0.05 - 0.25 nm、軟 X 線領域では 1 - 4 nm である。

【0189】

光散乱体の断面が矩形または矩形に近い場合には、光散乱強度角度分布についての解析が、容易であり、フーリエ変換後の信号強度も強い。光散乱体の断面が三角形の場合には、ある角度で観測した光散乱強度波長分布について、波長を横軸としてフーリエ変換する方が、解析が容易であり、フーリエ変換後の信号強度も強い。

【0190】

従って、本発明に係る光学的測定方法においては、光散乱体の断面が矩形、または矩形に近い楕円若しくは正弦の場合には、光散乱強度角度分布を角度の正弦を横軸としてフーリエ変換することが好ましく、光散乱体の断面が三角形の場合には、ある角度で観測した光散乱強度波長分布について、波長を横軸としてフーリエ変換することが好ましい。

【0191】

なお、矩形と三角形の中間の形状、たとえば、正弦形、台形の場合には、どちらの方法を用いてもよいが、散乱光の角度分布の方が、入射光を単色にできるので、実施上では制約が比較的少ない。

【0192】

フラウンホーファー近似より高い精度の結果を得ることが可能な、フーリエモーダル法を用いることで、光散乱体による光散乱の角度分布を正確に求めることができる。また、フーリエモーダル法は、時間領域差分法 (FDTD法) や境界要素法より、プログラムの時間および計算時間を考慮したときに、短い時間で様々な形状に適用できる。

【0193】

< 光学的測定方法 2 >

以上は、光散乱体が一つの場合であるが、二つの光散乱体では、それらの間の距離を求めることができる。二つの光散乱体に光を入射させ、その透過散乱光の強度分布を測定する。この測定の条件は、光を散乱させて測定・解析するための入射光波長の最小値をとるとき、周囲と屈折率の異なる二つの光散乱体の距離が 0.4 以上 100 以下であり、二つの光散乱体での全光線透過率または光線反射率が 50% 以上である。全光線透過率または全光線反射率が 50% 以上である方が、多層の屈折率分布を測る際に、散乱強度を十分取ることができるので好ましい。

【0194】

なお、周囲と屈折率の異なる二つの光散乱体の距離は、0.7 以上 15 以下であることがより好ましい。

【0195】

全光線透過率と全光線反射率の測定方法は、波長が 200 nm 以上の場合は、日本工業規格の JIS K7375 に従う。波長が 200 nm 以下では、二つの屈折発生体を結ぶ軸を含み入射光と平行な平面内において、全光線透過率は全ての透過光を、全光線反射率はすべての反射光を測定する。

【0196】

上記測定により得られた光散乱強度の角度分布 (光散乱強度角度分布)、またはある角度での光散乱強度の波長分布 (光散乱強度波長分布) を、角度の正弦または $1/\text{波長}$ を横軸としてフーリエ変換し、フーリエ変換後のピークの横軸を読み取ることで、二つの光散乱体の距離を求めることができる。

【0197】

ここで、入射光の波長は、測定対象とする散乱光の波長に対応する波長である。例えば、入射光の波長分布が 200 nm から 800 nm である場合でも、測定対象の波長が 400 nm から 700 nm であれば、ここで光を散乱させて測定・解析するための入射光波長の最小値とする波長は 400 nm である。

【0198】

屈折率は、複素屈折率を用いる。二つの光散乱体は、ほぼ同じ屈折率をもっており、光散乱体の位置はその重心とする。二つの光散乱体の距離は、二つの光散乱体のそれぞれの

10

20

30

40

50

位置の間の長さとする。全光線透過率は、光散乱体の重心を通る波長の光が、透過散乱される光量と入射光量の比率である。

【0199】

図27に示すように、光散乱強度分布が散乱角を横軸とする場合（光散乱強度角度分布の場合）は、角度の正弦に対する光散乱強度についてフーリエ変換する（図28参照）。また、図38に示すように、光散乱強度分布が波長を横軸とする場合（光散乱強度波長分布の場合）は、 $1/\text{波長}$ に対する光散乱強度についてフーリエ変換する。フーリエ変換後のグラフのピークはゼロ近傍とそれ以外に生じる（図39参照）。

【0200】

光散乱強度分布が角度を横軸とする場合におけるフーリエ変換後のグラフ（図28参照）では、ゼロ近傍以外のピークの横軸の値を散乱光の観測される側（例．空気中、水中等）の複素屈折率の実部 n で割った値が、2つの光散乱体の距離に対応している。この屈折率は、空気中での散乱光観測では空気の屈折率で1、水中での観測では水の屈折率で1.3となる。

10

【0201】

ある散乱角での光散乱強度波長分布について、フーリエ変換したグラフのピークの横軸は、 $[\text{実部 } n \times \sin(\text{散乱角度})]$ で割った値が、2つの光散乱体の距離に対応している。散乱角度は、2つの光散乱体の重心を結ぶ直線と入射光の直線を含む面内において、2つの光散乱体重心を結ぶ直線に垂直な方向に対する角度である。

【0202】

上記本発明に係る光学的測定方法では、2つの光散乱体間の距離を求めるための測定波長範囲が 1 から 2 である（ここで 1 2 ）。ここで、2つの光散乱体間の距離を求めるための測定波長範囲とは、フーリエ変換等の解析に用いる波長範囲であり、通常、入射光の波長分布より狭い範囲となる。測定対象である2つの光散乱体は、次のような態様がある。

20

【0203】

ア．2つの光散乱体の組は、1つでも2以上あってもよい。図24(b)では光散乱体1060が3つあり、2つの光散乱体1060の組が2つある構成を示している。 $m = 1$ 、 2 として、 w_1 が2つの光散乱体1060の距離、 v_m が幅、 d_m が高さ、 h_m が奥行きである。 m が2以上の場合には、 $w(m)$ 、 $v(m+1)$ 、 $d(m+1)$ 、 $h(m+1)$ をそれぞれの大きさに対応させる。

30

【0204】

イ．光散乱体は、平板（基板）の上に設けられていても（図24参照）、平板の内部に埋め込まれて形成されていても（図45参照）よい。

ウ．光散乱体が平板（基板）の上に設けられている場合は、その屈折率は平板と同じであっても異なってもよい。

エ．光散乱体が平板（基板）の内部に形成されている場合は、その屈折率は平板と異なる。

【0205】

これを整理すると、つぎのようになる。本発明では、2つの光散乱体間の距離を求めるための測定波長範囲が 1 から 2 であり（ここで 1 2 ）、空気の屈折率を n_0 、光散乱体が形成されている基材（基板）である平板の屈折率を n_1 とするとき、屈折率 n_2 ($n_2 > n_0$) で距離 w_m ($m = 1, 2, 3 \dots \text{max}$) の2つの光散乱体の1または2以上の組が平板上に存在するか、または、屈折率 n_3 ($n_3 > n_1$) で距離 w_m の2つの光散乱体の1または2以上の組が平板内部に存在する。

40

【0206】

散乱光の測定は、2つの光散乱体それぞれで散乱した光を、2つの光散乱体を結ぶ軸から外れた方向で干渉させることによって測る。2つの光散乱体を結ぶ軸から外れた方向とは、入射光と光散乱体を結ぶ軸を含む面内においては、軸となす角度を入射光の進行方向と同じ向きに 180° 、または、入射光の進行方向と逆向きに 180° とした範囲にあっ

50

て軸方向を含まない範囲である。

【0207】

即ち、散乱光は、2つの光散乱体の重心を結ぶ直線と入射光の直線を含む面内において、2つの光散乱体の重心を結ぶ直線に垂直な方向に対して、 $\pm 90^\circ$ の範囲について観測する。図24(a)においては、2つの光散乱体1060を結ぶ軸は平板1040に平行な方向であり、透過光の観測範囲は $\pm 90^\circ$ の範囲となり、反射光の観測範囲は $180 \pm 90^\circ$ の範囲となる。

【0208】

図24(b)に示すような3つの光散乱体1060の場合は、光散乱体1060がおおよそ同じ種類の形(矩形)であり、距離 w_m 離れた2つの光散乱体1060に隣接して、距離 w_{m+1} の別の組の2つの光散乱体60が存在する。

10

【0209】

w_{m+1} は必ずしも w_m と同じではなく、各光散乱体1060について、その近傍の光散乱体を通る光との光路差または光吸収量に差がある。光散乱体1060は、周囲と屈折率が異なっていればよい。平板の中に平板と屈折率の異なる光散乱体が埋め込まれている場合がひとつである。あるいは、光散乱体が平板と同じ屈折率であっても、凸部となっているか、あるいは、逆に凹部であればよい。

【0210】

このように、複数の2つの光散乱体1060の組のそれぞれについて、2つの光散乱体1060間の距離が、様々な値の場合についても、距離を測定することができる。

20

【0211】

なお、透過光を観測する場合と反射光を観測する場合では、範囲が反対になる。光散乱体と同じ種類の形、例えば、矩形同士や三角形同士である場合、それぞれの領域の散乱分布が似ているため解析が容易になり、得られる信号強度も強い。なお、1、2はUV可視域では、400 - 800 nm、硬X線領域では0.05 - 0.25 nm、軟X線領域では1 - 4 nmである。

【0212】

光散乱体の断面が矩形または矩形に近い場合には、光散乱強度角度分布についての解析が、容易であり、フーリエ変換後の信号強度も強い。光散乱体の断面が三角形の場合には、ある角度で観測した光散乱強度波長分布について、波長を横軸としてフーリエ変換する方が、解析が容易であり、フーリエ変換後の信号強度も強い。

30

【0213】

従って、本発明に係る光学的測定方法においては、光散乱体の断面が矩形、または矩形に近い楕円若しくは正弦の場合には、光散乱強度角度分布を角度の正弦を横軸としてフーリエ変換することが好ましく、光散乱体の断面が三角形の場合には、ある角度で観測した光散乱強度波長分布について、波長を横軸としてフーリエ変換することが好ましい。

【0214】

なお、矩形と三角形の中間の形状、たとえば、正弦形、台形の場合には、どちらの方法を用いてもよいが、散乱光の角度分布の方が、入射光を単色にできるので、実施上では制約が比較的少ない。

40

【0215】

2つの光散乱体の重心を結ぶ直線と入射光の直線を含む面内において2つの光散乱体のそれぞれの断面の面積が異なると、2つの光散乱体間の実際の距離と本願の方法でフーリエ変換後に得られるピークの横軸から読み取った距離がずれる。

【0216】

例えば、2つの光散乱体の幅が同じであっても高さが5%異なると、フーリエ変換後の距離が実際の距離から1%以上ずれる。そこで、あらかじめ幅や高さの違いを別の方法で測定し、横軸から読み取った距離に補正を行うことでより正確な距離を得ることができる。

【0217】

50

従って、本発明に係る光学的測定方法では、2つの光散乱体の大きさが5%以上異なる場合には、ピークの横軸から読み取った2つの光散乱体の距離を1%以上補正することが好ましい。

【0218】

フラウンホーファー近似より高い精度の結果を得ることが可能な、フーリエモーダル法を用いることで、2つの光散乱体による光散乱の角度分布を正確に求めることができる。また、フーリエモーダル法は、時間領域差分法(FDTD法)や境界要素法より、プログラムの時間および計算時間を考慮したときに、短い時間で様々な形状に適用できる。

【0219】

例えば、幅が同じで、高さが異なる矩形の光散乱体から求めた距離は、同じ幅のスリットでフラウンホーファー近似を適用した結果とは異なる。ここではRCWA(厳密結合波解析)をフーリエモーダル法に含める。

【0220】

従って、本発明に係る光学的測定方法では、フーリエ変換して得られた距離 w_m について、2つの光散乱体の高さや幅が異なるとき、フーリエモーダル法、時間領域差分法(FDTD法)または境界要素法で得られた光散乱分布についてフーリエ変換した結果に基づいて、2つの光散乱体の距離を補正することが好ましい。

【0221】

直線上に3個の光散乱体があるとき、計測される距離の数は、3個の組み合わせである3となり、3個の光散乱体の位置関係を把握するのは難しい。この考察から、3個以上の光散乱体の距離を計測するのは難しいことが分かる。

【0222】

これを解決する方法として、左端(あるいは右端)の光散乱体を大きくすることが挙げられる。他の光散乱体の散乱光よりも、左端の光散乱体による散乱光が強くなるために、左端の光散乱体からの距離を選択的に計測できる。

【0223】

例えば、図49に示すような光散乱体 $S_1 \sim S_4$ がある構成において、 S_1 から他の光散乱体 S_2 、 S_3 、 S_4 までのそれぞれの距離を求める場合には、欲しい信号は、 S_1 から他の光散乱体 S_2 、 S_3 、 S_4 までのそれぞれの距離3、4、5に対応する信号であり、不要な信号は $S_2 \sim S_4$ 間の距離、2に対応する信号である。

【0224】

例えば、光散乱体 S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_4 について、左端の光散乱体を S_1 とした場合、図49で示されるように、欲しい信号(図49の矢印で示した光散乱体 S_1 から光散乱体 S_2 、 S_3 、 S_4 のそれぞれの距離に対応する信号)以外の他の2つの信号(光散乱体 S_2 、 S_3 、 S_4 間の距離に対応する信号)に対応するピーク(図49の矢印で示されていない横軸の目盛1と2(1、2は図示されていない)にあるふたつのピーク)を、欲しい信号(図49の矢印で示した光散乱体 S_1 から光散乱体 S_2 、 S_3 、 S_4 のそれぞれの距離に対応する信号)に対応するピーク(図49の3つの矢印で示すピーク)に比べて相対的に小さくできる。

【0225】

距離3、4、5に相当するピークを大きくするためのひとつの方法として、左端の散乱体の散乱体のサイズを大きくするという方法がある。散乱体の高さが0.2までは、 S_1 の散乱強度が増大するので、見掛け上、距離3、4、5に相当するピークを大きくできる。実際、図49で、左端の散乱体の散乱体のサイズを大きくすると、矢印の3、4、5に相当するピークが大きくなることが分かる。

【0226】

左端の光散乱体を大きくすることで、左端の散乱体からの距離を計測する方法では、他の光散乱体間の散乱光を完全に除外することは難しい。そこで、左端の光散乱体のサイズや位置を変え、変える前と後で、左端の散乱体とその他の散乱体間の散乱光が変化することを利用する方法を考えた。この方法で、他の光散乱体間の散乱光をほぼ完全に除外する

10

20

30

40

50

ことができる。

【0227】

左端の光散乱体の散乱強度を変える方法として、散乱体の高さや幅を変える方法がある。本発明者らは、本発明の研究開発の過程で、矩形の散乱体の高さや幅が0.2以下であるとき、その散乱強度は、高さに比例することという知見を得た。

【0228】

解析方法の例として、左端の光散乱体の、散乱強度を強くして、強くする前の信号強度で割る方法がある。散乱強度を強くする前の散乱光の角度分布をフーリエ変換したグラフを $F_0(n_0 \times w \times c \times a \times l \times c / \quad)$ 、強くした後のグラフを $F_1(n_0 \times w \times c \times a \times l \times c / \quad)$ とする。

【0229】

$F_1(n_0 \times w \times c \times a \times l \times c / \quad) / F_0(n_0 \times w \times c \times a \times l \times c / \quad)$ は、左端の光散乱体の散乱光に由来する強度が大きくなり、左端以外の光散乱体由来の散乱光はあまり変わらないので、左端の光散乱体からの距離に相当するピークだけが強くなる。その結果、左端の光散乱体からの距離が分かる。

【0230】

このような方法（左端の光散乱体の散乱強度を変える方法）は、左端の散乱体の大きさを変えるだけでなく、光吸収を変える方法や左端の散乱体に当てる光の強度を変えることでも実現できる。さらに、似たような方法として、左端の散乱体の位置を変えるやり方や、左端の散乱体のみ入射光の入射角度を変えるやり方が挙げられる。

【0231】

また、本発明者らは、本発明の研究開発の過程で、入射角度を試料面に垂直な方向に対して斜めにずらすことで、分解能を向上させることができるという知見も得た。さらに、散乱光の波長分布を測定する場合には、反射光の測定では正反射角、透過光の測定では直進の透過光の角度からの角度が大きいほど、分解能が向上するという知見も得た。

【0232】

このような測定をする光学系として、光源、第1のレンズ、ピンホール（または第1のスリット）、第2のレンズ、試料の散乱体、第3のレンズ、受光部（第2のスリットまたは光ファイバの先端）の順で並べられた光学系が考えられる。ここで、受光部は第3のレンズで集光された光を受ける部分であって、試料の散乱光の焦点位置に置かれる。

【0233】

第3のレンズと光ファイバの先端の間に遮るものがない場合は光ファイバの先端が受光部に該当するが、該先端とレンズの間に第2のスリットを置く場合は、該スリットが受光部に該当するよう配置する。散乱体と受光部の間に第2のレンズを置く理由は、散乱光を集めて信号強度を稼ぐためと、散乱体の特定の部分の特定の散乱角度だけを選択して観測するためである。

【0234】

ピンホールまたは第1のスリットは、光軸方向に0.1mm単位で精密に移動できるような可動部に固定されている構成とすることが好ましい。試料の散乱体の固定台には、3軸方向に μm 単位で精密に移動できる可動部があり、かつ、入射光の光軸と測定する散乱光の光軸を含む面内で回転できる回転軸がある構成とすることが好ましい。さらに、受光部の固定台には、散乱光の光軸を含む3軸方向に μm 単位で精密に移動できる可動部があり、かつ、入射光の光軸と測定する散乱光の光軸を含む面内で回転できる回転軸がある構成とすることが好ましい。

【0235】

上記のとおり可動部や、回転軸を用いることで、光軸合わせが容易かつ正確にできる。例えば、光源からの光をピンホール1またはスリット1に通したのち、レンズを通して散乱体への入射光を作る光学系において、レンズの位置を調節して、倍率を0.5倍から2倍まで調整するということが容易に行うことができる。倍率を変えることで、測定対象となる距離を変えられる。光軸合わせは、最初は目視で行い、さらに厳密には光量をモニ

10

20

30

40

50

ターして、最大の信号が得られるよう可動部を調整することで行う。

【0236】

< 光学的記録媒体 1 >

本発明に係る光学的測定方法では、1つの光散乱体を光学的に測定し、その幅や消光係数を測定することができる点を特徴とするが、この光散乱体を多数(n 個)、円形の軌道に沿って直列的に作成し、光学的記録媒体として応用可能である。

【0237】

多数の光散乱体について、光散乱体の幅 $v_1 \sim n$ や消光係数 $k_1 \sim n$ が、波長 λ について一定でなく、多数の光散乱体間の幅 $w_1 \sim n$ のうち90%以上が 0.4λ 以上 2λ 以下の距離を持つのが記録密度を高める上で好ましい。

10

【0238】

< 光学的記録媒体 2 >

本発明に係る光学的測定方法では、2つの光散乱体を光学的に測定し、その距離を測定することができる点を特徴とするが、この2つの光散乱体の組を多数(n 個)、円形の軌道に沿って直列的に作成し、光学的記録媒体として応用可能である。

【0239】

多数の2つの光散乱体の組について、2つの光散乱体間の距離 $w_1 \sim n$ が、一定でなく、多数の2つの光散乱体間の距離 $w_1 \sim n$ のうち90%以上が 0.4λ 以上 2λ 以下の距離を持つのが記録密度を高める上で好ましい。

20

【0240】

また、別の光学的記録媒体の構成として、径の異なる円形の軌道を同心円状に複数形成し、円の中心方向に向かって、光散乱体が直列的に作成されている構成がある。この場合は、隣接する円と円の間多数の2つの光散乱体の組があり、2つの光散乱体間の距離 $w_1 \sim n$ が、一定でなく、多数の2つの光散乱体間の距離 $w_1 \sim n$ のうち90%以上が 0.4λ 以上 2λ 以下の距離を持つ。

【0241】

なお、多数の2つの光散乱体間の距離 $w_1 \sim n$ のうち90%以上については、上記のとおり、 0.4λ 以上 2λ 以下であることが好ましいが、 0.4λ 以上 1.0λ 以下であることがさらに好ましい。

【0242】

このような本発明に係る光学的記録媒体においては、2つの光散乱体の間隔が短すぎると、発明に係る光学的測定方法にて、フーリエ変換した後のピークが分離しない。また、2つの光散乱体の間隔が長すぎると光学的記録媒体の記録密度が小さくなる。光学的記録媒体の記録密度は、円形の軌道の単位長さ当たりの、ビット数で求めることができる。

30

【0243】

1ビットは0または1を与える情報量を表し、2進数では1単位となっている。2ビットでは2の2乗で情報量は4である。2穴の間隔を16階調で変化させる多値記録により0から15まで記録できたとすると、2の4乗で4ビットの情報量を記録できたことになる。これは距離 w を 1.2λ から 1.6λ まで、間隔 0.025λ の精度で測定できれば可能となる。1ビットを一つの穴に対応させる従来方式では2つの穴で2ビット記録できる。2つの穴で多値記録する場合、4ビット記録できれば情報量の密度は倍になる。

40

【0244】

通常、光学的記録媒体の読み取り用波長 λ は、300から500nmにあることが多く、405nmが好まれる。光散乱体の幅や高さは、光散乱強度が、検出するために十分なだけ大きくし、かつ、記録密度を高くするのに障害にならないよう小さくする。

【0245】

そして、2つの光散乱体の距離は、フーリエ変換後のピークが分離するのに十分大きくし、且つ記録密度を高くするのに障害にならないように決める。2つの光散乱体の大きさの違いは、高い記録密度と、十分なフーリエ変換後のピーク強度を得られるよう設定するのが好ましい。ここで、大きさとは、2つの光散乱体の形状が同じ矩形や三角である場合

50

、その高さおよび幅を意味する。

【0246】

このようなことを考慮し、本発明者らは最適な構成を検討した結果、光散乱体の形状を矩形、正弦形、三角形とした場合における幅、高さについて検討した。その結果は、それぞれ次のとおりである。

【0247】

本発明に係る光学的記録媒体の光散乱体を矩形とする場合には、各光散乱体の形状は、幅 v が $0.05 \leq v \leq 5$ で、高さ d が $0.05v \leq d \leq 2v$ 以下の矩形であって、2つの光散乱体の距離 w が $0.4 \leq w$ 以上であり、ひとつの形状の幅と高さを v_a 、 d_a とし、もうひとつの形状の幅高さを v_b 、 d_b とするとき、 $d_a \leq d_b$ とし、 $(d_a - d_b) / d_b < 4$ であり、 $v_a \leq v_b$ とし、 $(v_a - v_b) / v_b < 0.1$ とすることが好ましいことが分かった。

10

【0248】

なお、2つの光散乱体の距離は、入射角によらず解像できることから、 $0.7 \leq w$ 以上であることがより好ましい。

【0249】

また、本発明に係る光学的記録媒体の光散乱体を正弦形とする場合には、各光散乱体の形状は、幅 v が $0.1 \leq v \leq 10$ で、高さ d が $0.05v \leq d \leq 2v$ 以下の正弦形であって、2つの光散乱体の距離 w が $0.4 \leq w$ 以上であり、ひとつの形状の幅と高さをそれぞれ v_a 、 d_a とし、もうひとつの形状の幅高さを v_b 、 d_b とするとき、 $d_a \leq d_b$ とし、 $(d_a - d_b) / d_b < 4$ であり、 $v_a \leq v_b$ とし、 $(v_a - v_b) / v_b < 0.1$ とすることが好ましいことが分かった。

20

【0250】

さらに、本発明に係る光学的記録媒体の光散乱体を三角形とする場合には、各光散乱体の形状は、幅 v が $0.5 \leq v \leq 5$ で、高さ d が $0.25v \leq d \leq 2v$ 以下の三角形であって、2つの光散乱体の距離 w が $0.4 \leq w$ 以上であり、ひとつの形状の幅と高さをそれぞれ v_a 、 d_a とし、もうひとつの形状の幅高さを v_b 、 d_b とするとき、 $d_a \leq d_b$ とし、 $v_a \leq v_b$ とし、 $0.7 < (v_a / d_a) / (v_b / d_b) < 1.5$ とすることが好ましいことが分かった。

【0251】

本発明に係る光学的記録媒体の光散乱体は、二つだけでなく、三つ以上から成る構成としてもよい。三つ以上を一組とする場合は、別の組との間隔は情報としては扱わないのが好ましい。距離情報を得るための解析が、複雑になるためである。

30

【0252】

このように三つ以上の光散乱体を設ける場合には、複数の光散乱体のうち一つの光散乱体だけ、大きな光散乱強度をもたせることで、その光散乱体から他の光散乱体までの距離を与えるピークを大きくすることができる。大きな光散乱強度をもつ光屈折率発生体以外の光屈折率発生体同士でも、ピークが発生するが、相対的に小さくなる。

【0253】

つまり、フーリエ変換後のピークにおいて、他のピークと区別できる。大きな光散乱強度をもたせるには、該当する光散乱体だけを、サイズを大きくするか、まわりの屈折率との差を大きくする方法がある。

40

【0254】

このようなことを考慮して、本発明に係る光学的記録媒体では、3つ以上の光散乱体を含む拡大的な構成においては、各光散乱体が互いに距離が $0.4 \leq w$ 以上離れており、各光散乱体が直線上に存在しており、さらに、この拡大的な構成のもっとも端にある光散乱体の光路差が、他の光散乱体の光路差の平均の 1.5 倍以上で最も大きいか、または吸収係数が他の光散乱体の平均の 1.5 倍以上で最も大きい構成とすることが好ましい。

【0255】

本発明に係る光学的記録媒体では、2つの光散乱体について、それぞれの光散乱体の重

50

心を直線で結び、該直線を含み入射光に平行な平面で断面を切り出したときに、平均の充填係数が30 - 60%であることが好ましい。

【0256】

ここで、充填係数は、図25(c)のような、入射光1020と2つの光散乱体1070の重心を結ぶ直線1072を含む面内であって、さらにいずれかの重心を含みその直線1072に対して垂直な2つの平面1074に挟まれた領域において、2つの光散乱体に接する2つの直線1076に囲まれた領域1078における2つの光散乱体の面積の和の割合で定義する。要するに、[領域1078における2つの光散乱体の面積の和] / [領域1078の面積]である。充填係数が50%に近い方が、光散乱強度が大きくなる。

【0257】

本発明に係る光学的記録媒体を平板(基板)に実装する構造としては、平板の上に2つの光散乱体が凸部として形成されている構成だけでなく、平板内に2つの光散乱体が埋め込まれた矩形格子であり、平板の表面はほぼ平坦な構成としてもよい(実施例8、図45参照)。このような光学的記録媒体は、平板の表面がほぼ平坦であるために、光散乱体以外の凹凸で散乱する光量を減らすことができる。また、光または熱で2つの光散乱体の屈折率を変えれば、信号を記録または消去することが可能となる。

【0258】

以上、本発明に係る光学的記録媒体の構成について説明したが、本発明に係る光学的記録媒体は、例えば、2つの光散乱体である凸部と凸部の間隔を記録データとする光学的記録媒体であり、単純な凹凸構造なので、作製や品質検査が容易になる。

【0259】

また、凹凸の周囲との屈折率差が小さくても、光軸方向に高さがあるので十分光を拡散させることができる。たとえば、相変化で屈折率を変えて記録する構成としても有効である。また、透過率を高くできるので、一枚のディスクに複数の記録層を多層化して設ける構成としても有効である。

【0260】

本発明に係る光学的記録媒体を適用したディスク(本明細書では「FTディスク」と称する)と他の記録方式との多重記録の比較を表3に示す。表3において、「Blu-ray」は、現行のブルーレイディスクの記録方式、ホログラムはホログラム記録方式、FTは本願の記録方式を意味している。

【0261】

【表3】

記録方式	多層化	吸収波長による多重化	入射角多重	強度変調
Blu-ray	容易	容易	不可	可能
ホログラム	困難	困難	可能	困難
FT	容易	容易	不可	容易

【0262】

記録方式の「多層化」は、一枚のディスクの面に平行にディスクの内側に何層も重ねる方式である(非特許文献21参照)。「吸収波長による多重化」は、例えば、赤を吸収する色素と青を吸収する色素を同じピットに配置することで、赤い光と青い光で別の情報を得て、多重化する。「入射角多重」は入射角度を変えたときに、別の情報が取り出せるよう、記録に角度選択性を持たせることで、多重化する(非特許文献21)。

【0263】

10

20

30

40

50

「強度変調」は、例えば、異なるピットで反射強度を変えることで、反射強度に応じた数値を割り当てることで多重化する手段である。

【0264】

本発明者らは、本発明の研究開発の過程において、直線上に形成された三つ以上の光散乱体のうち、最も端の散乱体の散乱強度を変えることで、それを起点とした距離計測ができるという知見を得た。そのような目的に使える記録媒体としては、最も端にある光散乱体だけが、光または熱で光散乱体の屈折率を 0.01 以上または吸光係数 $[cm^{-1}]$ を 1 以上変えられる媒体が挙げられる。このとき、他の光散乱体の屈折率または吸光係数 $[cm^{-1}]$ は変わらないことが好ましい。

【0265】

さらに、本発明者らは、本発明の研究開発の過程において、直線上に形成された二つ以上の光散乱体に対し、光散乱体の試料面に垂直な軸からずらして光を入射することで、分解能が向上するという知見を得た。

【0266】

そのような、測定方法に好適な光学的記録媒体として、ある散乱体 S_1 から $40\mu m$ 以下の距離にある散乱体 S_m ($m = 2, 3, \dots$) のうち、少なくとも一つが S_1 との間を結ぶ軸と試料面に垂直な軸を含む平面内において、上記垂直な軸について非対称であることを特徴とする光学的記録媒体が挙げられる。

【0267】

非対称とすることで、斜めからの入射光を観測方向に効率よく曲げることができる。代表的でかつ作製の容易な非対称な形状として、不等辺三角形や左右非対称の台形が挙げられる。また、各光散乱体の散乱の角度分布を統一して、測定しやすくするために、各光散乱体の形状は略相似である構成とすることが好ましい。

【0268】

このような光散乱体は、各散乱体を含む試料面に垂直な軸と平行に入射する光に対して、非対称な散乱特性を持つ。つまり、光散乱体が垂直入射光に対して $10^\circ < \theta < 180^\circ$ の範囲において最大の散乱強度を与える θ_1 と $180^\circ - \theta_1$ の散乱強度 $A(\theta)$ の比 $A(\theta_1) / A(180^\circ - \theta_1)$ が 2 以上となることが期待できる。この散乱角度分布の異方性を利用して散乱強度の強くなる角度で効率的に斜め入射光の散乱を計測できる。

【0269】

計測で重要な因子は、2つの散乱体がどのくらい近づいても、別の散乱体として計測できるかを示す分解能と、2つの散乱体の距離をどの程度正確に計測できるかを示す精度に分けられる。本発明の光学的測定方法では、回折限界より 10 倍以上高い精度で計測できるが、分解能については、回折限界の倍以上とするのは困難である。

【0270】

精度が高くても分解能が低くても、記録媒体における散乱体の密度を高められず、記録密度を上げるのは難しい。本発明の光学的測定方法における高い精度を、記録密度の向上に生かすためには、隣接する散乱体の散乱光を別の方法で、分離することになる。一つは、隣接する散乱体の散乱光の波長分布を変える方法である。

【0271】

たとえば、左端を白色の散乱体とし、右に赤緑青のそれぞれの波長を散乱ピークに持つ散乱体を並べ、散乱光の観測角度を固定し、その波長分布を計測すると、赤い領域と、緑の領域と、青い領域とでそれぞれの距離に相当する異なる3つの情報が得られる。角度分布の計測の場合には、散乱光を赤緑青の3つのフィルタのいずれかに通して、それぞれのフィルタについて計測してもよい。

【0272】

同様の方法は、複屈折のある散乱体を用いて散乱光の偏光を隣接する散乱体で変えても可能である。この場合は、受光部の前に偏光子を入れて、直交するそれぞれの偏光を計測する。

【0273】

10

20

30

40

50

上記表 3 に示すように、FT ディスクの特徴は以下のようになる。

(1) 多層化

対物レンズによる集光・測定で、ディスク内垂直位置を選択することが可能である。

(2) 吸収波長多重化

凹凸だけでなく、光吸収でも散乱がおこるので波長多重化可能である。

【0274】

(3) 入射角多重

入射角を変えても、像は同じである。

(4) 強度変調

反射あるいは透過量を変えることで、多値化が可能となる。

10

【0275】

以下、光学的測定装置の実施の形態として、光学的測定装置(1)、(2)の2つの例を挙げて説明する。

【0276】

<光学的測定装置(1)>

本発明に係る光学的測定装置(1)について、以下説明する。この光学的測定装置の基本的な構成は、図21に示すように、単色光源330からの光を、偏光子305を通してレンズ320で透明な光散乱体270の幅 v 以上に広げ、偏光子で直線偏光の方向を定め、スリットまたはピンホール300で光照射範囲を調整し、その光をレンズで平行化して平板(基板)290上の光散乱体270に照射し、鏡筒230内のレンズ250で集光し、ピンホール295で観測する散乱部分を限定し、散乱光260をCCDイメージセンサ240(CCD:電荷結合素子)で受光して計測し、該計測データは計算機210に送られ、処理される構成である。

20

【0277】

レンズ320はスリットまたはピンホール300に光を集め、レンズ310は、光散乱体270に光を集める。レンズ320とスリットまたはピンホール300は、共通の台の上にあり、該台がゴニオメータで光軸方向の位置を調整できることが好ましい。光散乱体270に対する照射範囲を調整するのに有効である。なお、260は光散乱体270では散乱されない光である。

30

【0278】

光の強度分布が楕円に近いとき、この楕円の長径の軸を、長方形のCCDイメージセンサ240の長い方の辺と平行にする。楕円の長径が光散乱体の幅 v より大きくなるようにする。これによって、十分な精度の角度分解能を持ったデータを得ることができる。

【0279】

本実施例では、イメージセンサは、CCDイメージセンサを用いた例で説明するが、CMOSイメージセンサ(相補型金属酸化膜半導体)を用いてもよい。また、光源からの光の強度分布を半値幅の縦横比を2倍以上に長くした方がよい。半値幅はビームスポット内の光の強度分布の最大値の半分を持つ境界で囲まれた強度分布の幅である。半値幅の縦横は、該強度分布の幅で最大のものを縦とし、縦に直交する方向の幅を横とする。

40

【0280】

別の構成例として、白色光源450、第1のレンズ440、スリット430、第2のレンズ420、光散乱体410、第3のレンズ400、遮光フィルタ390、分光器340の順に並ぶ光学的測定装置を図22に示す。この光学的測定装置では、光源450からの光を光散乱体410に照射し、反射または透過された散乱光360を受光する散乱光測定機370、分光器340及び測定データを処理する計算機350を備えている。(実施例1参照)。

【0281】

光源450からの光を1つの光散乱体410に均等に照射する手段として、図22に示すように、スリット430にレンズ440で集光した後、さらに、レンズ420で平行化する方法がある。また、光散乱体からの散乱光のみを計測する手段として、散乱されてい

50

ない光のみを遮蔽物 390 でカットする手段が挙げられる。遮蔽物 390 の例として、ガラス基板に円形にクロム蒸着したテストターゲットが挙げられる。

【0282】

特定の角度への散乱光を分光器で測定する手段として、図 23 のような手段が挙げられる。

白色光源 490 からの入射光 460 を、入射光用レンズ 520、ゴニオメータ 500 上のピンホールまたはスリット 510、入射光用レンズ 530 を通して、第 2 の回転ステージ 600 上の 3 軸ゴニオメータ 590 に取り付けられた光散乱体 (試料) 580 に照射する。

【0283】

第 2 の回転ステージ 600 は、第 1 の回転ステージ 560 上に設けられている。第 1 の回転ステージ 560 には、検出光用レンズ 540、ゴニオメータ 500 に取り付けられた光ファイバ 570 が設けられている。光ファイバ 570 は分光器 550 に接続されている。

【0284】

610 は、第 1 の回転ステージ 560 及び第 2 の回転ステージ 600 の 2 つの回転ステージの共通の回転軸を示しており、それぞれ 630 及び 620 で示す回転方向に回転するように構成されている。要するに、620 は第 2 の回転ステージ 600 の回転方向を示し、630 は第 1 の回転ステージ 560 の回転方向を示す。

【0285】

入射光 460 は、光散乱体 580 で散乱された、散乱光はレンズ 540 を用いて、光ファイバ 570 の入光部先端の測定点 470 に集光され、分光器 550 に送られ、さらにそのデータは計算機 480 に送られて処理される。

【0286】

< 光学的測定装置 (2) >

本発明に係る光学的測定装置 (2) について、以下説明する。本発明に係る光学的測定装置の基本的な構成として、図 26 に示すように、光源 1090 から出た光は、スリット 1110、ビームスプリッタ 1120、対物レンズ 1130 を通して 2 つの光散乱体に照射する。2 つの光散乱体 1060 から反射または透過された散乱光をビームスプリッタ 1120 を通して散乱光測定機 1160 で受光する構成を備えている。

【0287】

散乱光測定機 1160 は、例えば、CCD イメージセンサ (CCD : 電荷結合素子) から構成する (実施例 3 参照)。以下の実施例では、イメージセンサは、CCD イメージセンサを用いた例で説明するが、CMOS イメージセンサ (相補型金属酸化膜半導体) を用いてもよい。

【0288】

光源からの光を 2 つの光散乱体に均等に照射する手段として、図 47 に示すように、ハーフミラー 1490 とミラー 1500 を設け、光源 1090 からスリット 1110 と通して入射した光 1470 を、曲げると同時にほぼ同じ強さの入射光 1100 に分けビームスプリッタ 1120 及び対物レンズ 1130 と通して、測定対象物 1140 に照射する構成としてもよい。また、入射光の強度を高めるために、ハーフミラー 1490 とビームスプリッタ 1120 の間、およびミラー 1500 とビームスプリッタ 120 の間にレンズを置いてもよい。

【0289】

このような構成により、ハーフミラー 1490 とミラー 1500 の距離をマイクロメータで機械的に調整し、光源 1090 からの光 1470 を 2 つの光散乱体の形成された測定対象物 1140 にちょうど合うように均等に分布させることで、高い光散乱強度を得ることができる。なお、図中、1160 は、散乱光測定機である。

【0290】

また、光源からの光の強度分布は半値幅の縦横比を 2 倍以上に長くした方がよい。半値

10

20

30

40

50

幅はビームスポット内の光の強度分布の最大値の半分を持つ境界で囲まれた強度分布の幅である。半値幅の縦横は、該強度分布の幅で最大のものを縦とし、縦に直交する方向の幅を横とする。

【0291】

図33において、光の強度分布が楕円でなく円形に近いと、トラック1340の隣のトラックにも光が当たり、散乱光に隣のトラックからの光も含まれてしまうということと、円形であることによりビームスポットの面積が広がり、集光度が落ちて、結果として散乱光の強度が弱くなることによる。

【0292】

散乱光を受光するCCDイメージセンサとしては、一辺の画素が600以上で応答時間100 μ s以下のものが良い。このように、空間分解能の高いCCDイメージセンサで受光することで、高い精度で距離を測ることができ、さらに、応答時間を短くすることで、測定速度を向上できる。

10

【0293】

本発明に係る光学的測定装置では、光源からの光を2つの光散乱体に均等に照射する手段として、光源からの光を長さと幅を調整したスリットを通して2つの光散乱体に当て、散乱光を開口数0.8以上のレンズで平行光にして照射または透過させる構成としてもよい。この場合でも、上記同様に、一辺の画素数が600以上で応答時間100 μ s以下のCCDイメージセンサで受光する。

【0294】

このような構成とすると、上記同様に、高い精度で距離を測ることができる。さらに、応答時間を短くすることで、測定速度を向上できる。そして、開口数の大きいレンズを使うことで、広い散乱角度の光を拾えるので、得られる距離の分解能が向上する。

20

【0295】

本発明に係る光学的測定装置として、図48のように、2つの光散乱体1070を測定対象物の前の入射光1100側にフレネルゾーンプレート1510と幅10 μ m以下のスリット1110を置き、光源1090からの入射光1100の散乱光の角度分布について、ゴニオメータ1400と、幅1cm以下のスリット1390と、PINフォトダイオードとを備えた散乱光測定機1410とで光散乱強度を測る構成としてもよい。なお、1370はスリットであり、1380はゴニオメータ1400で移動して測定する測定点を示す。

30

【0296】

散乱光測定機1410は、粉末X線回折装置としてX線散乱光の測定に使われている市販の装置を用いればよい。市販の装置としては、例えば、Rigaku製の試料水平型多目的X線回折装置Ultima IVがある。

【0297】

ただし、本願では、波長の数倍のサイズの光散乱体間の距離を計測するため、従来の条件ではmm程度であったX線のビームスポットを、数 μ m以下の狭い範囲に照射することが好ましい。そのためには、最適なフレネルゾーンプレート1510を選択し、平行な入射光1100を用意することになる。平行な入射光1100がないと限られた範囲に、フレネルゾーンプレート1510で集光するのが難しいからである。

40

【0298】

なお、強く平行な入射光としては、高エネルギー加速器による放射光がある。実験室内で、狭い領域に平行で強い入射光を作る方法の例として、非特許文献22、非特許文献23がある。

【0299】

本発明に係る光学的測定装置では、光源からの光を、2つの光散乱体に当てた後、ある散乱角度の散乱光を分光し、一辺の画素が1000以上で応答時間100 μ s以下のCCDイメージセンサで受ける構成としてもよい。

【0300】

50

このような構成では、光源としては、可視光域では波長分布のあるキセノンランプや水銀ランプを用いることができる。また、一辺の画素を1000以上とし、十分画素の数を多くすることで、フーリエ変換後のピークの分解能を上げることができる。応答時間を十分小さくすることで、計測時間を実用になるよう短くすることができる。

【0301】

本発明に係る光学的記録媒体を適用したディスク（FTディスク）の光学的測定装置（光学的読取装置）を図32に示す。この光学的測定装置では、光源1090から出た入射光1100はスリット1110及びビームスプリッタ1120を通過してから、対物レンズ1130で集光され、FTディスク1280にビームスポット1290として照射され、FTディスク1280の表面に形成された光散乱体で散乱（散乱光1300）される。

10

【0302】

光散乱強度は、散乱光測定機1160で計測され、その結果が計算機1170に読み込まれ、フーリエ変換される。散乱光測定機1160は、角度分布の測定ではCCDイメージセンサを使用する。波長分布の測定では分光器とCCDイメージセンサを使用する。

【0303】

FTディスク1280は、図33に示すように、円周上に複数の光散乱体（ピット）1340が間隔をおいて並べられて構成されており、光源1090からのビームスポット1320が、FTディスク1280が回転すると、相対的に実線の状態から点線の状態に移動する。

【0304】

実線及び左側の点線で示すビームスポット1320は、2つの光散乱体1340を含む領域を照射する状態を示しており、真ん中の点線1330が一つだけの光散乱体1340を含む領域を照射する状態を示している。

20

【0305】

本発明の光学的測定装置を記録装置として利用する場合を考慮すると、記録装置としては、記録密度と読み取り速度が重要である。読み取り速度に関しては、本発明の光学的測定装置では、フーリエ変換を行うため、信号のON、OFFから直接データを読み取る場合に比べ、計測に時間がかかる。それを補う手段として、イメージセンサまたはスペクトラムアナライザで測定したデータについて、フーリエ変換をFTチップを並列に用いて行うことができる。あるいは、散乱光の角度分布のフーリエ変換をレンズを用いて光学的に行うことも可能である。

30

【0306】

その場合は、レンズを含めた光学系で散乱光の角度分布を、RCWAやFDTD法、境界要素法などの波動光学に基づいた方法を用いて計算をすることになる。レンズを含めた光学系の計算結果と実験結果を比較することで、厳密な距離を求めることができる。また、一旦、電気信号に変換してからフーリエ変換を行うので、電気信号に変換するのにも時間がかかる。それを補う一つの手段として、散乱光の情報を、光ファイバや光増幅器を通して送信し、最終的なユーザまで、直接データを受け渡しする方法が挙げられる。

【0307】

記録密度に関しては、斜め入射により光学的記録媒体の記録密度を向上させることができる。その手段として、反射光測定と同じレンズの中心から外れた部分に光を入射させ、入射平面内で $40^\circ < |i|$ とすることができる。

40

【0308】

媒体の光学的測定装置（光学的読取装置）読み取り装置として、信号強度を稼ぐためには、なるべく広い角度範囲から光を入射するのが好ましい。例えば、試料面に垂直なZ軸について、Z軸となす角 z が、 $40^\circ < z < 90^\circ$ である入射角 z に60%以上の光量（W単位）があり、Z軸について軸対称であることで実現できる。

【0309】

また、斜め入射による、光学的記録媒体の記録密度向上を最大限に生かすためには、入射平面内で $40^\circ < d$ または $-40^\circ > i$ であって、 $\sin(d) - \sin(i)$

50

) > $\sin(40^\circ)$ であることが好ましい。 $\sin(d) - \sin(i)$ が大きいほど、分解能を高くできる。

【0310】

分解能を向上させ、記録密度を向上する手段の一つとして、隣接する散乱体の散乱特性を変える方法がある。異なる色情報を持つ場合には、カラーフィルタやノッチフィルタを使うことで実現できる。波長の異なる複数の信号を含む散乱光を、ノッチフィルタで3つ以上に分け、色ごとにフィルタした後に検出することで、分解能を向上できる。カラーフィルタの代わりに偏光子を使えば、偏光情報で分離できる。寿命の異なる蛍光体を使えば、時間分解測定して散乱強度の減衰を解析することで、寿命情報で分離できる。

【0311】

直線上に形成された三つ以上の光散乱体を含む領域の各散乱体間の距離を解析する場合、端の散乱体からの距離が分かれば計測できる。このためには、本発明者らは、左端の散乱体からの散乱強度を変えればよいという知見を得た。

【0312】

散乱強度を変える手段の一つとして、入射光 A と B の二つを用い、左端の散乱体には入射光 A を、それ以外の散乱体には入射光 B を照射し、入射光 A の入射角を 1° 以上 90° 以下変えて散乱光の角度分布を測定する方法が挙げられる。

【0313】

もう一つの手段として、パルスを用いた時間分解計測が挙げられる。時間変調のある入射光 A と B の二つを用い、最も端の散乱体には入射光 A を、その他の散乱体には入射光 B を照射でき、入射光 A と B の時間変調のタイミングがずれており、該時間変調を測定可能な時間分解能で計測することで実現できる。

【0314】

時間変調のある入射光は、多層化された光学的記録媒体にも適用できる。複数層にわたり直線上に形成された三つ以上の光散乱体に適用でき、スリットまたはピンホールもしくは導波路を通る時間変調のある入射光 A と B の光源を用い、入射光 A と B の光源、レンズ、光検出器の順に並んでおり、光散乱体が三つ以上形成された直線と垂直な断面について、入射光の軸から 10° 以上ずれた光散乱を検出する。

【0315】

多層化された光学的記録媒体の各層には、レンズの焦点位置は、光軸方向に長くてもよい。各層で光散乱体が三つ以上形成された直線と垂直な断面について散乱体に異方性を持たせ、散乱光を光散乱体が三つ以上形成された直線の軸周りに入射光の光軸に対して斜め方向に出射させ、光検出器の検出位置を変えることで、各層の信号を別々に検出することが可能である。以下、本発明の実施例について説明する。

【実施例】

【0316】

(実施例 1)

< 光学的測定試験 1 >

実施例 1 では、断面が矩形の棒状の光散乱体に光を入射し、その散乱光の角度分布から、サイズと吸光係数 (消光係数 k と比例する) を求める本発明の光学的測定方法を光学的測定試験 1 において説明する。

【0317】

図 1 のような、透明な板上の矩形の光散乱体を用いる。幅 v が 3 で、高さ d が 1.5、屈折率の実部が 1.5、消光係数 k が 0.02 の光散乱体を計測する。板の屈折率は 1.5 であり、その厚みは、裏面からの反射を無視できる程度に厚い。

【0318】

条件 1 :

$$v = 3$$

$$d = 0.5 \times v$$

$$\text{奥行き} : h = 1000$$

10

20

30

40

50

消光係数 $k = 0.02$

【0319】

計測に先だって、3次元形状測定できる共焦点顕微鏡、あるいは微分干渉顕微鏡で光散乱体の大まかな形状と大きさを把握する。また、屈折率の実部については、その値を予測できる光散乱体を使う。または、別途、ある波長について、屈折率計で計っておきその値をそのまま用いる。第3の方法として、光散乱の全光線反射率と全光線透過率の比を計測し、形状から予測される本発明の方法を用いた計算値の比を算出し、この二つを比較することで、屈折率の実部を予測してもよい。ここで、光学的測定には、光源としてアルゴンレーザーの波長 $= 0.5145 \mu\text{m}$ の光を用いる。

【0320】

この計測は、図21のようにスリットで、光散乱体への入射光の照射範囲が光散乱体の幅 v よりも大きくなるように調整し、散乱光の角度分布をCCDイメージセンサで計測する。CCDイメージセンサとしては、JAIのCV-M4+CLを使うことができる。

【0321】

これは、2/3型プログレッシブスキャンCCDであり、有効画素数が $1492(H) \times 1040(V)$ の145万画素、画素サイズが $6.45 \times 6.45 \mu\text{m}$ 、フレームレートが 24 fps 、映像出力が 10 bit カメラリンクである。このイメージセンサをRS-232Cのボードを介して計算機につなぐ。また、計算機でのデータ取り込みのために、National Instruments CorporationのLabVIEWというソフトでプログラムを組む。レンズとしては、シグマ光機の合成石英レンズを用いる。

【0322】

散乱光の角度分布は図9の“3-0.02”に示されたようになる。解析に先立ち、この角度分布の0近傍のピークの影響を小さくするために、 $1/(|\sin(\)|+0.001)$ を窓関数として掛ける。なお、定数0.001は、 0° 以外の角度の光強度の平均(図9ではゼロ以外にマーカーのある観測点の平均)と 0° の光強度との比から設定する。

【0323】

さらに、角度分布の変動周期を求めるために、フーリエ変換を行うと図11のようになる。このとき、3.7にピークがある。この3.7は、幅 v が3に相当する。このようにして計測から、幅 v が求められる。

【0324】

レンズの焦点距離の調整、および、光散乱体に光が当たっていることの確認は、別途用意したレンズ付きの小型CCDカメラをモニターにつないで、光散乱体を観察することで行う。

【0325】

また、図9では、散乱角度の絶対値が0.05ラジアン以上の強度は、入射光量を1、集光範囲を31波長として、14%となっている。kが0, 0.02, 0.04と変化すると、該散乱強度が順に16%、14%、12%と変化するので、これを元に、kの値を決めることができる。吸収係数は $4k/$ で与えられる。あるいは、光吸収量によって、kを決めることもできる。

【0326】

表1と表2は屈折率において、実部を1.5とし、虚部のkを変えて計算した吸収の値である。表1は面積無限大とみなせる厚みdの平面のフィルムに関する結果、表2は図1の矩形に関する結果であり、kは矩形部分のみ変え、板部分は0とした。矩形は深さdで $v = 2d$ である。板部分の厚みは無限大とみなした。

【0327】

10

20

30

40

【表 1】

k	0	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1
d=0.2	0	0.0477	0.0926	0.1349	0.1748	0.2124
d=0.4	0	0.1033	0.1952	0.2769	0.3498	0.4148
d=0.6	0	0.1406	0.2612	0.3645	0.4530	0.5289
d=0.8	0	0.1902	0.3427	0.4654	0.5644	0.6444
d=1	0	0.2291	0.4046	0.5392	0.6429	0.7227
d=2	0	0.4046	0.6432	0.7852	0.8701	0.9209
d=3	0	0.5394	0.7854	0.8992	0.9522	0.9768
d=4	0	0.6433	0.8706	0.9525	0.9821	0.9926
d=5	0	0.7235	0.9218	0.9775	0.9930	0.9971

10

【0328】

【表 2】

k	0	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1
d=0.5	0	0.0930	0.1742	0.2453	0.3078	0.3630
d=1.5	0	0.3050	0.4940	0.6154	0.6962	0.7517
d=2.5	0	0.4812	0.6920	0.7943	0.8486	0.8799
d=3.5	0	0.6471	0.8292	0.8913	0.9174	0.9305
d=4.5	0	0.7668	0.9042	0.9366	0.9473	0.9525
d=5.5	0	0.8414	0.9375	0.9540	0.9590	0.9618

20

【0329】

また、表 1 と比較するために、表 2 では、吸収の値を ν 倍してある。吸収の値は 1 から全ての反射率と透過率を引いた値である。表 2 は表 1 と同様、吸収の値が、 k および d に対して単調に増加することから、 d がきまれば、 k を決めることができる。

【0330】

この測定方法としては図 2 2 のように、散乱角度の絶対値が 0.05 ラジアン以下の光および光散乱体によって散乱されていない光を遮蔽物 390 でカットする方法を使うことができる。また、光源を白色光とし、分光器で計測することによって、波長スペクトルを得ることができる。各波長ごとの入射光量を、分光器で計測し、各波長ごとの k を計算することになる。入射光量の測定方法は、例えば、遮蔽物 390 と光散乱体 410 を除いて計測することで可能となる。

30

【0331】

レンズの焦点距離の調整、および、光散乱体に光が当たっていることの確認は、別途用意したレンズ付きの小型 CCD カメラをモニターにつないで、光散乱体を観察することで行う。

【0332】

(実施例 2)

< 光学的測定試験 2 >

実施例 2 では、断面が三角形の棒状の光散乱体に光を入射し、ある特定角度における散乱光の波長分布から、大きさと消光係数を求める本発明の光学的測定方法を光学的測定試験 2 において説明する。

40

【0333】

図 2 のような、透明な板上の三角形の光散乱体を用いる。1 / 波長を 2 から 10 まで変えて、幅 ν が 1 で、高さ d が 0.5、屈折率の実部が 1.5、消光係数 k が 0.05 の光散乱体を計測する。

【0334】

条件 2 :

$$\nu = 1$$

$$d = 0.5 \times \nu$$

50

奥行き： $h = 1000$

消光係数： $k = 0.05$

【0335】

なお、ここでは計測する波長範囲の内、最長の波長 1000 nm を1とし、最短の波長 200 nm を0.2とする。計測は、図23のようにスリットで、光散乱体への入射光の照射範囲が光散乱体の幅 v よりも大きくなるように調整し、散乱角 45° における散乱光の波長分布を分光器で計測する。

【0336】

分光器としては、オーシャンオプティクス社のMAYA2000PRO分光器を使うことができる。分光器に光を入れるための光ファイバーとしては、オーシャンオプティクス社のコア径 $450\text{ }\mu\text{m}$ で耐紫外線性のあるエクストリームSRを使うことができる。レンズとしては、エドモンド・オプティクス社のアクロマティックレンズを用いることができる。

10

【0337】

波長分布は図19の $k = 0.05$ に示されたようになる。さらに、波長分布の変動周期を求めるために、フーリエ変換を行い、横軸の単位を μm に直すと図20のようになる。このとき、 $1.07\text{ }\mu\text{m}$ にピークがある。この $1.07\text{ }\mu\text{m}$ は、幅 v が $1\text{ }\mu\text{m}$ に相当する。このようにして計測から、幅 v が求められる。また、幅 v が定めれば、図19のように、散乱光を測定することで、実施例1と同様にして、波長スペクトルを得ることができる。

【0338】

20

(実施例3)

本発明の実施例3を説明する。実施例3では、2つの光散乱体1060は、互いにサイズ及び形状が同じであり、図24(a)に示すように、形状は矩形であり、奥行き(図中、紙面に垂直方向の幅)が測定範囲に比べて十分大きい充填係数が50%の矩形の凸部であり、基材である平板1040上に形成されている。

【0339】

光散乱体60が多数ある場合には、図24(b)のように、 m 番目の形状の高さまたは深さと幅を $d\text{ m}$ 、 $v\text{ m}$ とし、 $m = 1, 2, 3, \dots$ とする。また、 m 番目と $m + 1$ 番目の光散乱体60の重心間の距離を $w\text{ m}$ とする。

【0340】

30

平板1040と光散乱体1060の屈折率はともに1.5である。 d_s は平板の厚みであり計算上は無限大と考える。 d は光散乱体1060の高さであり、 w は2つの光散乱体の間(重心間)の距離であり、本実施例3では、光散乱体1060の幅は $w/5$ (充填係数が20%)とした。 λ はRCWAにおける計算上の周期である。入射光1020は平板1040に垂直な方向から入射し、散乱光の一部が散乱角 θ 方向に進む。

【0341】

< 光学的測定試験3 >

実施例3において、2つの光散乱体の組について、次のような条件3で実証的な光学的測定試験3を行う。その結果を、図27及び図28で説明する。光散乱体の配置は、図24(a)のようになる。図24(a)の2つの光散乱体は形状とサイズが同じである。また、ビームスポットは図29(a)のように配置する。

40

【0342】

条件3:

$w = 1.2$ または 1.4 、 1.6 、 1.8

$v = w/5$

$d = 0.25 \times v$

奥行き： $h = 1000$

【0343】

ここで、光学的測定には、光源としてアルゴンレーザーの波長 $\lambda = 0.5145\text{ }\mu\text{m}$ の光を用いる。このとき、奥行き h_1 、 h_2 、 h_3 は、測定領域つまり光の当たっているビ

50

ームスポットの領域に対して十分大きいと考える。

【0344】

実施例3の光散乱体1060の作製は次のようにして行うことができる。1mm厚の透明なガラス基板(平板の材料)にネガ型電子線レジストを乾燥後膜厚が 2μ となるようスピンコートする。ガラスきりで1cm角にガラスを切り出す。目的とするパターンを電子線で露光する。露光したレジストを洗い流す。四塩化炭素や酸素などの混合ガスでドライエッチングを行いガラス基板に溝を掘り、残ったレジストを溶剤で洗い流して試料とする。

【0345】

図26は、本発明の実施例3の光学的測定方法及び光学的測定装置の全体構成を説明する図であり、また、光学的測定方法及び光学的測定装置により、光散乱体1060を反射で測定する場合の配置を示す図である。

10

【0346】

光源1090から出た光は、スリット1110を通過してから、対物レンズ1130で集光され、2つの光散乱体1060で散乱される。対物レンズ1130で平行化された散乱光1150の光散乱強度は、散乱光測定機1160(角度分布の測定ではCCDイメージセンサを使用。波長分布の測定では分光器とCCDイメージセンサを使用。)で計測され、その結果が計算機1170に読み込まれ、フーリエ変換される。

【0347】

2つの光散乱体1060及び平板(ガラス基板)1040から成る測定対象物(試料)1140は、裏面反射を防ぐためにダブプリズムに透明接着剤を用いて平板1040の裏面をはりつけてもよい。

20

【0348】

対物レンズ1130は、スリット1110のサイズにあわせて、中心部分を平らにする方が、2つの光散乱体1060に入射光が当たり、かつ、反射散乱光1150が対物レンズ1130で平行光となるので、好ましい。2つの光散乱体1060に入射光を当てるために、スリット1110の代わりに、縦横で焦点距離の異なる楕円レンズを用いてもよい。

【0349】

対物レンズ1130は、開口数NAが0.8以上1未満のものを用いるのが好ましい。NAが大きいと検出される角度範囲を広くできる。ビームスポットのサイズを奥行き方向(h方向:図26の紙面に垂直な方向)に1.6、水平軸の方向(w方向:図26の紙面に沿って上下方向)に4となるよう光源からの光をスリット1110で遮るのが好ましい。

30

【0350】

この散乱光の角度分布のRCWAによる計算結果は図27のようになる。計算では奥行き方向h方向は無窮大として、奥行き方向の散乱の影響は考えていない。 $\theta = 31^\circ$ とし、入射角は、h方向に直交する面内において、 $\theta = 0^\circ$ とした。入射角について、h方向に直交する面内にする理由および、 $\theta = 0^\circ$ とする理由は、測定及び解析を容易にするためである。横軸は散乱角度である。横軸を $\sin(\theta)$ に直すと、図27は一定間隔で並ぶので、そのまま、離散的フーリエ変換を行うことができる。

40

【0351】

図28はその結果であり、横軸を $\sin(\theta)/n_0$ 倍することで2つの光散乱体の距離 $w \cdot \text{cal}c$ を得ることができる。したがって、横軸は空気の屈折率 $n_0 \times w \cdot \text{cal}c / \sin(\theta)$ に対応している。 $n_0 = 1$ なので横軸は $w \cdot \text{cal}c / \sin(\theta)$ となる。ピークの横軸が1.2, 1.4, 1.6, 1.8となり、実際に、2つの光散乱体の間の距離wに対応していることが分かる。

【0352】

2つの光散乱体1200の組1190を複数設けた場合の、それらの並べ方と入射光のビームスポット180の関係の例を図29に示す。2つの光散乱体1200は、図29(

50

a) に示すように、1組ずつ別々にする構成としてもよいし、図29(b)に示すように、一つの光散乱体200を左右の光散乱体の組1210で共有する構成としてもよい。

【0353】

< 光学的測定試験4 >

本実施例3において、試験1と同様にして、次のような条件4の2つの光散乱体について、実証的な光学的測定試験4を行った。ここで、 v_{m2} を光散乱体の幅、 d_{m2} を高さまたは深さ、 h_{m2} を奥行き、 w_{m1} を各光散乱体の重心間の距離と定義する。 $m1 = 1, 2, \dots$ 、 $m2 = 1, 2, 3, \dots$ とした。光散乱体の配置は、図24(b)のようになる。また、ビームスポットは図29(b)のように配置する。

【0354】

条件4：

$$w_1 = 3$$

$$w_2 = 4$$

$$w_3 = 5$$

$$v_1 = v_2 = v_3 = v_4 = 0.5$$

$$d_1 = d_2 = d_3 = d_4 = 0.5$$

$$h_1 = h_2 = h_3 = 1000$$

【0355】

光学的測定試験4の結果を、図30及び図31に示す。図30は、散乱角に対する相対散乱強度を示すグラフである。図31は、図30の光散乱強度分布をフーリエ変換して示される相対散乱強度分布である。図31において、 $w_{\text{c a l c}} = 3, 4, 5$ の位置にピークがあり、2つの光散乱体の距離が3, 4, 5であることを示している。

【0356】

< 光学的測定試験5 >

図34は、光散乱体1060が複数存在する多点の光散乱用に形成された、複数の矩形凸部の構成を示している。図35は、同様に多点の光散乱用に形成された複数の矩形の光散乱体の構成例、及び光散乱体1200、1360とビームスポット1350の位置関係の例を示している。この構成例では、左端の光散乱体1360の高さが他の光散乱体1200より高い。

【0357】

図34に示す構成について、次のような条件5で複数の矩形の光散乱体を、前記光学的測定試験3の場合と同様な作製法で作製し、これに光を照射し、光散乱をRCWA法にて計算し、光散乱強度から矩形の光散乱体の多点間の距離計測で w_1, w_2, w_3 を求める光学的測定試験5を行った。

【0358】

ここでは、平板1040と複数の光散乱体1060の屈折率は1.5とした。 d_{m2} が高さ、 v_{m2} が幅、 w_{m1} が左端の矩形から $m1 + 1$ 番目の矩形までの距離を示している。ここで $m1 = 1, 2, \dots$ 、 $m2 = 1, 2, 3, \dots$ とした。光散乱体の配置は、図34のようになる。

【0359】

条件5：

$$w_1 = 3$$

$$w_2 = 4$$

$$w_3 = 5$$

$$v_1 = v_2 = v_3 = v_4 = \text{Minimum}(w_3 - w_2, w_2 - w_1, w_1) / 5$$

$$d_1 = v_1$$

$$d_2 = d_3 = d_4 = v_1 / 2$$

$$h_1 = h_2 = h_3 = h_4 = 1000$$

Minimum() は最小値を選ぶ関数である。

【0360】

10

20

30

40

50

図36は、光学的測定試験5で得られた光散乱強度角度分布をフーリエ変換したグラフである。図36に示すように、3、4、5にピークが出て、 w_1 、 w_2 、 w_3 に対応していることも分かる。また、 $w_3 - w_1$ （図34参照）に対応する2のピークが小さいことが分かる。以上のように、最も端の光散乱体の光散乱強度を大きくすることで、左端の光散乱体1360と他の光散乱体1200との間の距離を求めることができる。

【0361】

図34に示す構成及びこの光学的測定方法の利点の一つは、一度に得られる情報量が多いので、単位時間当たりのデータの取得量を増やすことができる点である。もう一つの利点は、一つのピークを基準に他のピークの大きさを規格化することで、強度変調ができることである。強度変調により、さらに、情報量を増やすことができる。

10

【0362】

< 光学的測定試験6 >

図34に示す構成について、次のような条件6の複数の矩形の光散乱体を、前記光学的測定試験3の場合と同様に作製し、これに光を照射し、光散乱をRCWA法にて計算し、光散乱強度から矩形の光散乱体の多点間の距離計測で w_1 、 w_2 、 w_3 を求める光学的測定試験6を行った。

【0363】

光学的測定試験6は、光学的測定試験5と同様、矩形の光散乱体の多点間の距離計測であるが、間隔を変えて比較した。すべての間隔を r 倍している。 r は0.6から0.9まで変えた。ここでは、平板1040と複数の光散乱体1060の屈折率は1.5とした。 d_{m2} が高さ、 v_{m2} が幅、 w_{m1} が左端の矩形から $m_1 + 1$ 番目の矩形までの距離を示している。ここで $m_1 = 1, 2, \dots$ 、 $m_2 = 1, 2, 3, \dots$ とした。光散乱体の配置は、図34のようにする。

20

【0364】

条件6：

$$r = 0.6, 0.7, 0.8 \text{ または } 0.9$$

$$w_1 = 3 \times r$$

$$w_2 = 4 \times r$$

$$w_3 = 5 \times r$$

$$v_1 = v_2 = v_3 = v_4 = \text{Minimum}(w_3 - w_2, w_2 - w_1, w_1) / 5$$

30

$$d_1 = v_1$$

$$d_2 = d_3 = d_4 = v_1 / 2$$

$$h_1 = h_2 = h_3 = h_4 = 1000$$

Minimum()は最小値を選ぶ関数である。

【0365】

図37は、光学的測定試験6で得られた光散乱強度角度分布をフーリエ変換したグラフである。図34に示すように垂直入射では、 r が0.6、0.7では、ピークの分離が悪いことから、光散乱体の距離は0.7から0.8に最小値の測定限界があることが分かる。

【0366】

光学的測定試験6は次のように行う。計測には波長 $\lambda = 0.5145 \mu\text{m}$ のアルゴンレーザーを用いる。図34において、ビームスポット1350のサイズを、奥行きは最小の h_{m2} ($m = 1, 2, 3, 4$) より十分小さくなるように、横方向は最大の w_{m1} より十分大きくなるように設定する。

40

【0367】

例えば、奥行き h 方向に1.6、水平軸の w 方向（図34の左右方向）に7となるよう設定する。計算では奥行き方向 h は無限大として、奥行き方向 h の散乱の影響は考えていない。また、入射光20は空気と平板1040の界面に対して、垂直入射とした。

【0368】

光学的測定装置は、図40のようにレーザー光をスリットを通し、さらに、光散乱体で

50

ある光散乱体及び平板から成る試料面に隣接して設置したスリットを通して散乱させる。光散乱体が矩形凸部である場合、レーザー光を長さ3mm幅10 μ mのスリットを通して、2つの光散乱体1060に照射して光を散乱させる。検出は、ゴニオメータとスリット付きPINフォトダイオード(CCDを用いてもよい)により行い、角度と光散乱強度を検出する。

【0369】

光学的測定装置によって光散乱強度角度分布を測定し、この測定データのデータ処理において、横軸を屈折率 \times (角度の正弦)として、フーリエ変換を行うと、前記図37に示すように、ゼロ以外にピークがでる。このピークの横軸が矩形の光散乱体の多点間の距離である。屈折率は、散乱光検出機器と光散乱体の間を満たす媒体の屈折率で、空気中では1である。

10

【0370】

(実施例4)

本発明の実施例4を説明する。実施例4では、2つの光散乱体1070は互いにサイズ及び形状が同じであり、図25(a)、(b)に示すように、形状は二等辺三角形の凸部であり、基材である平板1040上に形成されている。この図25(a)、(b)に示す例では、 w は2つの光散乱体70間の距離であり、これは、二等辺三角形の凸部の底部の左右方向の幅と同じである。

【0371】

<光学的測定試験7>

20

図25(a)に示す2つの光散乱体1070が二等辺三角形の凸部である構成について、次のような条件7で二等辺三角形凸部及び平板1040から成る試料を作製し、これに光を照射し、光散乱をRCWA法にて計算し、光散乱強度から w を求める光学的測定試験7を行う。図25(a)の2つの光散乱体は形状とサイズが同じである。また、ビームスポットは図29(a)のように配置する。

【0372】

ここでは、平板1040と複数の光散乱体1070の屈折率は1.5とした。 d が光散乱体1070のそれぞれの高さ、 v が2つの光散乱体1070間の距離である。 h は奥行きである。

【0373】

30

条件7:

$w =$

$v =$

$d =$

奥行き： $h = 1000$

【0374】

試料の作製は、機械加工で金型に1 μ m間隔で2つの三角形の溝を掘る。作成した金型を用い、2mm厚の透明なアクリルの板にUV硬化で、UV硬化樹脂を転写する。これを試料とする。

【0375】

40

図40は、光学的測定試験7において透過で測定する場合の光学的測定方法及び光学的測定装置を説明する全体構成を示す。キセノンランプの白色光源である光源1090からの入射光1100を、長さ3mm幅10 μ mのスリット1110を通して、試料の2つの光散乱体1070に照射し散乱させ、スリット1370を通して出射する。スリット1110と光源1090の間と光散乱体1070とスリット1110の間のいずれかまたは両方にレンズを置いて入射光1100の強度を上げてよい。

【0376】

散乱光測定機(スペクトラムアナライザ(分光器とCCDイメージセンサでできている))1410を、ゴニオメータ1400で測定点1380の位置の角度に固定し、スリット1390付きで、波長ごとの光散乱強度を検出する。さらに、光散乱強度を光源109

50

0 の波長の強度分布で規格化され、その光散乱強度は、計算機 1 1 7 0 に読み込まれ、フーリエ変換される。

【0377】

図38は、光学的測定試験7によって得られた2つの光散乱体が三角形の場合に関する、ある散乱角 θ での透過光散乱強度の波長依存性を示すグラフである。散乱角 θ を 47.2° または 19.5° とした。計算では $\theta = 47^\circ$ とした。

【0378】

図39は、図38のグラフに示すある散乱角 θ での光散乱強度の波長依存性を、フーリエ変換し、さらに、数値処理したものである。このフーリエ変換及び数値処理は次のようにした。 $w / \lambda = 1$ とすると、 w / λ 軸のサンプリング間隔が 0.05 であり、この値は全測定幅 / 観測数 $N = 9 / 180$ で求まる。ここで、9は、波長 λ_1 から波長 λ_2 まで測定するとき（ただし、 $\lambda_1 < \lambda_2$ ）、 $w = (\lambda_1 / \lambda_1 - \lambda_1 / \lambda_2)$ で、180は等間隔に取った観測点数である。

10

【0379】

例えば、波長変化に伴う光散乱強度の変動周期が2のとき、逆数の0.5、周期が3.3のとき、逆数の0.3がフーリエ変換で得られる。変動周期は、光散乱体の幅やアスペクト比に鈍感で、測定散乱角 θ と w と屈折率 n で決まる。屈折率は、光散乱体から測定器までの間が大気中の場合、空気の屈折率の1である。

【0380】

変動周期が L_1 となった時、 $w / \lambda = 1$ に対応する周期を L_0 とすると、実際の w は L_1 / L_0 で与えられる。ここで、 L_0 は $n s \sin \theta$ である。 n は測定系の媒体の屈折率である。

20

【0381】

(実施例5)

本発明の実施例5を説明する。実施例5では、3以上の複数の光散乱体が備わっており、複数の光散乱体1080は正弦凸部である、複数の正弦凸部の光散乱体1080は、基材である平板上に形成され、互いにサイズ及び形状が同じである。

【0382】

< 光学的測定試験8 >

実施例5について、図24(c)に示すように、正弦凸部として形成された4つの光散乱体1080と基材である平板1040から成る試料を作成し、次の条件8について、光学的測定試験8として、光散乱体の多点間の距離計測を行った。図24(c)の2つの光散乱体は形状とサイズが同じである。また、ビームスポットは図29(a)のように配置する。 w は2つの光散乱体間の距離、 v は光散乱体の幅、 d は高さ、 h は奥行きである。

30

【0383】

条件8：

$$w = 3, 4, \text{ または } 5$$

$$v = w$$

$$d = v / 2$$

$$h = 1000$$

40

【0384】

光学的測定試験8では、試料の作製は次のように行った。1mm厚の透明なガラス基板に可視域で透明なポジ型電子線レジストを乾燥後膜厚が $2 \mu\text{m}$ となるようスピコートする。ガラスきりで1cm角にガラスを切り出す。目的とするパターンを電子線で露光する。四塩化炭素や酸素などの混合ガスでドライエッチングを行いガラス基板に溝を掘って、さらに残ったレジストを溶剤で除去して試料とする。

【0385】

図41は、光学的測定試験8で得られる光散乱強度角度分布のデータを計算し、フーリエ変換を行った結果を示すグラフである。 $w_1 = 3$ 、 $w_2 = 4$ 、 $w_3 = 5$ に相当するピークがあることが分かる。

50

【0386】

(実施例6)

本発明の実施例6を説明する。実施例6では、3以上の複数の光散乱体を備えたものであり、複数の光散乱体は矩形凸部、三角形凸部及び正弦凸部のいずれも有するものである。

【0387】

< 光学的測定試験9 >

実施例6の構成例1として、複数の光散乱体として、図示はしないが、矩形凸部、三角形凸部、矩形凸部及び正弦凸部の4つの光散乱体が順番で並べられ、基材である平板上に形成された試料について、光学的測定試験9を行った。試料の作製は、実施例5の光学的測定試験8で使用した試料と同様にできる。

10

【0388】

光学的測定試験9では、次の条件9で、複数の光散乱体(順次並べられた矩形凸部、三角形凸部、矩形凸部及び正弦凸部)の多点間の距離計測を行った。ここで、 v_{m2} を光散乱体の幅、 d_{m2} を高さ、 h_{m2} を奥行き、 w_{m1} を各光散乱体の重心間の距離と定義する。 $m1 = 1, 2, \dots$ 、 $m2 = 1, 2, 3, \dots$ とした。光散乱体の配置は、図34のようにする。

【0389】

条件9:

$$w_1 = 6$$

$$w_2 = 7.5$$

$$w_3 = 9$$

$$v_1 = v_3 = \quad / 4$$

$$v_2 = v_4 = \quad / 2$$

$$d_1 = \quad / 2$$

$$d_2 = d_3 = d_4 = \quad / 4$$

$$h_1 = h_2 = h_3 = h_4 = 1000$$

20

【0390】

図42は、光学的測定試験9によって得られた光散乱強度角度分布についてフーリエ変換を行った結果である。図42において、 $w_1 = 6$ 、 $w_2 = 7.5$ 、 $w_3 = 9$ に相当するピークがあることが分かる。矩形と矩形の距離に相当する w_2 のピークがやや大きくなっている。

30

【0391】

< 光学的測定試験10 >

実施例6の構成例2として、複数の光散乱体として、図示はしないが、三角形凸部、矩形凸部、三角形凸部、矩形凸部及び正弦凸部の5つ光散乱体が順番で並べられ、基材である平板上に形成された試料について、次の条件10で、多点間の距離計測を内容とする光学的測定試験10を行った。

【0392】

複数の光散乱体と平板から成る試料の作製は、実施例5の光学的測定試験8で使用した試料と同様に作成した。ここで、 v_{m2} を光散乱体の幅、 d_{m2} を高さ、 h_{m2} を奥行き、 w_{m1} を各光散乱体の重心間の距離と定義する。 $m1 = 1, 2, \dots$ 、 $m2 = 1, 2, 3, \dots$ とした。光散乱体の配置は、図34のようにする。

40

【0393】

条件10:

$$w_1 = 3$$

$$w_2 = 4$$

$$w_3 = 5$$

$$w_4 = 6$$

$$v_1 =$$

50

$$\begin{aligned}v_2 &= v_4 = \quad / 4 \\v_3 &= v_5 = \quad / 2 \\d_1 &= v_1 \\d_2 &= d_3 = d_4 = d_5 = v_1 / 2 \\h_1 &= h_2 = h_3 = h_4 = h_5 = 1000\end{aligned}$$

【0394】

図43は、光学的測定試験10によって得られたある角度における光散乱強度波長分布を計算し、横軸を $1/\quad$ としてフーリエ変換を行った後、 $1/(n \sin(\quad))$ 倍した結果である。nは測定系の媒体の屈折率で、通常は空気の屈折率である。

【0395】

計算する波長範囲は、波長最長を最も短い屈折率分布間の距離程度とし、波長最短をその半分以下とするのが好ましい。ここでは波長を \quad から $\quad/6$ まで変えた。データは $1/\quad$ 波長を $0.02/\quad$ 間隔で計算し、251点分計算した。さらに、 $0.02/\quad$ 間隔でゼロを加え、全部で2048点とするゼロフィリングをした後、離散的フーリエ変換を行った。

【0396】

変換後の各値それぞれに、共役な値を掛けて、絶対値の二乗を得た。得られた値について、横軸を $1/(n \sin(\quad))$ 倍して、フーリエ変換の結果とした。横軸を $1/(n \sin(\quad))$ 倍したときに、観測角が、 30° 以下では、分解能が悪いので、 35° 以上とした。

【0397】

図43において、三角形凸部と三角形凸部の間の $w_2 = 4$ に相当する矢印で示したピークが最も大きく、次に大きいのが、三角形凸部と正弦凸部の間の $w_4 = 6$ に相当するピークである。三角形凸部と矩形凸部の間のピークは、それらに比べてかなり小さい。このように、左端の三角形凸部と形状が似ている方が、大きいピークが得られる。なお、これらのピークの横軸の値は、図43のように、実際の距離より15%ほど大きめになった。

【0398】

(実施例7)

本発明の実施例7を説明する。実施例7では、2つの光散乱体は互いに異なるサイズの矩形凸部であり、基材である平板上に形成されている。

【0399】

<光学的測定試験11>

実施例7について、下記の条件11で、光学的測定試験10として異なるサイズの矩形凸部の2点間の距離計測を行った。試料の作製は、実施例4の光学的測定試験7における試料の作製と同様の方法である。ここでは、平板と複数の光散乱体の屈折率は1.5とした。 w_1 は2つの光散乱体間の間隔であり、 d_1 、 d_2 が光散乱体のそれぞれの高さ、 v_1 、 v_2 が2つの光散乱体の横幅である。 h_1 、 h_2 は奥行きである。

【0400】

条件11:

$$\begin{aligned}w_1 &= 3 \quad \text{または} \quad 6 \\v_1 &= w_1 / 2 \\d_1 &= v_1 \\v_2 &= v_1 \times x \\d_2 &= v_2 \\h_1 &= h_2 = 1000\end{aligned}$$

ここで $x = 0.9 \sim 1.1$ である。

【0401】

図44は、光学的測定試験11によって得られた光散乱強度角度分布について、フーリエ変換を行って得られたグラフである。フーリエ変換で求めた距離が、片方の矩形凸部の

10

20

30

40

50

サイズが変化したときに、真の値からどのくらいずれるかを示している。ここで矩形凸部の幅は約 0.9 から 1.1 倍まで変化させた。2 つの矩形凸部の高さとは幅が異なると、計算値が真の値とずれることが分かる。

【0402】

(実施例 8)

本発明の実施例 8 を説明する。実施例 8 では、2 つの光散乱体 1440 は、図 45 に示すように、平板 1430 内に埋め込まれた矩形格子として形成されている。

【0403】

< 光学的測定試験 12 >

実施例 8 について、平板 1430 に埋め込まれた矩形格子として形成された 2 つの光散乱体 1440 の 2 点間の距離計測をする光学的測定試験 1210 を行った。測定対象物 (試料) 1420 は、平板 1430 と平板に埋め込まれた 2 つの矩形の屈折発生体 1440 から成るものであり、この試料 1420 の作製は、有機の光導波路の作製と同様で、次のとおりである。

【0404】

2 mm 厚のガラス板に屈折率を調整した樹脂をスピンコートする。熱で硬化後、ネガ型電子線レジストをスピンコートする。目的とする形状に露光する。未露光部のレジストとその下の屈折率を調整した樹脂を溶剤で洗い流す。ガラス板と同じ屈折率の樹脂でスピンコートする。熱で硬化する。ドライエッチングで目的とする光散乱体が表面に出るまで削る。

【0405】

光学的測定試験 12 の条件 12 は次のとおりである。n0, n1, n2 はそれぞれ、空気、板、板に埋め込まれた光散乱体の屈折率である。w1 は 2 つの光散乱体間の間隔であり、d1、d2 が光散乱体のそれぞれの高さまたは深さ、v1 が 2 つの光散乱体間の横幅である。h1、h は奥行きである。

【0406】

条件 12 :

$$w1 = 3$$

$$v1 = v2 = w1 / 2$$

$$d1 = d2 = v1$$

$$h1 = h2 = 1000$$

$$n0 = 1$$

$$n1 = 1.5$$

$$n2 = 1.5 +$$

但し、 $\epsilon = -0.02, -0.01, 0.01, 0.02$ である。

【0407】

図 46 は、光学的測定試験 12 によって得られた光散乱強度角度分布について、フーリエ変換を行って得られたグラフであり、ピークの屈折率依存性を表している。屈折率差が小さいとピークの大きさは小さくなる一方で、ピークの横軸は動かない。

【0408】

(実施例 9)

図 47 は、本発明の実施例 9 を説明する図である。この図 47 についてはすでに説明したとおり、2 つのハーフミラー 1490 とミラー 1500 とで入射光を二つに分け、それぞれを 2 つの光散乱体に別々に照射する構成である。このような構成を用いて、入射光を二つに分けることで、本発明の光学的測定装置において、散乱体ごとに別々に光を当てることができる。また、ハーフミラーを通った光 1480 あるいは入射光 1100 の片方に、減光フィルタまたは光チョッパーを入れることで、2 つの入射光の強度比を調整することができる。

【0409】

(実施例 10)

10

20

30

40

50

図48は、本発明の実施例10を説明する図である。図48の構成はすでに説明したが、光源1090からの入射光1100を、フレネルゾーンプレート1510で集光すると同時に、スリット1110を光散乱体1070に近付ける構成である。このような構成を採用し、スリット1110を光散乱体1070に近付けることで入射光1100の輝度を上げることができる。

【0410】

(実施例11)

本発明の実施例11を説明する。実施例11では、端の散乱体からの距離を選択的に測定する方法を示す。光源1600からの入射光1610を、可変スリット1620及びレンズ1630を順次通過させて、4つの光散乱体 S_m ($m = 1, 2, 3, 4$)を備えた板光散乱板1660に照射する。

10

【0411】

この実施例11では、左端の S_1 だけの散乱強度を変えて測定する。可変スリット1620の大きさを変えることで、集光スポットが、左端の S_1 を含む場合(入射光分布1640参照)と、含まない場合(入射光分布1650参照)を作り出している。

【0412】

< 光学的測定試験13 >

図34に示す構成について、次のような条件13で複数の矩形の光散乱体を、前記光学的測定試験3の場合と同様な作製法で作製し、これに光を照射し、光散乱をRCWA法にて計算し、光散乱強度から矩形の光散乱体の多点間の距離計測で w_1, w_2, w_3 を求め

20

【0413】

条件13:

$$w_1 = 3$$

$$w_2 = 4$$

$$w_3 = 5$$

$$v_1 = v_2 = v_3 = v_4 = \quad / 5$$

$$d_1 = 0 \text{ または } v_1$$

$$d_2 = d_3 = d_4 = v_1 / 2$$

$$h_1 = h_2 = h_3 = h_4 = 1000$$

30

【0414】

$d_1 = 0$ のときは散乱強度が弱く、 $d_1 = v_1$ のときは散乱強度が強い。 $d_1 = 0$ と $d_1 = v_1$ の切り替えは、例えば、図49のように、可変スリット1620を使って、上記のとおり入射光の照射範囲を切り替えることで実現できる。図49では、可変スリット1620の幅を狭めたときに、左端の散乱体 S_1 が照射されないようにすることで、左端の散乱体 S_1 の散乱光がなくなるので、実質的に $d_1 = 0$ とすることができる。

【0415】

散乱強度が弱いときの散乱光の角度分布をフーリエ変換したグラフを $F_0(n_0 \times w_{c \text{ a l c}} / \quad)$ 、後のグラフを $F_1(n_0 \times w_{c \text{ a l c}} / \quad)$ とする。図50(a)は $F_1(n_0 \times w_{c \text{ a l c}} / \quad) / F_0(n_0 \times w_{c \text{ a l c}} / \quad)$ の結果である。左端の矩形から、他の散乱体への距離に相当する $n_0 \times w_{c \text{ a l c}} / \quad = 3, 4, 5$ のピークが強調されていることが分かる。

40

【0416】

$F_1(n_0 \times w_{c \text{ a l c}} / \quad) - F_0(n_0 \times w_{c \text{ a l c}} / \quad)$ の場合にも、縦軸のスケールが異なるのみで、ほぼ相似な分布が得られる。図50(a)では横軸が6から10までの間に、振動しているピークがみられる。この振動は、角度分布が無限の周期的関数でなく、有限の周期的関数であることによる。

【0417】

この振動を抑えるために、窓関数を角度分布に掛けた後に、フーリエ変換を行う(非特許文献8参照)。ここでは、窓関数として、散乱角0度を中心に対称で山形の、 e を基底

50

とする指数関数を用いた。この条件で計算した、 $F_1(n_0 \times w_{calc} /) - F_0(n_0 \times w_{calc} /)$ の結果を図50(b)に示す。横軸が6以上の振動が抑えられており、 $n_0 \times w_{calc} / = 3, 4, 5$ のピークだけが強調された。

【0418】

(実施例12)

本発明の実施例12を説明する。実施例12では、斜めから光を入射して波長分布を測定する方法と測定結果を示す。

【0419】

図51は、実施例12の光学的測定装置を示し、白色光源1670、入射光用球面レンズ1700、ピンホールまたはスリット1690、入射光用球面レンズ1710、試料の散乱体1760、検出光用球面レンズ1720、受光部(光ファイバ1750の先端またはスリット)の順で並べられた光学系を備えている。

【0420】

この図では分光器1730は受光用光ファイバ1750とつながっており、光ファイバ1750の先端はゴニオメータ1400上に配置され、レンズで集光された焦点に該先端の中心部が来るように微調整できる。ゴニオメータ1400は、第1の回転ステージ1740の上に乗っている。また、試料は3軸ゴニオメータ1770の上に、3軸ゴニオメータ1770は第2の回転ステージ1772の上に乗っている。

【0421】

第1の回転ステージ1740は受光用光ファイバ1750を、第2の回転ステージ1772は試料を、同じ回転軸1774の周りに回転する。第1の回転ステージ1740と第2の回転ステージ1772は同じ回転軸1774の周りに独立に回転できる。試料は3軸ゴニオメータ1770上であって、試料の中心が回転軸1774上となるように置かれる。同じ回転軸であることで、光ファイバ用の第1の回転ステージ1740を回したときに、試料のほぼ同じ位置からの散乱光を計測できる。

【0422】

直観的な例を挙げると、赤道上を回転する人工衛星(集光位置)から、地球を観察すると、北極南極(試料)は、地軸上(回転軸1774)上にあるので、ほぼ同じ場所をみることができるが、北極南極からずれた場所は、人工衛星が回ると、同じ方向には見えなくなる。

【0423】

また、試料用の第2の回転ステージ1772を回したときに、集光位置はほぼ同じであるため、受光部を動かすことなく、試料からの散乱光を計測できる。直観的な例を挙げると、扇風機の中心軸は、ほぼ同じ位置に見えるが、羽の部分は、回転によって異なる場所に見える。

【0424】

なお、光源は、白色光源1670を使用しているが、広い波長範囲で強い強度を持つものが好ましい。可視UV光の測定では100W以上のハロゲンランプやキセノンランプ使うことができる。重水素ランプとタンゲステンランプの組み合わせを用いてもよい。

【0425】

球面レンズ1700、1710、1720や光ファイバ1750の材質はUV光を通す石英を用いた。光源に用いるライトガイド(図示せず)も石英が好ましい。なお、UV光が必要でない場合は色消しレンズを用いてもよい。分光器1730は分解能1nm程度で、感度が高いものが好ましい。

【0426】

ところで、図51は、反射光を測定する構成を示しているが、透過光の測定は、白色光源1670を含む入射部分の配置が試料の背面側に配置変更される構成となるだけである。

【0427】

光学的測定試験13において左端の散乱体S1だけ入射光を変調する手段として、光学

10

20

30

40

50

的測定試験 13 に記載のスリット幅を変える方法のほかに次の 2 つの変調する手段がある。また、以下の光源 1670 は散乱光の波長分布を計測する場合は、白色光源であるが、散乱光の角度分布を計測する場合は、単色光源でよい。

【0428】

変調する手段 1 :

図 5 1 において、光源 1670 とレンズ 1700 の間に第 3 のスリットを設け、レンズ 1700 による集光点がスリット 1690 のスリット開口部に来るように配置する。ゴニオメータ 1680 をピエゾ素子で動くようにして、スリット 1690 の位置を精密に制御する。レンズ 1700 による集光点の範囲とスリット 1690 の開口部を精密にずらすことで、レンズ 1710 による試料への集光範囲を制御することができる。この結果、左端の散乱体 S1 だけの照射強度を変調できる。

10

【0429】

集光範囲の確認には、ズームレンズと USB カメラの組み合わせを用いることができる。ズームレンズで像を 100 倍程度に拡大し、USB カメラで、コンピュータに画像データを転送し、ディスプレイで表示させることができる。

【0430】

変調する手段 2 :

図 5 1 において、光源 1670 内に、スリットの短軸の幅と同じオーダの距離だけ離れた 2 つの発光部を並べる。好ましくは 2 つのコアを発光部とする持つ光導波路である。また、試料としては、図 4 9 の 4 つの散乱体 1660 を用いる。第 1 の発光部からの光を、光散乱体 S1 に照射し、第 2 の発光部からの光を、他の光散乱体 S2、S3、S4 に照射する。第 1 の発光部からの光を変調することで、散乱体 S1 の照射強度を変調できる。

20

【0431】

(実験例)

次に、図 5 1 に示す光学的測定装置を使用して、三角形の回折格子 (試料の散乱体 1760。以下、回折格子 1760 という。) の凸部二つを狙って、入射光のビームスポットのサイズを調整し、散乱光の波長分布を測定した実験例を示す。

【0432】

白色光源 1670 には重水素ランプとタングステンランプの組み合わせを用い、入射光用には幅 5 μm 長さ 3 mm のスリットを用いた。スリット 1690 に光源からの光が集光されるよう、レンズ 1700 の位置を調整した。回折格子 1760 の縞方向とスリット 1690 の長さ方向が平行になるようにスリット 1690 の傾きを調整した。さらに、入射光の焦点に回折格子 1760 が来て、かつ、短軸方向の長さが回折格子周期の倍となるように、レンズ 1710 および回折格子 1760 の位置を調整した。

30

【0433】

散乱光は、レンズ 1720 を通した後、光ファイバ 1750 の先端で受けた。散乱光の集光点が光ファイバ 1750 の先端の中心にある入光部のコア近傍に来よう暗室内で目視で調整した。光ファイバ 1750 は分光器 1730 につないだ。分光器 1730 はオーシャンオプティクス社製 HR2000 を用いた。

【0434】

分光器 1730 で散乱光を計測しながら、計測される光の強度が最も強くなるよう、スリット 1690 の光軸方向の位置と回折格子 (試料の散乱体) 1760 の位置の 3 軸方向の位置をおよび、光ファイバ 1750 の先端の 3 軸方向の位置を、ゴニオメータ 1740 に付属のマイクロメータで調整した。

40

【0435】

図 5 2 では、異なる周期を持つ 3 つの三角回折格子それぞれの透過散乱光の波長分布を、図 5 2 (a)、(b)、(c) に示す。該波長分布は、スリット 1690 を通りレンズ 1710 で集光された光の波長分布で、測定された透過散乱光の波長分布を割り算することで規格化されている。図 5 2 (a) は周期 1.8 μm 、図 5 2 (b) は周期 3 μm 、図 5 2 (c) は周期 5 μm であり、いずれも凸部が二等辺三角形で、高さ/幅が 0.48 で

50

あり、屈折率 1.52 の UV 硬化樹脂でできている。

【0436】

それぞれの入射角 i_3 と散乱角 d_1 は表 4 に示すとおりである。この表 4 は、光散乱波長分布の測定および解析条件と解析結果を示している。入射角は回折格子の板の中でなく空気中の値である。また、解析した $1/\lambda$ の範囲は表で示したように、おおよそ 1 から 3 (μm^{-1}) である。解析範囲が図 5 2 のそれぞれの図において、 1 ± 0.3 (μm^{-1}) および 3 ± 0.3 (μm^{-1}) の範囲で、範囲の端部が谷となるよう調整した。

【0437】

【表 4】

$w(\mu\text{m})$	$\theta_{i3}(^{\circ})$	$\theta_{d1}(^{\circ})$	$(1/\lambda)$ ($1/\mu\text{m}$)	$w_{\text{calc}}(\mu\text{m})$	$w_{\text{exp}}(\mu\text{m})$
1.8	40	-26	1~3	1.7	1.7
3	40	-5	1~3	3.1	3.1
5	0	-30	1~3	4.9	5.0

10

【0438】

次に、散乱光の上記図 5 2 に示す波長分布から、図 5 3 を求める方法を、説明する。入射角を i_3 とし散乱角を d_1 とし、それぞれの角度を測定している媒体（通常は空気）の屈折率をそれぞれ、 n_3 、 n_1 とする。 $n_1 < n_3$ として、 $1/\lambda$ が $1/\lambda_2$ から $1/\lambda_1$ まで等間隔に変化させ、観測数を N 個とる。

20

【0439】

フーリエ変換後の横軸を $q = |n_3 \sin(i_3) - n_1 \sin(d_1)|$ で割り算する。横軸の最小値を 0、最大値を $\{(N-1)/[q(1/\lambda_1 - 1/\lambda_2)]\}$ として、フーリエ変換された値をプロットする。実際には、最大値の半分以下の領域をプロットしている。

【0440】

一方、白色光源を偏光子を通さずにそのまま使う実験について、シミュレーションで計算する場合は、次のようにする。TEモードとTMモードで別々に計算し（特許文QQ6を参照）、足した値を用いて波長分布とする。波長分布のフーリエ変換以下は上述の方法と同じである。

30

【0441】

なお、本願の例では、TEモードとTMモードの与える波長分布の周期に大きな違いはないので、片方の偏光で代用してもよい（非特許文献19参照）。

【0442】

図 5 3 (a) は、図 5 2 (a) をフーリエ変換した結果である。また、図 5 3 (b) は、図 5 2 (b) の散乱光を設計値を元に計算した図をフーリエ変換した結果である。極大値の横軸の値がそれぞれの距離に相当していることが分かる。

【0443】

これらの結果を表 4 にまとめた。回折格子作製の設計値 w と、実験値 w_{exp} と計算値 w_{calc} がよく一致していることが分かり、本発明による測定の正しさが裏付けられた。

40

【0444】

回折格子の次に 2 種の蝶の羽について、反射光の波長分布を計測した。前記回折格子の測定との違いは、透過でなく反射の測定である点と、生体のため形状が複雑な点である。これにより、一般の凹凸形状への適用可能性を検討する。

【0445】

蝶 A は *Celastrina argiolus* Linnaeus (雄) であり、蝶 B は *Morpho menelaus* (雄) である。蝶の測定には、スリット 1690 の代わりに $50 \mu\text{m}$ のピンホールを用いた。レンズ 1710 による集光点の断面は $25 \mu\text{m}$ となるように調整した（非特許文献 24）

50

。白色光源 1670 にはハロゲンランプを用いた。

【0446】

蝶の羽の鱗粉は楕円形状であり、羽の面内で鳩の羽のように、楕円の長軸方向に重なって並んでいる。羽の面に垂直に計測した時の反射率が最も高くなる入射光の軸と、羽の面に垂直な軸を含む面に平行に光を入射させている。

【0447】

図54が測定結果である。図54の(a)と(b)が蝶Aの、(c)と(d)が蝶Bの羽の反射光の波長分布である。入射角を i_1 とし散乱角を d_1 とするとき、 i_1 と d_1 の組を $i_1 - d_1$ で表すと、図54の(a)と(c)の $i_1 - d_1$ は $30^\circ - 0^\circ$ であり、(b)と(d)の $i_1 - d_1$ は $45^\circ - (-10^\circ)$ である。

10

【0448】

該測定結果は、ピンホールを通り入射光用球面レンズ1710で集光された光の波長分布で、試料の反射光の波長分布を割り算することで規格化されている。この規格化によって、各波長ごとに、試料に入射した光に対する、試料の反射光の強度が分かる。

【0449】

蝶A、Bともに大きいブロードなピークと短波長領域の小さいが鋭いピークとが観測される。ブロードなピークは、蝶の羽の面に垂直方向の構造由来と帰属され(非特許文献24参照)、小さいが鋭いピークは、蝶の羽の面に水平方向の構造に由来すると推定される。図中の矢印はほぼ等間隔であり、蝶Bの光学的な周期構造に由来すると思われる。

【0450】

本発明の測定装置、方法を用いて、この散乱体(蝶の羽に含まれる散乱体)の間隔を計算する場合、フーリエ変換する代わりに矢印の間隔の逆数および角度の正弦値からも見積もることができる。間隔の逆数を前出の変数 q で割ればよい。(c)が $39 \mu\text{m}$ 、(d)が $35 \mu\text{m}$ となり、近い値が得られた。

20

【0451】

このように、回折格子のように単純な形状だけでなく、複雑な形状にも適用可能であることが示された。また、フーリエ変換を行わなくても、光散乱強度波長分布がフーリエ変換後のピークの横軸の逆数に相当する周期で変動することを利用して、フーリエ変換後のピークの横軸を求めることができることが分かった。

【0452】

本発明の光学的測定装置、方法では、散乱光をレンズで集光し、1mm程度の直径を持つ受光部の中心に正確に集光しているが、これには特定の場所だけを観察できるという利点がある。例えば、蝶については、蝶の羽を羽に平行な面と入射平面を含む直線方向に動かして計測することで、散乱光の波長分布のブロードで大きなピークの横軸の値が、 $140 \mu\text{m}$ 周期で変化することが分かった。

30

【0453】

この周期は、SEMによっても確認している。 $140 \mu\text{m}$ は、図54(c)(d)より求めた散乱体の間隔の約4倍に相当しており、蝶の羽が光学的にはさらに微細な構造よりできているとすれば、実験結果を説明できる。このように、散乱光をレンズで集光し、受光部の中心に正確に集光することで、特定の場所の構造だけを測定できる。

40

【0454】

(実施例13)

本発明の実施例13を説明する。実施例13では、斜めから光を入射して角度分布あるいは波長分布を計測したとき、どの程度分解能が向上するかを示す。

【0455】

<光学的測定試験14>

図34に示す構成について、次のような条件14で複数の矩形の光散乱体を、前記光学的測定試験3の場合と同様な作製法で作製し、これに光を照射し、光散乱をRCWA法にて計算し、光散乱強度から矩形の光散乱体の多点間の距離計測で w_1 , w_2 , w_3 を求める光学的測定試験14を行った。

50

【0456】

条件14：

$$w_1 = 3r$$

$$w_2 = 4r$$

$$w_3 = 5r$$

$$v_1 = v_2 = v_3 = v_4 = \quad / 5$$

$$d_1 = v_1$$

$$d_2 = d_3 = d_4 = v_1 / 2$$

$$h_1 = h_2 = h_3 = h_4 = 1000$$

ただし、 r は0.1から2までの変数。

10

【0457】

図55(a)は、条件14に相当する試料の光散乱体の概ねの構成を示し、1~4は光散乱体の左端からの順番を示す。散乱角度分布をフーリエ変換した結果を図55(b)(c)に示す。図55(b)(c)の横軸縦軸は図42と同様にして得られる。散乱角度分布を測定する受光部は空気中にあり、空気の屈折率 n_0 は1である。

【0458】

図55(b)の i_2 は 25° 、図55(c)の i_2 は 45° とした。(b)の r を0.4から0.6まで変え、(c)の r を0.3から0.5まで変えた。ここでの入射角 i_2 は、光散乱体およびその基材の屈折率 $n_2 = 1.5$ 中での値である。

20

【0459】

i_2 が 45° では空気中からはほとんど入射できないが、図56に示すように、凹凸1780を備えた試料の試料面1820(基材の裏面)に、ほぼ同じ屈折率のプリズム1830を、やはりほぼ同じ屈折率の、UV硬化樹脂ではりつけ、プリズム1830の斜面から光1790を入射角 i で入射させ、光1800を散乱角 d で散乱させる。1810は、試料面1820に垂直な軸である。

【0460】

図55から、入射角 25° では r が0.6以上で、入射角 45° では r が0.5以上で、ピークを分離できていることが分かる。図37(光学的測定試験6で得られた光散乱強度角度分布をフーリエ変換したグラフ)から、入射角 0° では r が0.8以上でピークが分離できていたことから、入射角を大きくすることで、分解能が向上することが分かる。入射角を 45° より大きい 70° とすれば、 r が0.4でも十分ピークを分離できる。したがって、この場合の分解能は0.4までできることになる。

30

【0461】

<光学的測定試験15>

次に図34に示す構成で矩形の代わりに二等辺三角形の場合について、透過の波長分布から距離を求める検討を行った。次のような条件15で複数の三角形の光散乱体を、前記光学的測定試験3の場合と同様な作製法で作製し、これに光を照射し、光散乱をRCWA法にて計算し、光散乱強度から三角形の光散乱体の多点間の距離計測で w_1 , w_2 , w_3 を求める光学的測定試験15を行った。観測角は 45° で固定し、入射角 i_2 を変えた。

40

【0462】

条件15：

$$w_1 = 3r$$

$$w_2 = 4r$$

$$w_3 = 5r$$

$$v_1 = \quad / 5$$

$$v_2 = v_3 = v_4 = \quad / 10$$

$$d_1 = v_1$$

$$d_2 = d_3 = d_4 = v_1 / 10$$

$$h_1 = h_2 = h_3 = h_4 = 1000$$

50

ただし、 r は 0 . 1 から 2 までの変数。

【 0 4 6 3 】

1 / を 2 から 4 まで変え、1 / について波長分布のフーリエ変換を行い、各ピークの分離を調べた。 r を 0 . 1 刻みで変えた結果、分解能 λ は i^2 が 0、25、45° のとき、この順で、1 . 0、0 . 7、0 . 7 となり、やはり、斜めから入射することで、分解能が向上することが分かった。

【 0 4 6 4 】

以上の検討から、斜め入射により、角度分布または波長分布をフーリエ変換し距離を算出する場合において、分解能が向上することが分かった。

【 0 4 6 5 】

以上、本発明に係る本発明に係る光学的記録媒体の光学的測定方法、光学的測定装置及び光学的記録媒体を実施するための最良の形態を実施例に基づいて説明したが、本発明はこのような実施例に限定されることなく、特許請求の範囲記載の技術的事項の範囲内で、いろいろな実施例があることは言うまでもない。

【 産業上の利用可能性 】

【 0 4 6 6 】

以上の構成から成る本発明に係る光学的記録媒体の光学的測定方法、光学的測定装置及び光学的記録媒体、光記録装置、高密度光記録媒体、光学的測長装置、光分析装置など広い分野で適用可能である。

【 0 4 6 7 】

特に、高速、高精度、非破壊、非接触が求められる測長方法として有用である。特に、高密度記録媒体のデータ読み出しや、集積回路の微細金属配線の間隔を長さを校正なしで、高速、高精度に算出することができ、集積回路の微細金属配線の間隔のオンライン検査のような製造工程のオンライン検査に利用できる。

【 0 4 6 8 】

このほか、微粒子の形状と大きさの計測、微粒子の吸収スペクトルの測定、微粒子の複素屈折率の測定、フローサイトメトリー等に適用可能である。

【 符号の説明 】

【 0 4 6 9 】

- 1 0 矩形の光散乱体
- 2 0 透明な平板（基板）
- 3 0 出射角 の散乱光
- 4 0 入射光
- 5 0 三角形の光散乱体
- 6 0 透明な平板（基板）
- 7 0 円形の光散乱体
- 2 1 0 計算機
- 2 2 0 レンズで曲げられた光
- 2 3 0 鏡筒
- 2 4 0 イメージセンサ
- 2 5 0 レンズ
- 2 6 0 光散乱体で散乱された光
- 2 7 0 光散乱体
- 2 8 0 散乱されない光
- 2 9 0 透明な平板（基板）
- 2 9 5 ピンホール
- 3 0 0 スリットまたはピンホール
- 3 0 5 偏光子
- 3 1 0 レンズ
- 3 2 0 レンズ

10

20

30

40

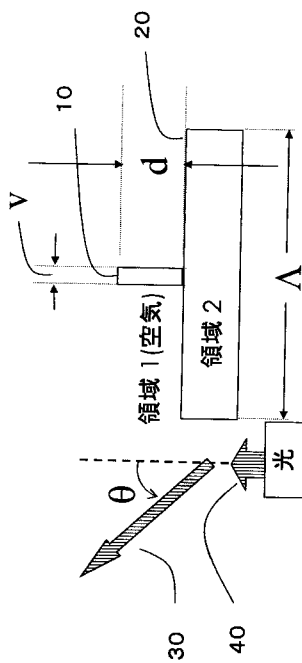
50

3 3 0	単色光源	
3 4 0	分光器	
3 5 0	計算機	
3 6 0	光散乱体で散乱された光	
3 7 0	光ファイバの入光部	
3 8 0	遮蔽されないで集光された光	
3 9 0	遮蔽物	
4 0 0	レンズ	
4 1 0	光散乱体	
4 2 0	レンズ	10
4 3 0	スリット	
4 4 0	レンズ	
4 5 0	白色光源	
4 6 0	入射光	
4 7 0	測定点	
4 8 0	計算機	
4 9 0	白色光源	
5 0 0	ゴニオメータ	
5 1 0	ゴニオメータ上のピンホールまたはスリット	
5 2 0	入射光用レンズ	20
5 3 0	入射光用レンズ	
5 4 0	検出光用レンズ	
5 5 0	分光器	
5 6 0	第 1 の回転ステージ	
5 7 0	光ファイバ	
5 8 0	試料の凹凸	
5 9 0	3 軸ゴニオメータ	
6 0 0	第 2 の回転ステージ	
6 1 0	2 つの回転ステージの共通の回転軸	
6 2 0	第 2 の回転ステージの回転方向	30
6 3 0	第 1 の回転ステージの回転方向	
1 0 2 0	入射光	
1 0 3 0	散乱光	
1 0 4 0	平板	
1 0 6 0	矩形凸部の光散乱体	
1 0 7 0	三角形凸部の光散乱体	
1 0 7 2	2 つの光散乱体の重心を結ぶ直線	
1 0 7 4	光散乱体の重心を含み 2 つの光散乱体の重心を結ぶ直線に対して垂直面	
1 0 7 6	2 つの光散乱体に接する直線	
1 0 7 8	垂直面 (1 0 7 4) と直線 (1 0 7 6) に囲まれた領域	40
1 0 8 0	正弦凸部の光散乱体	
1 0 9 0	光源	
1 1 0 0	入射光	
1 1 1 0	スリット	
1 1 2 0	ビームスプリッタ	
1 1 3 0	対物レンズ	
1 1 4 0	測定対象物 (矩形凸部と平板から成る試料)	
1 1 5 0	散乱光	
1 1 6 0	散乱光測定機	
1 1 7 0	計算機	50

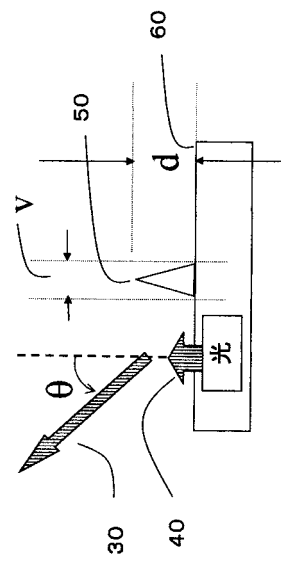
1 1 8 0	ビームスポット	
1 1 9 0	光散乱体の組	
1 2 0 0	矩形の光散乱体	
1 2 1 0	光散乱体の組	
1 2 8 0	F T ディスク	
1 2 9 0	ディスク上のビームスポット	
1 3 0 0	散乱光	
1 3 2 0	2点を含むビームスポット	
1 3 3 0	1点のみ含むビームスポット	
1 3 4 0	光散乱体 (記録用ピットとして使用される)	10
1 3 5 0	4つ光散乱体を照射するビームスポット	
1 3 6 0	左端の光散乱体	
1 3 7 0	スリット	
1 3 8 0	測定点	
1 3 9 0	スリット	
1 4 0 0	ゴニオメータ	
1 4 1 0	散乱光測定機	
1 4 2 0	測定対象物 (試料)	
1 4 3 0	基材である平板	
1 4 4 0	平板に埋め込まれた光散乱体	20
1 4 7 0	光源の光	
1 4 8 0	ハーフミラーを通った光	
1 4 9 0	ハーフミラー	
1 5 0 0	ミラー	
1 5 1 0	フレネルゾーンプレート	
1 6 0 0	光源	
1 6 1 0	入射光	
1 6 2 0	可変スリット	
1 6 3 0	レンズ	
1 6 4 0	端の散乱体を含む入射光分布	30
1 6 5 0	端の散乱体を含まない入射光分布	
1 6 6 0	4つの散乱体	
1 6 7 0	白色光源	
1 6 8 0	ゴニオメータ	
1 6 9 0	ゴニオメータ上のピンホールまたはスリット	
1 7 0 0	入射光用球面レンズ	
1 7 1 0	入射光用球面レンズ	
1 7 2 0	検出光用球面レンズ	
1 7 3 0	分光器	
1 7 4 0	第1の回転ステージ	40
1 7 5 0	光ファイバ	
1 7 6 0	試料の凹凸	
1 7 7 0	3軸ゴニオメータ	
1 7 7 2	第2の回転ステージ	
1 7 7 4	2つの回転ステージの回転軸	
1 7 7 6	第2の回転ステージの回転方向	
1 7 7 8	第1の回転ステージの回転方向	
1 7 8 0	試料の凹凸	
1 7 9 0	入射角 i の光	
1 8 0 0	散乱角 d の光	50

- 1 8 1 0 試料面に垂直な軸
- 1 8 2 0 試料面
- 1 8 3 0 プリズム

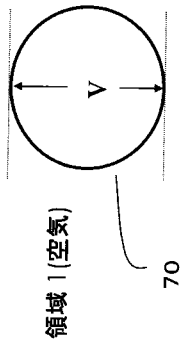
【 図 1 】



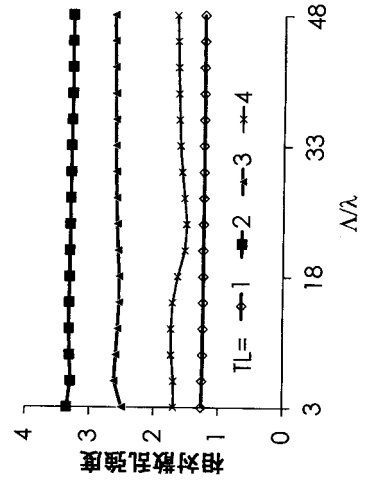
【 図 2 】



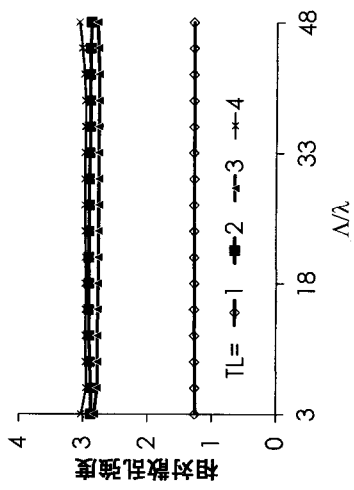
【 図 3 】



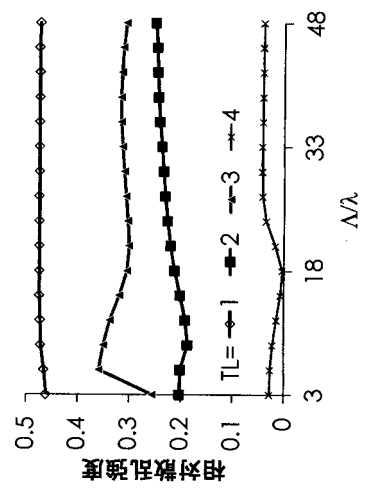
【 図 4 】



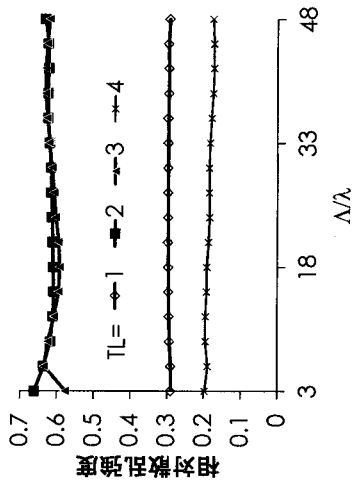
【 図 5 】



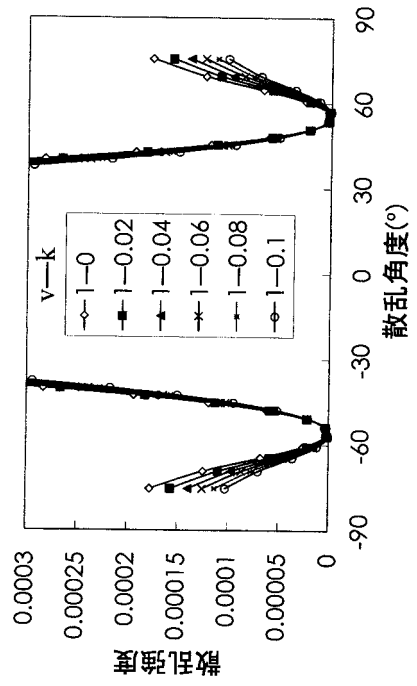
【 図 6 】



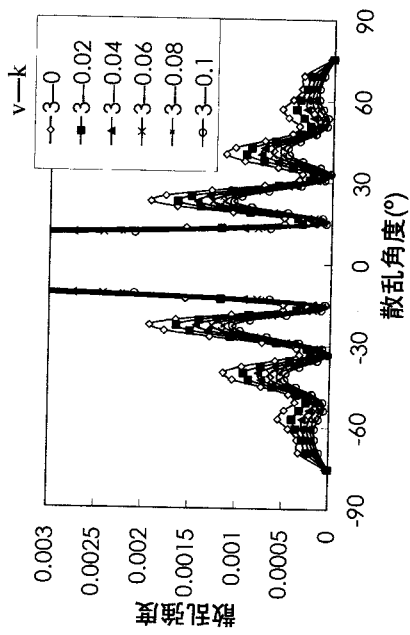
【 图 7 】



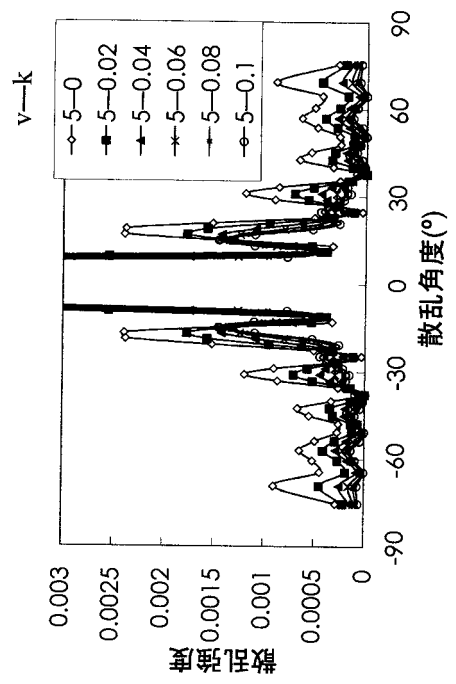
【 图 8 】



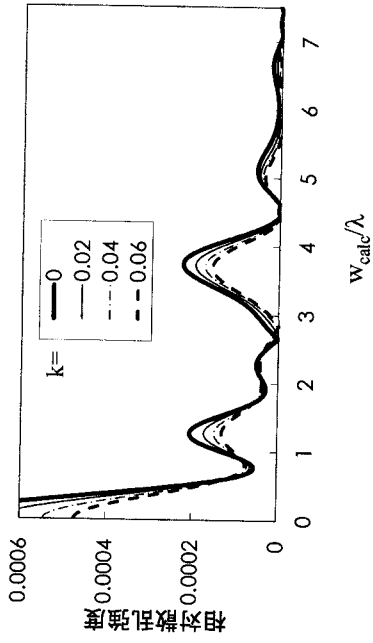
【 图 9 】



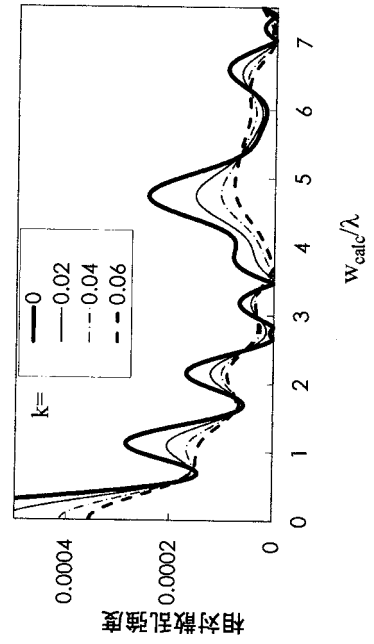
【 图 10 】



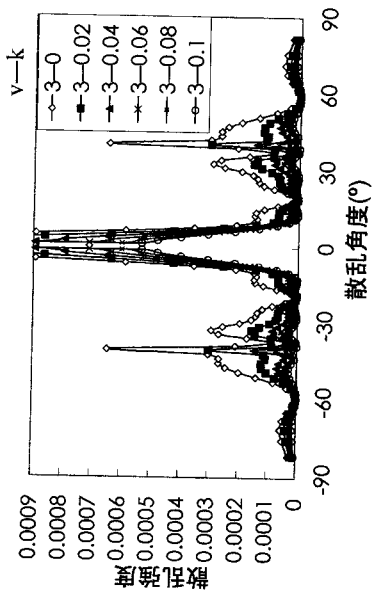
【 图 1 1 】



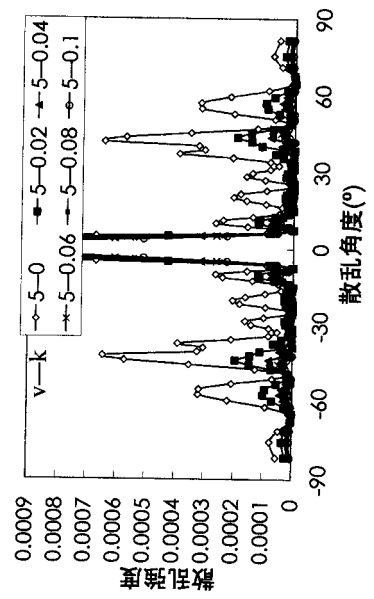
【 图 1 2 】



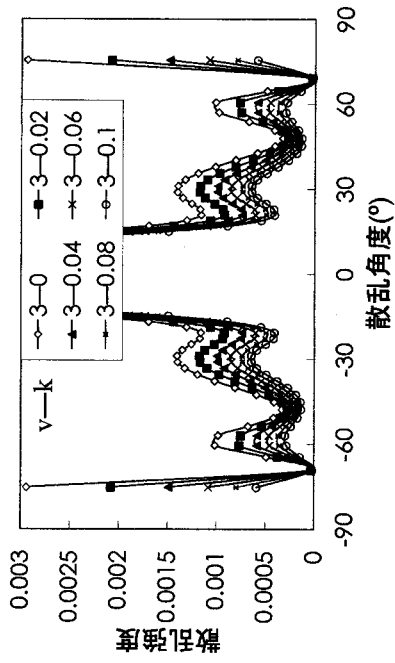
【 图 1 3 】



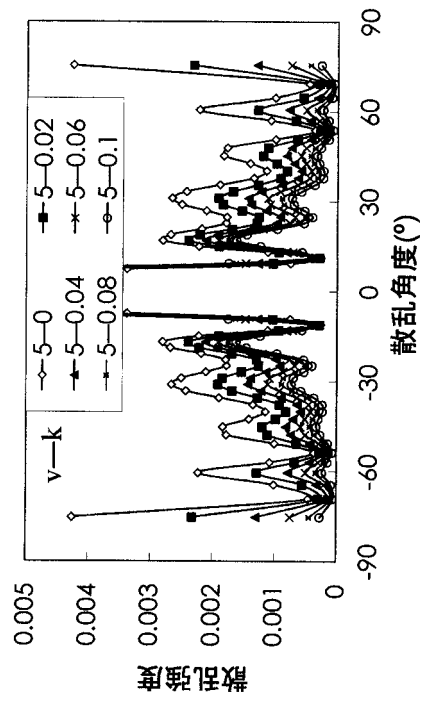
【 图 1 4 】



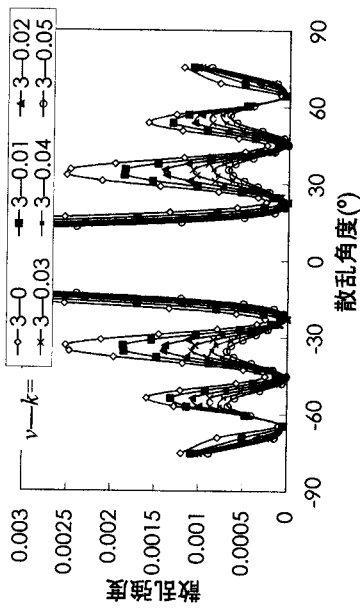
【 图 1 5 】



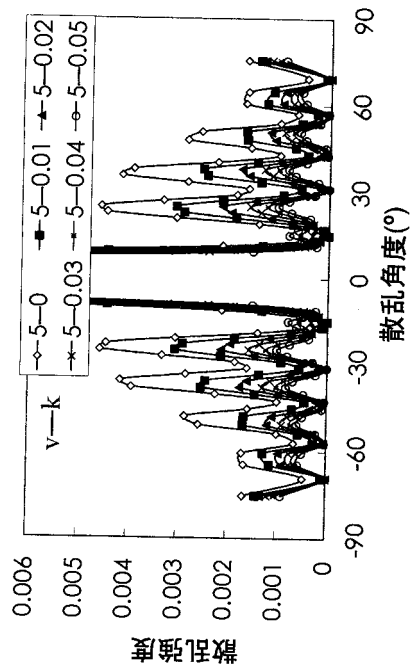
【 图 1 6 】



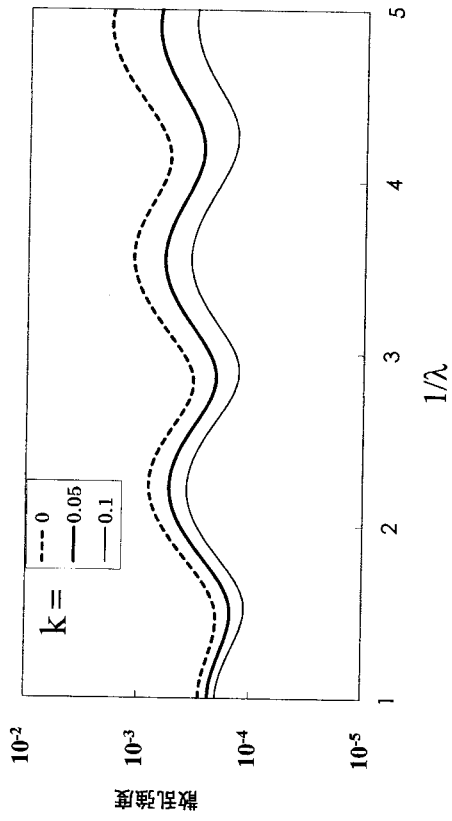
【 图 1 7 】



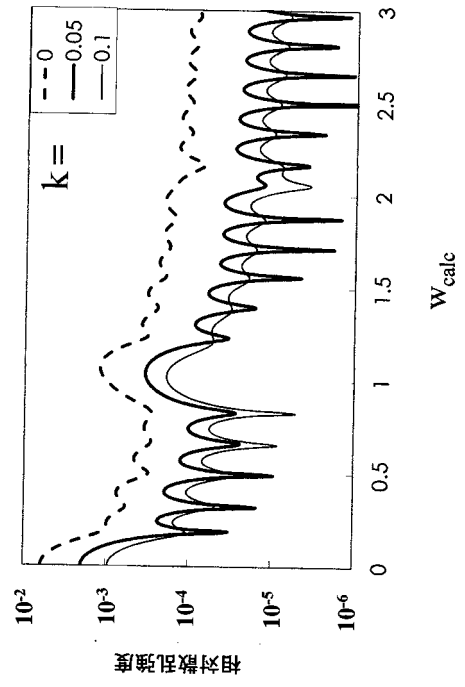
【 图 1 8 】



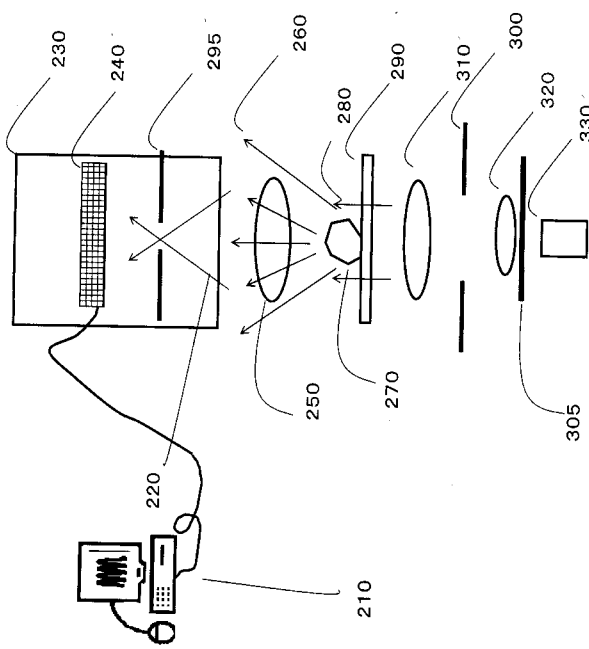
【 図 19 】



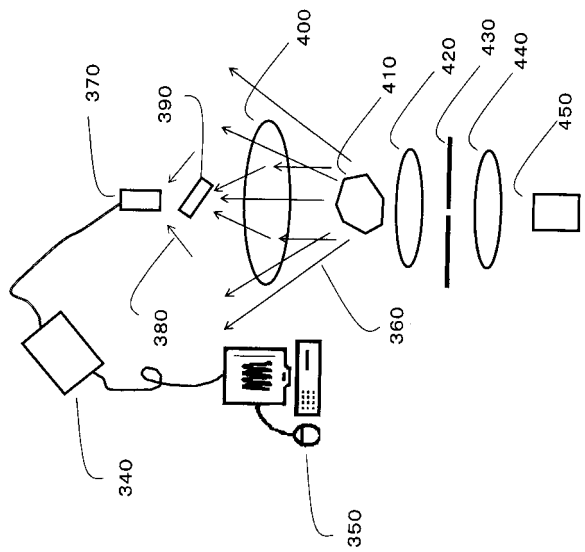
【 図 20 】



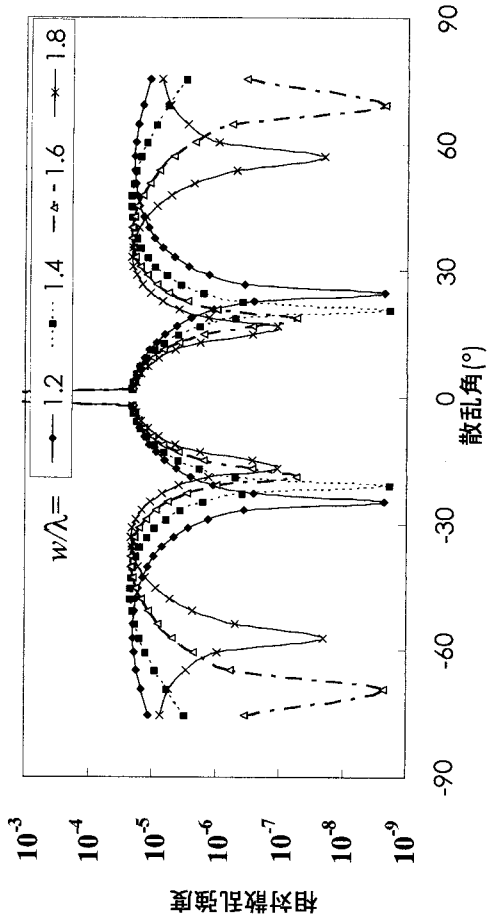
【 図 21 】



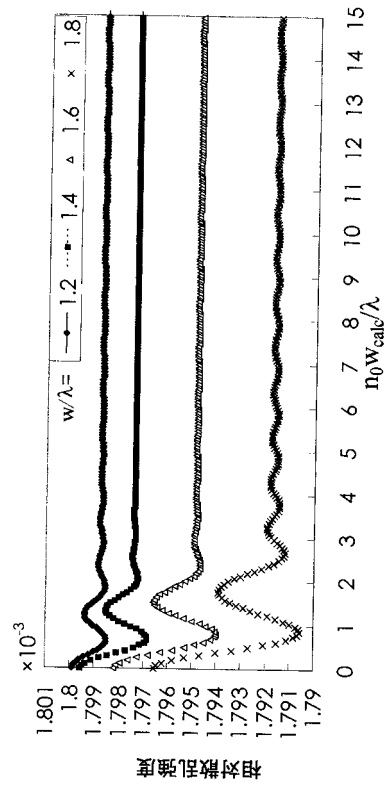
【 図 22 】



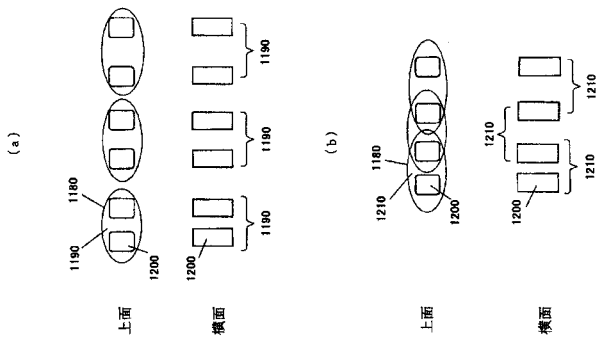
【图 27】



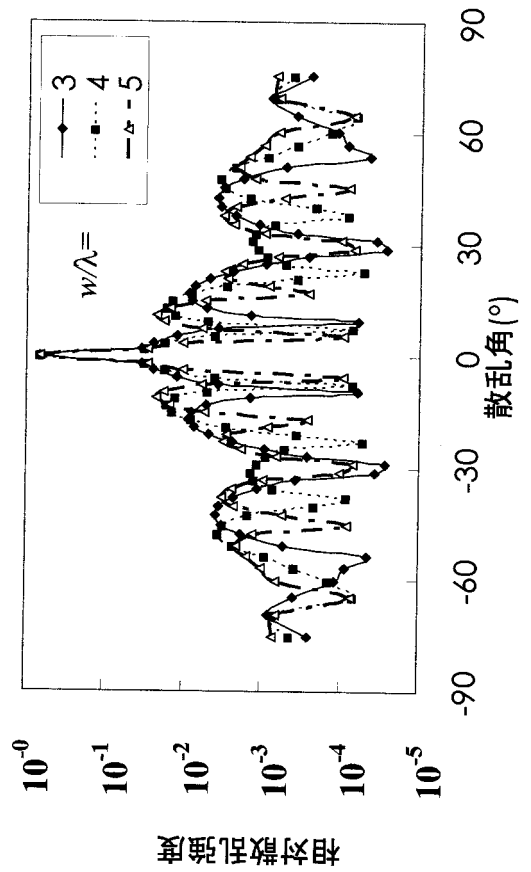
【图 28】



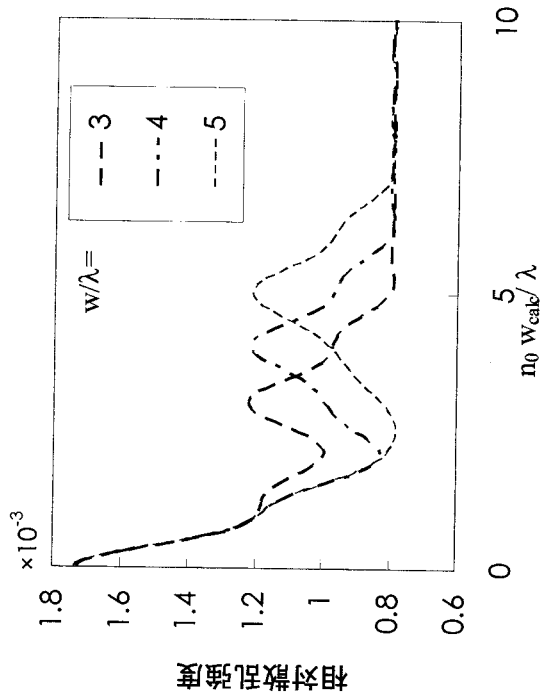
【图 29】



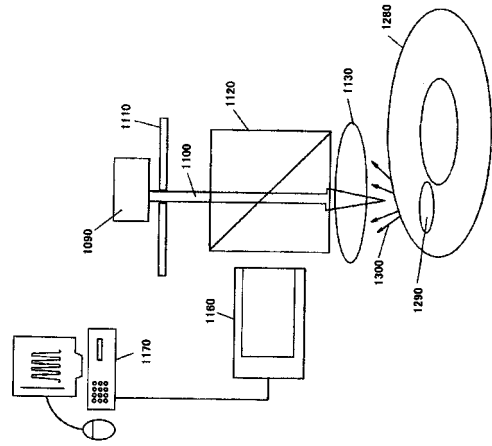
【图 30】



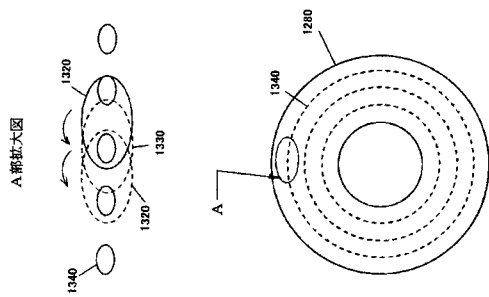
【 図 3 1 】



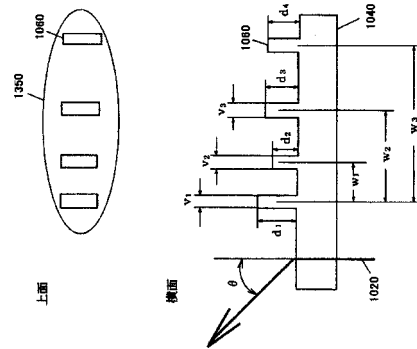
【 図 3 2 】



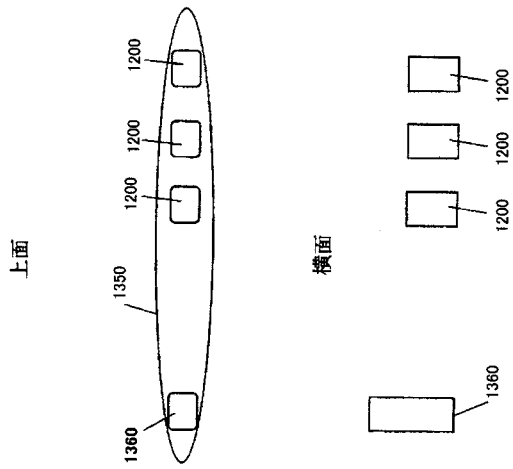
【 図 3 3 】



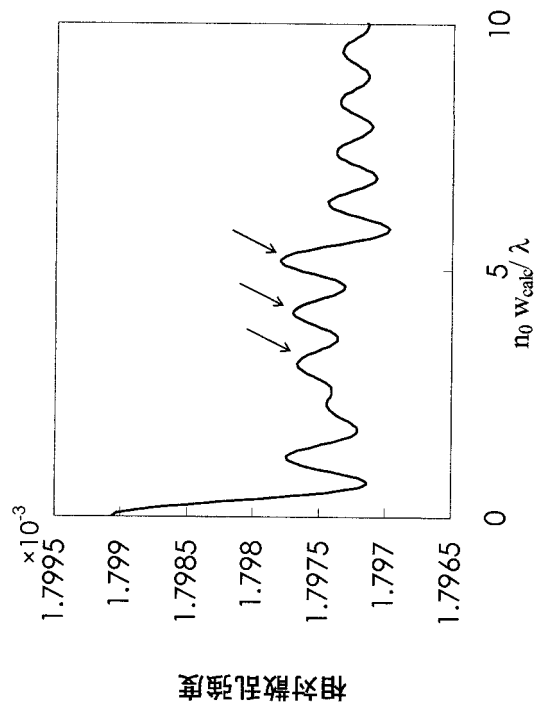
【 図 3 4 】



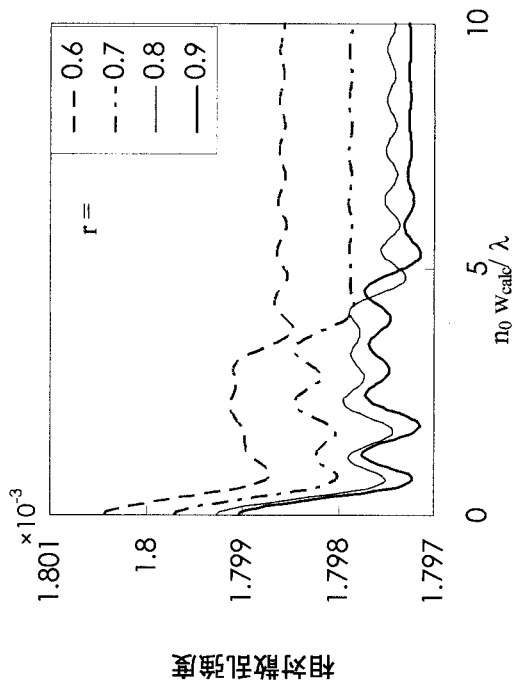
【图 3 5】



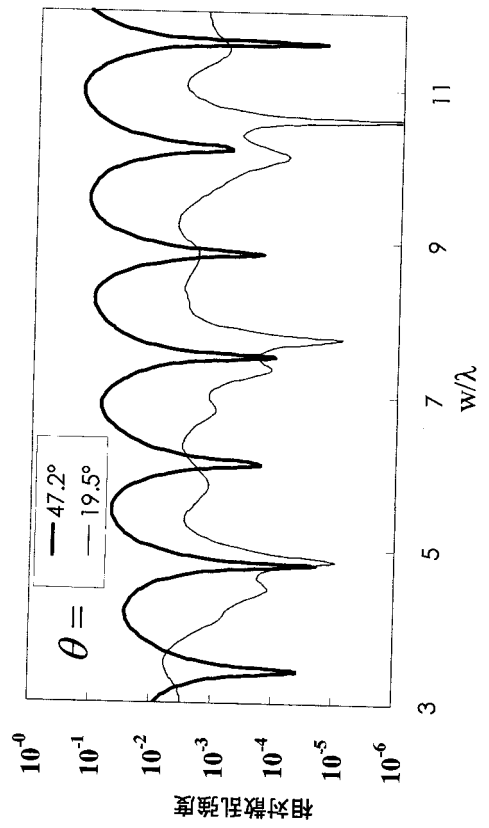
【图 3 6】



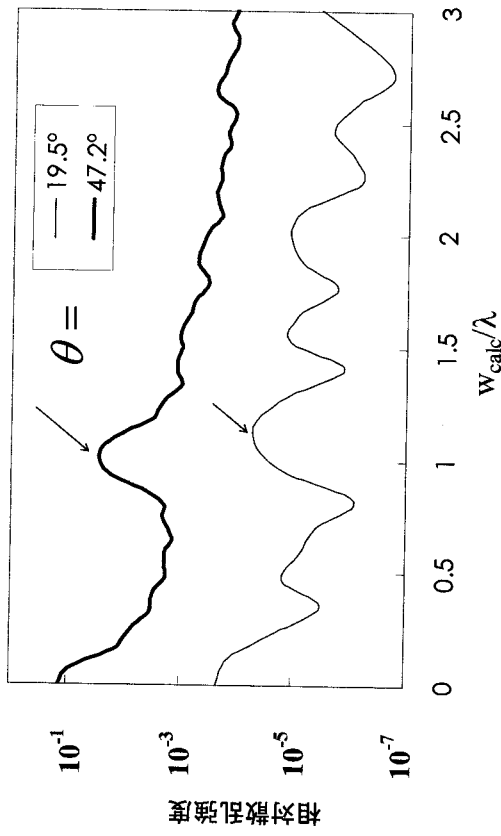
【图 3 7】



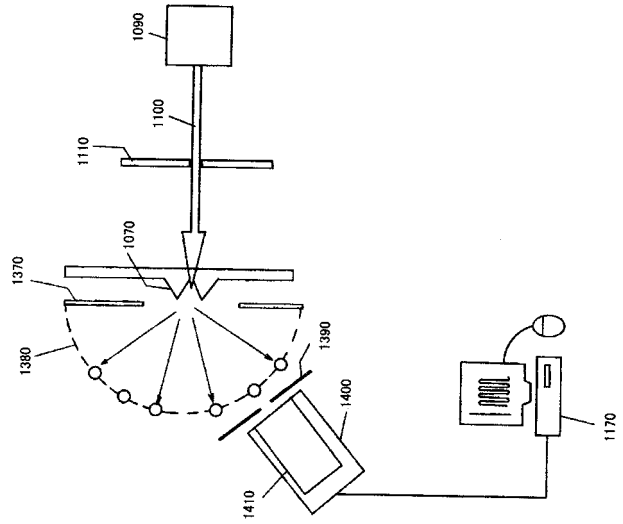
【图 3 8】



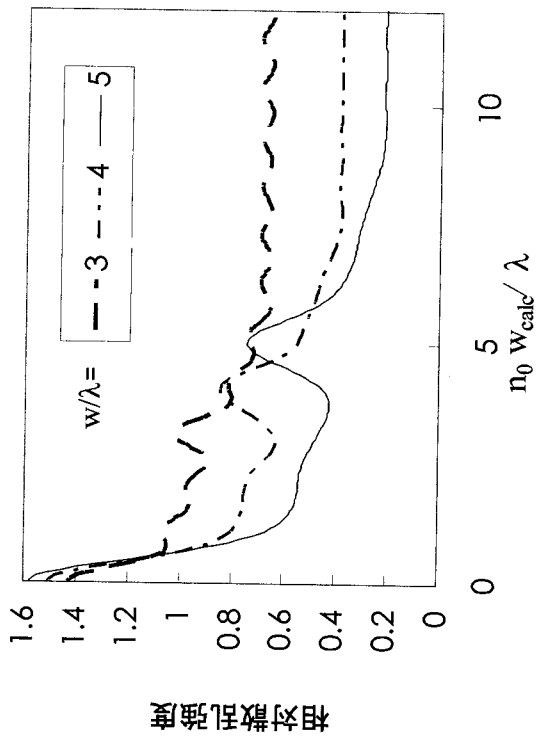
【图 39】



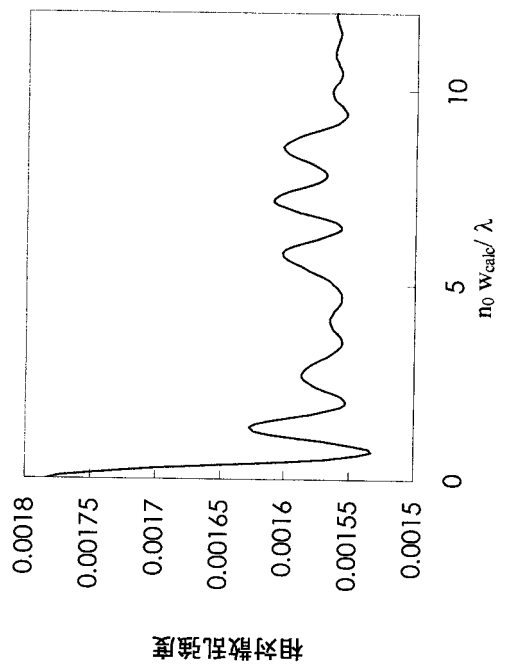
【图 40】



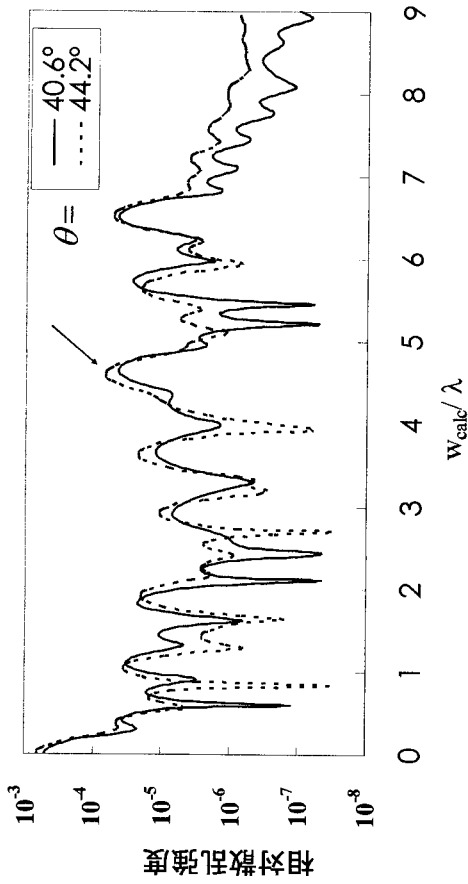
【图 41】



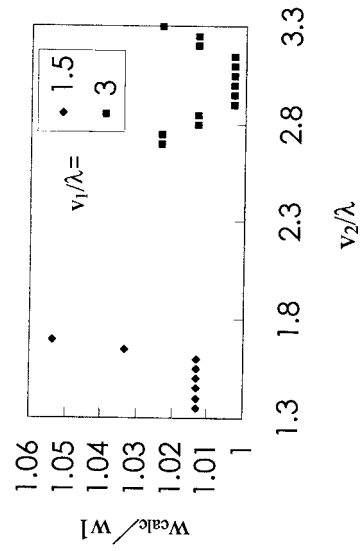
【图 42】



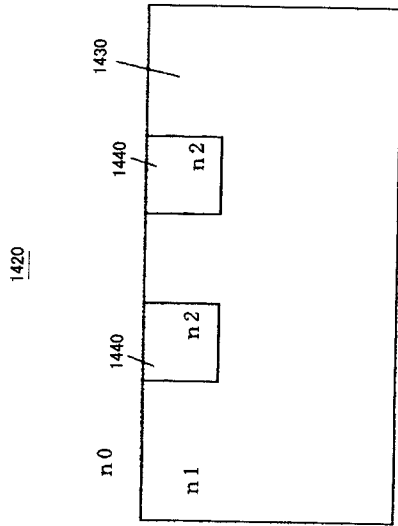
【 図 4 3 】



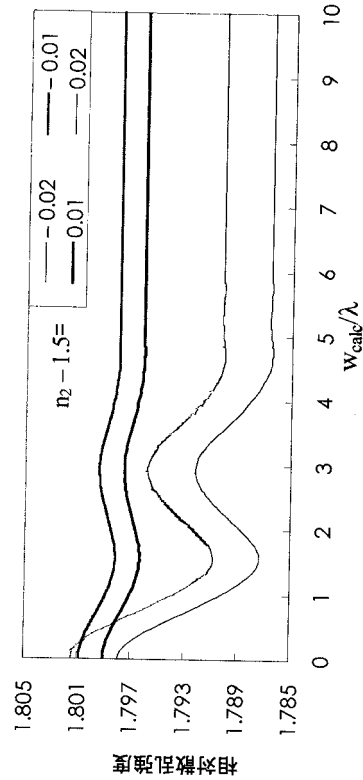
【 図 4 4 】



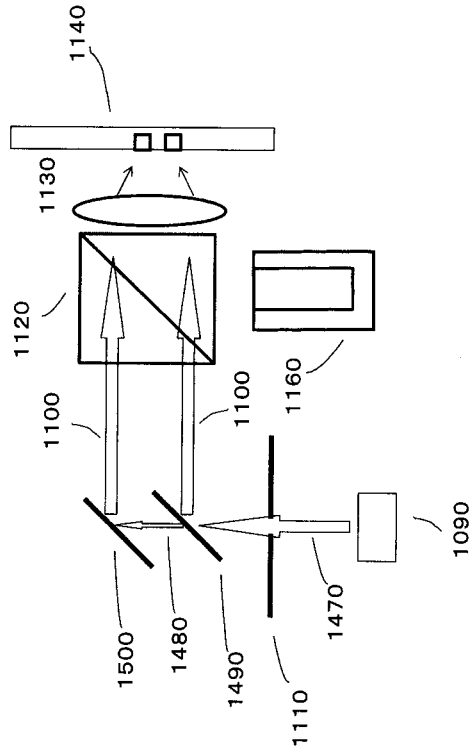
【 图 4 5 】



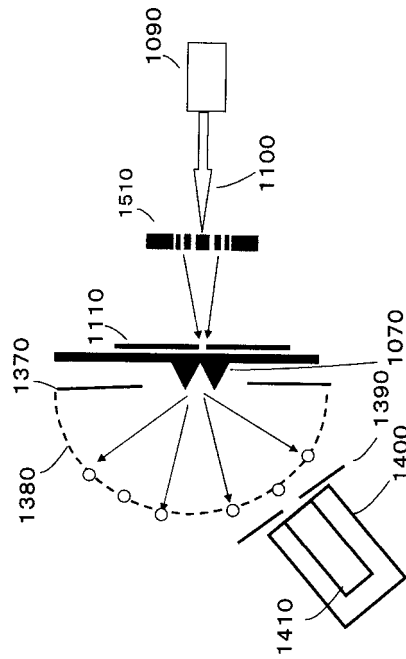
【 图 4 6 】



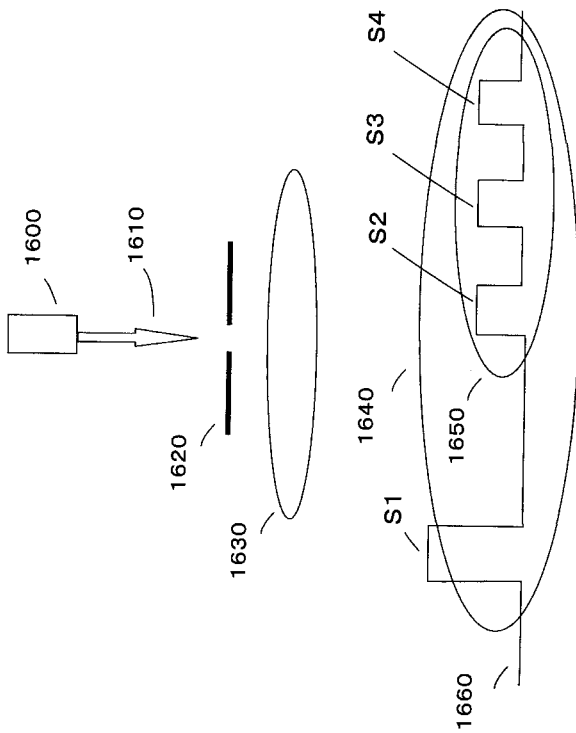
【 図 4 7 】



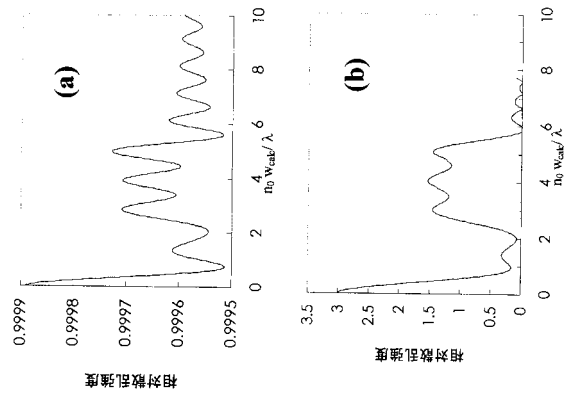
【 図 4 8 】



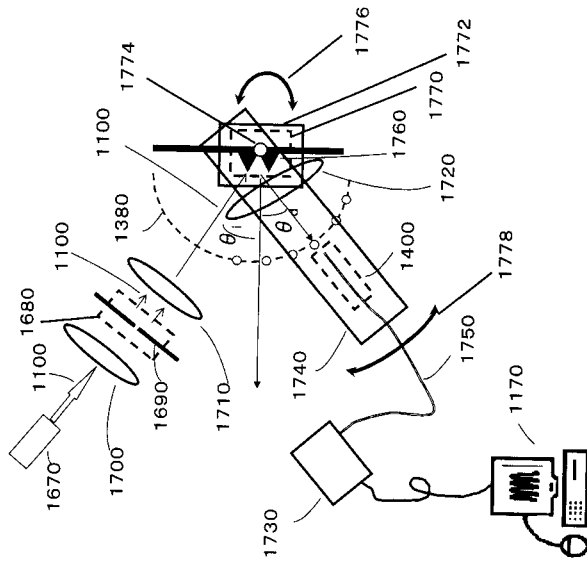
【 図 4 9 】



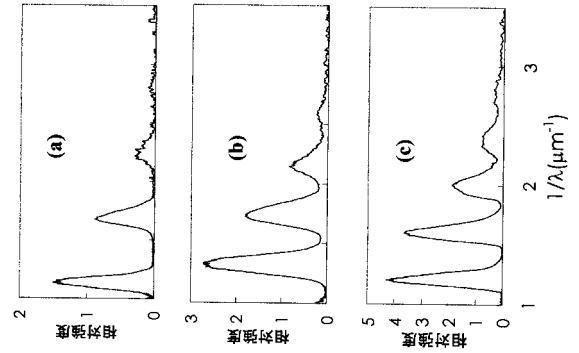
【 図 5 0 】



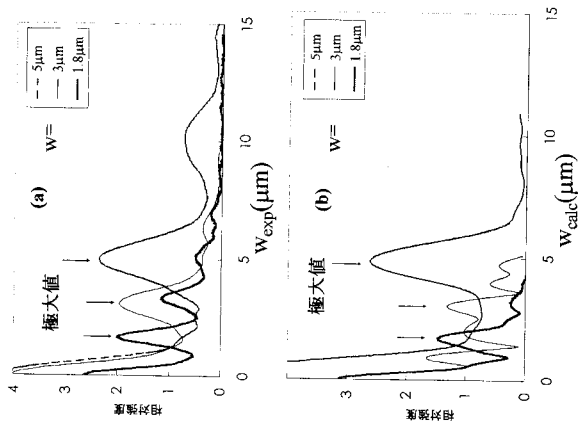
【 図 5 1 】



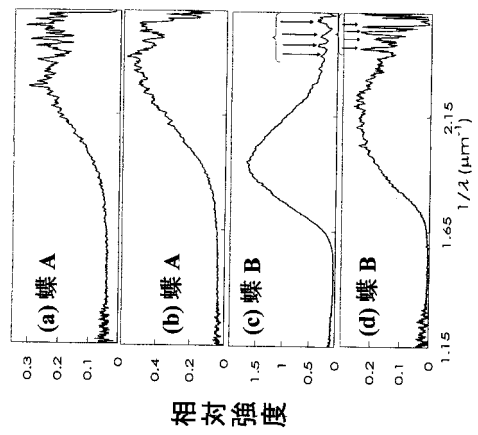
【 図 5 2 】



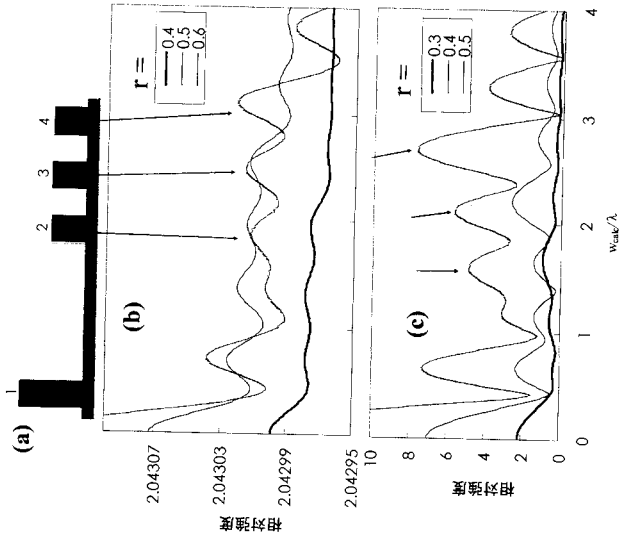
【 図 5 3 】



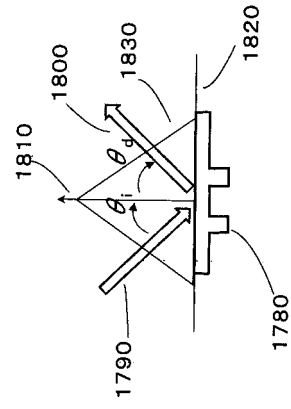
【 図 5 4 】



【 図 5 5 】



【 図 5 6 】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.	F I	テーマコード(参考)
G 0 1 N 21/41 (2006.01)	G 0 1 B 11/14	Z
G 0 1 N 21/47 (2006.01)	G 0 1 N 21/41	Z
	G 0 1 N 21/47	Z

Fターム(参考) 2F065 AA22 FF12 FF41 GG02 GG04 GG22 JJ03 JJ18 JJ26 LL00
LL12 LL28 LL30 LL33 LL67 NN02 PP05 QQ16 QQ17
2G059 AA02 BB09 EE02 EE12 GG01 HH02 HH06 JJ01 JJ03 JJ11
JJ17 JJ22 KK04 MM01
5D029 JB11 JB13 JB45 JC20