

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7300998号
(P7300998)

(45)発行日 令和5年6月30日(2023.6.30)

(24)登録日 令和5年6月22日(2023.6.22)

(51)国際特許分類	F I		
G 0 1 N 21/94 (2006.01)	G 0 1 N	21/94	
G 0 3 F 1/84 (2012.01)	G 0 3 F	1/84	
G 0 1 N 21/956 (2006.01)	G 0 1 N	21/956	A

請求項の数 15 (全16頁)

(21)出願番号	特願2019-553253(P2019-553253)	(73)特許権者	503263355
(86)(22)出願日	平成30年3月14日(2018.3.14)		カール・ツァイス・エスエムティー・ゲー エムペーハー
(65)公表番号	特表2020-515844(P2020-515844 A)		ドイツ連邦共和国、7 3 4 4 7 オーバ ーコッヘン、ルドルフ・エーパー・シュ トラーセ 2
(43)公表日	令和2年5月28日(2020.5.28)	(74)代理人	100147485
(86)国際出願番号	PCT/EP2018/056352		弁理士 杉村 憲司
(87)国際公開番号	WO2018/177747	(74)代理人	230118913
(87)国際公開日	平成30年10月4日(2018.10.4)		弁護士 杉村 光嗣
審査請求日	令和3年3月12日(2021.3.12)	(74)代理人	100205833
(31)優先権主張番号	102017205212.0		弁理士 宮谷 昂佑
(32)優先日	平成29年3月28日(2017.3.28)	(72)発明者	オリバー パイエル
(33)優先権主張国・地域又は機関	ドイツ(DE)		ドイツ国 8 9 5 2 0 ハイデンハイム フックスシュトラーセ 7

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 物体、ウェハ、及びマスクブランクの表面上の粒子を検出する方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

物体(2、3、14)の表面(11)上の堆積粒子(P)を検出する方法であって、
前記物体(2、3、14)の前記表面(11)の部分領域(T)に測定放射線(9)を
照射するステップと、

前記照射された部分領域(T)で散乱した測定放射線(9)を検出するステップと、
前記検出された測定放射線(9)に基づき前記物体(2、3、14)の前記表面(11)
上の前記粒子(P)を検出するステップと

を含み、前記照射するステップ及び前記測定放射線(9)を検出するステップ中に、前記
物体(2、3、14)の前記表面(11)に、前記測定放射線に関する前記表面(11)
の反射率(R)を低下させる反射防止コーティング(13)及び/又は表面構造(15)
を設け、前記反射防止コーティング(13)及び/又は前記表面構造(15)により粒子
検出限界を下げることを特徴とし、

前記反射防止コーティング(13)及び/又は前記表面構造(15)は、強度閾値(I
s)に基づく前記粒子検出限界を下げるために、前記表面(11)の粗さに起因するヘイ
ズ散乱光強度の度数分布(18)のFWHMを、前記反射防止コーティング(13)及び
/又は前記表面構造(15)を設けない場合に比べて減少させるように提供される方法。

【請求項2】

請求項1に記載の方法において、前記粒子(P)を、マイクロリソグラフィ用のウェハ
(3)又はマスクブランク(2)の形態の物体の前記表面(11)上で検出する方法。

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 に記載の方法において、前記測定放射線 (9) は所定の測定波長 (M) を有する方法。

【請求項 4】

請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の方法において、前記散乱した測定放射線 (9) を、入射した測定放射線 (9) に対して第 1 散乱角 (θ_1) ~ 第 2 散乱角 (θ_2) の検出角度範囲で検出する方法。

【請求項 5】

請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の方法において、前記反射防止コーティング (13) を多層コーティングとして形成する方法。

10

【請求項 6】

請求項 4 に記載の方法において、前記反射防止コーティング (13) は、前記第 1 散乱角 (θ_1) ~ 前記第 2 散乱角 (θ_2) の前記検出角度範囲で、前記反射率 (R) の最大値 (R_{MAX}) と前記反射率 (R) の最小値 (R_{MIN}) との差が 5 % 未満である前記測定放射線 (9) に関する角度依存反射率 (R) を有する方法。

【請求項 7】

請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の方法において、前記測定放射線 (9) に関する前記反射防止コーティング (13) の前記反射率 (R) は、15 % 未満である方法。

【請求項 8】

請求項 1 ~ 7 のいずれか 1 項に記載の方法において、前記表面構造 (15) を針状微細構造として形成する方法。

20

【請求項 9】

請求項 1 ~ 8 のいずれか 1 項に記載の方法において、前記物体 (3) はシリコンからできている方法。

【請求項 10】

請求項 9 に記載の方法において、前記表面構造 (15) をブラックシリコンとして形成する方法。

【請求項 11】

請求項 1 ~ 8 のいずれか 1 項に記載の方法において、前記物体 (14) を、前記測定放射線 (9) をフィルタリングする光学フィルタガラスから形成する方法。

30

【請求項 12】

請求項 1 ~ 11 のいずれか 1 項に記載の方法において、前記物体 (2、3、14) は、前記測定放射線 (9) に関して $1 \times 10^4 \text{ l / cm}$ を超える吸収係数を有する材料からできている方法。

【請求項 13】

請求項 1 ~ 12 のいずれか 1 項に記載の方法において、前記物体 (2、3、14) は、厚さ (d_1 、 d_2) が $500 \mu\text{m}$ 以上 3 mm 以下である方法。

【請求項 14】

請求項 1 ~ 13 のいずれか 1 項に記載の方法において、前記部分領域 (T) で散乱した前記測定放射線 (9) の散乱光強度 (I) が前記強度閾値 (I_s) を上回る場合に粒子 (P) を前記照射された部分領域 (T) で検出する方法。

40

【請求項 15】

請求項 1 ~ 14 のいずれか 1 項に記載の方法において、少なくとも前記物体 (2、3、14) を前記測定放射線 (9) で照射するステップ及び前記散乱した測定放射線 (9) を検出するステップを、マイクロリソグラフィ用のマスクブランク (2) 又はウェハ (3) を測定する測定装置 (1) で実行する方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

[関連出願の参照]

50

本願は、2018年3月28日の独国特許出願第10 2017 205 212 . 0号の優先権を主張し、その全開示内容を参照により本願の文脈に援用する。

【0002】

本発明は、物体の表面上の堆積粒子を検出する方法であって、物体の表面の部分領域に測定放射線を照射するステップと、照射された部分領域で散乱した測定放射線を検出するステップと、検出された測定放射線に基づき物体の表面上の粒子を検出するステップとを含む方法に関する。

【背景技術】

【0003】

堆積粒子は、通常は望ましくない妨害粒子である。例えば、検出された妨害粒子の数に基づきクリーンルームの清浄度を調べることが可能である。(試験)物体は、原理上は妨害粒子の検出に適した表面を有する任意の物体であり得る。

10

【0004】

上記方法は、例えば、(通常は未露光)マイクロリソグラフィ用、例えばEUVリソグラフィ用のウェハの又はマスクブランクの形態の板状物体の表面上の堆積粒子を検出するために実行することができる。粒子検出の測定原理は、物体の表面での測定放射線の散乱に基づく。表面で後方散乱された測定放射線の検出による粒子検出の原理に基づく測定装置は、例えばRudolph Technologies Inc.によりウェハの検査用には「Reflex FSI」という商品名で、マスクの検査用には「Reflex TT MBI」という商品名で提供されている。

20

【0005】

これらの測定装置では、レーザービームの形態の測定放射線を通常は用いて指定の入射角で物体の表面を照射する。表面で散乱した測定放射線は暗視野測定で検出され、すなわち物体の表面で散乱した測定放射線が検出される検出角度範囲は、表面の照射に用いられる測定放射線の入射角から逸れ、その結果、表面で反射する放射線部分は無視される。

【0006】

このような暗視野測定では、正確な完全平滑表面で反射する全放射線部分がこの表面で抑えられ、これは表面で散乱した測定放射線のみが検出されることを意味する。しかしながら、各表面は微視的レベルの粗さを有し、これは測定放射線のうち表面で反射する部分も測定放射線の検出中に必然的に検出されることを意味する。検出放射線の上記部分は、バックグラウンド信号を発生させ、その強度は、表面の粗さ又は研磨品質に応じて、場合によっては表面に施された(薄)膜の均質性に応じて変わり、膜の上側に検査対象表面が形成される。

30

【0007】

ヘイズ信号とも称するバックグラウンド信号に加えて、欠陥信号も測定放射線の検出中に記録される。上記測定原理では、通常は物体の表面が測定格子に分割され、表面の各行列要素又は部分領域が測定放射線により走査される。部分領域又は行列要素の走査中に検出される測定放射線は、積算又は積分される。部分領域又は行列要素毎に検出された測定放射線又は検出された測定信号は、バックグラウンド信号又はヘイズ信号と欠陥信号とが加算合成されたものである。欠陥信号は、表面又は場合によっては窪みに堆積した粒子と、掻き傷又は局所的表面欠陥等の局所的欠陥とにより生じる。掻き傷又は局所的欠陥は、概して、隣接する部分領域の検出された測定放射線で局所的パターンが特定されることにより粒子と区別される。例えば、複数の隣接する部分領域で検出された測定放射線が閾値を上回る場合、局所的表面欠陥を特定することができる。表面欠陥は通常は2次元に広がるが、掻き傷は実質的に1次元に広がる方向性の空間分布を通常は有し、したがって概して同様に特定して粒子と区別することができる。欠陥信号における粒子と掻き傷又は局所的表面欠陥との区別とは関係なく、粒子の検出は、ヘイズ信号に割り当てられる散乱光強度の値と欠陥信号に割り当てられる散乱光強度の値とを区別する必要がある。ヘイズ信号又は表面の粗さは、結果として粒子検出限界、すなわち粒子を一意に検出できる最小径を制限する。本願における粒子の検出限界又は最小粒径の通常のオーダは、約100nm以

40

50

下である。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

本発明の目的は、検出粒子の検出限界を下げることができる、物体の表面上の粒子を検出する方法と、当該方法を実行する及びウェア及びマスクブランクとを提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0009】

上記目的は、導入部分で述べたタイプの方法であって、測定放射線を照射するステップ及び検出するステップ中に、物体の表面に測定放射線の反射率を低下させる反射防止コーティング及び/又は表面構造を設ける方法により達成される。

【0010】

本発明によれば、粒子は、粒子の検出前に測定放射線の反射率を低下させるよう処理された表面を有する物体上で検出される。この目的で、反射防止コーティングを物体の表面に施すことができ、且つ/又は表面構造を表面に設けることができ、これらは通常は粒子検出より前のステップで表面に設けられる。反射防止コーティングに加えて、表面構造も測定放射線に関する表面の反射率を大幅に低下させることができるが、それは測定放射線がフレネルの式に従って反射され得る急峻な界面がないからである。本願における(できる限り均質な)反射防止コーティング及び表面構造の両方又は単独で、通常は無視できるほど小さな散乱光部分しか引き起こさないか、又は散乱光測定に関連する空間周波数範囲の表面の粗さのごく僅かな変化しか引き起こさない。

【0011】

反射防止コーティング及び/又は表面構造による表面の反射率の低下は、このようにして散乱も、したがってバックグラウンド信号又はヘイズ信号の強度も低減するので粒子の検出に有用であり、これは物体の粗面で散乱する測定放射線がより少ないことを意味する。欠陥信号は、反射防止コーティング及び/又は表面構造の表面に堆積した粒子により発生し、その結果、特に粒子が強く吸収しすぎない粒子である場合は、粒子での散乱はその下の反射防止コーティング及び/又は表面構造による影響を全く又は僅かにしか受けない。反射率を低下させることにより、ヘイズ分布又はヘイズ信号の幅も低減される。測定信号又は測定放射線が欠陥信号であると解釈される下限の強度閾値は、通常は約3であり、 σ はヘイズ分布の標準偏差を示す。したがって、(ヘイズ分布の最大から測定して)3の幅が粒子検出下限を特定する。

【0012】

反射防止コーティング及び/又は表面構造が測定放射線に関する表面の反射率を半分に減らすとすると、ヘイズ分布全体が半減し、すなわちヘイズ分布の最大の強度値及びヘイズ分布の標準偏差の両方が半分になる。これに対して、ヘイズ分布の最大と粒子分布の最大との間の距離は不変のままである。距離の不変性は、物体の表面の表面要素又は部分領域から出る全散乱光強度が、表面の散乱光部分(ヘイズ)と欠陥散乱光部分とが加算合成されたものであるという仮定に基づく。したがって、粒子の検出中の信号対雑音比は、反射率の低下により増加し、粒子の検出限界は下がる。反射防止コーティング又は表面構造は、通常は粒子が検出される表面全体に延びることを理解されたい。

【0013】

表面の照射部分領域は、測定放射線を指定の入射角で、概して表面法線に対して垂直に通常は照射される、通常は略点状の部分領域である。粒子が検出される表面は多くの場合は平面状の表面であり、これは表面の全ての場所又は部分領域における表面法線が同じ方向を有することを意味する。表面全体の粒子を検出できるようにするために、検出された測定放射線が積分される部分領域又は行列要素は、通常は走査移動で表面にわたって動かされ、その目的で、検査対象物及び測定放射線又は測定光源を相互に対して移動させることができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 4 】

一変形形態では、粒子は、マイクロリソグラフィ用のマスクブランク又はマイクロリソグラフィ用のウェハの形態の物体の表面上で検出される。粒子の検出は、場合によっては放射線感応層（レジスト）が設けられている未露光ウェハの表面で、又は非構造化マスク、例えば非構造化EUVマスクで通常は実行される。このような測定では、ウェハ又はマスクの表面粗さを同時に測定することが可能である。ウェハ又はマスクの表面上の粒子を検出することが重要である場合、反射低減反射防止コーティング及び/又は適当な表面構造が設けられれば粒子検出限界を下げるのに有用である。こうして処理された表面への粒子の付着は、従来のウェハ又は従来のマスクブランクの表面への付着とおそらく全く又は僅かにしか異なるか、又は適当な較正を用いて従来のウェハ又は従来のマスクブランクで生じる粒子数に変換することができ、その結果、適宜変更したウェハ又は適宜変更したマスクブランク上の粒子の検出は、未変更のウェハ又は未変更のマスクブランク上の粒子の検出と同様に有意義なものである。

10

【 0 0 1 5 】

別の変形形態では、測定放射線は所定の測定波長を有する。測定放射線は、通常は単色であり、すなわち単一の規定波長を有する。単色測定放射線は、例えばレーザにより、又は例えばレーザダイオードにより生成することができる。測定放射線の測定波長は、通常は約380nm～約750nmの可視波長域、例えば約405nm又は635nmにある。単色測定放射線の使用は、散乱光測定に有用であることが分かっている。

20

【 0 0 1 6 】

さらに別の変形形態では、散乱測定放射線は、入射測定放射線に対して第1散乱角～第2散乱角の検出角度範囲で検出される。指定の検出角度範囲のみでの表面の部分領域で散乱した測定放射線の検出は、表面散乱が異方性なので（ブラッグ回折）有用であり、これが意味するのは、1つ又は複数の検出角度がヘイズ信号の空間周波数と相関し、検出角度範囲の適当な選択により、ヘイズ信号又は表面粗さができる限り小さい検出に適した空間周波数範囲を選択することが可能であるということである。特定の直径範囲の粒子での散乱は、実質的に等方性と見なすことができるので、粒子の散乱光強度と表面散乱の散乱光強度との比ができる限り大きいように検出角度範囲を選択することが可能である。適当な検出角度範囲を選択するために、検査対象物の表面の粗さをできる限り正確に知るべきであり、表面粗さの変化は大きすぎてはならない。

30

【 0 0 1 7 】

反射防止コーティングは、さらに別の変形形態では多層コーティングの形態である。多層コーティングは、通常は複数の高屈折率層及び低屈折率層を交互に有し、個々の層の層厚及び層材料又は屈折率は、物体の表面の反射率の所望の低下が得られるように選択される。このような多層コーティングの通常的设计は、測定波長の測定放射線に関して弱め合う干渉を起こし、このようにして反射率を低下させるようなものである。多層コーティングは、状況次第では比較的大きなスペクトル領域にわたって表面又は物体の反射率を大幅に低下させる。多層コーティングの設計時には、物体の材料、特に物体の屈折率も通常は考慮に入れられることを理解されたい。多層コーティングの代わりに単層のみを有する反射防止コーティングを用いることも可能であり得る。反射防止コーティングは、環境の屈折率と物体の材料の屈折率との間で徐々に遷移させることにより特に実現することもできる。複数の層を有するこのような反射防止コーティングを用いる場合、屈折率は環境から物体の材料へ徐々に増加する。

40

【 0 0 1 8 】

さらに別の変形形態では、反射防止コーティングは、第1散乱角～第2散乱角の検出角度範囲で、反射率の最大値と反射率の最小値との間の差が5%未満、好ましくは2%未満、より好ましくは1%未満である測定放射線の角度依存反射率を有する。反射防止コーティングの反射率は、理想的には、検出角度範囲内で一定だが上記でさらに特定した範囲内でのみ少なくとも変わるべきである。

【 0 0 1 9 】

50

さらに別の変形形態では、第1散乱角～第2散乱角の検出角度範囲での測定放射線に関する反射防止コーティングの反射率は、15%未満、好ましくは5%未満、特に1%未満である。さらに上述したように、反射防止コーティングは、物体の特定の材料に最適化される。したがって、反射防止コーティングの反射率の低下又は反射率は、表面が形成される物体の材料に応じて変わり、材料毎に異なり得る。反射防止コーティングは、検出角度範囲における表面の反射率を1%未満に低下させることを可能にすることが理想である。

【0020】

さらに別の変形形態では、表面構造は、特にモスアイ構造のように針状微細構造として具現される。このような微細構造は、横方向範囲が約1 μ m未満のオーダで長さが例えば約10 μ mのオーダの針又は針状構造を例えば有し得る。このような微細構造により、環境から物体の表面への屈折率の実質的に連続した遷移をもたらすことが可能であり、その結果、測定放射線の吸収が増加し、表面の反射率がこうして低減される。

10

【0021】

さらに別の実施形態では、物体はシリコンから形成される。物体がシリコンから形成されるという表現は、物体が完全にシリコンからなることを意味するとは限らず、物体は、コーティングが施され得るシリコンからできた基板、例えばエピタキシャル成長させたシリコン又は別の材料からできた少なくとも1つの層を有し得る。このようなコーティングの上側は、反射防止コーティングが施され且つ/又は表面構造が設けられる表面を形成し得る。シリコンから形成された物体は、例えばマイクロリソグラフィ用のウェハであり得る。

20

【0022】

シリコンからできている物体のコーティングされていない表面は、可視波長域の測定波長の測定放射線に関して高い反射率を有し、これは例えば約40%を超え得る。適当な反射防止コーティングの使用により、可視波長域の測定波長に関するシリコンの反射率を大幅に低下させることが可能である。シリコン用の反射防止コーティングは、例えばD. Gablerによる論文「モスアイのナノ光学のモデルに基づくシリコンフォトダイオードの反射防止 (Entspiegelung von Silizium-Photodioden nach dem Vorbild der Nanooptik von Mottenaugen) [Rendering silicon photodiodes anti-reflective based on the model of the nanooptics of moth eyes]」(イルメナウ工科大学、2005年)から既知であり、当該文献全体を参照により本願の内容に援用する。表面構造を有しない反射防止コーティングに加えて、おそらく反射防止コーティングと組み合わせてシリコンの反射率を大幅に低下させることができるモスアイ型の構造化された、例えば六角形の表面構造も、上記文献に記載されている。この場合に用いることができる反射防止コーティングは例えば、Si_xN_yでできた、例えばSi₃N₄でできた、おそらく構造化された層である。

30

【0023】

改良形態において、表面構造はブラックシリコンの形態である。ブラックシリコンは、結晶シリコンの表面改質を表し、例えばイオン又は超短レーザーパルスでの高エネルギー衝撃によりシリコン表面に生成することができ、測定放射線の吸収を増加させて反射率を低下させるさらに上述した針状微細構造が形成される。

40

【0024】

さらに上述したように、物体の環境、通常は空気から物体の材料へ屈折率が徐々に又はおそらく連続して遷移する場合に、表面の反射率を低下させることが原理上は可能である。反射防止コーティング及び/又は表面構造により、例えば格子構造又はモスアイ構造によりこれを達成して、(有効媒体として)そのような屈折率プロファイルをもたらすことができる。

【0025】

さらに別の変形形態では、物体は、測定波長の測定放射線をフィルタリングする光学フィルタガラスから、特にロングパスフィルタガラスから形成される。物体が放射線を照射される物体の前側の表面の反射率に加えて、物体が測定放射線に関して高い透過率を示す

50

場合には、物体の後側、すなわち測定放射線を受けない側の反射率も散乱光測定に關与する。物体の後側での測定放射線の反射も最小化されるべきである。物体の後側における反射を最小化する可能性の1つは、測定放射線に關して高い吸収率又は高い吸収係数を有する材料からできている物体を測定に用いることである。物体の材料は、例えば、測定波長での透過率が非常に低い光学フィルタガラスとすることができ、その結果、例えばSchottによるイオン着色ロングパスフィルタガラスRG1000の場合のように、例えば全可視波長域におけるその内部透過率が厚さ3.0mmで 10^{-5} 未満である。光学フィルタガラスは、マイクロリソグラフィ用のマスクブランクで必要に応じて用いられるように、従来の透明ガラス基板の代わりに例えば用いることができる。

【0026】

さらに別の変形形態では、物体は、測定放射線に關して $1 \times 10^4 \text{ l/cm}$ を超える吸収係数を有する材料からできている。この材料は、さらに上述した光学フィルタガラスであり得る。他の材料、例えばシリコンも、測定放射線に關して、約405nmの測定波長で通常は例えば約 10^5 l/cm を超える吸収係数を有する。

【0027】

さらに別の変形形態の場合、物体は厚さが500 μm 以上、好ましくは1mm以上である。材料の厚さが増加すると材料の吸収率が上昇する。従来のシリコンウェハは、厚さが約650 μm であり、高い吸収係数（上記参照）により、測定放射線をほぼ全部吸収し、これは従来のウェハの後側により反射される測定放射線が事実上ないことを意味する。

【0028】

さらに別の変形形態では、部分領域で散乱した測定放射線の散乱光強度が強度閾値を上回る場合にのみ、照射された部分領域で粒子が検出される。測定波長の約半分未満、例えば約200nm以下の直径 D_s を有する散乱中心については、散乱光強度 I が直径の6乗に比例し、すなわち $I \sim D_s^6$ であるとほぼ言える（レイリー散乱）。したがって、粒子により引き起こされるような比較的大きな散乱中心は、高い散乱光強度 I をもたらすが、表面の粗さ又は凹凸はより低い散乱光強度 I をもたらす。強度閾値を上回る散乱光強度 I が表面の部分領域で測定される場合、表面のその部分領域に粒子があると見なすことができ、少なくとも閾値を上回することは、部分領域における粒子の存在の必要条件である。

【0029】

さらに別の変形形態では、少なくとも物体に測定放射線を照射するステップ及び散乱測定放射線を検出するステップは、マイクロリソグラフィ用のマスクブランク又はウェハを測定する測定装置で実行される。検査対象物は、この場合は（変更した）ウェハ又は（変更した）マスクブランクであり得るが、このような測定装置に適した寸法を有する他の板状物体を測定装置で検査することも可能である。粒子を検出するステップも同様に測定装置で実行することができるが、検出された測定放射線の評価を異なる空間的に分離された装置で実行することも可能である。

【0030】

本発明は、可視波長域又はUV波長域の少なくとも1つの測定波長の測定放射線に關する表面の反射率を低下させる反射防止コーティング及び/又は表面構造が表面に設けられたウェハにも關する。このようなウェハ（測定ウェハ）は、さらに上述した方法の実行時に用いられることが有利であり得る。反射防止コーティング又は表面構造は、この方法と共にさらに上述したように形成され得る。ウェハは通常はシリコンからなる。さらに上述したように、可視波長域は380nm~750nmにある。本願の意味の範囲内でのUV波長域は、190nm~380nmの波長にある。可視波長域よりも小さな波長の測定放射線の使用が有用であり得るが、それは粒子における散乱光強度（レイリー散乱）は通常は $1/M^4$ に比例するからであり、 M は測定波長を示す。

【0031】

本発明は、可視波長域又はUV波長域の少なくとも1つの測定波長の測定放射線に關する表面の反射率を低下させる反射防止コーティング及び/又は表面構造が表面に設けられた、マイクロリソグラフィ用の、特にEUVリソグラフィ用のマスクブランクにも關する

10

20

30

40

50

。このようなマスクブランク、すなわち非構造化マスクも、粒子検出限界を下げるためにさらに上述した方法で用いられることが有利であり得る。

【0032】

EUVリソグラフィに用いられる場合のマスクブランクは、例えばガラスセラミック Zerodur（登録商標）（Schottの商標）又はチタンドープ石英ガラスULE（登録商標）（Corningの商標）又は熱膨張率が小さい他のガラスセラミック若しくはチタンドープ石英ガラス等の、ゼロ膨張材料として知られるものから、すなわち熱膨張率が低い材料から通常はできている。VUVリソグラフィ用のマスクブランクに用いられる材料は例えば、例えばNTAR7からのクロム層を例えば設けた従来の石英ガラスであり得る。

【0033】

上述のウェハ及び/又は上述のマスクブランクにおける反射防止コーティングは、特に上記方法と共にさらに上述したように具現することができ、第1散乱角～第2散乱角の検出角度範囲で、反射率の最大値と反射率の最小値との間の差が5%未満、好ましくは2%未満、特に1%未満である測定放射線に関する角度依存反射率を有し、且つ/又は検出角度範囲での測定放射線に関する反射防止コーティングの反射率は、15%未満、好ましくは5%未満、特に1%未満である。検出角度範囲の第1（最小）角度は特に20%以下、検出角度範囲の第2角度は特に60%以上であり得る。

【0034】

本発明のさらに他の特徴及び利点は、本発明に不可欠な詳細を示す図面を参照した以下の本発明の例示的な実施形態の説明と特許請求の範囲とから明らかである。個々の特徴は、それぞれ単独で個別に又は本発明の変形形態との任意の所望の組み合わせで複数として実現され得る。

【0035】

例示的な実施形態を概略図に示し、以下の説明に記載する。

【図面の簡単な説明】

【0036】

【図1】マイクロリソグラフィ用のマスクブランク又はウェハの表面を検査する、特に粒子を検出する測定装置の概略図である。

【図1b】測定装置により測定放射線を照射された部分領域を有するマスク又はウェハの平面を示す。

【図2a】表面の照射に用いられて表面で検出角度範囲に散乱する測定放射線の概略図を示す。

【図2b】粒子が表面上に堆積した検査対象表面の概略図を示す。

【図3a】反射防止コーティングが検査対象表面に施された検査対象物の概略図を示す。

【図3b】反射防止コーティングが検査対象表面に施された検査対象物の概略図を示す。

【図3c】検査対象表面の反射率を低下させる表面構造を有する検査対象物の概略図を示す。

【図4】従来の表面の検査中又は図3a～図3cに示す表面の検査中に記録された散乱光強度の度数分布の概略図を示す。

【図5】測定装置の検出角度範囲内の2つの異なる反射防止コーティングを設けた図3aの表面の反射率の概略図を示す

【発明を実施するための形態】

【0037】

図面の以下の説明において、同一の参照符号が同一又は機能的に同一のコンポーネントに用いられる。

【0038】

図1aは、散乱光測定を用いるマスク2又はウェハ3を検査する測定装置1を示す。測定装置1は、例えばRudolph Inc.によりマスク2の検査用には「Reflex TTM BI」という商品名で、ウェハ3の検査用には「Reflex FSI」という商品名で提供されている測定装置1であり得る。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 9 】

測定装置 1 は、固定された機械本体 4 を有し、その上側に測定ヘッド 5 が取り付けられる。測定ヘッド 5 は、X Y Z 座標系の Z 方向に延びる回転軸 6 の周りで回転可能に機械本体 4 に取り付けられる。Z 方向に延びる追加回転軸 8 の周りで回転可能に取り付けられた回転板 7 も、機械本体 4 に取り付けられる。

【 0 0 4 0 】

測定ヘッド 5 は、約 4 0 5 n m の測定波長 M の測定光ビームの形態の測定放射線 9 を生成する、レーザダイオードの形態の測定光源 1 0 を有する。測定光源 1 0 が発した測定放射線 9 は、偏向ミラーで Z 方向に、すなわち 2 つの回転軸 6、8 と平行に偏向され、回転板 7 上に位置するマスク 2 の上側の、図 1 b に示す実質的に丸い部分領域 T に入射する。部分領域 T は、マスク 2 を追加回転軸 8 の周りで回転させること及び測定ヘッド 5 をその回転軸 6 の周りで回転させることにより、マスク 2 の表面 1 1 にわたって移動させることができ、その結果、部分領域 T をマスク 2 の表面 1 1 全体に沿って移動又は変位させることができる。測定装置 1 又は適当に変更した測定装置 1 は、図 1 b に示すウエハ 3 の検査に用いることもできる。

10

【 0 0 4 1 】

図 2 a で見ることができるとおり、マスク 2 の平面状の表面 1 1 を垂直に、したがって表面法線の方向に照射するために用いられる測定放射線 9 は、表面 1 1 で半球の全方向に後方散乱される。しかしながら、測定ヘッド 5 に取り付けられた検出器 1 2 は、実質的に点状の部分領域 T において第 1 散乱角 θ_1 ~ 第 2 散乱角 θ_2 の検出角度範囲で散乱した測定放射線 9 のみを検出する。図示の例では、第 1 散乱角 θ_1 は 3 2 ° であり、第 2 散乱角 θ_2 は 6 8 ° である。散乱測定放射線 9 を第 1 及び第 2 散乱角 θ_1 、 θ_2 間の検出角度範囲のみで検出器 1 2 により検出するために、楕円凹面鏡及びピンホールミラーが測定ヘッド 5 に組み込まれる。図 2 a に示す場合とは異なり、検出角度範囲は、部分領域 T に関して回転対称であり、すなわち周方向で（すなわち 3 6 0 ° の角度にわたって）検出角度範囲で部分領域 T において後方散乱した全測定放射線 9 が、検出器 1 2 により捕捉される。

20

【 0 0 4 2 】

測定放射線 9 は、表面 1 1 に対して垂直に放射されるので、理想的な完全に平面状の表面 1 1 で反射する測定放射線 9 は、表面 1 1 から同様に垂直方向に出なければならず、したがって検出器 1 2 により捕捉される検出角度範囲外にあることになる。実際にはどの表面 1 1 も、用いられる研磨法の品質、表面 1 1 の製造材料等に応じた微視的スケールの粗さを有する。図 2 b は、そのような微視的粗さを有する現実の表面 1 1 の詳細を示す。表面 1 1 に堆積した粒子 P 及び表面 1 1 の一部に施されたコーティング 1 3 も同様に図示する。表面 1 1 で散乱して検出器 1 2 により捕捉された測定放射線 9 は、表面 1 1 の粗さに起因した散乱光により生じる第 1 部分と、表面 1 1 上の欠陥、例えば図 2 b に示す粒子 P に起因した第 2 部分とを有する。

30

【 0 0 4 3 】

次式（ブラッグの式）に従って、表面格子の格子周期 G は、測定放射線 9 の測定波長 M 、測定放射線 9 の入射角 θ_E 、及び散乱角 θ_S に関係する。

$$\sin(\theta_E) - \sin(\theta_S) = M / G$$

40

【 0 0 4 4 】

測定放射線 9 の垂直入射の場合、すなわち測定放射線の入射角 θ_E が 0 °、測定波長 M が 4 0 8 n m、第 1 散乱角 θ_1 が 3 2 °、及び第 2 散乱角 θ_2 が 6 8 ° の場合、約 8 0 0 n m の最大格子周期 G_{MAX} 及び 4 0 0 n m の最小格子周期 G_{MIN} が得られ、すなわち上記で指定した検出角度範囲は、約 4 0 0 n m ~ 約 8 0 0 n m の空間波長領域（又は格子周期 G の範囲）に対応する。上記空間波長領域は、表面 1 1 の粗さに起因した散乱光により生じる散乱測定放射線 9 の第 1 部分に関する。

【 0 0 4 5 】

測定波長 M の約半分未満の直径 D_S を有する粒子 P の散乱中心については、散乱光強度 I が直径の 6 乗に比例し、すなわち $I \sim D_S^6$ であるとほぼ言える（レイリー散乱）。

50

粒子はほぼ等方的に散乱し、つまり検出器 1 2 により記録された散乱測定放射線 9 の第 2 部分の強度は、選択された検出角度範囲に僅かにしか依存しない。検出角度範囲の、より正確には第 1 散乱角 θ_1 及び第 2 散乱角 θ_2 の適当な選択は、表面 1 1 の粗さが理想的に最小である空間周波数領域に対応するものであり、これにより、検出器 1 2 により捕捉される表面 1 1 の粗さに起因した散乱測定放射線 9 の第 1 部分を最小化することができる。

【 0 0 4 6 】

粒子 P がもたらすような、通常は約 $0.25 \mu\text{m}$ ~ 約 $0.5 \mu\text{m}$ の直径範囲にある比較的大きな散乱中心では、特に半導体分野で用いられる従来の Si ウェハ及びマスク等の物体で高い散乱光強度 I が得られるが、表面 1 1 の粗さ又は凹凸では、散乱光強度 I が低くなり、図 4 を参照してこれを以下で説明する。

【 0 0 4 7 】

図 4 は、散乱光強度 I の「欠陥カウント (defect count) 」 (D . C .) として知られるものを示し、これは欠陥信号 1 7 と称する第 1 部分とヘイズ信号 1 8 と称する第 2 部分とを有する。ヘイズ信号 1 8 は、表面 1 1 全体で散乱した測定放射線 9 の、すなわち表面 1 1 全体にわたる部分領域 T の移動中に検出された全測定放射線 9 の度数分布を表し、表面 1 1 は測定中に例えば測定格子に分割され得る。これに対して、欠陥信号 1 7 は、(例えば測定格子の格子要素に対応する)部分領域 T で測定された散乱光強度 I である。図 4 で見ることができるよう、欠陥信号 1 7 は、ヘイズ信号 1 8 よりも高い散乱光強度 I でその最大を有する。

【 0 0 4 8 】

粒子 P 等の大きな欠陥ほど高い散乱光強度 I につながる (上記参照)、欠陥信号 1 7 が表面 1 1 上の粒子 P 及び場合によってはさらなる欠陥に起因する一方で、ヘイズ信号 1 8 は実質的には表面 1 1 の粗さに起因する。強度閾値 I_S を上回る散乱光強度 I が表面 1 1 の部分領域 T で測定された場合、粒子 P が表面 1 1 上の部分領域 T にあると見なされ、すなわち検出器 1 2 により測定された散乱光強度 I が強度閾値 I_S を上回る場合、指定の照射期間で、粒子 P が検出される。

【 0 0 4 9 】

照射期間中に部分領域 T で記録された散乱測定放射線 9 について加算又は積分が行われた後に、測定のために表面 1 1 が分割された測定格子の隣接する部分領域 T が粒子 P について同様に検査される。閾値 I_S を上回る散乱光強度 I が複数の隣接する部分領域 T で測定される場合、適当なアルゴリズムを用いて表面 1 1 上の掻き傷又は局所的表面欠陥の有無を推定することが可能である。したがって、表面 1 1 の部分領域 T における散乱光強度 I の閾値 I_S を上回することは、表面 1 1 の部分領域 T における粒子 P の存在に必要な基準だがおそらく十分な基準ではない。

【 0 0 5 0 】

図 4 で見ることができるよう、ヘイズ信号 1 8 は、比較的大きな半値全幅 (F W H M) を有し、実質的にガウス性のヘイズ信号 1 8 の右端は欠陥信号 1 7 におそらく部分的に重なる。ヘイズ信号 1 8 の右端は、度数分布の比較的小さな部分しか構成しないが、ヘイズ信号 1 8 のみにより散乱光強度 I が強度閾値 I_S を上回る場合があり、これは粒子 P が表面 1 1 の部分領域に存在しないのに粒子 P がそこで検出されることを意味する。そのため、強度閾値 I_S 、したがって検出可能な最小粒径 D_S は、粒子 P の検出の誤差を回避するために任意に小さくすることができない。

【 0 0 5 1 】

検出限界、すなわち検出可能な最小粒径 D_S を下げるために、ヘイズ信号 1 8 及び欠陥信号 1 7 をできる限り相互に分離する必要がある。これは、ヘイズ信号 1 8 の幅を減らして、粒子検出限界に関する強度閾値 I_S も下げることにより達成することができる。これは表面 1 1 の粗さの低減によっても達成され得るが、これは概して容易に可能なことではない。

【 0 0 5 2 】

検出限界を下げるために、従来のマスクブランク 2 を用いる代わりに、図 3 a に示すよ

10

20

30

40

50

うに、反射防止コーティング 13 が表面に施された板状物体 14 が図 1 a の測定装置 1 に導入される。図 2 b で見るように、均一な厚さで施されたコーティング 13 の上側は粗い表面 11 に従い、すなわち施されたコーティング 13 は表面 11 の粗さを増加させない。したがって、図 1 a の測定装置を用いて検査される表面 11 は、その粗さに関して元の表面 11 に実質的に一致する。

【 0 0 5 3 】

反射防止コーティング 13 により、測定放射線 9 に関する表面 11 の反射率、したがって散乱効果が低減し、すなわち、特定の入射角で入射する測定放射線 9 の強度 I_I の強度 I_O の下側第 1 部分は、反射防止コーティング 13 が施されていない表面 11 の場合よりも反射される。したがって、反射率の低下により、検出器 12 に入射し表面 11 の表面粗さに起因した測定放射線 9 の第 1 部分は低減され、その結果、図 4 で見るように表面 11 で測定された散乱光分布が変化する。

10

【 0 0 5 4 】

反射防止コーティング 13 が設けられた表面 11 で測定されたヘイズ散乱光分布 18' は、散乱光強度 I に関して低減され、すなわち図 4 において左へずれる。欠陥ピーク又は欠陥信号 17' も同様に左へずれるが、ヘイズ散乱光分布 18' の最大と欠陥信号 17' の最大との間の距離 A は不変のままである。これは、表面 11 の格子要素から出る全散乱光強度 I が表面 11 の散乱光部分、すなわちヘイズ信号 18 又は 18' と欠陥信号 17 又は 17' とが加算合成されたものであるという仮定に基づく。

【 0 0 5 5 】

図 4 に示す例では、表面 11 の反射率が反射防止コーティング 13 により半分になると見なされた。したがって、図 4 から明白なように、ヘイズ信号 18、18' が最大となる散乱光強度は $100 a \cdot u$ から $50 a \cdot u$ に低下する。ヘイズ信号 18、18' の標準偏差又は FWHM 値もそれに応じて変化する。反射防止コーティングのない表面 11 の場合、FWHM 値は約 $10 a \cdot u$ (約 $95 a \cdot u \sim 105 a \cdot u$) である。表面 11 の反射率の半減の場合、FWHM 値も半分に、すなわち約 $5 a \cdot u$ ($105 / 2 a \cdot u \sim 95 / 2 a \cdot u$) に減る。ヘイズ信号 18、18' の散乱測度に基づき通常は規定される強度閾値 I_S 又は I_S' (下記参照) は、それに応じて下がる。したがって、左へずれたヘイズ信号 18' の場合の強度閾値 I_S' も同様に、ずれたヘイズ信号 18' の最大の方向へ左にずれるが、ここでは粒子 P の検出の誤り率は増加しない。

20

30

【 0 0 5 6 】

強度閾値 I_S 又は I_S' は、例えばヘイズ信号 18、18' の分散、FWHM 値、標準偏差、又は別の散乱測度に応じて固定され得る。例えば、強度閾値 I_S 又は I_S' は、3 値として知られるものとして規定することができ、すなわち、ヘイズ信号 18、18' の最大から測定したヘイズ信号 18、18' の標準偏差 の 3 倍を超える散乱光強度 I_S 又は I_S' が、検出信号 17 と関連すると考えられ、粒子 P の存在を意味すると評価される。ヘイズ信号 18、18' の散乱測度は相互に変換することもでき、例えば強度閾値 I_S 又は I_S' を求める際の標準偏差 及び図 4 に示す FWHM 値に関して以下の関係が当てはまる：FWHM 値 2.3548 。

【 0 0 5 7 】

板状物体 14 に施された反射防止コーティング 13 は、図 3 a に示す例では、測定波長 M に関して高屈折率及び低屈折率の複数の個別層 13 a、13 b を交互に有する多層コーティングであり、その層厚は、 405 nm の測定波長 M の測定放射線 9 に関して弱め合う干渉が起こるよう選択される。2 つの反射防止コーティングに関して図 5 に示すように、第 1 散乱角 $\theta_1 \sim$ 第 2 散乱角 θ_1 の測定角度範囲での物体 14 の反射率 R は、ここで 5.0% 未満に低減され得る。点破線又は破線で示す反射率 R は、シリコンウェハの形態のシリコンでできている物体 14 にそれぞれ施された 2 つの異なる構成の反射防止コーティング 13 に対応する。反射防止コーティング 13 の正確な層構成は、ここではより詳細に論じない。2 つの反射防止コーティング 13 の一方は、この検出角度範囲に最適化され、その結果、検出角度範囲での反射率 R の最大値 R_{MAX} と反射率 R の最小値 R_{MIN} との

40

50

間の差は約 5 % 未満であり、すなわち検出角度範囲での反射率 R に関して、 $R_{MAX} - R_{MIN} < 5.0\%$ である。

【0058】

反射防止コーティング 13 の反射率 R に関して図 5 に点破線で示す場合とは異なり、最小反射率 R_{MIN} は必ずしも第 1 散乱角 θ_1 で達成されるわけではなく、最大反射率 R_{MAX} は必ずしも第 2 散乱角 θ_2 で達成されるわけではない。理想的には、図 5 に破線で示す反射防止コーティング 13 の反射率 R の場合のように、反射防止コーティング 13 の反射率 R は全検出角度範囲で（ほぼ）不変である。対応する反射防止コーティング 13 が、UV 波長域の、例えば約 248 nm の測定波長 λ_M の測定放射線 12 にも最適化され得ることを理解されたい。反射防止コーティング 13 の最適化のために、物体 14 の屈折率を知る必要がある。

10

【0059】

板状物体 14 がシリコンウェハである上記例の代替として、板状物体 14 は、例えば光学フィルタガラス、特に Schott により RG1000 という商品名で市販されており 405 nm の測定波長 λ_M の測定放射線 9 に関して約 1.54 の屈折率を有するロングパスフィルタガラスでもあり得る。ロングパスフィルタガラスの形態の物体 14 は、3 mm の厚さ d_1 で 10^{-5} 未満の残留透過率を有し、すなわち物体 14 の後側から反射する測定放射線 9 が事実上ない。物体 14 の前側に反射防止コーティング 13 があることにより、表面 11 の反射率 R をコーティングされていない表面 11 に比べて 18 分の 1 未満に低下させることができる。

20

【0060】

物体 14 の厚さ d_1 及びその寸法は、図 1 a の測定装置 1 に嵌まって物体 14 をそこで測定できるように選択される。ウェハ又は光学フィルタガラスの代わりに、用いられる物体 14 は、異なる材料、例えばマスクブランク 2 で一般的であるように、例えば石英ガラス、チタンドープ石英ガラス、又はガラスセラミック（EUV リソグラフィ用のマスクブランクの場合）とすることもできる。特に、以下でより詳細に説明するように、従来のマスクブランク 2 は、反射防止コーティング 13 を施すこと又は場合によっては微細構造化することにより測定用に準備され得る。

【0061】

さらに上述したように、信号対雑音比を下げるか又は粒子検出限界を下げるよう図 1 a の測定装置 1 での測定用のウェハ 3 を準備することも可能である。図 3 b は、反射防止コーティング 13 が施されたこのようなシリコンウェハ 3 を示し、反射防止コーティング 13 は、例えば導入部分で引用した D. Gabler による論文「モスアイのナノ光学のモデルに基づくシリコンフォトダイオードの反射防止 (Entspiegelung von Silizium-Photodiodes nach dem Vorbild der Nanooptik von Mottenaugen) [Rendering silicon photodiodes anti-reflective based on the model of the nanooptics of moth eyes]」（イルメナウ工科大学、2005 年）におけるように構成することができ、且つ例えば窒化ケイ素 Si_xN_y からなり得る。

30

【0062】

このような反射防止コーティング 13 により、405 nm の測定波長 λ_M の測定放射線 9 に関する反射率 R を、コーティングされていないシリコンからできた表面 11 に対して約 4 分の 1 に低下させることができる。可視波長域でのコーティングされていないシリコンの反射率 R は、通常は約 30% を超え、405 nm の測定波長 λ_M では約 50% であり、図 3 b の反射防止コーティング 13 が設けられた表面 11 の反射率 R は約 5% 未満である（図 5 参照）。測定波長 λ_M での結晶シリコンの吸収係数は 10^5 1/cm を超える。市販のウェハ 3 は、厚さ d_2 が約 650 μm であり、ウェハ 3 の後側に達してそこで反射される測定放射線 9 が事実上ない。

40

【0063】

例えば表面構造化又は異なる測定波長 λ_M の選択による反射防止コーティング 13 の最適化により、測定放射線 9 に関するウェハ 3 又は表面 11 の反射率 R がさらに低減され、

50

したがって散乱光測定における粒子Pの検出限界をさらに下げることができることを理解されたい。

【0064】

図3cはウェハ3を示し、その場合、表面構造15が表面11の反射率Rの低減のために施され、図示の例での上記表面構造15は、ブラックシリコンとして知られるもの、すなわちイオン又は超短レーザーパルスでの高エネルギー衝撃により生成された針状微細構造である。ブラックシリコンの形態の表面構造15は、表面11における測定放射線9の吸収を増加させ、したがって405nmの測定波長 λ_M の測定放射線9に関するその反射率Rを特に約2%未満に、すなわち約20分の1に大幅に低下させる。したがって、図3cに示すウェハ3の場合、粒子検出限界を従来の非表面構造化ウェハ3に比べて大幅に下げることができる。

10

【0065】

従来のウェハ3の代わりに、反射防止コーティング13又は表面構造15を、エピタキシャル蒸着シリコン層を表面11に塗布して欠陥数を減らした点が従来のウェハと異なるウェハ3に設けることもできる。粗さ測定によれば、このようなエピタキシャルシリコン損を有するウェハ3の場合に表面粗さが従来のシリコンウェハに対して増加し、結果として粒子検出限界が上がる(上記参照)。このような変更したシリコンウェハ3の表面11の反射を低減することにより、粒子検出限界を許容可能な値に下げることができる。基板として働くウェハ3上又はマスクプランク2上に施される他のタイプの層でも、粒子検出限界を上述のように下げることができる。

20

【0066】

表面構造15と構造化表面11に施される反射防止コーティング13との組み合わせを、表面11の反射率Rの低減に用いることもできることを理解されたい。表面11の反射率Rを低減するために、針状微細構造の代わりに例えば格子構造又はモスアイ構造を用いることも可能である。

【0067】

原理上、物体2、3、14の環境、通常は空気から、物体2、3、14の材料へ屈折率が徐々に又はおそらく連続して遷移することにより、表面11の反射率Rを低減することもでき、すなわち、このような屈折率プロファイル又はこのような遷移を(有効媒体として)もたらず表面11の変更は、概して表面11の反射率の低下につながる。したがって、さらに上述した粒子Pの検出のために、対応する有効媒体を表面11の反射率Rの低下に用いることができる。

30

【0068】

要約すると、さらに上述したように、すなわち反射率Rを低下させた適当に変更した表面11を有する試験物体2、3、14を用いることにより、粒子検出限界を下げて、それによる誤り率の上昇を伴わずにより小さな粒径 D_s を有する粒子Pを検出できるようにすることが可能である。

40

50

【図面】

【図 1 a】

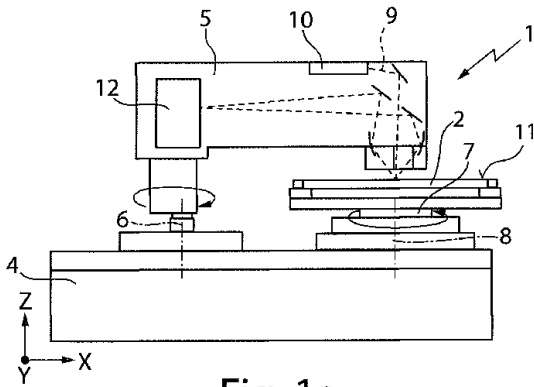


Fig. 1a

【図 1 b】

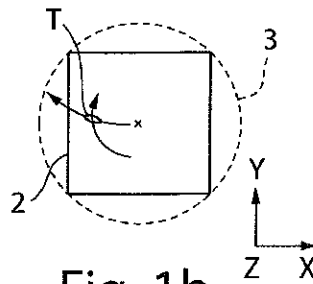


Fig. 1b

10

【図 2 a】

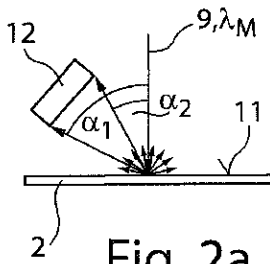


Fig. 2a

【図 2 b】



Fig. 2b

20

【図 3 a】

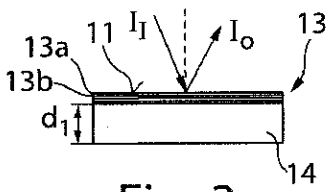


Fig. 3a

【図 3 b】

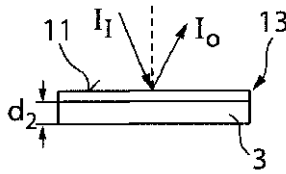


Fig. 3b

30

40

50

【 3 c 】

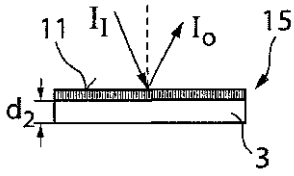


Fig. 3c

【 4 】

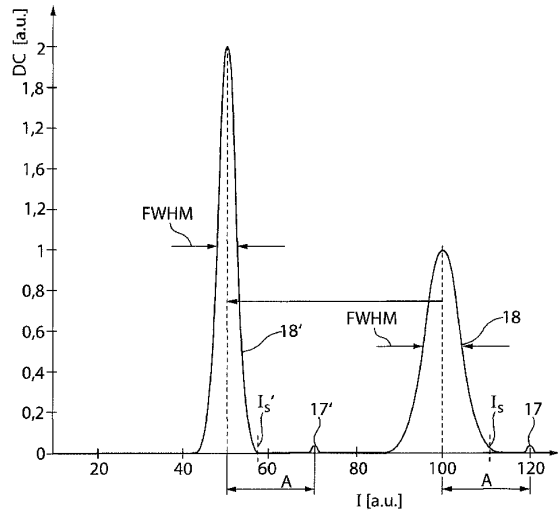


Fig. 4

【 5 】

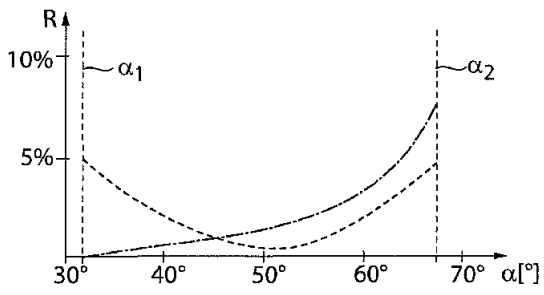


Fig. 5

10

20

30

40

50

フロントページの続き

(72)発明者 ミカエル ゲルハルト
ドイツ国 7 3 4 3 2 アーレン トッゲンブルガーストラッセ 1 5

審査官 村田 顕一郎

(56)参考文献 特表 2 0 1 2 - 5 3 1 0 4 2 (J P , A)
特開 2 0 1 1 - 0 2 7 6 6 2 (J P , A)
特開昭 6 2 - 2 8 2 4 4 5 (J P , A)
特開平 0 9 - 1 1 3 9 2 7 (J P , A)
特開 2 0 1 7 - 0 5 0 2 5 6 (J P , A)
特開 2 0 1 3 - 2 4 2 1 7 9 (J P , A)
特開昭 5 0 - 0 7 2 9 1 1 (J P , A)
特開 2 0 1 0 - 2 6 7 9 3 4 (J P , A)
特開 2 0 0 3 - 1 7 7 1 0 0 (J P , A)
特開 2 0 1 0 - 2 1 0 5 6 8 (J P , A)
米国特許第 0 4 7 6 7 6 6 0 (U S , A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., D B 名)
G 0 1 N 2 1 / 8 4 - 2 1 / 9 5 8
G 0 3 F 1 / 8 4