

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4455130号
(P4455130)

(45) 発行日 平成22年4月21日(2010.4.21)

(24) 登録日 平成22年2月12日(2010.2.12)

(51) Int.Cl.

G01N 21/27 (2006.01)

F 1

G01N 21/27

B

請求項の数 6 (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2004-113999 (P2004-113999)
 (22) 出願日 平成16年4月8日 (2004.4.8)
 (65) 公開番号 特開2005-300252 (P2005-300252A)
 (43) 公開日 平成17年10月27日 (2005.10.27)
 審査請求日 平成19年4月6日 (2007.4.6)

(73) 特許権者 000001007
 キヤノン株式会社
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
 (74) 代理人 100110412
 弁理士 藤元 亮輔
 (72) 発明者 三宅 明
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
 ャノン株式会社内

審査官 横井 亜矢子

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】分光光学特性計測方法及び分光光学特性計測システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

分光器によって波長分解された計測光を試料に照射し、該試料を経由した前記計測光の強度を検出して前記試料の分光光学特性を計測する方法において、

前記分光器において設定された設定波長と前記分光器から出射される前記計測光の波長との波長ずれを予め求めるステップと、

前記波長ずれが最小となる設定波長を選定するステップと、

該選定された設定波長の計測光で前記試料を経由した該計測光の強度を検出することで前記試料の分光光学特性を求めるステップとを有することを特徴とする分光光学特性計測方法。

【請求項 2】

前記波長ずれを予め求めるステップは、前記試料の分光光学特性を計測する際の前記分光器の波長分解能よりも高い波長分解能において前記計測光の波長分解を行うステップを含むことを特徴とする請求項 1 に記載の分光光学特性計測方法。

【請求項 3】

前記計測光が輝線スペクトルを有する光であって、前記選定された設定波長が実質的に該輝線スペクトルの波長を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の分光光学特性計測方法。

【請求項 4】

複数の前記選定された設定波長における前記試料の分光光学特性結果を用いて、波長補

間により前記選定された設定波長以外の波長における前記試料の分光光学特性を求めるステップをさらに有することを特徴とする請求項1に記載の分光光学特性計測方法。

【請求項 5】

前記分光光学特性は、反射率、透過率、光電子スペクトルのうち少なくともいずれか1であることを特徴とする請求項1に記載の分光光学特性計測方法。

【請求項 6】

計測光を射出する光源と、

前記計測光を設定波長に基づいて波長分解する分光器と、

波長分解されて前記分光器から出射される前記計測光を試料に向けて照射する光学系と

、
前記試料を経由した計測光の強度を検出する検出器と、

前記設定波長と前記分光器から出射される前記計測光の波長との波長ずれを算出し、前記波長ずれが最小となる設定波長を選定し、該選定された設定波長の計測光で前記試料を経由した該計測光の強度を検出することで前記試料の分光光学特性を求める制御部とを有することを特徴とする分光光学特性計測システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、分光光学特性計測方法及び分光光学特性計測システムに係り、特に輝線スペクトルを有する光源を用いてミラー等の光学素子の分光光学特性を計測する方法及びそのシステムに関する。本発明は、特に半導体露光装置に用いられるミラーの分光光学特性計測に好適である。

【背景技術】

【0002】

従来からミラー等の光学素子の分光光学特性（分光特性）を計測するシステムとして、図9に示すようなものが知られている。この分光光学特性計測システムは、大略レーザープラズマ光源101、回折格子分光器102、反射率計測室103を有して構成される。

【0003】

レーザープラズマ光源101はアルミニウム、銅、タンゲステン、金等の金属や非金属、高密度化されたガスや液体等からなるターゲットに短パルスレーザ光を集中してプラズマを発生させるものである。短パルスレーザ光によって励起された原子の電子準位間の遷移に伴い、その準位間のエネルギー差に相当するエネルギーの光子がプラズマから放射される。励起された原子は複数の電子準位を有するので、それらの準位間の遷移に伴って放射される光子のエネルギーは複数の離散的な値となる。したがって、光源から放射される光のスペクトルは輝線スペクトルと連続スペクトルが合成されたスペクトルとなる。

【0004】

回折格子分光器102は、内部に前置鏡104、入口スリット105、回折格子106、回折格子を回転させることにより光の波長を掃引する波長掃引機構107、出口スリット108、後置鏡109を有して構成される。

【0005】

回折格子106は凹面等間隔格子あるいは平面不等間隔格子であって、光の収束作用を有している。光源101から放射された光は分光器102によって単色化され、略単一の波長を有する光のみが反射率計測室103内の試料110に照射される。例えば、特定波長におけるこの試料110としてのミラーの反射率を計測する場合は、試料110に照射するその単波長の光の強度と試料110において反射されたその単波長の光の強度とを検出器を用いて計測する。そして両者の光強度の比を算出することにより、試料110の反射率とする。この場合、試料110に照射する光の強度を計測する検出器として、試料110からの反射光強度を計測するための検出器111を兼用してもよいし、図示しない他の検出器を用いてもよい。

【0006】

10

20

30

40

50

従来の分光光学特性計測装置として、例えば以下の非特許文献 1 に開示されたものがある。

【非特許文献 1】イー・エム・ガリソン (E.M.Gullikson)、ジェイ・エイチ・アンダーウッド (J.H.Underwood)、ピー・シー・バットソン (P.C.Batson)、ヴィー・ニキティン (V.Nikitin) 著、「ア ソフト エックス-レイ / イ-ユーヴィー リフレクトメーター ベイスト オン ア レーザー プロデュースド プラズマ ソース (A Soft X-Ray/EUV Reflectometer Based on a Laser Produced Plasma Source)」、ジャーナル オブ エックス-レイ サイエンス アンド テクノロジー (Journal of X-ray Science and Technology)、(米国)、1992年、第3巻、p. 283 - 299

【発明の開示】

10

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかしながら、従来の分光光学特性計測装置には例えば以下のようないわゆる問題があった。分光器は設定した単一の波長だけでなく、その設定波長近傍の波長の光をも通過させてしまう。この設定波長に対し通過可能な波長の幅を通過波長幅という。分光器の波長分解能は、(通過する光の中心波長) / (通過波長幅) で定義される。光源から放射される光の強度に波長依存性がない場合、試料に照射される光の平均波長 (= 通過する光の中心波長) は分光器の設定波長と一致する。光源から放射される光の強度に波長依存性がある場合 (例えば、光源が輝線スペクトルを有する場合) は、試料に照射される光の平均波長は分光器の設定波長と必ずしも一致しない。

20

【0008】

例えば、分光器を通過する光の波長帯域の中に 1 本の輝線が含まれた場合において、図 10 に示すように分光器の設定波長と輝線の波長とが一致しているならば、試料に照射される光の平均波長は分光器の設定波長に一致する。ところが図 11 に示すように、分光器の設定波長と輝線の波長とが一致していない場合には、試料に照射される光の平均波長は分光器の設定波長に一致しない。また、図 12 に示すように、分光器の通過波長幅内に光源の輝線が複数存在する場合、一般には、試料に照射される光の平均波長は分光器の設定波長と一致しない。したがって、このような場合には、試料の分光光学特性を正確に計測することが困難になってしまう。

【0009】

30

本発明は上記の事情に鑑みて為されたもので、例えば輝線スペクトルを有するような波長依存性の高い光源を用いた場合であっても、試料 (ミラー等の光学素子) の分光光学特性を高精度に計測することができる方法及びそのシステムを提供する。

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明の一側面としての分光光学特性計測方法は、分光器によって波長分解された計測光を試料に照射し、試料を経由した計測光の強度を検出して試料の分光光学特性を計測する方法において、分光器において設定された設定波長と分光器から出射される計測光の波長との波長ずれを予め求めるステップと、波長ずれが最小となる設定波長を選定するステップと、選定された設定波長の計測光で試料を経由した計測光の強度を検出することで試料の分光光学特性を求めるステップとを有することを特徴とする。波長ずれを予め求めるステップは、試料の分光光学特性を計測する際の分光器の波長分解能よりも高い波長分解能において計測光の波長分解を行うステップを含むことが望ましい。

40

【0013】

計測光が輝線スペクトルを有する光であって、選定された設定波長が実質的に輝線スペクトルの波長を含んでもよい。複数の選定された設定波長における試料の分光光学特性結果を用いて、波長補間ににより選定された設定波長以外の波長における試料の分光光学特性を求めるステップをさらに有してもよい。また、分光光学特性は、反射率、透過率、光電子スペクトルのうち少なくともいずれか 1 であってもよい。

【0014】

50

本発明の他の側面としての分光光学特性計測システムは、計測光を射出する光源と、計測光を設定波長に基づいて波長分解する分光器と、波長分解されて分光器から出射される計測光を試料に向けて照射する光学系と、試料を経由した計測光の強度を検出する検出器と、設定波長と分光器から出射される計測光の波長との波長ずれを算出し、波長ずれが最小となる設定波長を選定し、選定された設定波長の計測光で試料を経由した計測光の強度を検出することで試料の分光光学特性を求める制御部とを有することを特徴とする。

【0015】

本発明の他の目的及び更なる特徴は、以下、添付図面を参照して説明される実施形態により明らかにされるであろう。

【発明の効果】

【0016】

本発明によれば、波長依存性の高い光源、例えば輝線スペクトルを有するような光源を用いた場合であっても、試料の分光光学特性を高精度に計測することが可能となる。例えば、分光器の設定波長と試料に照射される光の平均波長とのずれが所定値以下となるような複数の波長を予め求めておき、この波長の光を用いて試料の分光光学特性を計測する。それにより、設定波長と実際に照射される光の波長とのずれを低減することができ、分光光学特性評価を正確に行うことができる。試料の光学特性計測の際には、必要以上に分光器の波長分解能を高めることがないので、計測スループット向上にも寄与することができる。

【0017】

予め光源のスペクトルを計測する場合、試料の光学特性を計測する場合よりも分光器の波長分解能を高めておく。すなわち通過波長幅を狭めることにより、試料に照射される光の平均波長とのずれが所定値以下となる分光器の複数の設定波長を容易に選定することができる。

【0019】

得られた分光光学特性結果を波長補間して等間隔の波長間隔、あるいは任意の波長における光学特性を算出する工程を含むことにより、任意の波長における試料の光学特性を求めることができる。

【0020】

本発明の光学装置は、反射率、透過率、光電子スペクトル等の波長依存特性の高精度な計測に適用することが可能である。

【発明を実施するための最良の形態】

【0021】

[実施の形態1]

図1は、本発明の実施の形態1に係る分光光学特性計測方法を実現する分光器2の概略構成を示すブロック図である。この分光器2は、前置鏡4、入口スリット5、回折格子6、波長掃引機構7、出口スリット8、後置鏡9を有して大略構成されている。回折格子6は波長掃引のための回転機構（波長掃引機構）7に接続されており、回転角と回折格子6からの出射光の間の関係は予め求めた換算式によって求めることができるようになっている。この分光器2、分光器2に計測光を入射するための光源1、光学素子等の試料10を経由した計測光強度を検出するための検出器11を有して分光光学特性計測システムSが構成されている。分光光学特性計測システムSは図示しない制御部を有しており、この制御部が後述する波長ずれの算出を行ったり、その算出結果に基づいて波長掃引機構を制御し、設定波長を決定したりする。この実施の形態1において、光源1は輝線スペクトルを有する計測光を射出する。

【0022】

分光器2の波長分解能は設定により変化させることができるようになっている。例えば、出口スリット8のスリット幅を変えたり、回折格子6から出口スリット8間での間に配置される図示しない結像光学系の倍率を変えることにより変化させることができる。出口スリット8のスリット幅を狭くすれば波長分解能が高くなり光量は減少する。出口スリット8のスリット幅を広げれば波長分解能が低くなり光量は増加する。

10

20

30

40

50

ト 8 のスリット幅を広くすれば波長分解能が低くなり光量は増大する。

【 0 0 2 3 】

図 2 は、この実施の形態 1 に係る分光光学特性計測方法の手順を説明するフローチャートである。この実施の形態 1 においては、まず、光源 1 からの計測光を分光器 2 内に入射する。分光器 2 の波長分解能を高くした状態（以下、波長分解能 A という。）で波長掃引を行いながら分光器 2 からの出射光の強度計測を行う（S . 1）。この際、分光器 2 からの出射光を試料 1 0 を介さずに直接検出器 1 1 によって計測する。回折格子 6 の回転角と出射光の波長との関係は、予め求めた換算式と略一致する結果となる。このときの計測結果を図 3 に示す。図 3 は、波長分解能 A の状態での計測光の各波長ごとの強度を示したもので、横軸が分光器 2 の設定波長、縦軸が光強度である。この計測においては波長分解能が高めているので、設定波長と計測光の実際の波長との実質的な波長ずれは殆ど生じることがない。したがって、横軸は、実際の光の波長を示していると考えてよい。
10

【 0 0 2 4 】

次に、分光器 2 の波長分解能を実際の試料 1 0 の分光光学特性計測時の波長分解能（以下、波長分解能 B という。）に変更する。この波長分解能 B における計測では、波長分解能 A における計測よりも波長分解能が低いが計測速度が向上する。したがって、波長分解能 B の値は、必要分解能や計測速度等の事情を考慮して適宜選択される。この波長分解能 B の状態で、波長掃引を行いながら分光器 2 からの出射光の強度計測を行う。この際、分光器 2 からの出射光を試料 1 0 を介さずに直接検出器 1 1 によって計測する。このときの計測結果を図 4 に示す。図 4 は、波長分解能 B の状態での計測光の各波長ごとの強度を示したもので、横軸が分光器 2 の設定波長、縦軸が光強度である。この計測においては波長分解能が高くないので、設定波長と計測光の実際の波長との間には波長ずれが生じている。
20

【 0 0 2 5 】

なお、波長分解能 B の状態におけるこの分光器 2 の装置関数（図 1 0 ~ 1 2 も参照。）が予めわかっていれば、波長分解能 B の状態における出射光の波長と光強度との関係（すなわち図 4 に示すグラフ）を演算により求めることも可能である。その際には、分光器 2 に入射する計測光の状態（すなわち、図 3 に示す波長と光強度との関係）とその装置関数とを用いる。ここで、装置関数とは分光器をある波長に設定した時に、分光器に入射する光と出射する光の強度比の波長依存性のことである。本実施の形態 1 においては、分光器 2 の装置関数の関数形をガウシアンと仮定している。このガウシアンの標準偏差を とす
30 る。

【 0 0 2 6 】

波長分解能 B の状態での計測において生じる分光器 2 の設定波長と分光器 2 からの出射光の波長との間の波長ずれを演算により求める。この波長ずれも波長分解能 B の状態での装置関数に基づいて算出することができる。もちろん、演算によらなくとも、例えば、分光器 2 からの出射光をさらに別の分光器を用いて分光することにより、波長ずれを計測によって求めることもできるが、ここでは説明を省略する。この分光器 2 の設定波長と出射光の波長との波長ずれを波長ごとに示したグラフが図 5 である。図 5 において、横軸は分光器 2 の設定波長であり、縦軸は波長ずれ量である。
40

【 0 0 2 7 】

この図 5 に示す結果に基づいて、波長ずれが最小（すなわち 0 ）となる設定波長、又は波長ずれが予め定めた所定の波長ずれ許容値以下である設定波長を複数選定し（S . 2 ）、これを波長セットとする。例えば、図 5 における点 X 、点 Y は波長ずれが 0 となる点であり、その点 X 、点 Y に相当する設定波長 X 1 、 Y 1 を選定する。

【 0 0 2 8 】

波長分解能 B の状態において分光器 2 をこの選定された波長セットの設定波長に設定し、ミラー等の試料 1 0 を所定の位置にセットして試料 1 0 の分光光学特性計測を行う（S . 3 ）。この波長セットの設定波長を用いて計測を行う限り、設定波長と実際の計測光の波長（分光器 2 からの出射光の波長）との波長ずれは 0 か又は所定の許容値以下である。
50

したがって、試料の分光光学特性計測を高精度に行うことができる。計測の際に分光器の波長分解能を必要以上に高めることもないで、高い計測スループットも実現することができる。

【0029】

図5よりわかるように、波長ずれが0又は所定の波長ずれ許容値以下である設定波長は離散的に存在し、かつその間隔は不均等である場合が一般的である。したがって、波長セットの設定波長も一定間隔の複数波長ではなく、波長間隔が不均等である。その場合、波長セットの設定波長以外の波長における試料10の分光光学特性は公知のデータ補間方法（例えば、外挿、内挿、又はn次曲線近似等）を用いて補間ににより算出する（S.4）。それにより、擬似的に等間隔の波長ごとの試料10の分光光学特性を得ることができる。

10

【0030】

例えば、本実施の形態を用いない従来の分光光学特性計測によって得られたミラーの波長ごとの反射率を図6に示す。この結果においては、例えば計測点P、Qにおいて計測結果にガタつきが見られる。このガタつきは分光器の設定波長と実際の計測光の波長との波長ずれに起因して発生したと考えられる。すなわち、図6の横軸は分光器の設定波長であるが、これら計測点P、Qにおいてこの設定波長と実際の計測光の波長とは波長ずれを生じていると考えられる。

【0031】

一方、本実施の形態に係る分光光学特性計測方法を用いて得られた上記ミラーの波長ごとの反射率を図7に示す。ここでは、波長ずれが0又は所定の波長ずれ許容値以下である波長セットを用いて計測を行っているので、図6に見られた計測結果のガタつきもなく、計測が高精度に行われていることがわかる。

20

【0032】

この実施の形態1に係る方法は、試料にミラーを用いた反射率計に適用可能ではあるが、もちろんそれに限られるものではない。例えば反射型XAFS、蛍光XAFS、X線小角散乱、軟X線分光計、X線回折、XPS、AES、RHEED、REED等のような試料の波長依存性計測に適用することができる。

【0033】

なお、本実施の形態においては、図5に示す波長ずれが0又は所定の波長ずれ許容値以下である設定波長を波長セットとして選定し、その波長セットに基づいて計測を行った。しかし、波長ずれが0の点以外であっても、図5の結果から設定波長と実際の計測光の波長との波長ずれがわかる。したがって、任意の設定波長において試料の分光光学特性を計測し、その特性結果に対応する設定波長に波長ずれ量を加味して実際の計測光の波長を算出し、実際の計測光の波長とそれに対応する光学特性とを高精度に得ることも可能である。

30

【0034】

〔実施の形態2〕

本発明の実施の形態2に係る分光光学特性計測方法について説明する。この方法を実現する分光器としては、上記実施の形態1において用いられた分光器2と同様のものを用いる。その他、上記実施の形態1と同様の構成には同様の符号を付し、説明を省略する。

40

【0035】

上記実施の形態1の場合と同様に、波長分解能Aの状態で光源1からの計測光のスペクトル解析を高精度に行って図3に示す結果を得る。その後、波長分解能Bの状態で光源1からの計測光のスペクトル解析を行って図4に示す結果を得る。さらに分光器2の装置関数に基づいて、分光器2の設定波長と実際の計測光の波長との波長ずれを算出し、図5に示す結果を得る。

【0036】

ここで、図4に示す結果及び図5に示す結果に基づいて、波長分解能Bの状態における各設定波長ごとの出射光強度と波長ずれとの関係を算出する。その算出結果を図8に示す。図8において、横軸は波長ずれで縦軸は出射光の強度である。

50

【0037】

図から明らかなように、波長分解能Bの状態においては、波長ずれが0の部分でグラフが略水平を呈している。すなわち分光器2から出射される光強度の微分値が0である。これは、図4に示すグラフにおいて光強度が極大値、極小値を示す点では波長ずれが略0であることを示している。したがって、分光器2の波長分解能Bの状態で計測光のスペクトル解析を行い、その光強度が極大又は極小となる設定波長を選定して試料10の分光光学特性計測を行えば、波長ずれの殆どない高精度な分光光学特性計測を行うことができる。

【0038】

光強度が極大又は極小となる設定波長は離散的かつ不均等に存在しているので、上記実施の形態1の場合と同様に、公知のデータ補間方法を用いて試料の分光光学特性を得ることができる。

10

【0039】

この実施の形態2に係る方法も、試料にミラーを用いた反射率計に適用可能ではあるが、もちろんそれに限られるものではない。例えば反射型XAFS、蛍光XAFS、X線小角散乱、軟X線分光計、X線回折、XPS、AES、RHEED、REED等のような試料の波長依存性計測に適用することができる。

【0040】

以上、本発明の好ましい実施の形態を説明したが、本発明はこれらに限定されるものではなく、その要旨の範囲内で様々な変形や変更が可能である。

20

【図面の簡単な説明】

【0041】

【図1】本発明の実施の形態1に係る分光光学特性計測方法を実現する分光器の概略構成を示すブロック図である。

【図2】本発明の実施の形態1に係る分光光学特性計測方法の手順を説明するフローチャートである。

【図3】図1に示す分光器において波長分解能Aに設定した状態での計測光の各波長ごとの強度を示したグラフである。

【図4】図1に示す分光器において波長分解能Bに設定した状態での計測光の各波長ごとの強度を示したグラフである。

【図5】図1に示す分光器の設定波長と出射光の波長との波長ずれを波長ごとに示したグラフである。

30

【図6】従来の分光光学特性計測によって得られたミラーの波長ごとの反射率を示したグラフである。

【図7】本発明の実施の形態1に係る分光光学特性計測方法を用いて得られたミラーの波長ごとの反射率を示したグラフである。

【図8】本発明の実施の形態2に係る分光光学特性計測方法において、波長分解能Bの状態における各設定波長ごとの出射光強度と波長ずれとの関係を示したグラフである。

【図9】従来の分光光学特性計測システムの概略構成を示すブロック図である。

【図10】分光器の設定波長と計測光の波長との関係を示す概念図であって、設定波長と計測光の輝線の波長とが一致している状態を示す。

40

【図11】分光器の設定波長と計測光の波長との関係を示す概念図であって、設定波長と計測光の輝線の波長とが一致していない状態を示す。

【図12】分光器の設定波長と計測光の波長との関係を示す概念図であって、分光器の通過波長幅内に光源の輝線が複数存在する場合を示す。

【符号の説明】

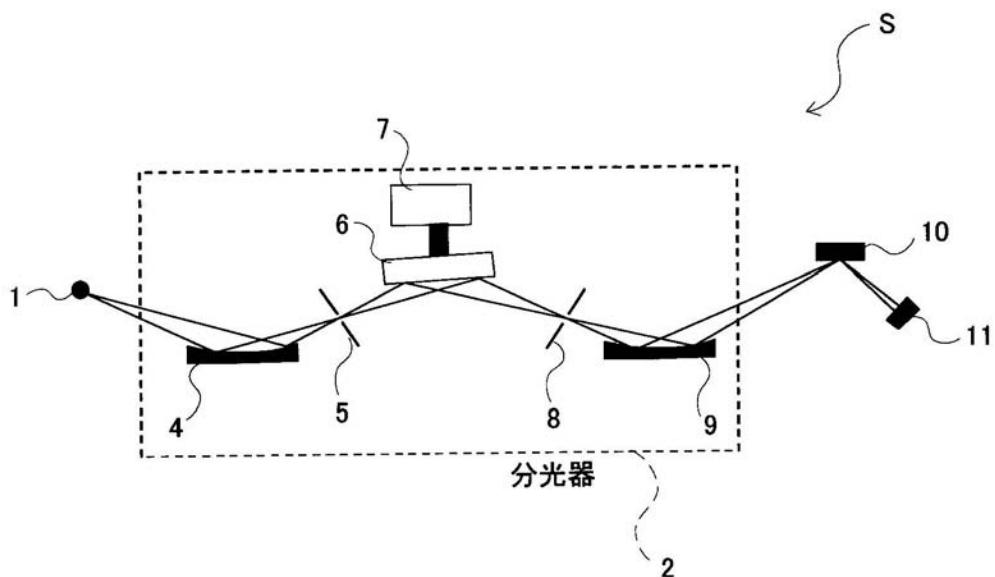
【0042】

- 101...レーザプラズマ光源
- 2, 102...回折格子分光器
- 103...反射率計測室
- 4, 104...前置鏡

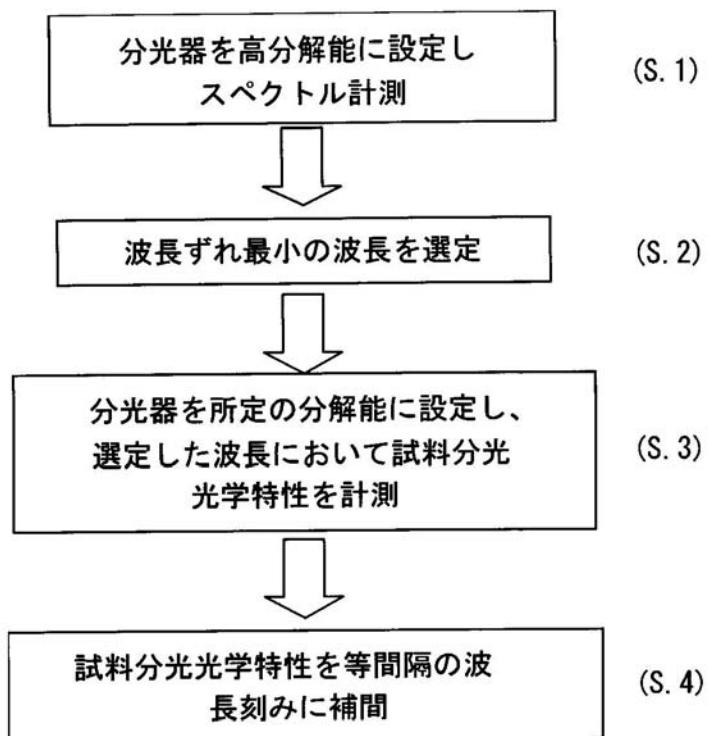
50

- 5, 105 … 入口スリット
6, 106 … 回折格子
7, 107 … 波長掃引機構
8, 108 … 出口スリット
9, 109 … 後置鏡
10, 110 … 試料
11, 111 … 検出器

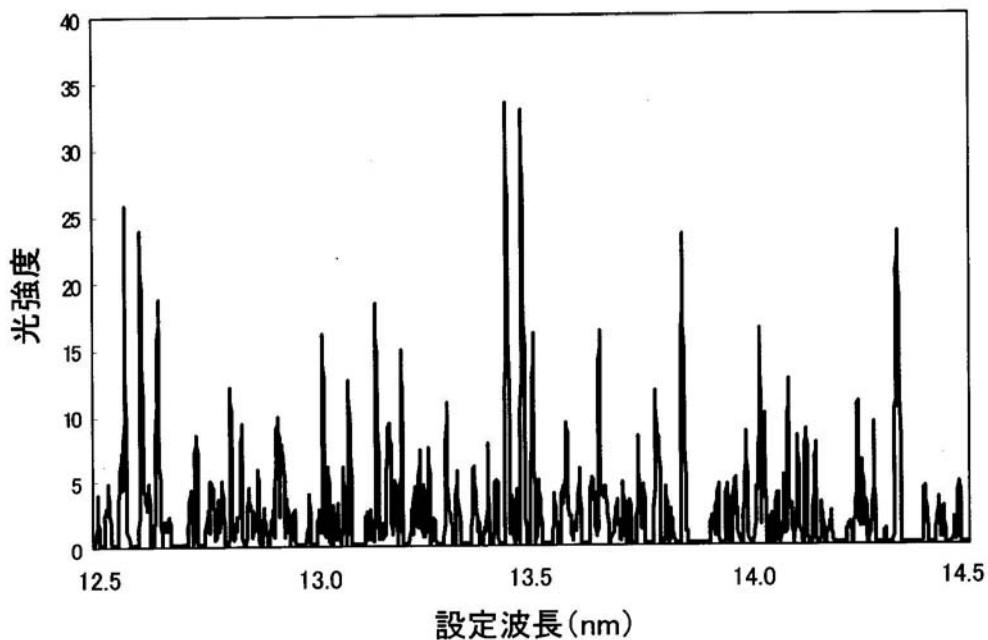
【図1】



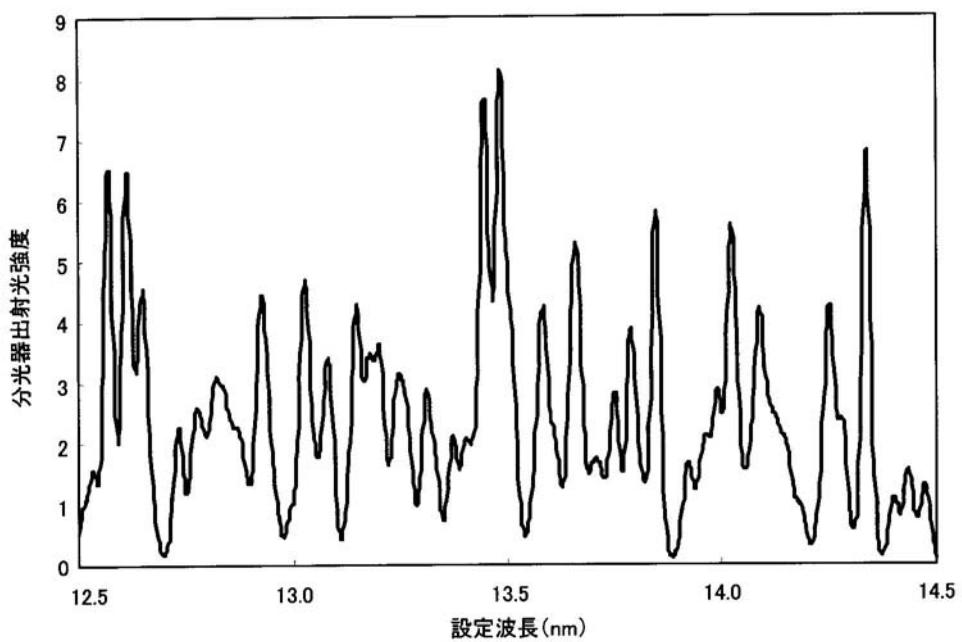
【図2】



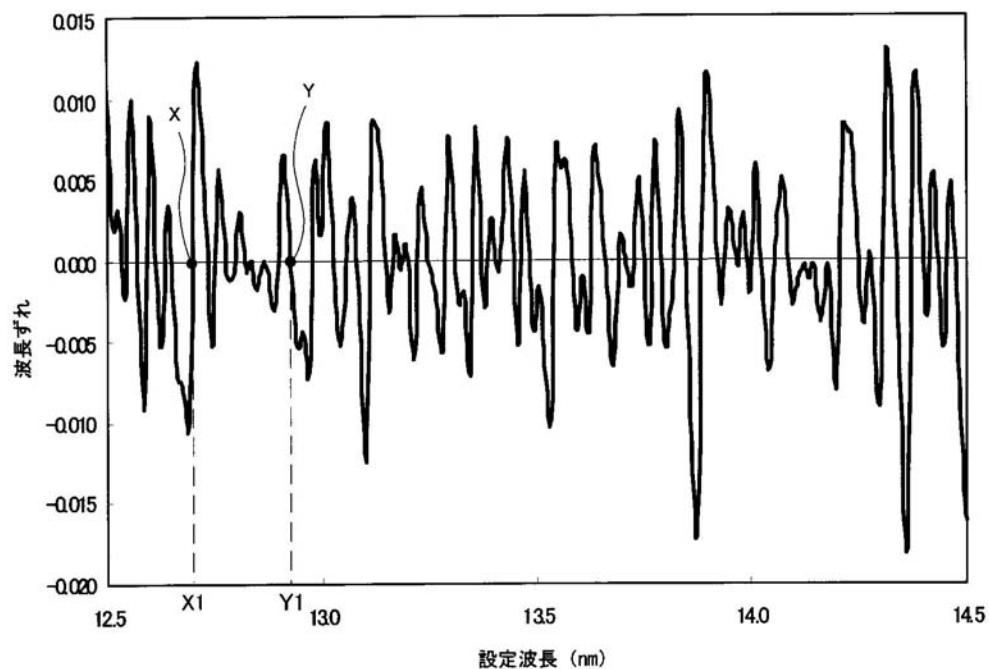
【図3】



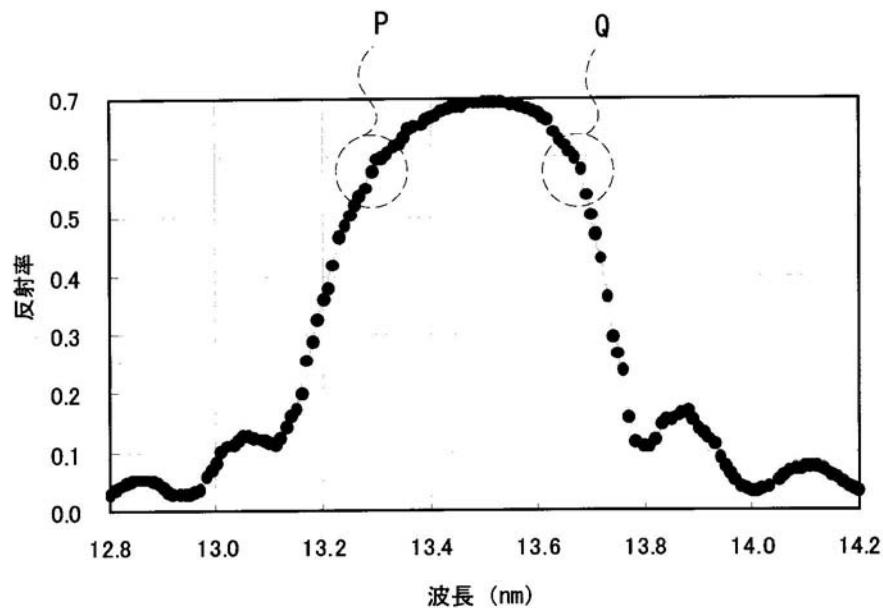
【図4】



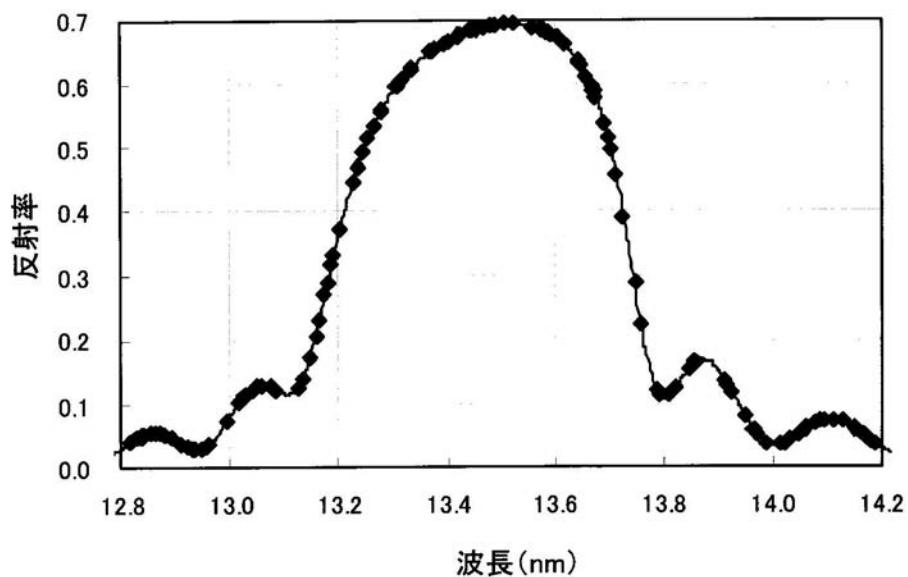
【図5】



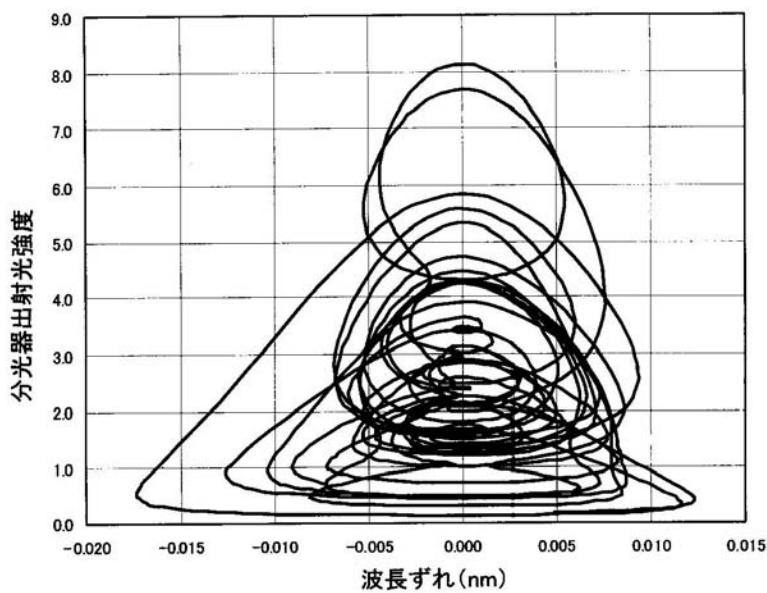
【図6】



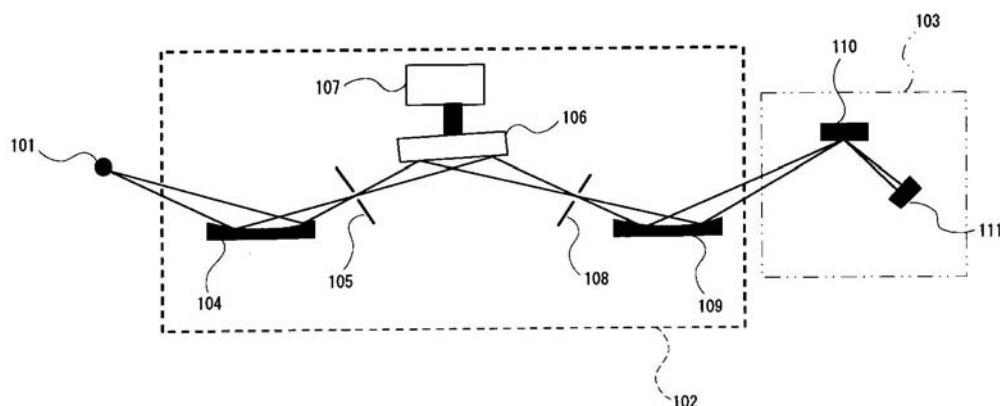
【図7】



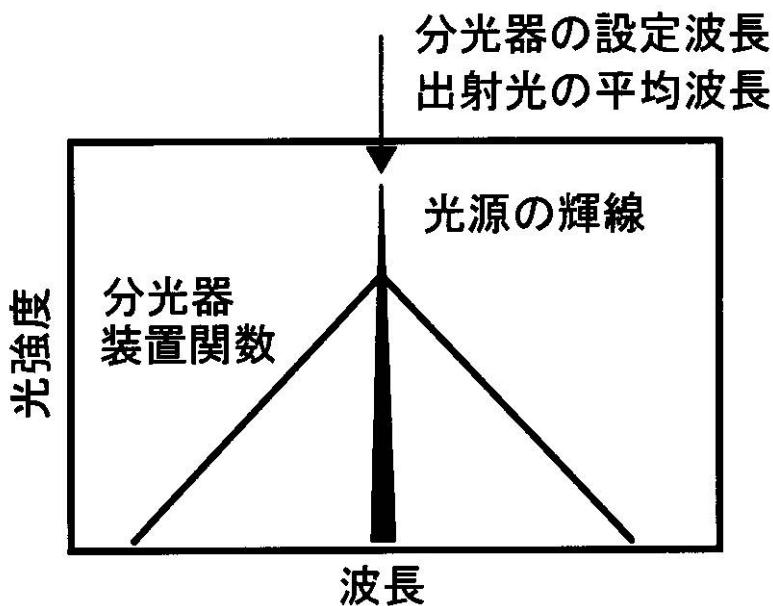
【図8】



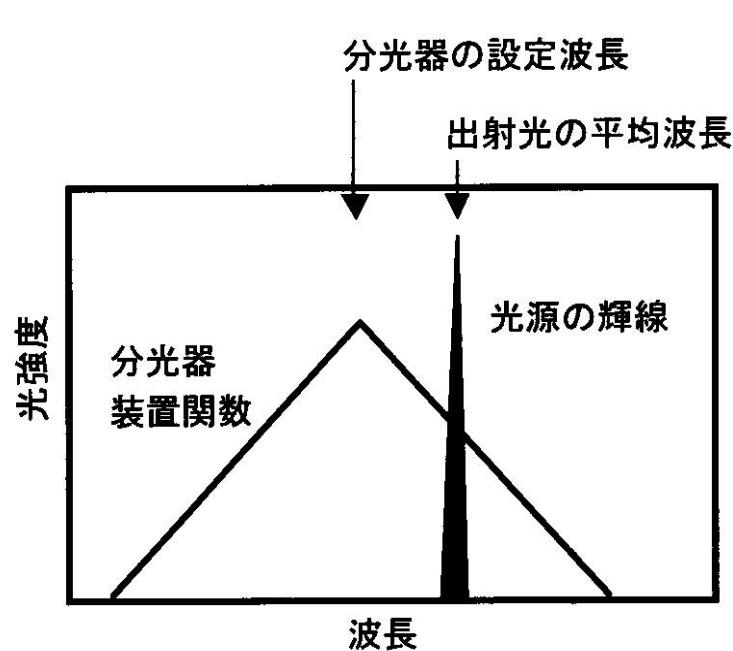
【図9】



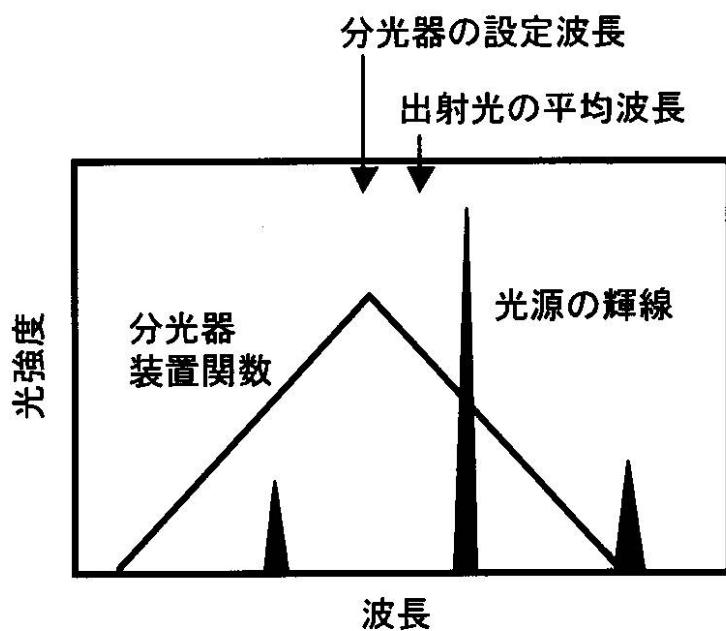
【図10】



【図11】



【図 1 2】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開昭63-149542(JP,A)
特開平10-153544(JP,A)
特開平07-333141(JP,A)
特開平11-344378(JP,A)
特開平02-254343(JP,A)
特開平08-210915(JP,A)
特開平03-226632(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 21/00 - 21/01
G01N 21/17 - 21/61
G01J 3/00 - 3/52
G01M 11/00 - 11/08
JSTPlus (JDream2)
JMEDPlus (JDream2)
JST580 (JDream2)