

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2025年2月27日(27.02.2025)



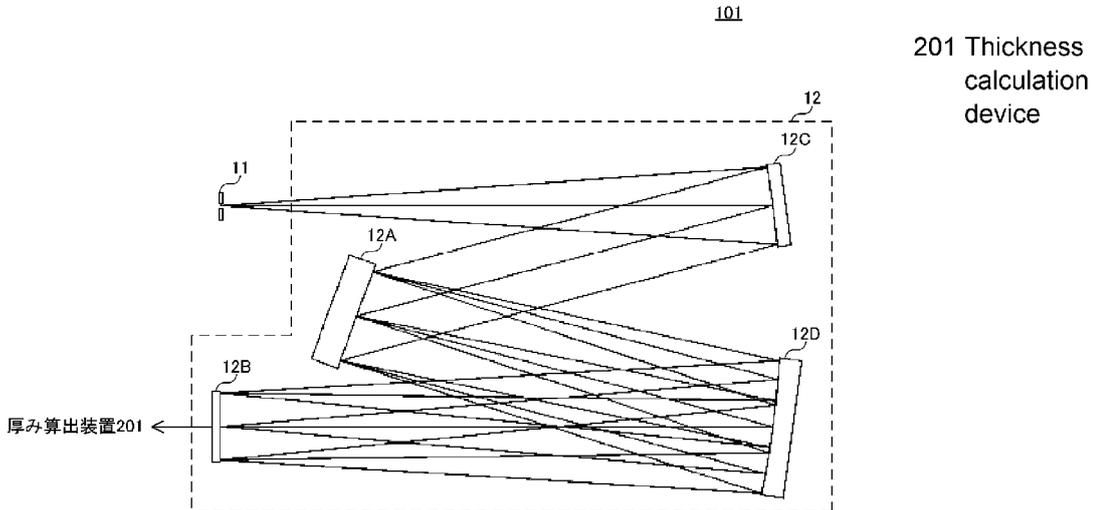
(10) 国際公開番号
WO 2025/041264 A1

- (51) 国際特許分類:
G01B 11/06 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2023/030153
- (22) 国際出願日: 2023年8月22日(22.08.2023)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 大塚電子株式会社 (OTSUKA ELECTRONICS CO., LTD.) [JP/JP]; 〒5731132 大阪府枚方市招提田近三丁目2番3号 Osaka (JP).
- (72) 発明者: 川口史朗 (KAWAGUCHI Shiro); 〒5731132 大阪府枚方市招提田近三丁目2番3号大塚電子株式会社内 Osaka (JP). 澤
- 村義巳 (SAWAMURA Yoshimi); 〒5731132 大阪府枚方市招提田近三丁目2番3号大塚電子株式会社内 Osaka (JP).
- (74) 代理人: 弁理士法人ワンディーIPパートナーズ (ONEDEE IP PARTNERS); 〒5320003 大阪府大阪市淀川区宮原五丁目1番28号新大阪八千代ビル別館 Osaka (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU,

(54) Title: SPECTROMETER, THICKNESS MEASUREMENT SYSTEM, THICKNESS CALCULATION DEVICE, METHOD FOR PRODUCING SPECTROMETER, AND METHOD FOR CALCULATING THICKNESS

(54) 発明の名称: 分光器、厚み測定システム、厚み算出装置、分光器の製造方法および厚み算出方法

[図9]



(57) Abstract: This spectrometer is used in measurement of the thickness of a surface layer in a sample of interest having a multilayer structure in which the surface layer and a lower layer are layered. The spectrometer comprises: a light-receiving unit that receives, from the sample of interest, reflection of light emitted from the surface layer side of the sample of interest; and a spectroscopic unit that generates a reflection spectrum by spectrally diffracting the reflection. The spectroscopic

LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY,
MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL,
PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK,
SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

unit generates the reflection spectrum in a spectral wavelength range in which the round-trip internal transmittance of the surface layer becomes equal to or more than a prescribed lower limit value, and the round-trip internal transmittance of a combined layer of the surface layer and the lower layer becomes equal to or less than a prescribed upper limit value.

(57) 要約：分光器は、表面層と下層とが積層された多層構造の対象試料における、前記表面層の厚みの測定に用いられる分光器であって、前記対象試料の前記表面層側から照射された光の前記対象試料からの反射光を受光する受光部と、前記反射光を分光することにより反射光スペクトルを生成する分光部とを備え、前記分光部は、前記表面層の往復内部透過率が所定の下限值以上となり、かつ前記表面層と前記下層とを合わせた層の往復内部透過率が所定の上限值以下となる分光波長範囲における前記反射光スペクトルを生成する。

明 細 書

発明の名称：

分光器、厚み測定システム、厚み算出装置、分光器の製造方法および厚み算出方法

技術分野

[0001] 本発明は、分光器、厚み測定システム、厚み算出装置、分光器の製造方法および厚み算出方法に関する。

背景技術

[0002] 従来、対象試料に光を照射し、対象試料の反射率スペクトルに基づいて、対象試料の厚みを測定するための技術が提案されている。

[0003] たとえば、特許文献1（特開2014-55780号公報）には、以下のような膜厚計測方法が開示されている。すなわち、膜厚計測方法は、光の透過率に差のある第1波長領域及び第2波長領域を有し、前記第1波長領域の方が前記第2波長領域よりも光の透過率が低い基準膜と、前記基準膜の一方側に形成された1又は複数の測定対象膜と、前記基準膜の他方側に形成された1または複数の測定対象膜と、を含む試料を用い、前記各測定対象膜の厚さを計測する膜厚計測方法であって、前記試料に前記一方側から光を照射する照射ステップと、前記試料による前記光の反射率スペクトルを、前記第1波長領域の一部又は全部、及び前記第2波長領域の一部又は全部において測定する測定ステップと、前記第1波長領域における反射率スペクトルに基づいて、前記一方側に形成された前記各測定対象膜の厚さを計算する第1計算ステップと、前記一方側に形成された前記各測定対象膜の厚さと、少なくとも前記第2波長領域における反射率スペクトルと、に基づいて、前記他方側に形成される前記各膜の厚さを計算する第2計算ステップとを含む。

[0004] また、たとえば、特許文献2（特開2008-286583号公報）には、カセグレイン型の反射対物レンズを備える光学特性測定装置が開示されている。当該反射対物レンズは、中心軸が光軸と一致するように配置された凸

面反射鏡および凹面反射鏡を含む。特許文献2に記載の光学特性測定装置では、被測定物の表面で反射して生じる測定反射光は、ピンホールを通過して分光測定部へ入射する一方で、被測定物の裏面で反射して生じる裏面反射光は、ピンホールを通過できない。したがって、特許文献2に記載の光学特性測定装置では、裏面反射光すなわち迷光の影響を回避することができる。

先行技術文献

特許文献

- [0005] 特許文献1：特開2014-55780号公報
特許文献2：特開2008-286583号公報

発明の概要

- [0006] 特許文献1および2に記載の技術を超えて、多層構造の対象試料における表面層の厚みをより正確に測定することが可能な技術が望まれる。
- [0007] 本発明は、上述の課題を解決するためになされたもので、その目的は、多層構造の対象試料における表面層の厚みをより正確に測定することが可能な分光器、厚み測定システム、厚み算出装置、分光器の製造方法および厚み算出方法を提供することである。

課題を解決するための手段

- [0008] (1) 上記課題を解決するために、この発明のある局面に係わる分光器は、表面層と下層とが積層された多層構造の対象試料における、前記表面層の厚みの測定に用いられる分光器であって、前記対象試料の前記表面層側から照射された光の前記対象試料からの反射光を受光する受光部と、前記反射光を分光することにより反射光スペクトルを生成する分光部とを備え、前記分光部は、前記表面層の往復内部透過率が所定の下限值以上となり、かつ前記表面層と前記下層とを合わせた層の往復内部透過率が所定の上限値以下となる分光波長範囲における前記反射光スペクトルを生成する。
- [0009] このように、表面層の往復内部透過率の下限値と、表面層と下層とを合わせた層の往復内部透過率の上限値とを設定し、表面層の往復内部透過率が下

限值以上となり、かつ表面層と下層とを合わせた層の往復内部透過率が上限値以下となる分光波長範囲における反射光スペクトルを生成する構成により、表面層の光照射面における反射光の成分および表面層と下層との界面における反射光の成分を含む一方で、当該下層における当該界面とは反対側の界面における反射光の成分が低減された反射光スペクトルを生成することができる。そのため、当該反射光スペクトルを用いて生成された、表面層の干渉波形である反射率スペクトルに基づいて、表面層の厚みをより正確に算出することができる。したがって、多層構造の対象試料における表面層の厚みをより正確に測定することができる。ここで、「往復内部透過率 $I(d)$ 」とは、厚み d の層に入射した光が入射面と反対側の界面すなわち裏面で反射し、入射面に戻る成分に相当し、当該層における往復過程の材料吸収による減衰を透過率として表したものである。

[0010] (2) 上記(1)において、前記分光部は、前記表面層の厚み範囲において、前記表面層の往復内部透過率が所定の閾値以上であり、かつ前記表面層と前記下層とを合わせた層の往復内部透過率が前記閾値以下となる前記分光波長範囲における前記反射光スペクトルを生成してもよい。

[0011] このような構成により、ノイズおよびダイナミックレンジ等に基づく検出限界を考慮して、厚み測定においてより有効な反射光スペクトルを生成することができる。具体的には、たとえば、表面層と下層との界面において反射された反射光のレベルがノイズレベル以上であり、かつ、下層と他の下層との界面において反射された反射光のレベルが当該ノイズレベル以下となる反射光スペクトルを生成することができる。

[0012] (3) 上記(1)または(2)において、前記表面層は、シリコン層であってもよく、前記分光部は、650nm以上であり、かつ800nm以下の前記分光波長範囲における前記反射光スペクトルを生成してもよい。

[0013] このような構成により、多層構造の主表面を構成するシリコン層の厚みをより正確に測定することができる。

[0014] (4) 上記課題を解決するために、この発明のある局面に係わる厚み測定

システムは、上記（１）から（３）のいずれかの分光器と、光源からの光を前記対象試料の前記表面層側から照射し、かつ照射した光の前記対象試料からの前記反射光を前記分光器へ導くマクロ光学系とを備える。

[0015] このような構成により、特許文献２に記載されている光学特性測定装置等の顕微分光膜厚計と比べて、より高速に表面層の厚みを測定することができる。

[0016] （５）上記課題を解決するために、この発明のある局面に係わる厚み算出装置は、表面層と下層とが積層された多層構造の対象試料における、前記表面層の厚みの測定に用いられる厚み算出装置であって、前記対象試料の前記表面層側から照射された光の前記対象試料からの反射光の反射光スペクトルを取得する取得部と、前記取得部により取得された前記反射光スペクトルに基づいて、前記対象試料の反射率スペクトルを生成する生成部と、前記生成部により生成された前記反射率スペクトルに基づいて、前記表面層の厚みを算出する算出部とを備え、前記生成部は、前記表面層の往復内部透過率が所定の下限值以上となり、かつ前記表面層と前記下層とを合わせた層の往復内部透過率が所定の上限値以下となる波長範囲における前記反射率スペクトルを生成する。

[0017] このように、対象試料の反射光の反射光スペクトルに基づいて、表面層の往復内部透過率が所定の下限值以上となり、かつ表面層と下層とを合わせた層の往復内部透過率が上限値以下となる波長範囲における反射率スペクトルを生成し、当該反射率スペクトルに基づいて厚みを算出する構成により、表面層の光照射面における反射光の成分および表面層と下層との界面における反射光の成分を含む一方で、当該下層における当該界面とは反対側の界面における反射光の成分が低減された反射率スペクトルを生成することができる。そのため、生成した反射率スペクトルを用いて、表面層の厚みをより正確に算出することができる。したがって、多層構造の対象試料における表面層の厚みをより正確に測定することができる。

[0018] （６）上記（５）において、前記生成部は、前記表面層の厚み範囲におい

て、前記表面層の往復内部透過率が所定の閾値以上であり、かつ前記表面層と前記下層とを合わせた層の往復内部透過率が前記閾値以下となる前記波長範囲における前記反射率スペクトルを生成してもよい。

[0019] このような構成により、ノイズおよびダイナミックレンジ等に基づく検出限界を考慮して、厚み測定においてより有効な反射率スペクトルを生成することができる。具体的には、たとえば、表面層と下層との界面において反射された反射光のレベルがノイズレベル以上であり、かつ、下層と他の下層との界面において反射された反射光のレベルが当該ノイズレベル以下となる反射率スペクトルを生成することができる。

[0020] (7) 上記課題を解決するために、この発明のある局面に係わる分光器の製造方法は、表面層と下層とが積層された多層構造の対象試料における、前記表面層の厚みの測定に用いられる分光器の製造方法であって、波長と前記表面層の往復内部透過率との対応関係を示す第1の対応情報を取得するステップと、波長と、前記表面層および前記下層を合わせた層の往復内部透過率との対応関係を示す第2の対応情報を取得するステップと、取得した前記第1の対応情報および前記第2の対応情報に基づいて、前記対象試料の前記表面層側から照射された光の前記対象試料からの反射光を分光する前記分光器の分光波長範囲を設定するステップとを含み、前記分光波長範囲を設定するステップにおいては、前記表面層の往復内部透過率が所定の下限値以上となり、かつ前記表面層と前記下層とを合わせた層の往復内部透過率が所定の上限値以下となる前記分光波長範囲を設定する。

[0021] このように、表面層の往復内部透過率の下限値と、表面層と下層とを合わせた層の往復内部透過率の上限値とを設定し、表面層の往復内部透過率が下限値以上となり、かつ表面層と下層とを合わせた層の往復内部透過率が上限値以下となる分光波長範囲を設定する構成により、作製した分光器を用いて、表面層の光照射面における反射光の成分および表面層と下層との界面における反射光の成分を含む一方で、当該下層における当該界面とは反対側の界面における反射光の成分が低減された反射光スペクトルを生成することがで

きる。そのため、当該反射光スペクトルを用いて生成された、表面層の干渉波形である反射率スペクトルを用いて、表面層の厚みをより正確に算出することができる。したがって、多層構造の対象試料における表面層の厚みをより正確に測定することができる。

[0022] (8) 上記(7)において、前記分光器の製造方法は、さらに、前記表面層の厚み範囲を取得するステップを含んでもよく、前記分光波長範囲を設定するステップにおいては、前記表面層の厚みが前記厚み範囲の最大値である場合において前記表面層の往復内部透過率が所定の閾値になるときの波長である第1波長と、前記表面層の厚みが前記厚み範囲の最小値である場合において前記表面層と前記下層とを合わせた層の往復内部透過率が前記閾値になるときの波長である第2波長との間の波長範囲内において、前記分光波長範囲を設定してもよい。

[0023] このような構成により、ノイズおよびダイナミックレンジ等に基づく検出限界を考慮して、厚み測定においてより有効な反射光スペクトルを生成可能な分光器の仕様を決定することができる。具体的には、たとえば、表面層と下層との界面において反射された反射光のレベルがノイズレベル以上であり、かつ、下層と他の下層との界面において反射された反射光のレベルが当該ノイズレベル以下となる反射光スペクトルを生成可能な分光器の仕様を決定することができる。

[0024] (9) 上記課題を解決するために、この発明のある局面に係わる厚み算出方法は、表面層と下層とが積層された多層構造の対象試料における、前記表面層の厚みの測定に用いられる厚み算出装置における厚み算出方法であって、前記対象試料の前記表面層側から照射された光の前記対象試料からの反射光の反射光スペクトルを取得するステップと、取得した前記反射光スペクトルに基づいて、前記対象試料の反射率スペクトルを生成するステップと、生成した前記反射率スペクトルに基づいて、前記表面層の厚みを算出するステップとを含み、前記反射率スペクトルを生成するステップにおいては、前記表面層の往復内部透過率が所定の下限値以上となり、かつ前記表面層と前記

下層とを合わせた層の往復内部透過率が所定の上限値以下となる波長範囲における前記反射率スペクトルを生成する。

- [0025] このように、対象試料の反射光の反射率スペクトルに基づいて、表面層の往復内部透過率が所定の下限値以上となり、かつ表面層と下層とを合わせた層の往復内部透過率が上限値以下となる波長範囲における反射率スペクトルを生成し、当該反射率スペクトルに基づいて厚みを算出する方法により、表面層の光照射面における反射光の成分および表面層と下層との界面における反射光の成分を含む一方で、当該下層における当該界面とは反対側の界面における反射光の成分が低減された反射率スペクトルを生成することができる。そのため、生成した反射率スペクトルを用いて、表面層の厚みをより正確に算出することができる。したがって、多層構造の対象試料における表面層の厚みをより正確に測定することができる。

発明の効果

- [0026] 本発明によれば、多層構造の対象試料における表面層の厚みをより正確に測定することができる。

図面の簡単な説明

- [0027] [図1]図1は、本発明の第1の実施の形態に係る厚み測定システムの構成を示す図である。

[図2]図2は、本発明の第1の実施の形態に係る厚み算出装置の構成を示す図である。

[図3]図3は、比較例に係る厚み測定システムによる対象試料の厚み測定のシミュレーション結果を示す図である。

[図4]図4は、比較例に係る厚み測定システムによる対象試料の厚み測定のシミュレーション結果を示す図である。

[図5]図5は、比較例に係る厚み測定システムによる対象試料の厚み測定のシミュレーション結果を示す図である。

[図6]図6は、比較例に係る厚み測定システムによる対象試料の厚み測定のシミュレーション結果を示す図である。

[図7]図7は、比較例に係る厚み測定システムによる対象試料の厚み測定のシミュレーション結果を示す図である。

[図8]図8は、比較例に係る厚み測定システムによる対象試料の厚み測定のシミュレーション結果を示す図である。

[図9]図9は、本発明の第1の実施の形態に係る分光器の構成を示す図である。

[図10]図10は、表面層の往復内部透過率のシミュレーション結果を示す図である。

[図11]図11は、シリコンの消衰係数を示す図である。

[図12]図12は、本発明の第1の実施の形態に係る厚み測定システムにおいて生成される反射率スペクトルSRを示している。

[図13]図13は、本発明の第1の実施の形態に係る厚み測定システムにおいて生成される反射率スペクトルSRを示している。

[図14]図14は、本発明の第1の実施の形態に係る厚み測定システムにおいて生成される反射率スペクトルSRを示している。

[図15]図15は、本発明の第1の実施の形態に係る厚み測定システムにおいて生成されるパワースペクトルを示している。

[図16]図16は、本発明の第1の実施の形態に係る厚み測定システムにおいて生成されるパワースペクトルを示している。

[図17]図17は、本発明の第1の実施の形態に係る厚み測定システムにおいて生成されるパワースペクトルを示している。

[図18]図18は、本発明の第1の実施の形態に係る厚み測定システムにおける分光器の製造方法を示すフローチャートである。

[図19]図19は、本発明の第2の実施の形態に係る厚み測定システムの構成を示す図である。

[図20]図20は、本発明の第2の実施の形態に係る厚み算出装置の構成を示す図である。

[図21]図21は、本発明の第2の実施の形態に係る厚み算出装置が表面層の

厚みの算出を行う際の動作手順の一例を定めたフローチャートである。

発明を実施するための形態

[0028] 以下、本発明の実施の形態について図面を用いて説明する。なお、図中同一または相当部分には同一符号を付してその説明は繰り返さない。また、以下に記載する実施の形態の少なくとも一部を任意に組み合わせてもよい。

[0029] <第1の実施の形態>

図1は、本発明の第1の実施の形態に係る厚み測定システムの構成を示す図である。図1を参照して、厚み測定システム301は、光源50と、マクロ光学系60と、分光器101と、厚み算出装置201とを備える。

[0030] 厚み測定システム301は、分光干渉式の測定システムであり、表面層S_aと下層S_bとが積層された多層構造の対象試料Pにおける表面層S_aの厚みの測定に用いられる。表面層S_aの表面は、対象試料Pの主表面P_mである。たとえば、測定対象の表面層S_aの厚み範囲R_{th}の下限値は1 μ m以上であり、厚み範囲R_{th}の上限値は20 μ m以下である。対象試料Pの形状は、ウェハ形状であってもよいし、矩形形状であってもよいし、フィルム形状であってもよい。

[0031] 対象試料Pは、表面層S_aと、複数の下層S_bとを含む。たとえば、表面層S_aはシリコン層であり、下層S_bは、シリコンオキサイド薄膜をコーティングしたシリコン層である。たとえば、対象試料Pは、下層S_bとして、表面層S_a側から、シリコンオキサイド薄膜をコーティングしたシリコン層が複数積層された繰り返し層構造を有する。言い換えると、対象試料Pは、下層S_bとして、表面層S_a側から、コーティングであるシリコンオキサイド層と、シリコン層とが交互に積層された繰り返し層構造を有する。なお、対象試料Pは、1つの下層S_bを含む構成であってもよい。以下では、表面層S_aに隣接する下層S_b、すなわち表面層S_aの直下の下層S_bを、「隣接下層S_b」とも称する。

[0032] 光源50は、表面層S_aの厚みの測定に用いる光を出射する。光源50は、複数波長を含む光を出射する。光源50が出射する光のスペクトルは、連

続スペクトルである。光源50が出射する光の波長の範囲は、分光器101の分光波長範囲 R_{s1} を含む。光源50は、たとえばハロゲンランプである。

[0033] マクロ光学系60は、光源50からの光を対象試料Pの表面層Sa側から照射し、かつ照射した光の対象試料Pからの反射光を分光器101へ導く。より詳細には、マクロ光学系60は、Y型光ファイバ61と、プローブ62とを含む。プローブ62は、Y型光ファイバ61の第1端に設けられる。Y型光ファイバ61の第2端は、二股に分岐している。Y型光ファイバ61の分岐部61Aは、光源50に接続される。Y型光ファイバ61の分岐部61Bは、分光器101に接続される。

[0034] 光源50から出射される光は、Y型光ファイバ61およびプローブ62を介して対象試料Pの主表面Pmへ照射される。主表面Pmへ照射された光の対象試料Pからの反射光は、プローブ62およびY型光ファイバ61を介して分光器101へ導かれる。なお、厚み測定システム301は、マクロ光学系60の代わりに、レンズおよびビームスプリッタ等を含む光学系を備える構成であってもよい。

[0035] 分光器101は、対象試料Pからの反射光を分光することにより、分光波長範囲 R_{s1} を含む反射光スペクトルSLを生成する。一例として、分光器101は、対象試料Pからの反射光を分光することにより、分光波長範囲 R_{s1} における反射光スペクトルSLを生成する。分光器101は、生成した反射光スペクトルSLを厚み算出装置201へ送信する。

[0036] 図2は、本発明の第1の実施の形態に係る厚み算出装置の構成を示す図である。図2を参照して、厚み算出装置201は、受信部21と、生成部22と、算出部23とを備える。受信部21は、取得部の一例である。受信部21、生成部22および算出部23の一部または全部は、たとえば、1または複数のプロセッサを含む処理回路により実現される。

[0037] 受信部21は、表面層Sa側から光を照射された対象試料Pからの反射光スペクトルSLを分光器101から受信し、受信した反射光スペクトルSL

を生成部22へ出力する。

[0038] 生成部22は、受信部21から受けた反射光スペクトルSLに基づいて、対象試料Pの反射率スペクトルSRを生成する。より詳細には、生成部22は、反射光スペクトルSLを、対象試料Pへ照射される光の照射光スペクトルで除することにより、反射率スペクトルSRを生成する。生成部22は、生成した反射率スペクトルSRを算出部23へ出力する。

[0039] 算出部23は、生成部22により生成された反射率スペクトルSRに基づいて、表面層Saの厚みを算出する。たとえば、算出部23は、FFT (Fast Fourier Transform) 法に従って反射率スペクトルSRを解析することにより、表面層Saの厚みを算出する。より詳細には、算出部23は、反射率スペクトルSRをFFT処理することにより、反射率スペクトルSRのパワースペクトルを生成する。そして、算出部23は、生成したパワースペクトルから、与えられた選択条件に適合する厚みを、表面層Saの厚みとして特定する。

[0040] [課題]

多層構造の対象試料Pにおける表面層Saの厚みをより正確に測定することが可能な技術が望まれる。

[0041] より詳細には、一般的に、分光干渉式の測定システムでは、膜の厚みを測定するために、外部から膜の主表面へ照射された光の当該膜からの反射光を分光することにより、当該膜の内部透過率の大きい波長範囲における反射率スペクトルSRを生成し、当該反射率スペクトルSRに基づいて厚みを算出することが好ましい。特に、比較的厚い膜の厚みを測定する場合、当該膜の内部透過率の大きい波長範囲における、光が照射される上記主表面とは反対側の面からの十分な強度の反射光を示す反射率スペクトルSRに基づいて厚みを算出することが好ましい。

[0042] そのため、従来の厚み測定システムは、たとえばシリコン膜の厚みを測定する場合、シリコン膜における消衰係数がゼロに近い値となる1000nm以上の分光波長範囲を有する分光器を用いて反射光スペクトルSLを生成し

、生成した反射光スペクトルSLに基づいてシリコン層の厚みを算出する。

[0043] 図3から図8は、比較例に係る厚み測定システムによる対象試料の厚み測定のシミュレーション結果を示す図である。

[0044] 図3から図5は、1000nm以上の分光波長範囲と、十分な波長分解能とを有する分光器を備える、比較例に係る厚み測定システムにおいて生成される反射率スペクトルSRを示している。図3から図5において、横軸は波長[nm]であり、縦軸は反射率である。図3は、表面層Saとして1 μ mのシリコン層を含み、かつ、下層Sbとして表面層Sa側から5 μ mのシリコンオキサイド層および21 μ mのシリコン層を交互に6層ずつ含む対象試料P1の反射率スペクトルSRを示している。図4は、対象試料P1と比べて、表面層Saとして10 μ mのシリコン層を含む対象試料P2の反射率スペクトルSRを示している。図5は、対象試料P1と比べて、表面層Saとして20 μ mのシリコン層を含む対象試料P3の反射率スペクトルSRを示している。

[0045] 図6から図8は、比較例に係る厚み測定システムにおいて生成されるパワースペクトルを示している。図6から図8において、横軸は厚み[μ m]であり、縦軸は強度である。図6から図8は、それぞれ、図3から図5に示す反射率スペクトルSRのパワースペクトルを示している。

[0046] 図6から図8を参照して、比較例に係る厚み測定システムは、対象試料P1の表面層Saの厚みを正確に測定することができない。より詳細には、比較例に係る厚み測定システムにより生成される対象試料P1、P2、P3のパワースペクトルにおいて、強度の最大値に対応する厚みは約2 μ mである。したがって、比較例に係る厚み測定システムによる表面層Saの厚みの測定結果は、実際の表面層Saの厚みが1 μ m、10 μ mまたは20 μ mであるにも関わらず、約2 μ mとなる。

[0047] このように、比較例に係る厚み測定システムを用いて、多層構造を有する対象試料P1、P2、P3の厚みを測定する場合、表面層Saの厚みを測定することは困難である。また、仮に、反射率スペクトルSRを層ごとに分離

できたとしても、反射率スペクトルSRに基づいて算出される厚みがどの層の厚みを示しているかを特定することは困難である。

[0048] また、特許文献1に記載の技術では、基板となる膜が、所定の波長帯において、コートする膜の透過率よりも小さい透過率を有する必要があり、コートする膜が基板膜よりも透過率が小さい場合は測定出来ない。なお、特許文献1に記載の技術では、基板膜の片側に複数の層が積層されている場合において、当該複数の層のうちの表面層の厚みを測定する事は出来ない。

[0049] また、特許文献2には、カセグレイン型の反射対物レンズを用いることにより、被測定物の裏面からの光が迷光として現れることを抑制する技術が記載されている。しかしながら、特許文献2に記載の技術では、設計上の制約が大きい。

[0050] そこで、本発明の実施の形態に係る厚み測定システム301は、以下のよう構成により、上記の課題を解決する。

[0051] (分光器)

図9は、本発明の第1の実施の形態に係る分光器の構成を示す図である。図9を参照して、分光器101は、スリット11と、分光部12とを備える。分光部12は、回折格子12Aと、検出部12Bと、コリメートミラー12Cと、フォーカスミラー12Dとを含む。スリット11は、受光部の一例である。

[0052] スリット11は、対象試料Pの表面層Sa側から照射された光の対象試料Pからの反射光を受光する。より詳細には、スリット11は、Y型光ファイバ61における分岐部61Bを介して、対象試料Pからの反射光を受光する。スリット11から分光器101の内部に入射した対象試料Pからの反射光は、コリメートミラー12Cにより平行光に整えられる。

[0053] 分光部12は、対象試料Pからの反射光を分光することにより反射光スペクトルSLを生成する。

[0054] より詳細には、コリメートミラー12Cにより平行光に整えられた光は、回折格子12Aに導かれる。回折格子12Aは、入射した光を波長毎に異なる

る回折角で分光する。

[0055] 回折格子12Aにより波長毎に異なる角度へと分光された光は、フォーカスマイラー12Dによって検出部12Bにおける波長毎に異なる位置へ結像する。

[0056] たとえば、検出部12Bは、直線状に配列された複数の検出素子により構成されるリニアイメージセンサである。このような検出素子は、たとえば、CCD (Charge Coupled Device) イメージセンサまたはCMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) イメージセンサである。検出部12Bにおける各検出素子は、回折格子12Aによって分光され、かつフォーカスマイラー12Dによって結像された光を受光する。

[0057] 検出部12Bは、各検出素子の受光面において受光した光の、波長と強度との関係を示す反射光スペクトルSLを生成し、生成した反射光スペクトルSLを厚み算出装置201へ送信する。

[0058] たとえば、分光部12により生成される反射光スペクトルSLの波長分解能は、以下の式(1)および式(2)を満たす。

[数1]

$$R1 < \frac{\lambda2 - \lambda1}{2} \cdot \cdot \cdot (1)$$

[数2]

$$R2 < \frac{\lambda2 - \lambda1}{4} \cdot \cdot \cdot (2)$$

[0059] ここで、R1は、光学分解能である。R2は、画素分解能である。 $\lambda1$ は、反射光スペクトルSLにおける強度の極大値M1に対応する波長である。 $\lambda2$ は、反射光スペクトルSLにおける強度の極大値M2に対応する波長である。極大値M2は、極大値M1よりも大きく、かつ極大値M1に隣接する極大値である。

[0060] 分光部12は、表面層Saの往復内部透過率 $I(d)$ である往復内部透過

率 $I_a(d)$ が所定の下限値以上となり、かつ表面層 S_a と隣接下層 S_b とを合わせた層の往復内部透過率 $I(d)$ である往復内部透過率 $I_{ab}(d)$ が所定の上限値以下となる分光波長範囲 R_{s1} における反射光スペクトル SL を生成する。ここで、往復内部透過率 $I_{ab}(d)$ は、表面層 S_a の厚みと、隣接下層 S_b におけるシリコン層の厚みとを合計した厚みを有するシリコン層の往復内部透過率に相当する。

[0061] 図10は、往復内部透過率のシミュレーション結果を示す図である。図10において、横軸は波長 [nm] であり、縦軸は往復内部透過率である。図10における実線は、 $1\mu\text{m}$ のシリコン層の往復内部透過率 $I(d)$ である往復内部透過率 $I(1)$ を示している。図10における破線は、 $20\mu\text{m}$ のシリコン層の往復内部透過率 $I(d)$ である往復内部透過率 $I(20)$ を示している。図10における一点鎖線は、 $21\mu\text{m}$ のシリコン層の往復内部透過率 $I(d)$ である往復内部透過率 $I(21)$ を示している。ここで、往復内部透過率 $I(1)$ は、 $1\mu\text{m}$ のシリコン層の往復の内部透過率であるので、 $2\mu\text{m}$ のシリコン層の内部透過率に相当する。また、往復内部透過率 $I(20)$ は、 $20\mu\text{m}$ のシリコン層の往復の内部透過率であるので、 $40\mu\text{m}$ のシリコン層の内部透過率に相当する。また、往復内部透過率 $I(21)$ は、 $21\mu\text{m}$ のシリコン層の往復の内部透過率であるので、 $42\mu\text{m}$ のシリコン層の内部透過率に相当する。

[0062] 図10を参照して、分光部12は、厚み範囲 R_{th} において、表面層 S_a の往復内部透過率 $I_a(d)$ が所定の閾値 $Th1$ 以上となり、かつ表面層 S_a と隣接下層 S_b とを合わせた層の往復内部透過率 $I_{ab}(d)$ が閾値 $Th1$ 以下となる分光波長範囲 R_{s1} における反射光スペクトル SL を生成する。閾値 $Th1$ は、下限値の一例であり、かつ上限値の一例である。

[0063] 一例として、分光波長範囲 R_{s1} は、隣接下層 S_b の厚みの設計値が $20\mu\text{m}$ であり、表面層 S_a の厚みの設計値が $1\mu\text{m}$ である場合、表面層 S_a の往復内部透過率 $I_a(1)$ が閾値 $Th1$ になるときの波長 λ_a と、表面層 S_a と隣接下層 S_b とを合わせた層の往復内部透過率 $I_{ab}(21)$ が閾値 T

h_1 になるときの波長 λ_b との間の波長範囲内において設定される。波長 λ_a は、第 1 波長の一例である。波長 λ_b は、第 2 波長の一例である。閾値 T_{h_1} は、1 未満の値である。閾値 T_{h_1} は、たとえば 0.001 である。なお、分光波長範囲 R_{s_1} は、往復内部透過率 $I_a(1)$ が閾値 T_{h_1} になるときの波長 λ_a と、往復内部透過率 $I_{ab}(21)$ が閾値 T_{h_1} とは異なる閾値 T_{h_2} になるときの波長 λ_b との間の波長範囲内において設定されてもよい。

[0064] また、たとえば、分光部 12 は、厚み範囲 R_{th} において、表面層 S_a の往復内部透過率 $I_a(d)$ が厚み算出装置 201 におけるノイズレベル以上であり、かつ、表面層 S_a および隣接下層 S_b を合わせた往復内部透過率 $I_{ab}(d)$ が厚み算出装置 201 におけるノイズレベル以下となる分光波長範囲 R_{s_1} における反射光スペクトル SL を生成する。すなわち、分光部 12 は、厚み範囲 R_{th} において、表面層 S_a を透過して表面層 S_a と隣接下層 S_b との界面において反射された反射光のレベルが厚み算出装置 201 におけるノイズレベル以上であり、かつ、表面層 S_a および隣接下層 S_b を透過して隣接下層 S_b と他の下層 S_b との界面において反射された反射光のレベルが厚み算出装置 201 におけるノイズレベル以下となる分光波長範囲 R_{s_1} における反射光スペクトル SL を生成する。

[0065] より詳細には、分光波長範囲 R_{s_1} は、往復内部透過率 $I_a(d)$ が厚み算出装置 201 におけるノイズレベル以上となる波長範囲において、FFT 解析に十分な干渉波数が得られる波長範囲であり、かつ、表面層 S_a および隣接下層 S_b を合わせた往復内部透過率 $I_{ab}(d)$ が厚み算出装置 201 におけるノイズレベル以下となる波長範囲である。

[0066] たとえば、分光波長範囲 R_{s_1} は、波長に対する表面層 S_a の往復内部透過率の変化量の絶対値が所定値以上の波長範囲である。すなわち、分光部 12 の分光波長範囲 R_{s_1} は、表面層 S_a の往復内部透過率 $I_a(d)$ の変化がほとんど無い波長 λ_c 以上の波長を含まない波長範囲であり、ほとんど透過しない紫外域も含まない波長範囲である。言い換えると、分光部 12 の分

光波長範囲 R_{s1} は、波長 λ_c よりも小さい波長範囲である。また、たとえば、分光波長範囲 R_{s1} は、可視光領域の少なくとも一部を含む。

[0067] また、たとえば、分光部 12 の分光波長範囲 R_{s1} は、波長に対する、表面層 S_a を構成する材料の消衰係数の変化量の絶対値が所定値以上の波長範囲である。すなわち、分光部 12 の分光波長範囲 R_{s1} は、表面層 S_a を構成する材料であるシリコンの消衰係数の低下が収束するときの波長よりも短い波長範囲であり、消衰係数が極端に大きい範囲を含まない波長範囲である。

[0068] 図 11 は、シリコンの消衰係数を示す図である。図 11 において、横軸は波長 [nm] であり、縦軸は消衰係数である。図 11 を参照して、分光器 101 の設計者は、仕様決定の為に、以下のような処理を行う。すなわち、分光器 101 の設計者は、表面層 S_a および隣接下層 S_b を構成する材料であるシリコンの消衰係数を取得する。

[0069] また、分光器 101 の設計者は、測定対象である表面層 S_a の厚み範囲 R_{th} を取得する。厚み範囲 R_{th} は、厚み測定システム 301 が測定可能な厚みの範囲である。分光器 101 の設計者は、対象試料 P に応じた厚み範囲 R_{th} を設定してもよいし、厚み測定システム 301 のユーザの要望に応じた厚み範囲 R_{th} を設定してもよい。また、たとえば、分光器 101 の設計者は、隣接下層 S_b の厚み範囲をさらに取得する。

[0070] そして、分光器 101 の設計者は、取得した消衰係数および厚み範囲 R_{th} に基づいて、表面層 S_a へ入射する光の波長と、当該表面層 S_a の往復内部透過率 $I_a(d)$ との対応関係を示す対応情報 X_1 を作成する。また、分光器 101 の設計者は、取得した消衰係数、厚み範囲 R_{th} および隣接下層 S_b の厚みに基づいて、表面層 S_a へ入射する光の波長と、表面層 S_a および隣接下層 S_b を合わせた層の往復内部透過率 $I_{ab}(d)$ との対応関係を示す対応情報 X_2 を作成する。たとえば、分光器 101 の設計者は、以下の式 (3) に従って、厚み範囲 R_{th} の下限値における往復内部透過率 $I_a(d)$ と、厚み範囲 R_{th} の上限値における往復内部透過率 $I_a(d)$ とを算

出する。

[数3]

$$I(d) = (e^{-i\alpha d})^2 \cdot \cdot \cdot (3)$$

[0071] ここで、 d は、表面層 S_a の厚みである。 α は、吸光係数であり、以下の式(4)により表される。

[数4]

$$\alpha = \frac{4\pi k(\lambda)}{\lambda} \cdot \cdot \cdot (4)$$

[0072] ここで、 λ は、光源50から表面層 S_a へ照射される光の波長である。 $k(\lambda)$ は、波長 λ の光の消衰係数である。

[0073] 分光器101の設計者は、対応情報 X_1 、 X_2 に基づいて、表面層 S_a の往復内部透過率 $I(d)$ が閾値 Th_1 以上となり、かつ表面層 S_a と隣接下層 S_b とを合わせた層の往復内部透過率 $I_{ab}(d)$ が閾値 Th_1 以下となる分光波長範囲 R_{s1} を設定する。一例として、分光器101の設計者は、上述したように、往復内部透過率 $I_a(1)$ が閾値 Th_1 になるときの波長 λ_a と、往復内部透過率 $I_{ab}(21)$ が閾値 Th_1 になるときの波長 λ_b との間の波長範囲内において、分光波長範囲 R_{s1} を設定する。

[0074] たとえば、分光器101の設計者は、対応情報 X_1 、 X_2 に基づいて、表面層 S_a の往復内部透過率 $I_a(d)$ が厚み算出装置201におけるノイズレベル以上であり、表面層 S_a および隣接下層 S_b を合わせた往復内部透過率 $I_{ab}(d)$ が厚み算出装置201におけるノイズレベル以下であり、かつFFT解析に十分な数の表面層 S_a の干渉波数が得られる分光波長範囲 R_{s1} を設定する。すなわち、表面層 S_a および隣接下層 S_b を合わせた往復内部透過率 $I_{ab}(d)$ が、表面層 S_a から得られる干渉波形をFFT解析したパワースペクトルに影響を与えないレベルの干渉波形しか得られないような分光波長範囲 R_{s1} を設定する。

[0075] 図12から図14は、本発明の第1の実施の形態に係る厚み測定システム

において生成される反射率スペクトルSRを示している。図12から図14は、表面層Saの厚み範囲Rthに基づいて設定された、650nm以上であり、かつ800nm以下の分光波長範囲Rs1を有する分光器101を備える厚み測定システム301において生成される反射率スペクトルSRを示している。図12から図14において、横軸は波長[nm]であり、縦軸は反射率である。図12から図14は、それぞれ、上述した対象試料P1、P2、P3の反射率スペクトルSRを示している。

[0076] 図15から図17は、本発明の第1の実施の形態に係る厚み測定システムにおいて生成されるパワースペクトルを示している。図15から図17において、横軸は厚み[μm]であり、縦軸は強度である。図15から図17は、それぞれ、図12から図14に示す反射率スペクトルSRのパワースペクトルを示している。

[0077] 図15から図17を参照して、厚み測定システム301は、対象試料P1の表面層Saの厚みを正確に測定することができる。

[0078] より詳細には、厚み測定システム301により生成される対象試料P1のパワースペクトルにおいて、強度の最大値に対応する厚みは約1 μm である。したがって、厚み測定システム301による表面層Saの厚みの測定結果は、実際の表面層Saの厚みとほぼ等しい値となる。

[0079] また、厚み測定システム301により生成される対象試料P2のパワースペクトルにおいて、強度の最大値に対応する厚みは約10 μm である。したがって、厚み測定システム301による表面層Saの厚みの測定結果は、実際の表面層Saの厚みとほぼ等しい値となる。

[0080] また、厚み測定システム301により生成される対象試料P3のパワースペクトルにおいて、強度の最大値に対応する厚みは約20 μm である。したがって、厚み測定システム301による表面層Saの厚みの測定結果は、実際の表面層Saの厚みとほぼ等しい値となる。

[0081] 図18は、本発明の第1の実施の形態に係る厚み測定システムにおける分光器の製造方法を示すフローチャートである。分光器101の設計者は、仕

様決定の為に、以下のような処理を行う。

- [0082] 図18を参照して、まず、分光器101の設計者は、表面層S_aおよび隣接下層S_bを構成する材料であるシリコンの消衰係数を取得する（ステップS11）。
- [0083] 次に、分光器101の設計者は、測定対象である表面層S_aの厚み範囲R_{t h}、および隣接下層S_bの厚みの設計値を取得する（ステップS12）。
- [0084] 次に、分光器101の設計者は、消衰係数および厚み範囲R_{t h}に基づいて、表面層S_aへ入射する光の波長と、当該表面層S_aの往復内部透過率I_a(d)との対応関係を示す対応情報X1を作成する。対応情報X1は、FFT解析に十分な数の表面層S_aの干渉波数が得られる波長範囲、ならびに分光器分解能を示す情報である。たとえば、分光器101の設計者は、厚み範囲R_{t h}の下限値における表面層S_aの往復内部透過率I_a(1)と、厚み範囲R_{t h}の上限値における表面層S_aの往復内部透過率I_a(20)とを算出する（ステップS13）。
- [0085] 次に、分光器101の設計者は、消衰係数、厚み範囲R_{t h}および隣接下層S_bの厚みに基づいて、表面層S_aへ入射する光の波長と、表面層S_aおよび隣接下層S_bを合わせた層の往復内部透過率I_{a b}(d)との対応関係を示す対応情報X2を作成する。たとえば、分光器101の設計者は、厚み範囲R_{t h}の下限値における表面層S_aおよび隣接下層S_bを合わせた往復内部透過率I_{a b}(21)と、厚み範囲R_{t h}の上限値における表面層S_aおよび隣接下層S_bを合わせた往復内部透過率I_{a b}(40)とを算出する（ステップS14）。
- [0086] 次に、分光器101の設計者は、対応情報X1、X2に基づいて、厚み範囲R_{t h}において、表面層S_aの往復内部透過率I_a(d)が閾値Th1以上となり、かつ表面層S_aと隣接下層S_bとを合わせた層の往復内部透過率I_{a b}(d)が閾値Th1以下の数値範囲となる分光波長範囲R_{s 1}を設定する。より詳細には、分光器101の設計者は、表面層S_aの厚みが厚み範囲R_{t h}の最大値である場合において往復内部透過率I_a(d)が閾値Th

1 になるときの波長 λ_a と、表面層 S_a の厚みが厚み範囲 R_{th} の最小値である場合において往復内部透過率 $I_{ab}(d)$ が閾値 T_{h1} になるときの波長 λ_b との間の波長範囲内において、分光波長範囲 R_{s1} を設定する（ステップ S_{15} ）。

[0087] たとえば、分光器101の設計者は、ステップ S_{14} において、往復内部透過率 $I_a(d)$ が厚み算出装置201におけるノイズレベル以上であり、かつ表面層 S_a および隣接下層 S_b を合わせた往復内部透過率 $I_{ab}(d)$ が厚み算出装置201におけるノイズレベル以下となる、という条件を満たす分光波長範囲 R_{s1} を設定する。なお、分光器101の設計者は、厚み測定システム301の仕様上許容される場合、当該条件を満たさない分光波長範囲 R_{s1} を設定してもよい。

[0088] また、たとえば、分光器101の設計者は、ステップ S_{14} において、表面層 S_a の往復内部透過率 $I_a(d)$ が厚み算出装置201におけるノイズレベル以上となる波長 λ_a と、表面層 S_a および隣接下層 S_b を合わせた往復内部透過率 $I_{ab}(d)$ が測定装置検出部ノイズ以下になる波長 λ_b との間において、分光波長範囲 R_{s1} を設定する。なお、分光器101の設計者は、厚み測定システム301の仕様上許容される場合、当該波長 λ_a 、 λ_b の間の範囲を超える分光波長範囲 R_{s1} を設定してもよい。

[0089] また、たとえば、分光器101の設計者は、ステップ S_{14} において、表面層 S_a の干渉波形をFFT解析したパワースペクトルが、隣接下層 S_b の干渉波形をFFT解析したパワースペクトル、ならびに表面層 S_a および隣接下層 S_b を合わせた層の干渉波形をFFT解析したパワースペクトルと比較して、所定の選択条件に従って充分に選択可能である、という条件を満たす分光波長範囲 R_{s1} を設定する。なお、分光器101の設計者は、厚み測定システム301の仕様上許容される場合、当該条件を満たさない分光波長範囲 R_{s1} を設定してもよい。

[0090] また、たとえば、分光器101の設計者は、ステップ S_{14} において、表面層 S_a の厚みが厚み範囲 R_{th} の下限值であると仮定した場合において、

表面層 S a の干渉波形のレベルが厚み算出装置 2 0 1 におけるノイズレベル以上となる波長範囲において、解析に十分な数の干渉波数が得られる波長範囲および分解能を満たしており、かつ表面層 S a の厚みが厚み範囲 R t h の上限値であると仮定した場合において、表面層 S a の干渉波形のレベルが厚み算出装置 2 0 1 におけるノイズレベル以上となる波長範囲において、解析に十分な数の干渉波数が得られる波長範囲および分解能である、という条件を満たす分光波長範囲 R s 1 および分解能を設定する。なお、分光器 1 0 1 の設計者は、厚み測定システム 3 0 1 の仕様上許容される場合、当該条件を満たさない分光波長範囲 R s 1 を設定してもよい。

[0091] なお、本発明の第 1 の実施の形態に係る分光器 1 0 1 では、分光部 1 2 の分光波長範囲 R s 1 は、往復内部透過率 I a (d) が閾値 T h 1 になるときの波長 λa と、往復内部透過率 I a b (d) が閾値 T h 1 になるときの波長 λb との間の波長範囲内において設定される構成であるとしたが、これに限定するものではない。分光波長範囲 R s 1 は、厚み測定システム 3 0 1 の仕様上許容される場合、波長 λa よりも低い波長を含んでもよい。

[0092] 次に、本発明の他の実施の形態について図面を用いて説明する。なお、図中同一または相当部分には同一符号を付してその説明は繰り返さない。

[0093] <第 2 の実施の形態>

本実施の形態は、第 1 の実施の形態に係る厚み測定システム 3 0 1 と比べて、反射率スペクトル S R の生成に用いる反射光スペクトル S L の波長範囲を制限する厚み測定システム 3 0 2 に関する。以下で説明する内容以外は第 1 の実施の形態に係る厚み測定システム 3 0 1 と同様である。

[0094] 図 1 9 は、本発明の第 2 の実施の形態に係る厚み測定システムの構成を示す図である。図 1 9 を参照して、厚み測定システム 3 0 2 は、厚み測定システム 3 0 1 と比べて、分光器 1 0 1 の代わりに分光器 1 0 2 を備え、厚み算出装置 2 0 1 の代わりに厚み算出装置 2 0 2 を備える。

[0095] 分光器 1 0 2 は、対象試料 P からの反射光を分光することにより、分光波長範囲 R s 2 における反射光スペクトル S L を生成する。分光波長範囲 R s

2は、厚み測定システム301における分光器101の分光波長範囲 R_{s1} を含む、分光波長範囲 R_{s1} よりも広い波長範囲である。すなわち、分光波長範囲 R_{s1} が仮に650nm~800nmの範囲である場合、分光波長範囲 R_{s2} はたとえば500nm~1200nmの範囲である。分光器102は、生成した反射光スペクトル S_L を厚み算出装置202へ出力する。

[0096] 図20は、本発明の第2の実施の形態に係る厚み算出装置の構成を示す図である。図20を参照して、厚み算出装置202は、厚み算出装置201と比べて、生成部22の代わりに生成部24を備える。

[0097] 生成部24は、表面層 S_a の往復内部透過率 $I_a(d)$ が閾値 T_{h1} 以上となり、かつ表面層 S_a と隣接下層 S_b とを合わせた層の往復内部透過率 $I_{ab}(d)$ が閾値 T_{h1} 以下となる波長範囲 R_r における反射率スペクトル S_R を生成する。たとえば、波長範囲 R_r は、第1の実施の形態において説明した分光波長範囲 R_{s1} と同じ波長範囲である。

[0098] より詳細には、生成部24は、受信部21から受けた反射光スペクトル S_L から、波長範囲 R_r における反射光スペクトル S_{Lp} を抽出する。生成部24は、反射光スペクトル S_{Lp} を、対象試料 P へ照射される光の波長範囲 R_r における照射光スペクトルで除することにより、反射率スペクトル S_{Rp} を生成する。生成部24は、生成した反射率スペクトル S_{Rp} を算出部23へ出力する。

[0099] 算出部23は、生成部24により生成された反射率スペクトル S_{Rp} に基づいて、表面層 S_a の厚みを算出する。これにより、厚み測定システム302は、厚み測定システム301と同様に、対象試料 $P1$ の表面層 S_a の厚みを正確に測定することができる。

[0100] 本発明の実施の形態に係る厚み算出装置は、メモリを含むコンピュータを備え、当該コンピュータにおけるCPU等のプロセッサは、以下のフローチャートおよびシーケンスの各ステップの一部または全部を含むプログラムを当該メモリから読み出して実行する。この装置のプログラムは、外部からインストールすることができる。この装置のプログラムは、記録媒体に格納さ

れた状態でまたは通信回線を介して流通する。

- [0101] 図21は、本発明の第2の実施の形態に係る厚み算出装置が表面層の厚みの算出を行う際の動作手順の一例を定めたフローチャートである。
- [0102] 図21を参照して、まず、厚み算出装置202は、対象試料Pの表面層Sa側から照射された光の対象試料Pからの反射光スペクトルSLを分光器101から受信する（ステップS21）。
- [0103] 次に、厚み算出装置202は、反射光スペクトルSLに基づいて、表面層Saの往復内部透過率Ia(d)が閾値Th1以上となり、かつ表面層Saと隣接下層Sbとを合わせた層の往復内部透過率Iab(d)が閾値Th1以下となる波長範囲Rrにおける反射率スペクトルSRpを生成する（ステップS22）。
- [0104] 次に、厚み算出装置202は、反射率スペクトルSRpに基づいて、表面層Saの厚みを算出する（ステップS23）。
- [0105] 上記実施の形態は、すべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は、上記説明ではなく請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

符号の説明

- [0106] 11 スリット
12 分光部
12A 回折格子
12B 検出部
12C コリメートミラー
12D フォーカスミラー
21 受信部
22, 24 生成部
23 算出部
50 光源

60 マクロ光学系
61 Y型光ファイバ
61A, 61B 分岐部
62 プローブ
101, 102 分光器
201, 202 厚み算出装置
301, 302 厚み測定システム
P 対象試料
Pm 主表面
Sa 表面層
Sb 下層
 $\lambda a, \lambda b, \lambda c$ 波長
Th1 閾値
I(1), I(20), I(21) 往復内部透過率
Rs1 分光波長範囲

請求の範囲

- [請求項1] 表面層と下層とが積層された多層構造の対象試料における、前記表面層の厚みの測定に用いられる分光器であって、
前記対象試料の前記表面層側から照射された光の前記対象試料からの反射光を受光する受光部と、
前記反射光を分光することにより反射光スペクトルを生成する分光部とを備え、
前記分光部は、前記表面層の往復内部透過率が所定の下限值以上となり、かつ前記表面層と前記下層とを合わせた層の往復内部透過率が所定の上限値以下となる分光波長範囲における前記反射光スペクトルを生成する、分光器。
- [請求項2] 前記分光部は、前記表面層の厚み範囲において、前記表面層の往復内部透過率が所定の閾値以上であり、かつ前記表面層と前記下層とを合わせた層の往復内部透過率が前記閾値以下となる前記分光波長範囲における前記反射光スペクトルを生成する、請求項1に記載の分光器。
- [請求項3] 前記表面層は、シリコン層であり、
前記分光部は、650nm以上であり、かつ800nm以下の前記分光波長範囲における前記反射光スペクトルを生成する、請求項1または請求項2に記載の分光器。
- [請求項4] 請求項1から請求項3のいずれか1項に記載の分光器と、
光源からの光を前記対象試料の前記表面層側から照射し、かつ照射した光の前記対象試料からの前記反射光を前記分光器へ導くマクロ光学系とを備える、厚み測定システム。
- [請求項5] 表面層と下層とが積層された多層構造の対象試料における、前記表面層の厚みの測定に用いられる厚み算出装置であって、
前記対象試料の前記表面層側から照射された光の前記対象試料からの反射光の反射光スペクトルを取得する取得部と、

前記取得部により取得された前記反射光スペクトルに基づいて、前記対象試料の反射率スペクトルを生成する生成部と、

前記生成部により生成された前記反射率スペクトルに基づいて、前記表面層の厚みを算出する算出部とを備え、

前記生成部は、前記表面層の往復内部透過率が所定の下限値以上となり、かつ前記表面層と前記下層とを合わせた層の往復内部透過率が所定の上限値以下となる波長範囲における前記反射率スペクトルを生成する、厚み算出装置。

[請求項6] 前記生成部は、前記表面層の厚み範囲において、前記表面層の往復内部透過率が所定の閾値以上であり、かつ前記表面層と前記下層とを合わせた層の往復内部透過率が前記閾値以下となる前記波長範囲における前記反射率スペクトルを生成する、請求項5に記載の厚み算出装置。

[請求項7] 表面層と下層とが積層された多層構造の対象試料における、前記表面層の厚みの測定に用いられる分光器の製造方法であって、

波長と前記表面層の往復内部透過率との対応関係を示す第1の対応情報を取得するステップと、

波長と、前記表面層および前記下層を合わせた層の往復内部透過率との対応関係を示す第2の対応情報を取得するステップと、

取得した前記第1の対応情報および前記第2の対応情報に基づいて、前記対象試料の前記表面層側から照射された光の前記対象試料からの反射光を分光する前記分光器の分光波長範囲を設定するステップとを含み、

前記分光波長範囲を設定するステップにおいては、前記表面層の往復内部透過率が所定の下限値以上となり、かつ前記表面層と前記下層とを合わせた層の往復内部透過率が所定の上限値以下となる前記分光波長範囲を設定する、分光器の製造方法。

[請求項8] 前記分光器の製造方法は、さらに、

前記表面層の厚み範囲を取得するステップを含み、

前記分光波長範囲を設定するステップにおいては、前記表面層の厚みが前記厚み範囲の最大値である場合において前記表面層の往復内部透過率が所定の閾値になるときの波長である第1波長と、前記表面層の厚みが前記厚み範囲の最小値である場合において前記表面層と前記下層とを合わせた層の往復内部透過率が前記閾値になるときの波長である第2波長との間の波長範囲内において、前記分光波長範囲を設定する、請求項7に記載の分光器の製造方法。

[請求項9]

表面層と下層とが積層された多層構造の対象試料における、前記表面層の厚みの測定に用いられる厚み算出装置における厚み算出方法であって、

前記対象試料の前記表面層側から照射された光の前記対象試料からの反射光の反射光スペクトルを取得するステップと、

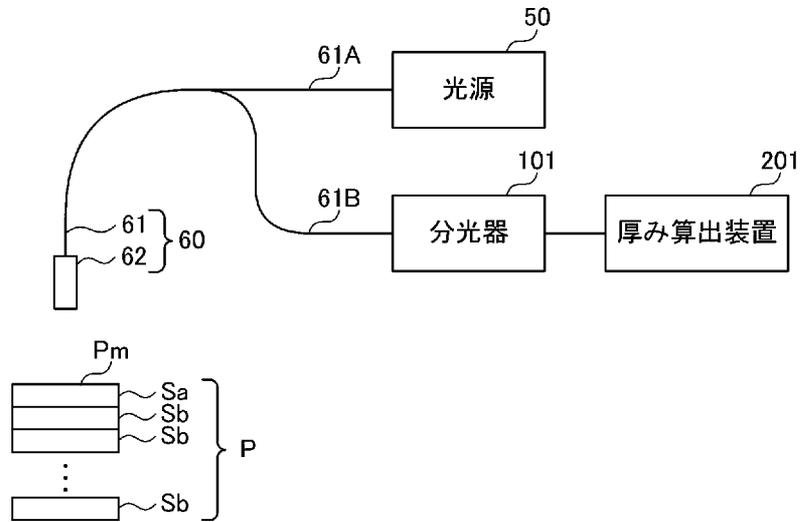
取得した前記反射光スペクトルに基づいて、前記対象試料の反射率スペクトルを生成するステップと、

生成した前記反射率スペクトルに基づいて、前記表面層の厚みを算出するステップとを含み、

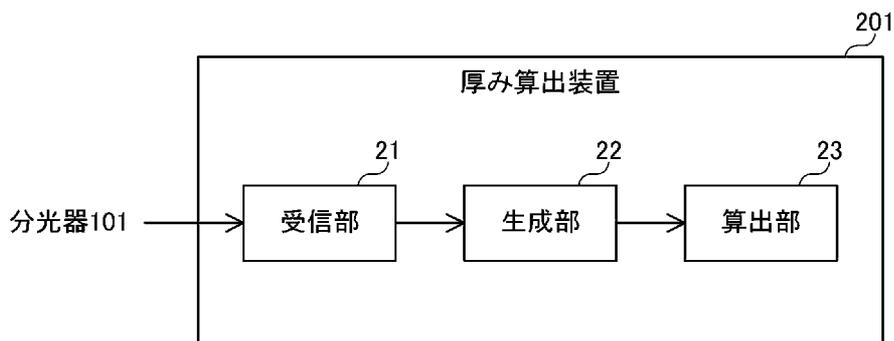
前記反射率スペクトルを生成するステップにおいては、前記表面層の往復内部透過率が所定の下限値以上となり、かつ前記表面層と前記下層とを合わせた層の往復内部透過率が所定の上限値以下となる波長範囲における前記反射率スペクトルを生成する、厚み算出方法。

[図1]

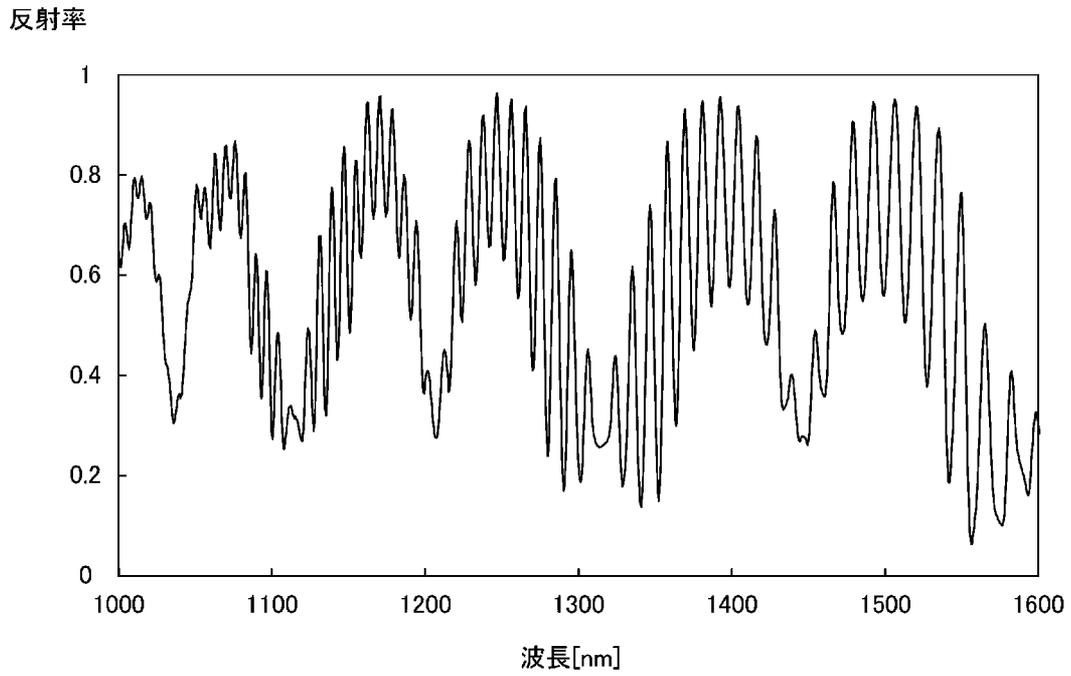
301



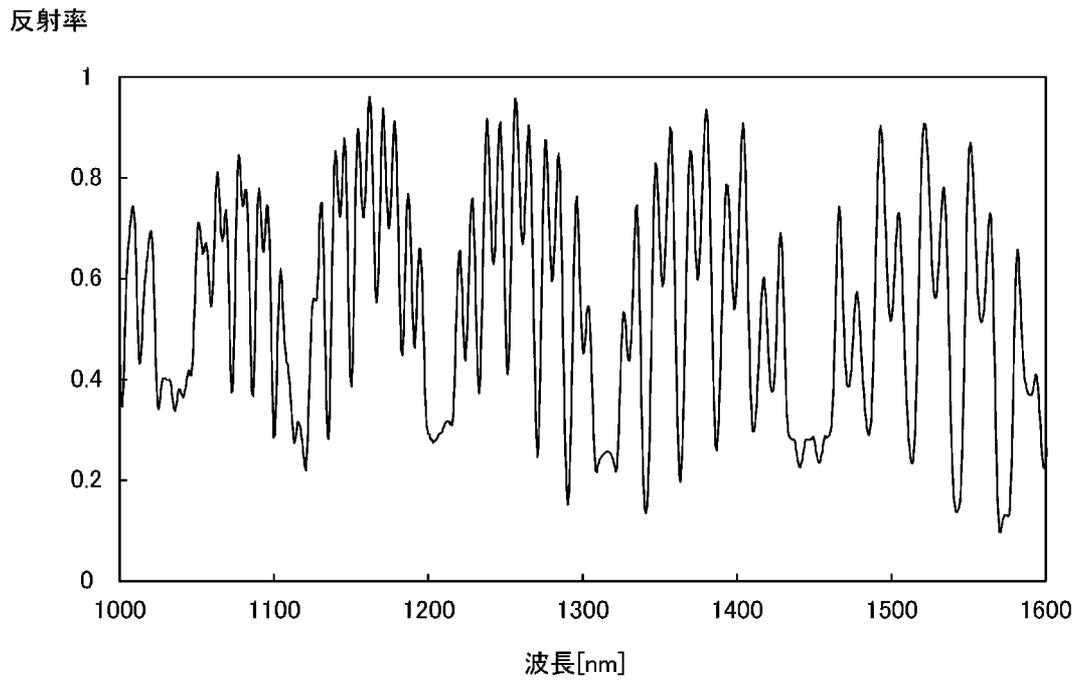
[図2]



[図3]

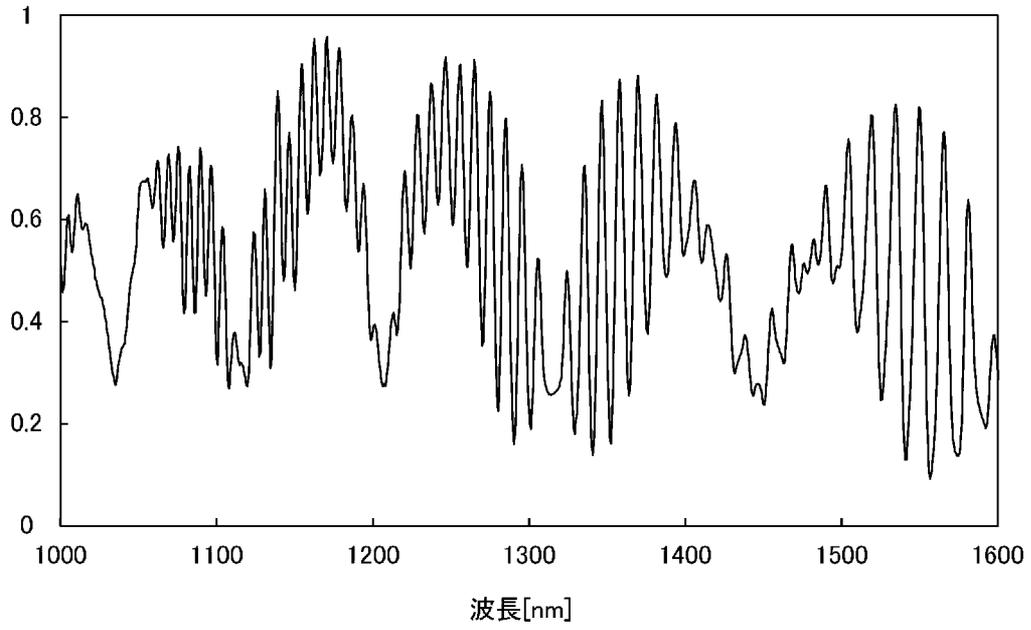


[図4]



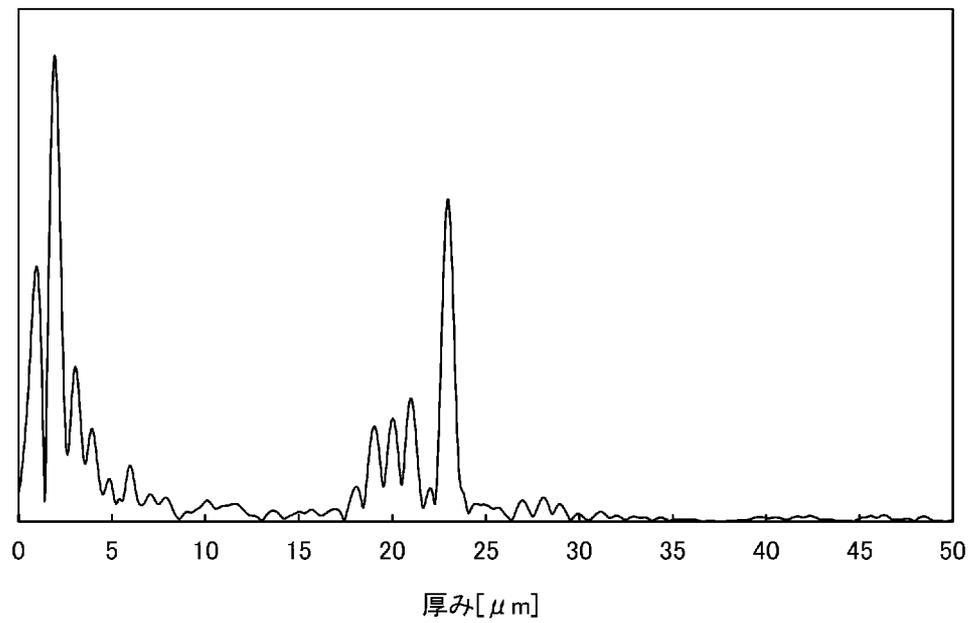
[図5]

反射率



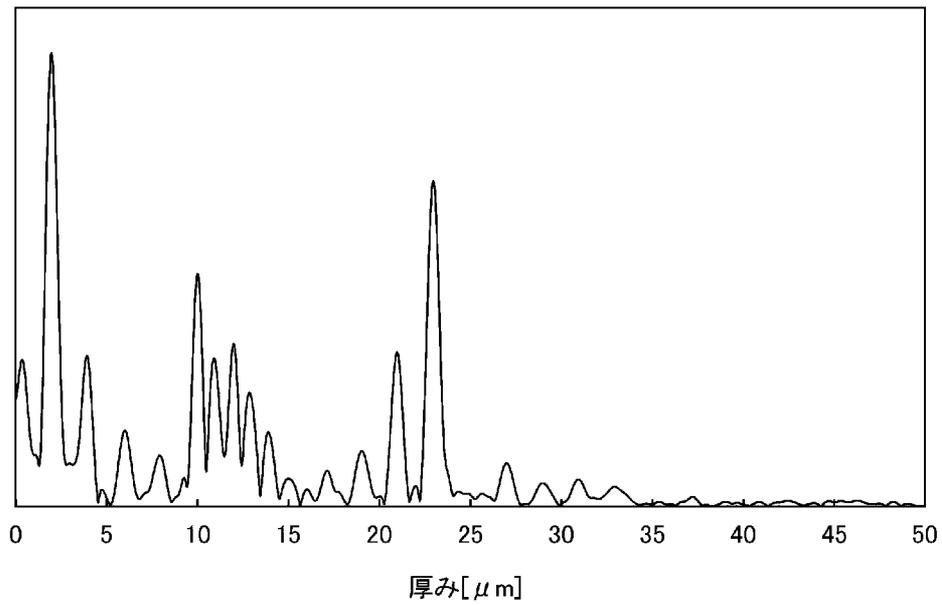
[図6]

強度



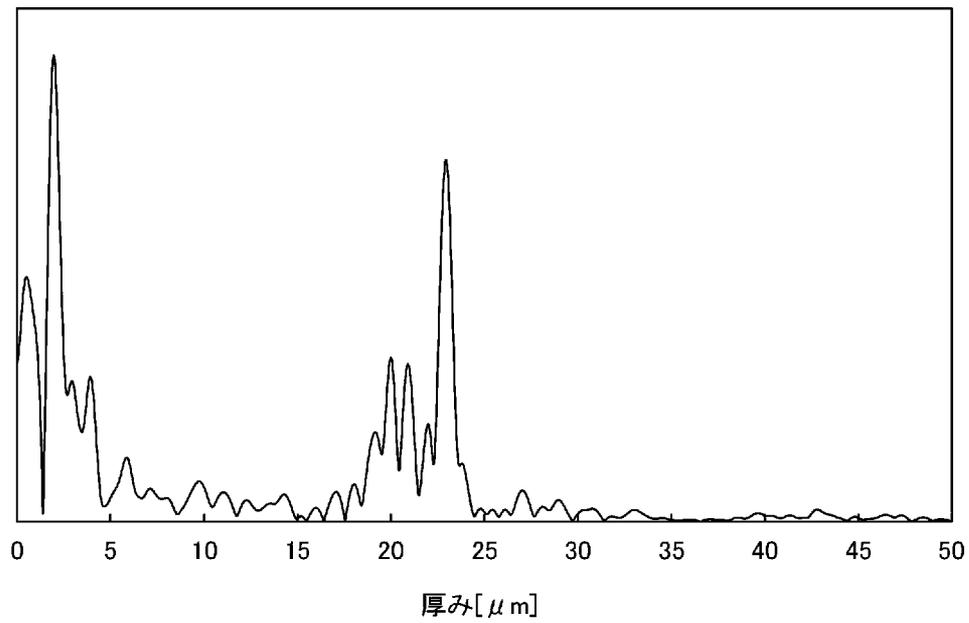
[図7]

強度

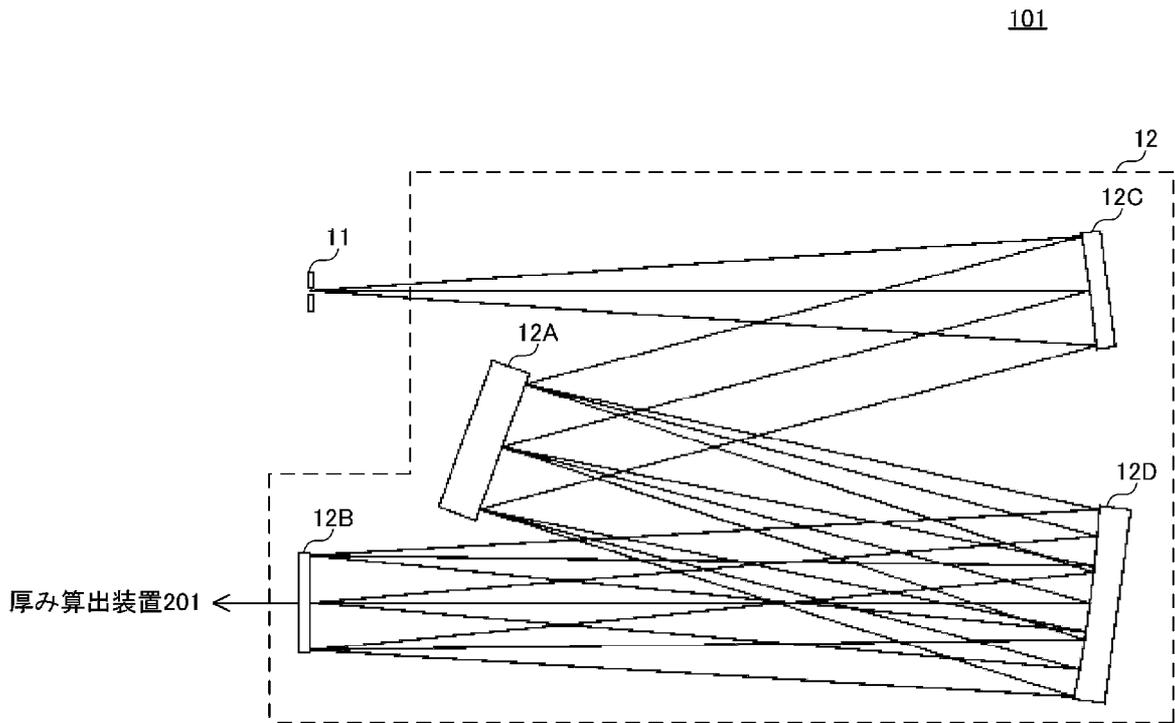


[図8]

強度

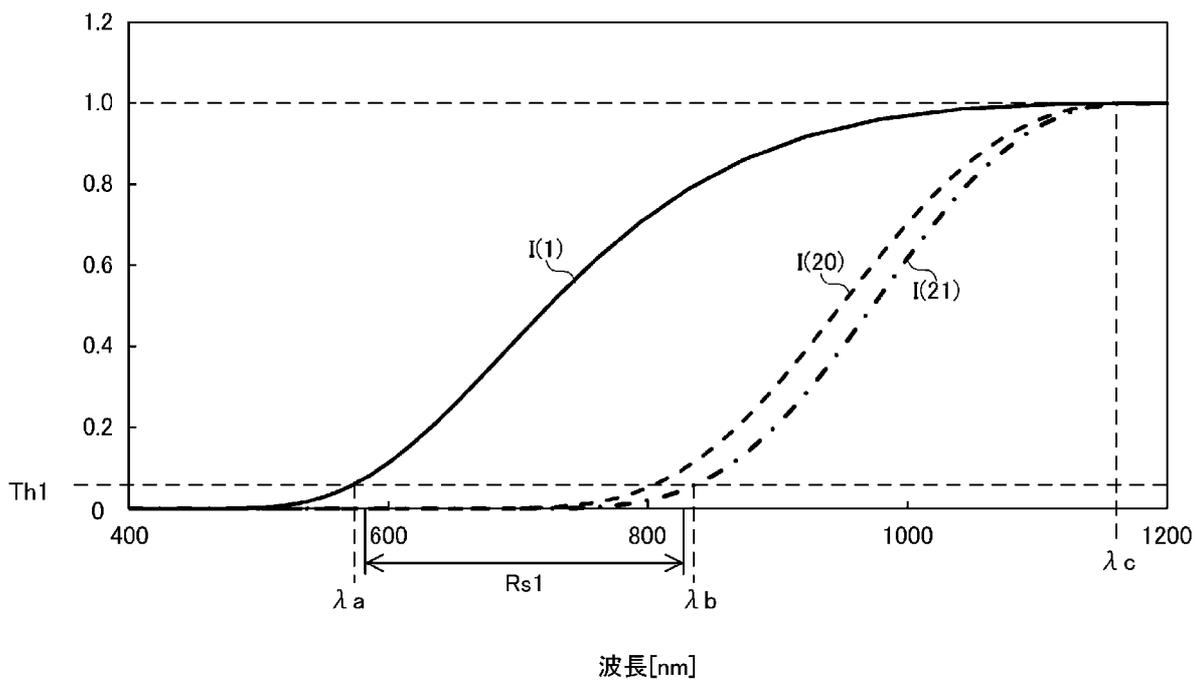


[図9]



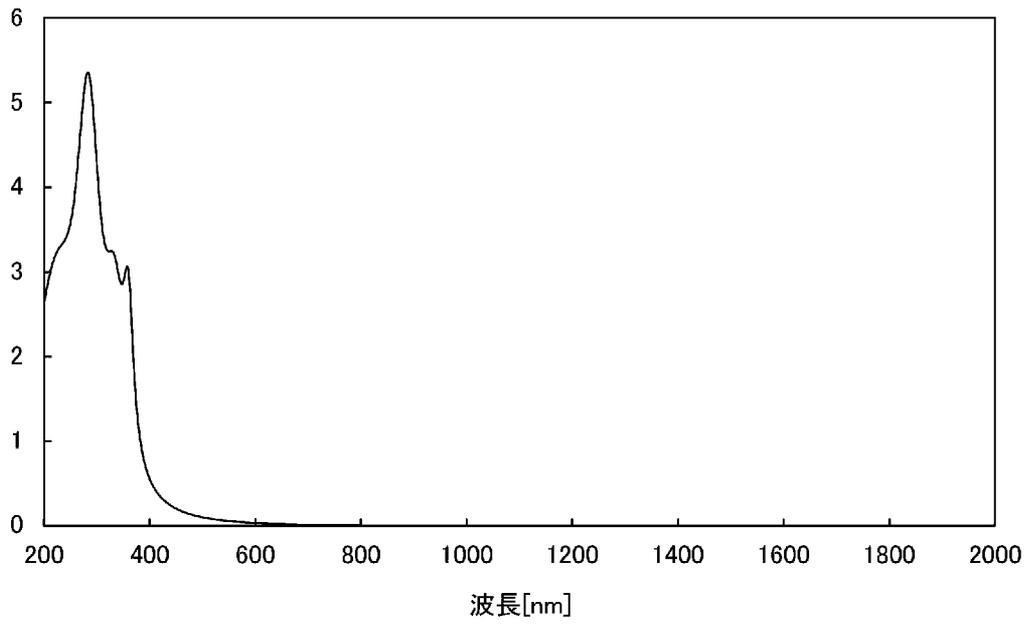
[図10]

往復内部透過率



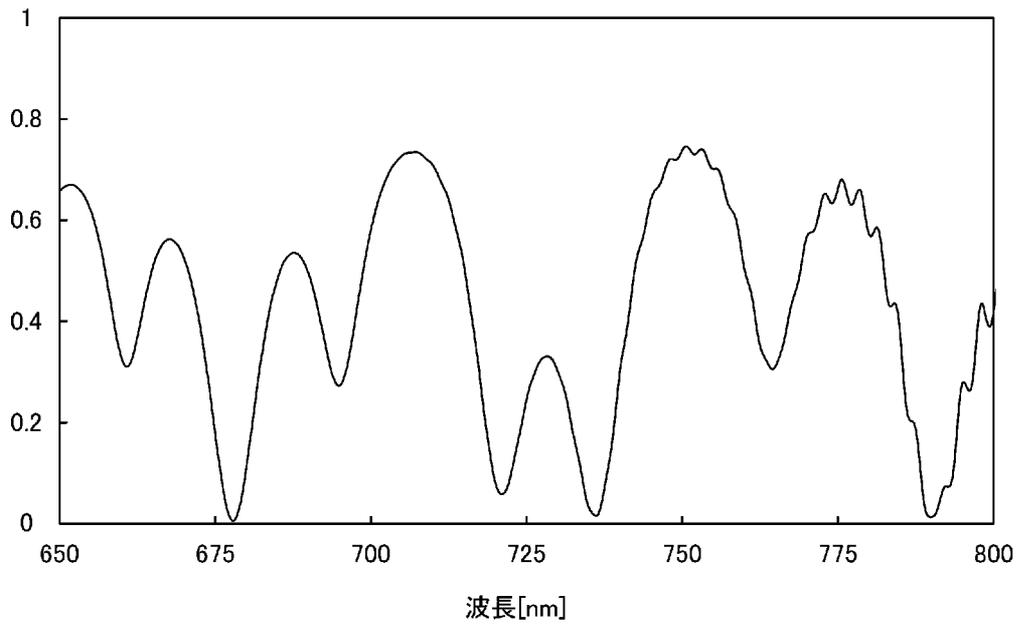
[図11]

消衰係数

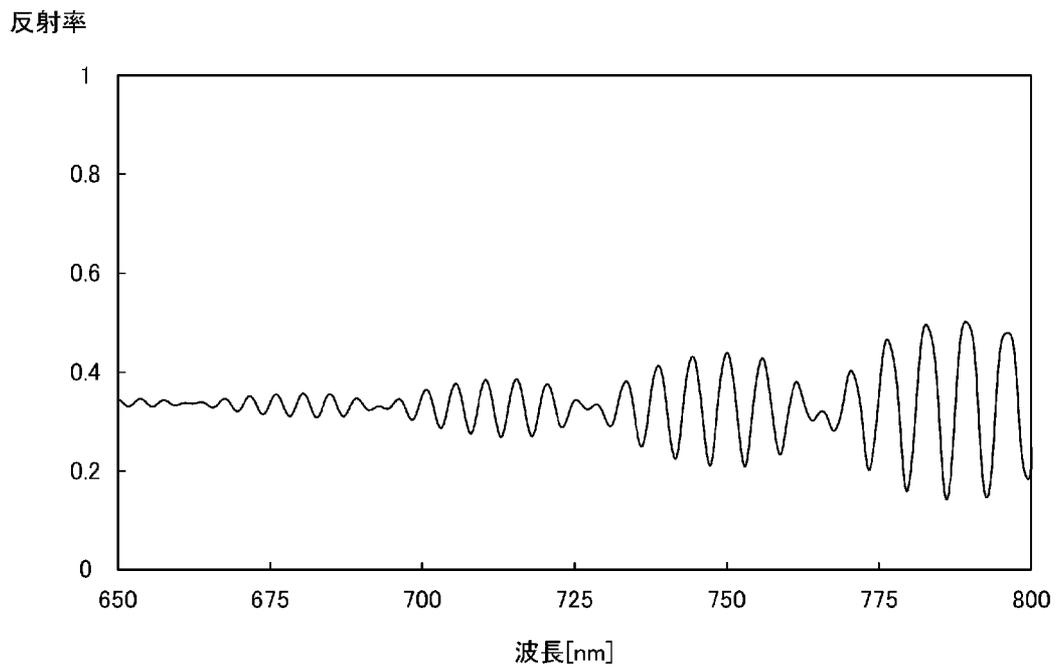


[図12]

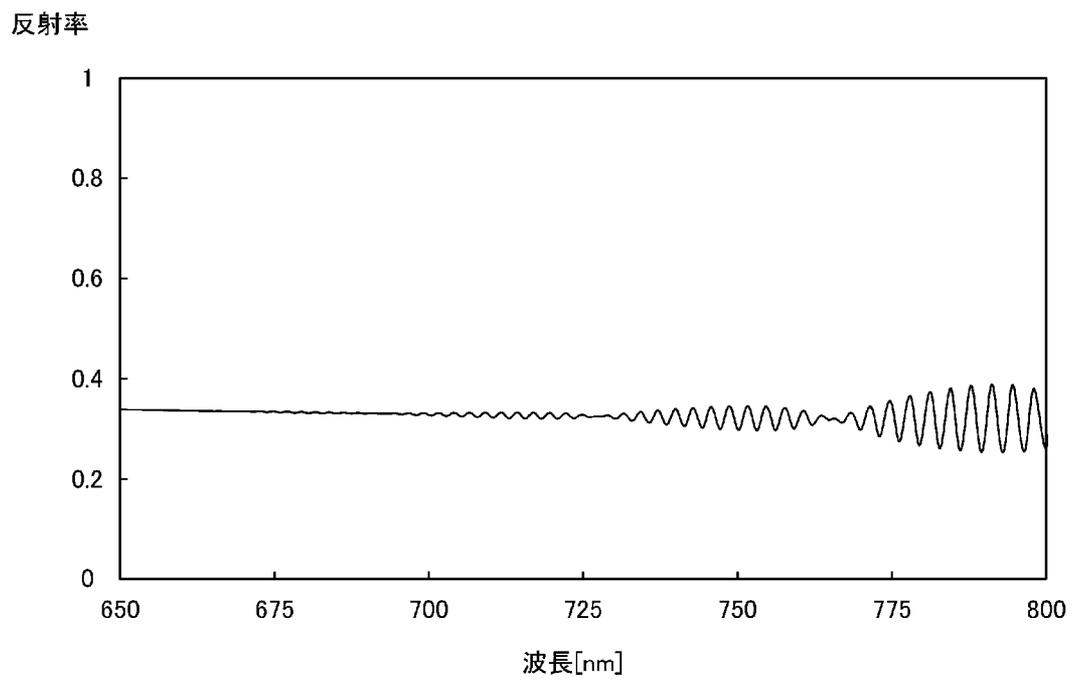
反射率



[図13]

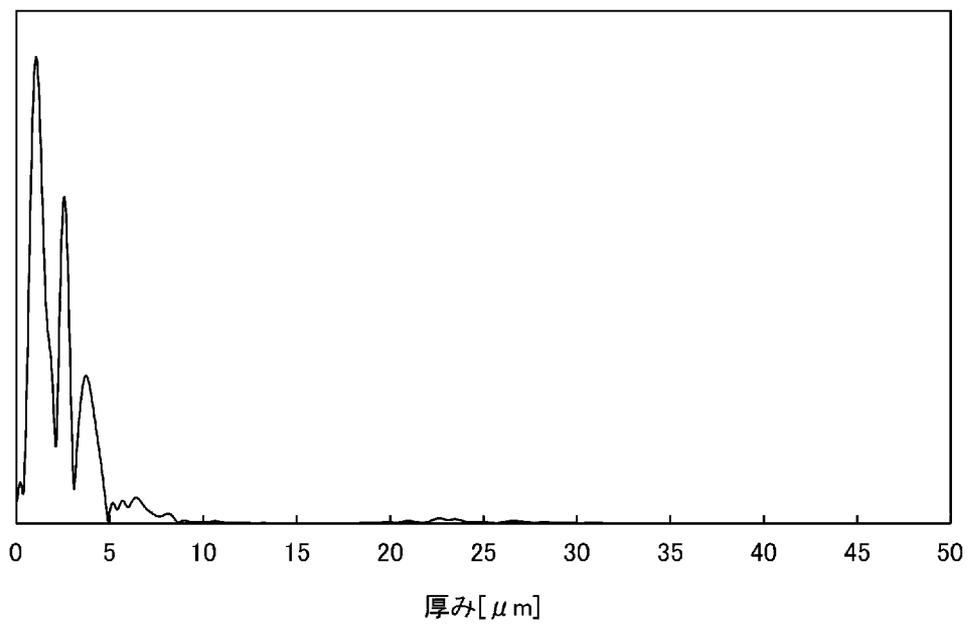


[図14]



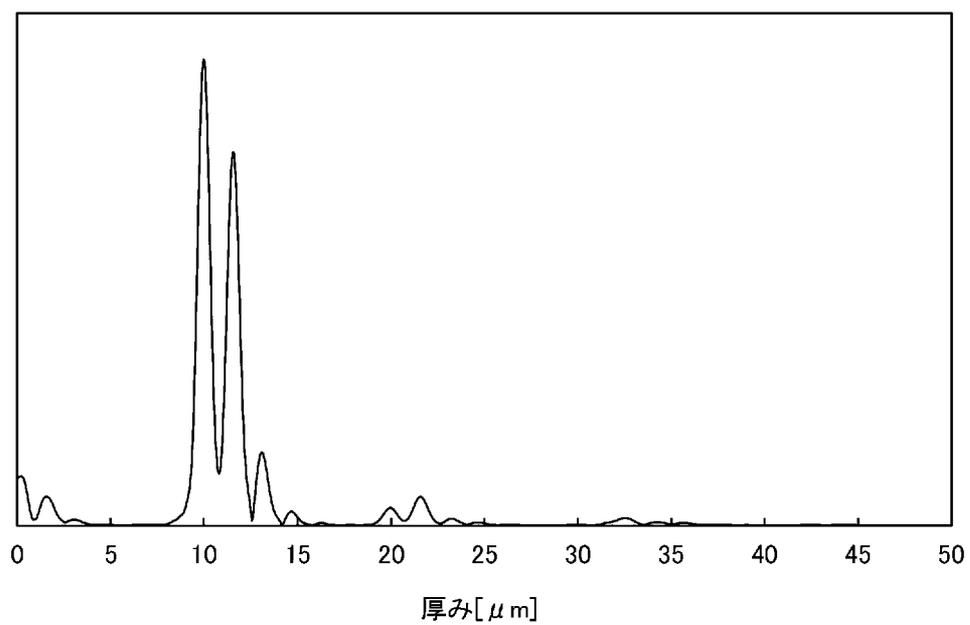
[図15]

強度



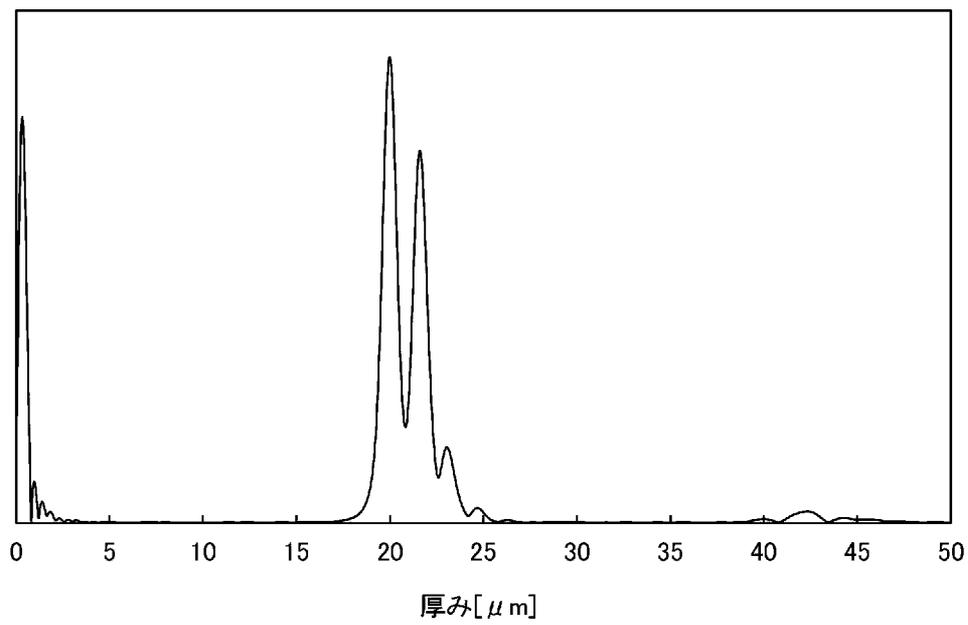
[図16]

強度

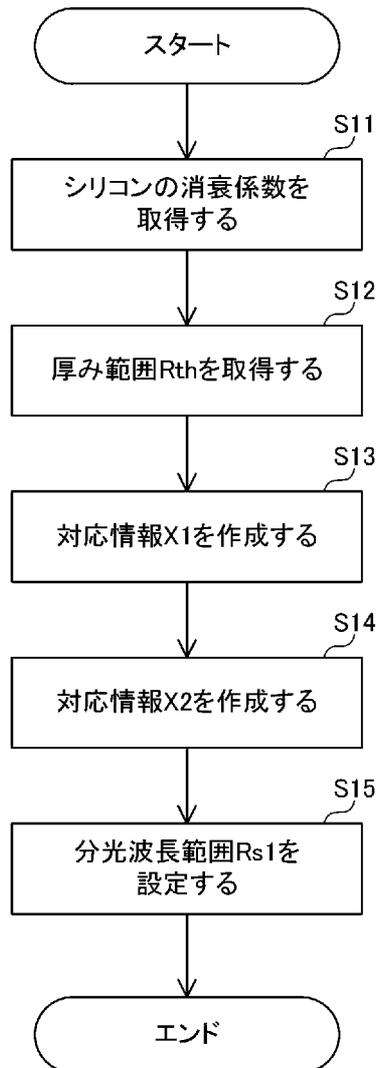


[図17]

強度

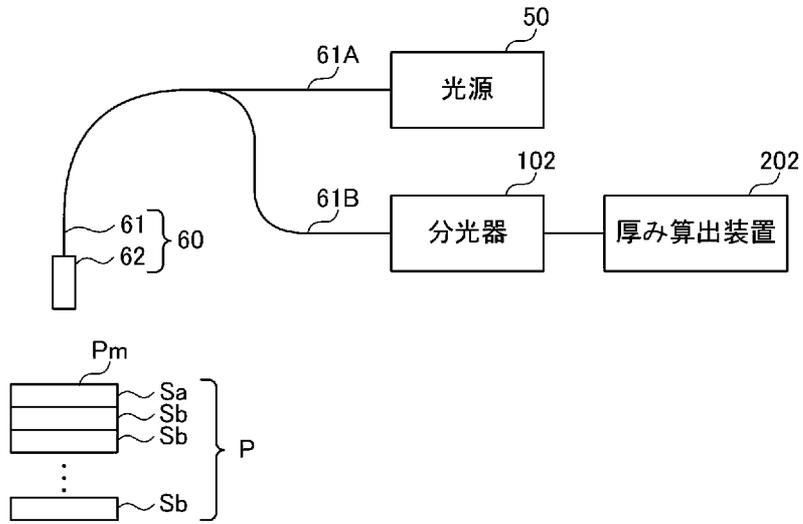


[図18]

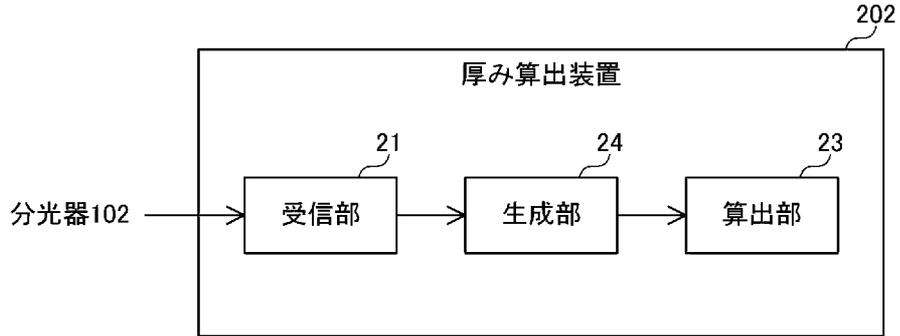


[図19]

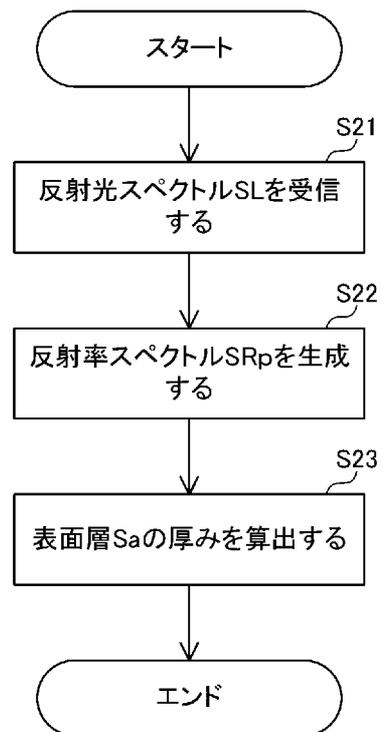
302



[図20]



[図21]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/030153

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<i>G01B 11/06</i> (2006.01) FI: G01B11/06 G		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G01B11/06		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Published examined utility model applications of Japan 1922-1996 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2023 Registered utility model specifications of Japan 1996-2023 Published registered utility model applications of Japan 1994-2023		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	JP 7-55435 A (DAINIPPON SCREEN MFG CO., LTD.) 03 March 1995 (1995-03-03) paragraphs [0022], [0025], [0027], [0033], fig. 1	1-6, 9 7, 8
A	JP 2009-139360 A (RICOH COMPANY, LTD.) 25 June 2009 (2009-06-25) entire text, all drawings	1-9
A	JP 2014-55780 A (OTSUKA DENSHI CO., LTD.) 27 March 2014 (2014-03-27) entire text, all drawings	1-9
A	JP 2008-286583 A (OTSUKA DENSHI CO., LTD.) 27 November 2008 (2008-11-27) entire text, all drawings	1-9
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>“&” document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search 02 November 2023		Date of mailing of the international search report 21 November 2023
Name and mailing address of the ISA/JP Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2023/030153

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	7-55435	A	03 March 1995	US 5440141 A column 7, line 26 - column 8, line 68	
				EP 639753 A2	
JP	2009-139360	A	25 June 2009	(Family: none)	
JP	2014-55780	A	27 March 2014	KR 10-2014-0034694 A entire text, all drawings	
JP	2008-286583	A	27 November 2008	US 2008/0285026 A1 entire text, all drawings	
				KR 10-2008-0101714 A	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G01B 11/06(2006.01)i FI: G01B11/06 G		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） G01B11/06 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922 - 1996年 日本国公開実用新案公報 1971 - 2023年 日本国実用新案登録公報 1996 - 2023年 日本国登録実用新案公報 1994 - 2023年		
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	JP 7-55435 A (大日本スクリーン製造株式会社) 03.03.1995 (1995 - 03 - 03) 段落22, 25, 27, 33, 図1	1-6, 9
A		7, 8
A	JP 2009-139360 A (株式会社リコー) 25.06.2009 (2009 - 06 - 25) 全文全図	1-9
A	JP 2014-55780 A (大塚電子株式会社) 27.03.2014 (2014 - 03 - 27) 全文全図	1-9
A	JP 2008-286583 A (大塚電子株式会社) 27.11.2008 (2008 - 11 - 27) 全文全図	1-9
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献 “T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日	
02.11.2023	21.11.2023	
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 信田 昌男 2S 8530 電話番号 03-3581-1101 内線 3216	

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2023/030153

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 7-55435 A	03.03.1995	US 5440141 A 7欄26行～8欄68行 EP 639753 A2	
JP 2009-139360 A	25.06.2009	(ファミリーなし)	
JP 2014-55780 A	27.03.2014	KR 10-2014-0034694 A 全文全図	
JP 2008-286583 A	27.11.2008	US 2008/0285026 A1 全文全図 KR 10-2008-0101714 A	