

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2006-511069

(P2006-511069A)

(43) 公表日 平成18年3月30日(2006.3.30)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 21/027 (2006.01)	HO 1 L 21/30 5 1 6 A	2 G 0 8 6
GO 1 M 11/02 (2006.01)	GO 1 M 11/02 B	5 F 0 4 6

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 32 頁)

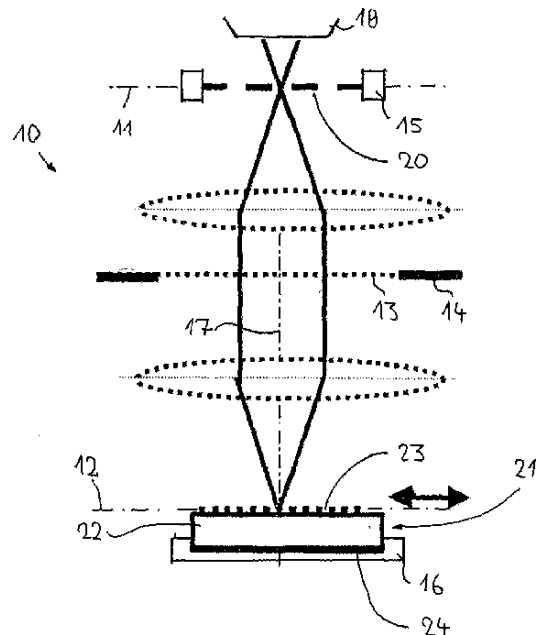
(21) 出願番号	特願2004-561103 (P2004-561103)	(71) 出願人	503263355
(86) (22) 出願日	平成14年12月19日 (2002.12.19)		カール・ツァイス・エスエムティー・アー ゲー
(85) 翻訳文提出日	平成17年7月11日 (2005.7.11)		ドイツ連邦共和国、ディーラー 7 3 4 4 7
(86) 国際出願番号	PCT/EP2002/014559		オベルコッヘン、カール・ツァイス・シュ トラーセ 2 2
(87) 国際公開番号	W02004/057423	(74) 代理人	100074538
(87) 国際公開日	平成16年7月8日 (2004.7.8)		弁理士 田辺 徹
(81) 指定国	AP (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC , NL, PT, SE, SI, SK, TR), OA (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, B G, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP , KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, M Z, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW	(72) 発明者	ウルリッヒ ヴェークマン ドイツ連邦共和国、8 9 5 5 1 ケーニッ ヒスブロン、エアレンヴェーク 5
		F ターム (参考)	2G086 HH06 5F046 AA17 CB17 CB25 DB04 DB11 DC05 DC11

(54) 【発明の名称】 光学結像系の結像品質を測定するための測定方法および測定システム

(57) 【要約】

【課題】 光学結像系の高精度測定を、その使用現場で短時間に、また装置をあまり複雑にしないで可能にする測定方法および測定システムを提供する。

【解決手段】 光学結像系(10)の結像品質を測定するための測定方法において、結像系の物体面の領域内に配置することができるマスク構造部(20)を有する測定マスクを設ける。さらに、マスク構造部に適応させた参照構造部(23)であって、結像系の像面(12)上に配置すべきである参照構造部(23)と、2次元に延在する感光記録媒体(24)であって、記録位置に配置され、それにより、マスク構造部を参照構造部上に結像するとき生じる重ね合わせパターンを記録媒体によって検出することができる、記録媒体(24)とを設ける。記録媒体の評価のために、記録媒体を記録位置から、それから離れた評価位置へ移動させる。本測定方法および関連の測定システムは、マイクロリソグラフィ投影露光装置内に組み込まれた状態での投影対物レンズの高速かつ高精度の測定に特に適する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光学結像系の結像品質を測定するための測定方法であって、
前記結像系の物体面の領域内にマスク構造部を設けるステップ、
前記結像系の像面の領域内に前記マスク構造部に適応させた参照構造部を設けるステップ、
少なくとも 1 つの 2 次元に延在する感光記録媒体を記録位置に設けるステップ、
前記マスク構造部を前記参照構造部上に結像するステップであって、それにより、前記結像系の視野面またはひとみ面の領域内に強度分布を生じる、結像するステップ、
前記強度分布または該強度分布の画像を前記記録媒体によって検出するステップ、
前記記録媒体を前記記録位置から、それから離れた評価位置へ移動させるステップ、および
前記記録媒体を前記記録位置から離れた位置で評価するステップ、
を含む測定方法。

10

【請求項 2】

前記参照構造部および前記記録媒体を互いに対して位置的に適正な空間割り当て状態で包含するセンサユニットを設けるステップを含む、請求項 1 に記載の測定方法。

【請求項 3】

投影露光装置内に組み込まれた投影対物レンズを測定するために、
前記結像系の前記物体面の領域内において、パターン化すべき物体の露光に使用される有効パターンを、前記測定システムの前記マスク構造部と交換するステップ、および
パターン化すべき物体を、前記参照構造部および前記記録媒体を互いに対して位置的に適正な空間割り当て状態で包含するセンサユニットであって、前記参照構造部を前記結像系の像面の領域内に配置するように配置されるセンサユニットと交換するステップを実行する、請求項 1 または 2 に記載の測定方法。

20

【請求項 4】

前記マスク構造部用の有効パターンの交換は、有効パターンを有するレチクルであって、パターン化すべき物体の露光に使用されるレチクルを、前記測定システムの前記マスク構造部を担持する測定マスクと交換することを含む、請求項 3 に記載の測定方法。

【請求項 5】

異なった位相角で（位相シフト状態で）複数の空間強度分布を生じるために、前記結像系の光軸に垂直な変位方向において前記マスク構造部および前記参照構造部間の相対変位を実行する、先行する請求項のいずれか 1 項に記載の測定方法。

30

【請求項 6】

多重干渉縞方法を実行する、請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の測定方法。

【請求項 7】

強度分布または該強度分布の画像を前記記録媒体によって検出し、それにより、前記記録媒体上で互いに対してずれた位置にあって、特に重ならないように評価パターンを生じる、先行する請求項のいずれか 1 項に記載の測定方法。

【請求項 8】

前記マスク構造部に対する前記参照構造部および前記記録媒体の、光軸に垂直な結合変位が、連続した評価パターン生成の間に行われ、変位距離は好ましくは、前記参照構造部の周期長さの整数倍に該周期長さの分数を加えたものである、請求項 7 に記載の測定方法。

40

【請求項 9】

前記参照構造部に対する前記記録媒体の、光軸に垂直な変位は、連続した記録の間に行われ、変位距離は好ましくは、前記参照構造部の周期長さの整数倍に該周期長さの分数を加えたものである、請求項 7 に記載の測定方法。

【請求項 10】

参照構造部を担持するための参照基板を設けること、

50

前記記録媒体を担持するための記録キャリアであって、前記参照基板から分離している記録キャリアを設けること、

センサユニットを形成するために、前記参照基板および前記記録キャリアを位置的に適正なやり方で配置すること、

該センサユニットで前記結像系を測定すること、

前記記録キャリアを前記記録媒体と共に前記参照基板から分離すること、および

前記記録キャリアを前記記録媒体と共に前記記録位置から、該記録位置から離れた評価位置に移動させること、

を含む、先行する請求項のいずれか1項に記載の測定方法。

【請求項11】

前記参照パターンを担持するか、あるいは、前記参照構造部に対して位置的に適正な配置に配置されるか、配置されることができ基板の表面に記録媒体の層を取り付けること

、前記記録媒体によって重ね合わせパターンを検出して、前記記録媒体を評価すること、

前記記録媒体を前記基板から剥がすこと、および

前記基板を記録媒体の取り付け用に再利用すること、

を含む、請求項1～9のいずれか1項に記載の測定方法。

【請求項12】

前記記録媒体は、感光レジストからなる少なくとも1つの層を有する、先行する請求項のいずれか1項に記載の測定方法。

【請求項13】

前記記録媒体は、測定放射光の照射時にその秩序状態の永久的または可逆的变化を経験する少なくとも1つの材料を含む、先行する請求項のいずれか1項に記載の測定方法。

【請求項14】

前記評価は、

少なくとも1つの評価パターンか、該評価パターンの現像点を検出し、それにより、デジタル処理可能な評価データを生じる、検出するステップ、および

該評価データをコンピュータ援用によって評価し、それにより、前記結像系の結像品質を表す少なくとも1つの結像パラメータを決定する、評価するステップ、

を含む、先行する請求項のいずれか1項に記載の測定方法。

【請求項15】

前記記録媒体の感光可能な特性の空間変化を検出するために、少なくとも1つの光電子装置、特にカメラまたはスキャナを使用する、請求項14に記載の測定方法。

【請求項16】

前記記録媒体の秩序状態の空間変化を検出するために、秩序度に関して選択的である少なくとも1つの装置、特に磁界感知、または偏光選択装置が使用される、請求項14に記載の測定方法。

【請求項17】

前記マスク構造部に適応させた参照構造部を設けることであり、それにより、前記マスク構造部を前記参照構造部上に結像したとき、重ね合わせパターンとしてモアレパターンを生じることができる、参照構造部を設けること、および

前記像面の領域内か、前記像面に対して共役面上か、前記参照構造部のツールボット面の領域内に前記記録媒体を設けること、

を含む、先行する請求項のいずれか1項に記載の測定方法。

【請求項18】

測定中に使用される放射光用の回折格子として有効な参照構造部を設けること、および

前記記録媒体を、回折パターンの異なった回折次数の放射光から干渉写真を重ね合わせパターンとして検出することができる表面領域内に設けること、

を含む請求項1～16のいずれか1項に記載の測定方法。

【請求項19】

10

20

30

40

50

測定中に使用される放射光用の少なくとも1つの準点状通路（ピンホール）を有する参照構造部を設けること、および

前記記録媒体を、通路から出る放射光および前記マスク構造部から結像系を通る放射光の干渉写真を重ね合わせパターンとして検出することができる表面領域内に設けること、を含む、請求項1～16のいずれか1項に記載の測定方法。

【請求項20】

前記記録媒体は、前記参照構造部の前記光遠視野内に配置される、請求項18または19に記載の測定方法。

【請求項21】

測定に使用される放射光の周波数を、前記記録媒体が放射光の影響を受ける周波数範囲内へ変換することを特徴とする、先行する請求項のいずれか1項に記載の測定方法。

10

【請求項22】

測定は多数の視野点で、好ましくは複数の視野点で同時に実行される、先行する請求項のいずれか1項に記載の測定方法。

【請求項23】

前記記録媒体内に、少なくとも1つの評価パターンに加えて少なくとも1つの補助構造部を記録することであり、該補助構造部は好ましくは、少なくとも1つの位置合わせマーク、少なくとも1つの灰色くさびフィルタおよび/または少なくとも1つの線格子である、記録することを特徴とする、先行する請求項のいずれか1項に記載の測定方法。

【請求項24】

20

光学結像系の結像品質を測定するための測定システムであって、

前記結像系の物体面上に配置される少なくとも1つのマスク構造部（20、420、520、920）を備える少なくとも1つの測定マスク、

参照構造部（23、123、223、523、623、940、973）を備える少なくとも1つの参照基板（22、122、222'、522、622、972）であって、該参照構造部は、前記結像系の像面の領域内に該参照構造部を配置できるように前記マスク構造部に適応している、少なくとも1つの参照基板、

2次元に延在する感光記録媒体（24、124、224、424、524、624、724、824、924、974）を備える少なくとも1つの記録キャリアであって、それにより、該記録媒体を記録位置に配置することができる、少なくとも1つの記録キャリア

30

、前記記録媒体を前記記録位置から、それから離れた評価位置へ移動させることができること、および

前記記録媒体を前記記録位置以外で評価するための少なくとも1つの評価装置（40）

を含む測定システム。

【請求項25】

前記参照構造部を備える前記参照基板および前記記録媒体を備える前記記録キャリアを包含する少なくとも1つのセンサユニット（21、123、221、521、621、921、971）を有する、請求項24に記載の測定システム。

40

【請求項26】

前記センサユニット（21、123、221、521、621、921、971）は、露光すべき物体の代わりに、それをマイクロリソグラフィ投影露光装置の、物体用に設けられたホルダ（16）内に導入することができるような寸法および形状である、請求項25に記載の測定システム。

【請求項27】

前記センサユニット（21、123、221、521、621、921、971）は実質的に、半導体ウェハの形を有する、請求項25または26に記載の測定システム。

【請求項28】

前記参照基板は、前記測定放射光を透過する材料からなるプレート（22、122、2

50

2 2 '、5 2 2、6 2 2、9 7 2) であり、前記参照構造部は、前記プレートのプレート面上か、またはその付近に配置される、請求項 2 4 ~ 2 7 のいずれか 1 項に記載の測定システム。

【請求項 2 9】

前記記録キャリアは、プレート(2 2、1 2 2、2 2 2 '、5 2 2、6 2 2、9 7 2) であり、前記記録媒体(2 4、1 2 4、2 2 4、4 2 4、5 2 4、6 2 4、7 2 4、8 2 4、9 2 4) は、前記プレートのプレート面によって支持および/または担持される、請求項 2 4 ~ 2 8 のいずれか 1 項に記載の測定システム。

【請求項 3 0】

前記参照基板(2 2、1 2 2、5 2 2、6 2 2、9 7 2) および前記記録キャリア(2 2、1 2 2、5 2 2、6 2 2、9 7 2) は、同一素子によって、特に平行平面プレートによって形成される、請求項 2 4 ~ 2 9 のいずれか 1 項に記載の測定システム。

10

【請求項 3 1】

前記参照基板(2 2 ') および前記記録キャリア(2 2 2 ") は、個別素子であって、該個別素子は、互いに分離することができると共に、好ましくは相補的接触面に沿って光学接触することができる、請求項 2 4 ~ 2 9 のいずれか 1 項に記載の測定システム。

【請求項 3 2】

前記記録媒体(2 4、2 2 4、5 2 4、9 7 4) は、前記記録キャリアの表面に固定的に連結され、かつ/または、好ましくは剥がすことができる層として前記表面に取り付けられる、請求項 2 4 ~ 3 1 のいずれか 1 項に記載の測定システム。

20

【請求項 3 3】

前記記録媒体(1 2 4、6 2 4) は、前記記録キャリアに取り外し可能に固定されるように構成され、かつ/または前記記録キャリアに対して移動することができる、請求項 2 4 ~ 3 1 のいずれか 1 項に記載の測定システム。

【請求項 3 4】

前記記録キャリア(1 2 2、6 2 2) は、前記記録媒体(1 2 4、6 2 4) を前記記録キャリアに対して変位させるための変位装置(1 2 7、6 2 7) を割り当てられている、請求項 2 4 ~ 3 3 のいずれか 1 項に記載の測定システム。

【請求項 3 5】

前記参照構造部以外に、前記結像系の前記像面の領域内に配置することができる少なくとも 1 つの補助構造部、特に少なくとも 1 つの位置合わせマーク、および/または少なくとも 1 つの灰色くさびフィルタ、および/またはモアレ模様を生じるように前記測定マスクの線格子に適応させた少なくとも 1 つの線格子が配置されている、請求項 2 4 ~ 3 4 のいずれか 1 項に記載の測定システム。

30

【請求項 3 6】

前記記録媒体(2 4、1 2 4、2 2 4、5 2 4、6 2 4、9 7 4) は、前記参照構造部(2 3、1 2 3、2 2 3、5 2 3、6 2 3、9 7 3) から距離を置いて配置され、それにより、測定構成において、前記記録媒体は、前記放射光路上で前記参照構造部の後方に距離を置いて配置される、請求項 2 4 ~ 3 5 のいずれか 1 項に記載の測定システム。

【請求項 3 7】

前記距離は、前記記録媒体(2 4、1 2 4、2 2 4、9 7 4) が前記参照構造部(2 3、1 2 3、2 2 3、9 7 3) の光学遠視野内に配置されるようにする寸法である、請求項 3 6 に記載の測定システム。

40

【請求項 3 8】

前記距離は、前記記録媒体(5 2 4、6 2 4) が前記参照構造部(5 2 3、6 2 3) のツールボット面の領域内に配置されるようにする寸法である、請求項 3 6 に記載の測定システム。

【請求項 3 9】

周波数変換材料を備える層が、前記参照構造部および前記記録媒体間に配置される、請求項 3 6 ~ 3 8 のいずれか 1 項に記載の測定システム。

50

【請求項 4 0】

前記記録媒体 (7 2 4、8 2 4) は、前記参照パターンが前記記録媒体に組み込まれるようにパターン化される、請求項 2 4 ~ 3 5 のいずれか 1 項に記載の測定システム。

【請求項 4 1】

前記参照構造部 (9 4 0) は、直接的に前記記録媒体 (9 2 4) に取り付けられる、請求項 2 4 ~ 3 5 のいずれか 1 項に記載の測定システム。

【請求項 4 2】

前記記録媒体は、感光レジストからなる少なくとも 1 つの層 (9 7 4) を有する、請求項 2 4 ~ 4 2 のいずれか 1 項に記載の測定システム。

【請求項 4 3】

前記記録媒体は、測定放射光の照射時にその秩序状態の永久的または可逆的变化を経験する少なくとも 1 つの材料を含む、請求項 2 4 ~ 4 2 のいずれか 1 項に記載の測定システム。

10

【請求項 4 4】

評価装置 (4 0) であって、

前記記録媒体の少なくとも 1 つの特性の空間変化を検出すると共に、デジタル処理可能な評価データを生じるための少なくとも 1 つの検出装置 (4 1)、および

前記評価データから前記結像系の結像品質を表す少なくとも 1 つの結像パラメータを決定するための少なくとも 1 つのコンピュータ (4 2)、
を備える評価装置 (4 0) を有する、請求項 2 4 ~ 4 3 のいずれか 1 項に記載の測定システム。

20

【請求項 4 5】

前記検出装置は、光電子的に動作し、好ましくは少なくとも 1 つのデジタルカメラ (4 1) および / または少なくとも 1 つのスキャナを有する、請求項 4 4 に記載の測定システム。

【請求項 4 6】

前記記録媒体の秩序状態の空間変化を検出するための前記検出装置は、秩序度に関して選択的な少なくとも 1 つの装置、特に磁界感知または偏光選択装置を有する、請求項 4 4 または 4 5 に記載の測定システム。

【請求項 4 7】

参照構造部であって、前記マスク構造部を該参照構造部上に結像したとき、重ね合わせパターンとしてモアレパターンを生じることができるよう前記マスク構造部に適応させた参照構造部を有する、請求項 2 4 ~ 4 6 のいずれか 1 項に記載の測定システム。

30

【請求項 4 8】

測定中に使用される放射光用の回折格子として有効である参照構造部を有する、請求項 2 4 ~ 4 6 のいずれか 1 項に記載の測定システム。

【請求項 4 9】

測定中に使用される放射光用の少なくとも 1 つの準点状通路 (ピンホール) を備える参照構造部を有する、請求項 2 4 ~ 4 6 のいずれか 1 項に記載の測定システム。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、光学結像系の結像品質を測定するための測定方法および測定システムに関する。好適な適用領域は、マイクロソグラフィ用の投影対物レンズの測定である。

【背景技術】

【0 0 0 2】

マイクロソグラフィ投影露光装置は、半導体部品および他の微細構造デバイスの作製に使用される。この場合、マスクか、またはレチクルのパターンが、ウェハなどの、感光層をコーティングした基板上に投影対物レンズによって結像される。結像する構造が微細

50

であるほど、作製すべき製品の品質が、使用する光学結像システムの結像誤差によって決定されて制限される度合いが大きくなる。この結像誤差は、たとえば結像された構造部の結像線幅および像位置に影響を与える。

【0003】

適当な調節によって最小限にした結像誤差を有する光学結像系を提供できるようにするために、結像誤差の高精度決定は、光学結像系のための製造プロセスにおいて極めて重要なステップである。この目的のために、干渉測定方法が使用されることが多い。非常に高い解像度の投影対物レンズの高速かつ高精度の測定を可能にするシャリング干渉計のように動作する波面検出装置が、ドイツ特許出願第 D E 1 0 1 0 9 9 2 9 号（米国特許出願第 2 0 0 2 0 0 1 0 8 8 A 1 号に対応）に記載されている。この測定システムの場合、イン
10
コヒーレントな光で照明される予定であって、出現放射光のコヒーレンスを整形する働きをする測定マスクが、被試験結像系の物体平面上に配置される。このマスクは、たとえば、石英ガラス製の透明キャリアを有することができ、このキャリア上にマスク構造部が、たとえば、クロムコーティングによって付着される。このマスク構造部の放射光透過領域の一般的な構造寸法は、使用される測定放射光の波長に比べて大きいであろう。これは、本明細書では、2次元の、または2次元に延在するマスク構造部とも呼ばれる。回折格子として形成された参照構造部が、結像系の像平面上に配置される。回折によって発生した波の重ね合わせにより、干渉写真の形の強度分布が回折格子を背景にして生じ、干渉写真は、空間分解検出器によって電子的に検出されて、その検出器に接続された評価装置によって評価される。波面収差から、低次および高次結像誤差を決定することができる。
20

【0004】

波面測定用の別種類の装置は、PDI（点回折干渉計）であり、これは、使用した測定光波長の桁の大きさか、それより小さい開口を有する構造部を使って作業する。

【0005】

特に光学系のひずみを測定するための他の試験方法は、モアレ効果の利用に基づく。この場合、物体パターンが試験体の物体平面上に配置され、この物体パターンは、たとえば、物体構造部を形成する多数の平行線を有する。たとえば、格子のように構成することができる物体パターンの一般的な構造部寸法は、使用される測定放射光の波長に比べて大きく、そのため、回折効果は通常は無視できる程度である。物体構造部と同様の参照構造部が、像平面上に配置される。物体構造部を結像系によって参照構造部上に結像したとき、
30
モアレ干渉縞を有するモアレパターンの形の重ね合わせパターン（強度分布）が生じるように、物体構造部および参照構造部を互いに一致させる。空間分解検出器によって電子的に検出することができる干渉縞パターンの強度分布から、特に結像系のひずみに関する結像パラメータを確認することができる。モアレ方法は、たとえば、米国特許第 5, 7 6 7, 9 5 9 号および米国特許第 5, 9 7 3, 7 7 3 号、またはヨーロッパ特許第 0 4 1 8 0 5 4 号の明細書に開示されている。

【0006】

高性能光学系の結像品質は、温度、圧力、機械的応力などの周囲影響にも大きく依存するので、顧客が用いるときの使用現場で結像品質の監視を行うことが、また適当であれば、結像系に対する操作による収差制御を行うことも必須である。これには、現場での、す
40
なわち、ウェハステッパまたはウェハスキャナ内に組み込まれた状態で、投影対物レンズの迅速な測定を可能にする、信頼できると共に十分に高精度な測定方法を利用できなければならない。

【0007】

米国特許第 5, 8 2 8, 4 5 5 号は、投影対物レンズの現場波面測定を可能にする測定方法を記載している。この測定方法は、ハルトマンテストに基づいており、複数の穴を有する穿孔プレートおよびその背後に取り付けられたアパーチャプレートを備える複雑な特殊レチクルを必要とし、この特殊レチクルの構造部が、フォトレジストをコーティングしたウェハ上に露光する。レチクルの構造は、波面の局部傾斜が像平面のひずみに変換される効果を有する。走査型電子顕微鏡（SEM）または他の顕微鏡ベースの検査装置を使
50

用して、構造部を投影露光装置の外で測定することによって、露光ウェハを評価する。本方法の測定光は、投影露光装置の照明系によって与えられる。この測定方法では、ほとんどの用例で十分な測定精度が得られる。しかし、照明光の大部分が特殊レチクルで遮蔽されるので、ウェハに対する露光時間が極端に長くなる。露光ウェハのこの評価は、装置および時間の点で高コストである。

【0008】

それぞれの場合に異なった開口数および異なった照明設定（多数照明設定、MIS）で測定を実行することを含む他の現場測定方法がある。この場合、空中像測定とMISプロフィール測定とを区別することが可能である。空中像測定に関する論文からの引用が、米国特許第5,828,455号に明細に記されている。1つのレジストベースの現場測定技法は、たとえば米国特許第6,368,763B2号に記載されている、いわゆる収差リングテスト（ART）である。収差リングテストでは、環状物体が投影対物レンズの像平面上に結像される。結像物体で焦点系のリング直径およびリング形状に関して測定することができる変形を超高解像度走査システムによって検出して、フーリエ解析を行い、次にそれからゼルニケ係数を算出することができる。本方法は時間がかかる。結果の正確さは、基となるモデル想定によって決まる。

10

【特許文献1】DE10109929

【特許文献2】米国特許出願第2002001088A1号

【特許文献3】米国特許第5,767,959号

【特許文献4】米国特許第5,973,773号

20

【特許文献5】ヨーロッパ特許第0418054号

【特許文献6】米国特許第5,828,455号

【特許文献7】米国特許第6,368,763B2号

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

本発明は、光学結像系の高精度測定を、その使用現場で短時間に、また装置をあまり複雑にしないで可能にする測定方法および測定システムを提供するという目的に基づく。特に、さまざまな構造のマイクロリソグラフィ投影露光装置における投影対物レンズの迅速かつ正確な測定を可能にすることを目的とする。

30

【課題を解決するための手段】

【0010】

この目的を達成するために、本発明は、請求項1の特徴を有する測定方法と共に、請求項24の特徴を有する測定システムも提供する。好都合な発展が、従属請求項に明細に記載されている。すべての特許請求の範囲の用語は、参照によって本記載の内容になる。

【発明の実施の形態】

【0011】

光学結像系の結像品質を測定するための本発明に従った測定方法は、
 結像系の物体面の領域内にマスク構造部を設けるステップ、
 結像系の像面の領域内にマスク構造部に適応させた参照構造部を設けるステップ、
 少なくとも1つの2次元に延在する感光記録媒体を記録位置に設けるステップ、
 マスク構造部を参照構造部上に結像するステップであって、それにより、結像系の視野面またはひとみ面の領域内に強度分布を生じる、結像するステップ、
 強度分布または強度分布の画像を記録媒体によって検出するステップ、
 記録媒体を記録位置から、それから離れた評価位置へ移動させるステップ、および
 記録媒体を記録位置から離れた位置で評価するステップ、
 を含む。

40

【0012】

本発明は、収差パラメータなどを決定するために必要なオリジナル情報が、測定作業中に記録媒体内に潜像的か、または永久的に記憶された空間強度分布に存在することを利用

50

する。以下の説明では、この空間強度分布を重ね合わせパターンとも呼ぶ。記録媒体による強度分布の、または重ね合わせパターンの（またはその画像の）検出を以下の説明では短縮して、強度分布の、または重ね合わせパターンの「記録」、あるいは「記録」とも呼ぶ。

【 0 0 1 3 】

記録媒体は、強度分布の画像情報が化学または化学物理処理によって記憶される、たとえばフィルム、印画紙、フォトレジストまたは何らかの他の感光記録媒体にすることができる。記録媒体として、感光性の空間分解メモリチップの使用も考えられるであろう。

【 0 0 1 4 】

記録媒体を使用して、当たった放射光による記録媒体の秩序状態の変化を利用して強度分布（または重ね合わせパターン）を記憶することも可能である。たとえば、磁化可能な記録媒体の磁化度の変化を利用することが可能である。記録媒体は、たとえば、均一に事前磁化された強磁性材料を、たとえば組み込み型強磁性結晶の形で有するフィルムまたは層を有することができる。録音テープまたは録画テープの場合と同様に、記録前には材料の磁化は主に単一方向であろう。当たった放射光（光電効果）により、かつ/または局部的な放射光誘発加熱（吸収）により、材料の秩序状態、すなわち、基本磁石の整合度が、放射光の量に応じて局部的に変化することができる。したがって、重ね合わせパターンの強度分布を書き込むことができる。評価作業中、ビデオレコーダの磁気読み取りヘッドと同様に、記録媒体の秩序状態を読み取って、それをアナログまたはデジタル信号に変換する読み取り素子を使用することができる。変換関数がわかれば、強度分布を構成することが可能である。

【 0 0 1 5 】

重ね合わせパターンを記録するために、可変偏光特性を有する記録媒体を使用することも可能である。例示として、記録媒体は、特定の偏光方向を有する1つの選択放射光成分だけを透過する延伸プラスチックフィルムを有することができる。記録中、光電効果および/または放射光吸収により、フィルムの秩序状態は局部的に変化することができ、それにより、放射光の量に応じて、偏光率も局部的に変化する。それにより、空間強度分布をコード化することができる。たとえば、光テーブルなどによって評価を行うことができ、露光記録媒体を適当なアナライザ、たとえば、第2偏光フィルムに重ね合わせて、その好適な向きを互いに対して、たとえば90°だけ回転させるようにしてもよい。伝達の際に、「露光」すなわち脱分極帯は明るく見えて、「未露光」帯は暗く見えるであろう。光電子手段を使用してこのパターンをデジタル化して、さらなる評価を行うように送ってもよい。多くの場合、記録媒体として適当なリソグラフィフォトレジストを使用することが好ましいであろう。特に、局部ひずみまたは位相偏移が干渉縞の曲がりとして、すなわち、理想的干渉縞位置からの側方ずれとして、あるいは局部干渉縞変形として記録される多重干渉縞方法などの測定方法では、いずれの濃淡階調も解像しないで、むしろ実質的に「デジタル」または「2進」式に動作し、したがって、「明」「暗」の状態だけを記録するレジスト材料を利用することも可能である。フォトレジストの扱いは半導体製造では通常の技術であり、レジストの多くが周辺光の影響を受けず、そのようなレジストの取り扱いがマスターされており、そのようなレジストの基板上へのスピンコーティングと共にその露光および現像や、評価ツール上でのレジスト構造部の読み取りは十分に習熟されている標準技法であるので、記録媒体としてフォトレジストを使用することは、実際の観点から特に好都合であろう。

【 0 0 1 6 】

記録媒体は通常、放射光路上で参照構造部の後方に配置される。参照構造部を記録媒体内に組み込む変更形もある。参照構造部を通過してから記録媒体に衝突するまでの間に1回または複数回の反射を行うことも可能である。例示として、参照構造部の後方に距離を置いた透明基板の後側に取り付けられた鏡層を設けてもよい。この場合、記録媒体は、参照構造部の領域内に配置されるであろう。

【 0 0 1 7 】

記録媒体を「露光」した後、測定作業中か、測定作業の一部で、それを記録位置から取り外して、試験すべき光学装置の外で評価することができる。したがって、評価のための基本情報の搬送は、もっぱら回線伝送式、たとえば、電子的だけでなく、むしろ記録媒体を記録位置から取り外すことを包含する。評価は、実際の測定作業時の直後に、あるいは実際の測定作業から比較的長い時間を置いて実行することができる。十分な数の重ね合わせパターンまたは強度分布が検出されるとすぐに、記録媒体を結像系の像面の領域から取り外すことができ、それにより、結像系をその本来の仕事に、たとえば、ウェハの露光に再び使用することができる。

【0018】

マスク構造部および参照構造部は、互いに光学的に共役である表面の「領域」内に配置される。このことは、1つの構造部を正確に対応の表面上に、あるいは、それに対して軸方向にわずかにずらして、すなわちその表面付近で適当な距離を置いて（焦点はずれ状態に）配置することができることを意味する。最適位置は、所望される方法の変更例によって決まる。ほぼ平坦な表面であり、互いに光学的に共役である表面を以下の説明では、「物体面」または「物体平面」として、また「像面」または「像平面」とも呼ぶ。本出願の意味での物体面は、測定中にマスク構造部がその領域内に配置される表面である一方、参照構造部は、像面の領域内に位置する。測定の物体面は、結像系の予定通りの使用中の物体面と一致するであろうが、それは予定通りの使用中の像面にも対応するであろう。言い換えると、本発明に従った測定方法における測定方向は、使用中の放射光通過方向に対応するように延びることができるが、それは逆方向にも延びることができる。

10

20

【0019】

参照構造部の構成は、所望の測定方法によって決まる。導入部で述べたシヤリング干渉法は通常、測定放射光用の回折格子として作用する参照構造部の使用を含む。適当な格子定数は、所望の回折角に応じて選択されることができ、また、その回折角がその方法の空間解像度を決定する。一般的な寸法は、測定放射光の波長近辺か、あるいはそれより1桁または複数桁も大きいであろう。モアレ技法の場合、一般的な構造寸法は、測定放射光の波長より相当に大きいか、適当であれば、小さくてもよい。点回折干渉法（PDI）の場合、参照構造部は通常、参照球面波を発生するための少なくとも1つの準点状「穴」と、試験波用の相当に大きい通路領域とを有する。穴の、または通過領域の直径は一般的に、測定光波長より小さい。

30

【0020】

マスク構造部の一般的な構造寸法は、測定方法に応じて異なるであろう。導入部に述べたシヤリング干渉計は好ましくは、放射光透過領域の一般的な寸法が、使用放射光の波長に比べて大きいマスク構造部の使用を伴う。そのようなマスク構造部は「2次元」マスク構造部とも呼ばれ、したがって、マスク構造部の通路領域内に極めて接近した供給源を有する多数の個別球面波からなる2次元波面源が形成される。モアレ技法の場合、一般的な構造寸法も同様に、測定光波長に比べて大きい。放射光透過領域の少なくとも一部分が、使用される放射光波長近辺か、それより小さい一般的な構造寸法を有するマスク構造部を使用することも可能である。これにより、点回折干渉法（PDI）に使用されるような個別球面波を発生するための準点状波面源（ピンホール）を形成することができる。

40

【0021】

1つの発展では、参照構造部および記録媒体を互いに対して位置的に適正な空間割り当てで包含するセンサユニットが設けられる。参照構造部が像面とほぼ一致するようにしてセンサユニットを配置する場合、記録媒体は、同時に位置的に適正に、たとえば、参照構造部の後方に一定距離を置いてそれに平行に配置される。センサユニットは、ウェハなどの露光すべき物体の代わりに、その物体用に設けられた取り付け台内に導入されることができるような寸法および形状にすることができる。センサユニットは、たとえば実質的に、ウェハのスライス形を有して、ウェハの代わりにウェハステージ内に組み込み、測定後に再び取り外すことができる。このように、投影露光装置の使用現場において、それを製造構成（ウェハ露光用）および測定構成に簡単に変更することが可能である。この目的の

50

ために必要なことは、ウェハの代わりにセンサユニットを変えること以外に、たとえば、有効パターンを有してウェハ露光に使用されるレチクルを、測定システムの2次元マスク構造部を担持している測定マスクに交換することによって、適当な測定構造部を物体平面の領域内に移動させることだけである。したがって、プラットフォームに関係ない測定システムが形成される。

【0022】

本明細書で考慮する測定方法の一部では、十分な量のデータを確保するために、複数の強度分布または重ね合わせパターンを記録することが必要であり、マスク構造部および参照構造部間に相対位相ステップが存在すること（移相）により、これらの重ね合わせパターンが異なる。この目的のために、1つの実施形態では、異なった位相角の複数の重ね合わせパターンを得るために、マスク構造部および参照構造部間の相対変位が、結像系の光軸に垂直な変位方向に行われる。重ね合わせパターンが、または重ね合わせパターンの画像が好ましくは記録媒体で検出され、個々の評価パターンは、記録媒体上で互いに対してずれた位置にあって、特に重ならない。「評価パターン」は、記録媒体上に存在する（重ね合わせパターンの）空間強度分布、たとえば、潜像または直接像の形である。したがって、時間的に連続して発生した重ね合わせパターンは、互いに空間的にずれた位置にある評価パターンに変換される。評価パターンは、評価の形式に応じて、時間的に連続して、あるいは適当であれば、互いに並行して評価されるであろう。

10

【0023】

相互の重なりがない評価パターンの側方ずれを得るために、1つの方法例では、参照構造部および記録媒体をマスク構造部に対して光軸に垂直に結合変位させ、その変位距離は、参照構造部の周期長さ p の整数倍に周期長さの分数を加えたものである。このため、位相シフトに必要な小さい変位に加えて、大きい側方変位が与えられる。この場合、重ね合わせパターンの各記録中に、参照構造部の異なった領域が使用される。

20

【0024】

別の例では、評価パターンの連続記録の間に、記録媒体を参照構造部に対して光軸に垂直に変位させる。この方法例では、測定用に参照構造部の同一領域を常に使用することができる。記録媒体の隣接するが、重ならない領域の露光を、たとえば35mmカメラのフィルムの露光と同様にして行うことができる。

【0025】

位相シフト方法の代替例として、測定用に適当な多重干渉縞方法を使用することも可能である。多重干渉縞方法の基本原則自体は既知であり、D. Malacaraによる「Optical Shop Testing」と題する参考文献から収集することができる。多重干渉縞方法は、たとえばモアレ技法によってひずみを測定するときを使用することができる。

30

【0026】

多重干渉縞方法、すなわち、キャリア周波数が設定されている方法では、位相角が干渉縞の干渉縞位置の相対位置から計算されるので、重ね合わせパターンの空間強度分布の検出に空間解像度が重要な役割を果たす。したがって、位相情報は干渉縞の側方ずれとしてコード化される。現在入手できる電子カメラでは、約6~7 μm までのピクセルサイズを一般的に得ることができ、これは、約70~80線対/mmの解像度に相当する。反対に、重ね合わせパターン内にコード化された情報を適当な空間連続記録媒体、たとえば、適当なフィルムまたはフォトレジスト層によって検出する場合、一般的な標準材料でも、400lp/mm以上の解像度を容易に得ることができる。したがって、フィルム材料および他の連続記録媒体の情報より高い空間解像能力および離散性の欠如（非ピクセル化）は、まさに多重干渉縞方法にとって、CCDカメラによる情報収集に勝る利点である。

40

【0027】

測定システムは、参照構造部の領域内に非常にコンパクトで簡単な構造を有することができる。ここに必要なすべての部品は、参照構造部を担持するための参照基板と、記録媒体の担持および/または支持を行うための記録キャリアとを含むセンサユニット内に組み合わせることができる。参照基板は、透明材料製のプレートにすることができ、その場合

50

、参照構造部はプレート面に、またはその付近に取り付けられる。記録キャリアも同様に、透明材料製のプレートにすることができ、そのプレート面の一方で記録媒体の担持および/または支持を行うことができる。参照基板および記録キャリアは、適当な厚さの単一の共通プレートによって形成してもよく、それは実質的にウェハの形を有するであろう。参照基板および記録キャリアを個別部材に、たとえば、2枚のプレートにすることも可能であり、適当であれば、たとえばリングングによってそれらを相補的接触面に沿って互いに光学接触させることができ、また互いに分離させることができる。この実施形態は、センサユニットによる結像系の測定後、記録キャリアを参照基板から分離させる方法例を可能にする。おそらくは繊細な参照構造部と共に参照基板をその位置に残すことができる一方、記録キャリアを評価装置に移動させることができ、記録媒体をそこで評価することができる。これは、異なった処理ステップ中におそらくは高価で繊細な参照基板が損傷を受ける危険性を低減し、この参照基板を何度も再利用することができる。記録媒体を担持する記録キャリアは通常、さほど繊細ではなく、低コストで提供することができる。記録キャリアは、記録媒体を担持する可撓性フィルムにすることができ、フィルムは、記録のために平面的か、または湾曲した支持面上に圧着、接着または何らかの他の方法で固定することができる、また、記録した後に取り外すことができる。

10

【0028】

記録媒体は、たとえば、接着、蒸着、スピンコーティング、積層化、または何らかの他の被覆法によって記録キャリアに固定的に連結されることができる。記録媒体は、たとえばポジフィルムまたはネガフィルムとして構成してもよい。記録媒体は、透明基板に直接的に付着されたフォトレジスト層によって形成してもよい。

20

【0029】

評価パターンが、露光直後にさらに処理することができる形で記録媒体上に存在するように記録媒体を選択することが可能である。たとえば、潜像を評価することができる像に変換するために、評価パターンの検出とそれに続く評価との間に現像ステップを介在させることも可能である。記録媒体は、記録キャリアに永久的に固定的に連結してもよい。記録媒体を記録キャリアに取り外し可能に固定するように構成することも可能である。最後に、たとえば、フィルムなどをプレート面に沿って案内するために、記録媒体を記録キャリアに対して、たとえば記録キャリアの支持面に沿って変位させるための変位装置を記録キャリアに割り当ててもよい。

30

【0030】

評価を容易にするために、参照構造部以外および/またはパターン構造部以外に、少なくとも1つの補助構造部を設けることができ、この補助構造部は、測定作業中に重ね合わせパターンと一緒に記録媒体上に露光される。考えられる補助構造部の例として、記録媒体を位置的に適正に配置するための位置合わせマーク、および/または解像された濃淡階調の制御または正規化のための濃淡階調値プロフィール、および/またはモアレ技法による結像制御用の線または2次元格子、およびこれらの構造の組み合わせが含まれる。

【0031】

1つの好適な方法例では、記録媒体内またはその上に存在する評価パターンか、またはその現像物の評価は、デジタル処理可能な評価データを生成するために評価パターンか、または評価パターンの現像物を光電子検出することと共に、結像品質を表す少なくとも1つの結像パラメータを決定するために評価データをコンピュータ援用評価することを含む。光電子検出のため、たとえば、画像収集によって2次元に延在する領域内で評価パターンの多くの位置を同時に検出することができる画像収集カメラを使用することが可能である。評価パターンを線に沿って時間的に連続して検出し、さらなる評価を行うようにそれを送るスキャナを使用することも可能である。磁気記録媒体の場合、1つまたは複数の磁気読み取りヘッドを有する読み取り器を使用することが可能である。

40

【0032】

評価データの評価に任意の適当な評価方法を使用することができ、その理由から、評価方法についてはここではさらに詳細に説明しない。

50

【0033】

さまざまな測定技法で本発明を利用することができる。例示として、物体構造部を参照構造部上に結像するとき、重ね合わせパターンとしてモアレパターンを生じることができるよう物体構造部に適応させた参照構造部を設ける場合、本発明に従ったやり方で任意のモアレ方法を実行することが可能である。この場合、記録媒体を像面付近か、像面に対して共役の表面上に配置すれば、好都合である。参照構造部の表面上に配置することが不可能であって、参照構造部および記録媒体間の光学結像をなくそうとする場合、記録媒体を参照構造部のツールポット表面の領域内に配置することが好ましい。既知のように、格子構造部の後方のいわゆるツールポット距離の位置で、波長および構造寸法に応じて構造部の自動結像が起きる。この状況を利用して、位置情報のぶれをほぼ抑えて重ね合わせパターンを生じることができ

10

【0034】

測定中に使用される放射光用の回折格子として有効である参照構造部を提供することも可能である。この場合、一般的な周期長さは、使用される測定光の波長 近辺、たとえば 1 ~ 20 μm くらい、それより大きい。この場合、放射光伝播方向での参照構造部および記録媒体間の距離は、記録媒体が参照構造部の光学遠視野内に配置されるようにする寸法であることが好ましい。適当なマスク構造部であれば、側方にずれたひとみのコヒーレントな重ね合わせ、したがって干渉写真が、回折格子を通した重ね合わせパターンとして遠視野に生じる。参照構造部および記録媒体間に、結像システムのひとみ面を記録媒体上に結像するための光学系を配置することも可能である。そのような配置は、点回折干渉法にも可能

20

【0035】

上記およびさらなる特徴は、特許請求の範囲からだけでなく、説明および図面からも明らかになり、その場合、個々の特徴は、それぞれの場合に本発明の1つの実施形態および他の分野において単独か、または複数を部分的に組み合わせた形で、実現されることができると共に、好都合であってそれ自体が保護可能である実施形態を表すことができる。本発明の例示的な実施形態を図面に示すと共に、以下にさらに詳細に説明する。

【実施例】

【0036】

マイクロリソグラフィ用の投影対物レンズの測定の例を使用して、以下に本発明をさらに詳細に説明するが、それは他の光学結像系、たとえば写真光学部品などの測定にも適する。図1は、紫外線で結像するように構成された投影対物レンズ10であって、半導体チップ製造者の製造現場でウェハステッパの形の投影露光装置(図示せず)に組み込まれている投影対物レンズ10を概略的に示す。投影対物レンズ10は、有効パターンを備えたレチクルの、その物体平面11上に配置されたパターンを、物体平面に対して共役の像平面12上に、中間像を伴わないで縮小して結像するように働く。フォトリジスト層で被覆された半導体ウェハがそこに配置される。物体平面および像平面間に、2つが破線のレンズで示されている複数のレンズと、開口絞り14を配置したひとみ面13とが位置している。ウェハの露光中、レチクルはレチクルホルダ15によって担持され、ウェハはウェハホルダ16によって担持されている。走査中にウェハをレチクルと同期させて投影対物レンズの光軸17に直交する両方向に移動させるために、レチクルホルダおよびウェハホルダにコンピュータ制御スキャナ駆動部が割り当てられている。投影用の紫外線は、上流の照明系18によって与えられる。

30

40

【0037】

図1は、測定構成にある投影対物レンズ10を示し、この場合、それを現場で、すなわち、組み込み状態でのその使用場所で、本発明に従った測定システムの1つの実施形態によって干渉測定することができる。測定システムは測定マスクを備え、この測定マスクは、マスク構造部20を有して、有効パターンを設けたレチクルに代えてレチクルホルダ15内に、マスク構造部が物体平面11と実質的に合致するようにして配置されることができ

50

図 2 では拡大して示されており、実質的にはウェハの丸いスライス形を有して、ウェハに代えて正確にフィットさせながらウェハホルダ 16 内に挿入されることができる。例示的な実施形態の可動センサユニット 21 は、合成石英ガラスから製造された平行平面プレートの形の基板 22 を備える。回折格子の形であって、クロム線を設けた参照構造部 23 が、石英ウェハ 22 の平面上側に付着され、この参照構造部はマスク構造部に適合している。2 次元的に延在する感光記録媒体 24 が、石英ウェハ 22 の反対側の平面プレート面上に付着されており、この記録媒体は、以下の説明ではレジストレーション媒体とも呼ばれ、基板 22 に固定されている。フォトレジスト層として形成された記録媒体 24 の感光材料は、照明系 18 の紫外線の影響を受けるが、可視波長領域からの光の影響を受けない。センサユニット 21 がウェハホルダ内に挿入されているとき、参照構造部 23 が投影対物レンズの像平面 12 とほぼ合致し、記録媒体が、回折格子 23 の光学遠視野内で、光の伝播方向において参照構造部の後方に距離を置いた位置にある記録位置に配置されるように、基板 22 の厚さの寸法が決められる。

10

【0038】

本例の場合、マスクは、対称分布の穴を有する穿孔マスクとして構成され、その広がり、いずれの場合も使用波長と比べて大きい。適当な 2 次元マスク構造部の例が、ドイツ特許出願第 DE 10 10 99 29 号に記載されている。この公報の開示内容は、参照によって本説明の内容になる。照明系 18 によって照明されると、マスク構造部 20 は、光学結像系 10 を通過する波面を発生させるための波面源として作用し、これらの波面は通常、回折格子 23 に衝突する前、その結像系によってひずんで波面収差を生じる。この場合、光学系 10 は、波面源構造部 20 を回折格子 12 上に結像する。この場合、波面源の空間構造は、波面の空間コヒーレンスを整形する働きをする。それによって原理的に可能であるシヤリング干渉測定法の場合、記録媒体 24 の領域内に重ね合わせパターンを形成する目的のため、たとえば、未回折の回折格子 23 を通過する 0 次回折の光を 1 次回折の光と重ね合わせることににより、結像系 10 のひとみ 13 の異なった場所を互いに干渉測定的に比較する。このように、露光中に記録媒体 24 の領域内に干渉写真 25 (重ね合わせパターン) が生じ、この場合の上記干渉写真は、評価パターンとも呼ばれ、光学系 10 の収差に関する基本情報を含む。

20

【0039】

測定方法の本実施形態において、波面の決定には複数の記録、すなわち、複数の干渉写真が必要であり、相対位相ステップが結像マスク構造部 20 および回折格子 23 間に有ること (位相シフト) により、干渉写真が異なる。この目的のために、ウェハステージ 16 の駆動部によって連続した記録の間にセンサユニット 21 を光軸 17 に直交する方向に段階的に変位させる。別法として、固定参照構造部を用いて、マスク構造部をレチクルステージによって移動させることも可能である。それぞれの場合の記録間の位相ステップは、回折格子の格子周期 p の分数である、たとえば、 $\frac{1}{n}$ が位相ステップを表し、 p が格子周期を表し、 $n \geq 3$ である場合、 $\frac{1}{n}$ = $1 / n \cdot p$ である。本例の場合、センサユニット 21 の横移動をウェハホルダ 16 によって光軸 17 に直交する方向に行い、それにより、連続的に記録された干渉写真 25、25'、25'' および 25''' が重ならないで、相対位相ステップが追加的に導入されるようにする。この場合、 i が整数、 n が位相ステップの数、 $\frac{1}{n}$ が位相ステップの大きさである場合、連続した記録 (すなわち、記録媒体上の重ね合わせパターンの記録) 間の変位距離 x をたとえば、 $x = i \cdot p + n \cdot \frac{1}{n}$ と書くことができるであろう。格子パッチの位相角 θ を適用することも可能である。このようにして、図 2 に示されているように、記録媒体の隣接位置に、それぞれの場合に異なった位相ステップに対応する干渉写真 25 ~ 25''' を生じることが可能である。この方法では、センサユニット全体の変位の結果として、記録媒体 24 および参照構造部 23 の両方が変位するので、この場合の各測定中、参照構造部 23 の異なった位置が測定に使用される。これにより、参照構造部 23 の製造の正確度にかかる要求が高くなり、参照構造部は、たとえばマイクロリソグラフィで製造されるであろう。

30

40

【0040】

50

図3は、センサユニット121の別の実施形態を示し、この場合、記録媒体124上に隣接した干渉写真125を生じる目的のために、参照構造部123の同一の格子位置を常に使用することができる。本実施形態は、平行平面プレートとして形成された水晶基板122を有し、参照構造部123はその上側の、センサユニットを組み込んだときに光軸17の領域内にある比較的狭い領域内に取り付けられる。自立形可撓性フィルムの形にすることができる記録媒体124は、基板の反対の平面的な後側に沿って案内され、この後側は、参照構造部に平行な向きになるようにして記録媒体を担持している。記録媒体を基板の後側に沿って移動させるために、供給リール128および巻き取りリール129を有する変位装置127が設けられており、測定作業中、これらのリールは駆動部(図示せず)によって順次回転させられ、それにより、記録フィルム124の異なった位置を参照構造部123の下方で光軸17の領域内へ時間的に連続して移動させることができる。本実施形態において、供給リール、フィルム搬送用駆動部、および、適当であれば、電線で給電されない電源が非常にコンパクトに構成かつ配置され、そのため、センサユニット121全体を、ウェハの代わりに任意の市販のウェハマウントに挿入することができる。特に、測定正確度にかかる要求がさほど厳しくない使用領域の場合、35mmカメラか、またはそのフィルム搬送機構を改造することにより、本実施形態を非常に簡単に低コストで実現することができるであろう。位相シフトの間、センサユニット全体を静止させておくことができる。レチクルホルダによってマスク構造部を移動させることにより、位相シフトを実行することができる。

10

20

【0041】

記録媒体を直接的に、すなわち、中間キャリアを用いなくて、基板の適当な表面に付着させることも可能である。たとえば、フォトレジストからなる層をスピンコーティングするか、または感光銀層を蒸着によって付着させてもよい。記録媒体は、評価後に、たとえば溶剤で洗い流すことによって、容易に除去することができるように付着させることができる。これらのステップは、参照構造部を破損することなく、実行することができる。これにより、再利用可能な基板が可能になり、そのため、高コスト効率で測定を実行することができる。

【0042】

図1~図3に従ったセンサユニット21、121の場合、参照構造部を担持するための参照基板として、また同時に記録媒体用のキャリアまたは基板または支持面として働く単一の基板が、水晶ウェハの形で設けられている。これと異なり、図4に従ったセンサユニット221の第3実施形態は、参照構造部223を担持する参照基板222'および記録キャリアとして働くフィルム担持基板222''を備える二部式基板を有する。それぞれの場合の2つの基板222'および222''は、薄いウェハ形の水晶プレートの形を有し、平面接触面に沿ったリングングによって互いに光学接触した状態で取り外し可能に互いに連結されている。基板222'および222''の厚さは、参照構造部223および記録媒体224間の軸方向距離が、図1に従った基板22の厚さに実質的に対応するような寸法になっている。図示の変更例では、プレート222'および222''は、周縁領域の追加クリップで互いに固定されているが、このクリップを省いてもよい。センサユニット221の全体形状は、ウェハの形に対応し、そのため、ウェハの代わりにセンサユニットをウェハホルダ16内に挿入することができる。参照基板222'および記録キャリア222''が二部式の取り外し可能な構造であることにより、高価で繊細な格子基板222'が破損する危険性が低減する。この格子基板は、異なった処理ステップで多数回、再利用することができる。異なった位相ステップでの測定中、記録媒体224を干渉写真225で露光した後、記録キャリア222''を格子担持基板222'から剥がして、評価装置へ移動することができる。さらなる測定用に、新たな測定に使用することができるセンサユニット221を形成するために、本明細書に記載したように、まだ未露光の記録媒体を有する記録キャリアを参照基板上に密着させることができる。記録媒体224を備えるフィルム担持基板222'は、基板を記録媒体で被覆するとき、繊細な参照構造部を設けた基板よりはるかに簡単に取り扱うことができ、そのため、たとえばスピンコーティングなどによ

30

40

50

り、被覆作業を迅速かつ低コストで実施することができる。

【0043】

すべての実施形態において、記録媒体と参照構造体の、上記のように測定に使用される領域との間の適当な側方変位により、相対変位の異なった位相ステップに対応する多数の干渉写真を記録媒体上、または記録媒体内に互いに隣り合わせて配置することができる。図5の非常に概略的な図（正確な縮尺ではない）は、例示として、規則的な正方形グリッドに配置された複数の隣接した干渉写真25、25'、25"を有する記録媒体24を示す。この図面は、x方向の複数の位相ステップおよびy方向の複数の位相ステップを有する干渉写真を示す。

【0044】

露光された記録媒体内に含まれる画像情報を以下の手順で評価することができる。最初に、測定情報を内部に含む記録媒体をウェハホルダ内の記録位置から取り外し、その目的のため、通常はセンサユニット全体が取り外される。測定マスクもレチクルホルダから取り外せば、投影露光装置はさらなる製造を行う準備が整う。記録媒体の種類に応じて、評価パターンは、直接的に評価可能な形で、たとえば、干渉縞パターンの形で現れるであろう。記録媒体内に潜像の形で存在する評価パターンは、化学的か、または何らかの他の方法で現像する必要もあるであろう。画像情報が記録媒体内に光学評価可能な形で存在する場合、その記録媒体を投影露光装置の外の評価位置へ移動させ、そこで評価する。この目的のために、ここで考えられる測定システムは、図7に概略的に示されている評価装置40を備える。この評価装置はデジタルカメラ41を備え、このカメラは、評価パターンか
20、あるいは評価パターンの現像物の検出、およびデジタル処理可能な評価データの生成を行うための光電子検出装置として働く。カメラはコンピュータ42に接続され、このコンピュータは、画像収集装置以外に、光学結像系の結像品質を表す少なくとも1つの結像パラメータを決定するように構成された評価プログラムを含む。カメラ41によって収集された画像の表示用、および、適当ならば、作業者の案内および情報に役立つデータの表示用に、コンピュータに接続されたモニタ43を設けてもよい。さらに、変位テーブル44をコンピュータ41に接続して、それぞれの場合にxまたはy方向の移動により、検出すべき干渉写真をカメラ41の像視野内に移動させることができるようにし、また、カメラは、合焦のために直交するz方向に沿って調節することができる。他の実施形態において、カメラをxおよびy方向にも変位させ、それにより、不動の付着面が記録媒体24を保持
30できるようにすることもできる。これらの装置では、干渉写真が視野点、位相ステップおよび位相シフト方向へのそれらの割り当てに従って読み込まれて、評価プログラムによって評価される。評価は本発明の一部ではなく、したがって、さらに詳細には説明しない。可能な評価ルーチンが、たとえば、B. Malacaraによる参考文献「Optical Shop Testing」第2版、John Wiley & Sons Inc.（1992年）に記載されている。

【0045】

上述したように、本明細書に記載するシャリング干渉法は、異なったひとみ位置を互いに干渉法的に比較することを含む。位置的に適正に、または正確なピクセルで関連のひとみ位置を割り当てることができるようにするために、記録媒体内に干渉写真以外の適当な
40補助構造部が存在する（図6を参照）。該補助構造部は、露光自体によるか、あるいは別の方法によって導入することができる。露光自体によって補助構造部を生じるために、マスク構造部および/または参照構造部に、対応の補助構造部を割り当てることができ、その効果については図8～図10に関連して後述する。補助構造部は、たとえば、互いに計算すべきさまざまな評価パターンの位置的に正確な割り当てを可能にする位置合わせマークまたは参照マーク45にすることができる。代替としてか、あるいは追加して、たとえば、記録媒体の処理中に発生し得る幾何学的ひずみの効果の検出を可能にする補助構造部を提供することが可能である。解像された濃淡階調および露光量の制御、または正規化のために、灰色くさびフィルタなども露光に組み込むことができ、これは段階的（灰色くさびフィルタ46）か、または連続的（灰色くさびフィルタ47）のいずれかに形成され
50

るであろう。これらの構造部は、本方法によって達成することができる測定正確度を向上させることができる。

【0046】

好適な実施形態において、マスク構造部および/または参照構造部以外にさらなる補助構造部を設けることにより、位相シフトにおける位相ステップ誤差を検査し、適当であれば、計算で補正することがいかにして可能になるかを説明するために、図8～図10を参照する。これらの構造部は、マスク構造部および参照構造部の位相ステップおよび可能な相対回転の両方を検出して考慮に入れることができるようにして、形成することができる。干渉写真の生成中に構造部またはその重ね合わせパターンを記録媒体内へ付随的に露光して、評価中に検出し、評価誤差の補正に使用することができる。図8は、正方形のチェッカーボード格子の形のマスク構造部420の1つの実施形態を示す。xおよびy方向に延びる線格子426が、マスク構造部の外に配置されている。関連のセンサユニットの構造面は、内側のチェッカーボード格子および外側の線格子を備える同様な構造を有する。図9は、マスクを参照構造部上に結像するとき、記録媒体424上に生じて現れる強度パターンの一例を示す。干渉写真425が、円形の中央領域内に重ね合わせパターンとして現れる。線格子の重ね合わせは、重ね合わせパターン425の外に位置してxおよびy方向に延在するモアレパターン419を生じる。

10

【0047】

モアレパターンの情報内容を説明するために、最初に図10を参照するが、この図面の(a)に、同一の周期を有する2つの重ね合わせ線格子であって、互いに平行に延び、したがってまったくモアレ干渉縞を生じない、2つの重ね合わせ線格子を示す。図10(b)では、互いに平行に並べられた線格子が異なった周期長さを有し、したがって、正弦波状の干渉縞パターンを生じる。図10(c)は、図10(b)に示された2つの線格子の小さい相対側方変位を格子の長手方向に平行に行った場合のモアレ干渉縞を示す。この場合、モアレ干渉縞の位置が変位するが、その間の距離は変わらないままである。図10(d)は、2つの線格子を互いに相対回転させた結果を示す。結果的に生じるモアレパターンは、線格子の線方向に直交する方向の干渉縞パターンである。最後に、図10(e)は、異なった周期長さを有する線格子(図10(b)を参照)を互いに対して回転させた場合に生じるモアレパターンを示す。これの結果として、斜めの干渉縞を有するモアレパターンが生じ、干渉縞の線の間隔が、相対回転の程度を表す。

20

30

【0048】

これらの説明に基づき、図9の画像情報を以下のように解釈することができる。対向するモアレパターン419が同一の位相角であることは、マスク構造部および参照構造部に相対回転がない、すなわち、それらが互いに対して完全に調整されていることを意味する。モアレパターンの位相角から、コヒーレンス整形マスクに対する回折格子の位相角を高精度で決定することが可能である。モアレパターンのコントラストにより、合焦を検査することができる。マスク構造部および参照構造部または関連の線格子が正確に共役平面上にあるとき、最高のコントラストが得られる。コントラストプロファイルの傾斜は、マスクおよび回折格子が物体平面または像平面に平行に並んでいないことを表すであろう。この追加情報により、評価パターンを非常に高い正確度で評価することができる。

40

【0049】

位相シフトおよび格子調節の制御のためにモアレ補助格子を使用するとき、基板厚さ、または参照構造部の隣の線格子と記録媒体との間の軸方向距離を格子のツールボット距離にほぼ適応させるべきであり、この場合、格子の自己結像が起きて、それにより、位置情報のぶれを最小限に抑えることができる。適当であれば、空間コヒーレンスを減少させるための拡散スクリーンおよび/または蛍光層を省くことが可能である。

【0050】

すべての実施形態において、記録媒体の保護用の個別手段を設けて、この層を機械的破損、たとえば、擦過傷から、および/または、たとえば過剰露光による光損傷から保護することができる。機械的保護のために保護層を設けてもよいが、これは評価を損なっては

50

ならない。過剰露光を回避するために、記録媒体を適当なカセットなどによって包み込むことが可能である。使用される材料が、測定中に使用される有効波長（一般的に紫外線領域）に実質的に限って、またはその有効波長を中心として感光性を有するが、他の波長範囲、たとえば可視領域の影響を受けない場合、特に有益である。これは、特にウェハステッパに使用されるのに好都合であり、この場合、光の光路長および位置決め測定システムがしばしば使用され、これらは往々にしてレーザー光（たとえば、633nm波長）で動作するからである。格子配列において、測定用の部分格子間の表面に保護層を設けるか、面積全体にわたって密閉クロム層を設けることができる。偽光から保護すると共に、周囲光内での取り扱いを簡単にするために、記録媒体の前方の表面に障壁層、たとえば、帯域フィルタを取り付けてもよい。

10

【0051】

この場合、たとえば、個々の視野点用に1つの測定チャネルを使用する測定に基づいて、測定方法が実施される。好ましくは、複数の視野点で同時測定が行われる。シヤリング干渉計の場合のそのような多チャネル測定を実行するための前提条件が、たとえばドイツ特許出願第DE10109929号に記載されている。この公報の開示内容は、参照によって本説明の内容になる。並列測定が行われる場合、測定順序の構成にこれを考慮に入れるべきである。それぞれの場合のマスク構造部および参照構造部の構成は、干渉写真の空間配置を生じる。視野点が同数であるとすると、登録すべき干渉写真の数は同一のままであろう。

【0052】

図11を参照しながら本発明に従った測定システムの別の実施形態を説明するが、この測定システムは好ましくは、モアレ技法によるひずみの迅速高精度測定に使用することができる。投影露光装置の構造は、図1のものに対応し、そのため、これに関して同一の参照記号を使用する。測定システムは、物体平面11上に配置されるべき、マスク構造部520を備える測定マスクと、投影対物レンズ10の像平面12上に配置されるべき、参照構造部523を備えるセンサユニット521とを有する。マスク構造部520は、通常は線格子か、またはパルケパターンである。関連の参照構造部523は、投影対物レンズの結像縮尺に従って適応させた同一パターンを備える同様の格子である。線幅は一般的に、光学結像系の解像度にほぼ対応し、マイクロリソグラフィ投影対物レンズを測定するとき、マイクロメータ範囲か、それ未満であらう。

20

【0053】

マスク構造部520の画像を参照構造部523に重ね合わせることにより、一般的に干渉縞パターンの形を有する重ね合わせパターンが生じる。このパターンは対応の記録媒体524によって直接的に、あるいは周波数変換層を介在させて検出される。重ね合わせによって生じるモアレパターンの形から、ひずみを決定することができる。相対位相角を正確に決定するために、上述した干渉法手順の場合と同様にして、位相シフト方法を使用し、それにより、異なった位相角の重ね合わせパターンまたは評価パターンを得るようにすることができる。完全なひずみベクトルを決定できるようにするために、好ましくは互いに直交する向きに設けられた2つの格子構造部を使用するか、あるいは2次元格子構造部を使用して記録を実行することが可能である。

30

40

【0054】

そのような測定方法を実行するために、測定システムは、マスク構造部520を備えるマスクと、参照構造部523および記録媒体524を備えるセンサユニット521とを有する。センサユニット521は、ウェハの平坦なスライス形を有する。位相シフトに必要なマスク構造部および/または参照構造部の移動はそれぞれ、投影露光装置の可動ホルダ15および16によって実行される。

【0055】

センサユニットは、石英ガラスからなる比較的薄い基板522を有し、これの一方のプレート面に参照構造部523が付着され、その他方のプレート面に、感光材料からなる薄いフィルムの形の記録媒体524が付着されている。この構造を機械的に安定させるた

50

めに、機械的に安定している、より厚い水晶プレート 5 2 6 によってこの構造全体を担持する。他の実施形態では、このプレートを不透明材料、たとえばシリコンで構成することもできる。薄い基板 5 2 2 は測定光を透過するが、散乱効果および/または周波数変換特性も有するであろう。それは、たとえば、セリウムをドープした石英ガラスで構成してもよい。モアレ技法の場合、記録媒体 5 2 4 を参照構造部か、それに対する共役平面にできる限り近づけて配置することが重要である。図示の実施形態のように、記録媒体が参照構造部からツールボット距離に配置されるとき、参照構造部から離れているにもかかわらず高コントラストの重ね合わせを達成することができる。

【 0 0 5 6 】

図示の構造の場合、記録媒体 5 2 4 を薄い参照基板 5 2 2 に固定する必要がない。記録媒体を安定的なキャリアプレート 5 2 6 に固定して、参照基板を記録媒体上に載置するだけにすることも可能である。固定の目的のため、適当であれば、センサユニット 5 2 1 の縁部領域に個別部材を設けることが可能である。記録媒体を基板 5 2 2、5 2 6 のいずれにも固定的に取り付けられないことも可能である。参照構造部に対する記録媒体の相対変位を可能にする 1 つの実施形態が、図 1 3 に概略的に示されている。参照構造部 6 2 3、参照基板 6 2 2、記録媒体 6 2 4 および安定的なキャリアプレート 6 2 6 の空間順序は、図 1 2 の構造と一致する。変位装置 6 2 7 の構造および機能に関しては、図 3 に関連した説明を参照されたい。図 2 および図 3 に従った実施形態と同様に、図 1 2 に従った実施形態の場合、連続した測定の間センサユニット 5 2 1 全体をウェハホルダによって段階的に移動させ、参照構造部の異なった格子領域を連続的に使用する。反対に、図 1 3 に従った実施形態では、フィルム状の可撓性記録媒体 6 2 4 だけを参照構造部に対して移動させればよいので、センサユニット 6 2 1 を固定構造にすることができる。この場合、参照構造部の同一領域が常に使用され、それに対応してこの参照構造部を小さく構成することができる。

【 0 0 5 7 】

図 1 2 に従った実施形態で露光される記録媒体は、原則的には図 5 に示されたように構成することができる。位相シフト中、一例として、x 方向に 2・8 位相ステップを、y 方向にも同数の位相ステップを検出することができる。画像直径が約 3 0 mm であり、基板直径が 2 0 0 mm であるとする、例示として、約 3 0 のモアレ像を収集することができる。これにより、ひずみを決定するために、それぞれの場合に 1 5 位相ステップを x および y 方向に記録することができる。ウェハスキャナの場合、使用される像視野は、たとえば 3 0 mm・1 5 mm の矩形である。この場合、検出されるモアレパターンの数の約 2 倍が可能である。

【 0 0 5 8 】

評価パターンの検出および評価を行うために、図 7 に示された評価装置 4 0 と同様の評価装置を使用することができるが、この場合、モアレパターンの評価には異なった作業プログラムを使用しなければならない。

【 0 0 5 9 】

時間位相シフトについて記載した方法の代替例として、多重干渉縞方法として知られる変更形を使用することも可能である。格子向きを回転させることにより、キャリア周波数をモアレパターン上に印加することができ、それにより、この方法を使用することができる。その利点は、位相分布を単一の重ね合わせパターン(モアレ像)から計算することができることにあり、その結果、位相シフトがまったく必要ない。たとえば、適当な評価方法が記載されている。

【 0 0 6 0 】

モアレ技法の場合も、図 6 および図 8 ~ 図 1 0 に記載されている構造部と同様の補助構造部を設け、それにより、評価を非常に高精度にすることができる。

【 0 0 6 1 】

以上に記載した実施形態の場合、記録媒体は、光路上で参照構造部の後方に距離を置いて配置されており、その距離は、それぞれの測定方法に合わせなければならない。参照構

10

20

30

40

50

造部を評価媒体内に組み込み、それにより、評価媒体および参照構造部間の距離を全くなくすか、あるいは非常に小さくした実施形態も可能である。例示として、記録媒体に格子パターンを予め付けることにより、記録媒体を直接的に参照構造部の平面内へ移動させることができる。この場合、空間コヒーレンスを破壊する必要がない。この場合、モアレ像は、格子の後方の回折次数のコヒーレントな重ね合わせによるのではなく、参照構造部の平面上の強度の追加のみによって生じる。参照構造部を異なったパターンにすることができ、対応の構造線または格子線が異なった強度プロフィールを有することができ、また、そのようなパターン化された記録媒体を製造する別の方法が可能である。一般的な基本パターンの例として、線格子、2次元格子、パルケ格子、またはチェッカーボード格子がある。他の格子形状、たとえば、上記格子形式の組み合わせも可能である。強度プロフィールは2進式、すなわち急激式か、あるいは濃淡階調式に構成してもよい。一例として、図14は、2進式に事前パターン化されるか、事前露光された記録媒体724、たとえば、フォトレジストまたはフィルムの平面図を示し、この場合、線に垂直な矩形の明暗プロフィールがある。記録媒体の材料は、たとえば、明るい位置が飽和状態まで露光されるか、あるいは取り除かれて、未露光の隙間の位置だけ放射光の影響を受けるようにしてもよい。濃淡階調での強度プロフィール、たとえば、図15に示されているような記録媒体824の正弦波強度プロフィールも可能である。そのようなパターン化された記録媒体は、たとえば格子パターンを記録材料内に事前露光することによって製造することができる。クロム格子によって形成することができるマスターオリジナルから密着プリントによって、あるいは書き込み方法によって製造することもできる。たとえば、フォトレジストの、完全露光された位置が残るか、または記録媒体から剥がされることのできる。剥離によるパターン化の目的のため、リソグラフィでは一般的な技法を使用する、たとえば、パターン化すべき層を2進レジストでコーティングし、それを露光し、現像して構造部内に蝕刻することができる。濃淡階調で構造部を製造するために、たとえば、狙った不鮮明さで、あるいは結像のローパスフィルタリングによって露光を実行することが可能である。投影対物レンズによって結像を行うことも可能であり、その場合、それに対応してその開口数を構造寸法に合わせなければならないであろう。これには特に、対物レンズのひずみ誤差および格子オリジナルの誤差を最初から決定することができるので、書き込み格子の幾何学的誤差が正確にわかるという利点がある。平面波のコヒーレントな重ね合わせにより、高精度の正弦波線形格子を製造することもできる。

10

20

30

【0062】

図16を参照すると、パターン化が可能か、あるいはすでにパターン化された薄い反射または吸収層940を直接的に記録媒体924の層の上に、たとえば積層化によって付着させることにより、事前パターン化された記録媒体か、あるいは記録媒体を参照構造部のすぐ近傍に製造することも可能であることを示す。

【0063】

図17を参照しながら、本発明に従った測定方法および測定システムのさらなる変更例を説明する。図17は、可動位相シフトPDI(点回折干渉計)の構造を概略的に示す。照明装置18の下流の照明光学素子919が、光を穿孔マスク920上に合焦させる働きをし、穿孔マスクはマスク構造部として働いて、測定すべき投影対物レンズ10の物体平面11上に配置されている。マスク構造部内の穴の直径は、測定光の波長より小さく、したがって、回折によって球面波(実線)を発生するように働く。穿孔マスク920および投影対物レンズ10間の回折格子921は、第1球形波に対してコヒーレントである(破線で描かれた)第2波を発生すると共に、おそらくは使用される位相シフトを行うように働く。代替として、回折格子を投影対物レンズおよびその像平面間に配置してもよい。投影対物レンズの像平面12上に配置すべき参照構造部973も同様に、穿孔マスクとして形成される。それは、回折によって参照球面波を発生するように働く少なくとも1つの準点状穴976を有する。その直径は測定光波長より小さい。その横に(少なくとも)1つの大径穴977が配置され、その直径は測定光波長より相当に大きく、実線で示された試験波の空間限界として働く。参照構造部973は、透明基板972の平面的な上側に配置

40

50

されている。たとえば、フォトレジストで形成されたレジスト層の形の感光記録媒体 974 を、センサユニット 971 の反対側に付着させる。参照構造部 973 および記録媒体 974 間の軸方向距離は、穴 976 から出た参照波と穴 977 を通る試験波との重ね合わせが、投影対物レンズの結像品質に関する情報を含む干渉パターン（重ね合わせパターン）を生じるような領域内に記録媒体が位置できるようにする寸法である。干渉パターンは層 974 内に記憶され、上述したやり方と同様に、センサユニット 971 を取り外した後、カメラなどによって検出して、評価することができる。

【0064】

例示的な実施形態に基づいて、本発明が、使用現場で投影装置に組み込まれた投影対物レンズに関して、たとえば、シャリング干渉法によるか、あるいは PDI（点回折干渉法）による高精度波面測定、またはモアレ技法による高精度測定を実行できるようにすることを説明してきた。投影露光装置の形式に関係なく、したがって、プラットフォームに関係なく、測定が可能である。この目的のために、参照構造部および記録媒体を包含し、ウェハの代わりにウェハステージに挿入することができる可動センサユニットを使用することが好ましい。高精度で移動することができるこれらの操作装置は、おそらくは変更なしで参照構造部のおそらくは必要な変位に使用することができる。本測定技法は、投影露光装置に、たとえば CCD カメラや、適切であれば、結像光学素子で動作するいずれの光電子画像収集装置も必要としない。したがって、簡単な部品構造でありながら、非常に高精度の測定が可能である、普遍的に使用可能な測定システムが形成される。

【図面の簡単な説明】

【0065】

【図 1】シャリング干渉計のように動作する測定システムの第 1 実施形態を示す概略図である。

【図 2】図 1 に示された測定システム用のセンサユニットの第 1 実施形態の概略図である。

【図 3】図 1 に示された測定システム用のセンサユニットの第 2 実施形態の概略図である。

【図 4】図 1 に示された測定システム用のセンサユニットの第 3 実施形態の概略図である。

【図 5】互いに隣り合わせて配置された多数の干渉写真を有する記録媒体の概略図である。

【図 6】干渉写真を含む露光済み記録媒体、および干渉写真と共に露光された複数の補助構造部の詳細の概略図である。

【図 7】画像処理コンピュータに接続されたデジタルカメラと、評価すべき記録媒体用のコンピュータ制御式 X/Y 変位テーブルとを備える評価装置の 1 つの実施形態の概略図である。

【図 8】マスク構造部および参照構造部間の相対位置および位相ステップを制御するための内側チェッカーボード格子および外側線格子を備えた参照構造部の 1 つの例示的な実施形態を示す図である。

【図 9】図 8 に従った構造部によって発生することができる評価パターンの一例の概略図である。

【図 10】線格子の重ね合わせの結果として生じるとされるさまざまなモアレパターンを示す図である。

【図 11】モアレ技法による測定用の測定システムの第 2 実施形態の概略図である。

【図 12】図 11 に従った測定システムに使用するためのセンサユニットの第 1 の例示的な実施形態の概略図である。

【図 13】図 11 に従った測定システムに使用するためのセンサユニットの第 2 実施形態の概略図である。

【図 14】2 進事前パターン化記録媒体の一例を示す図である。

【図 15】正弦波事前パターン化記録媒体の一例を示す図である。

10

20

30

40

50

【図 1 6】記録媒体の上方に正弦波パターン化カバー層を有するセンサユニットを示す図である。

【図 1 7】PDI（点回折干渉法）用の測定システムの 1 つの実施形態の概略図である。

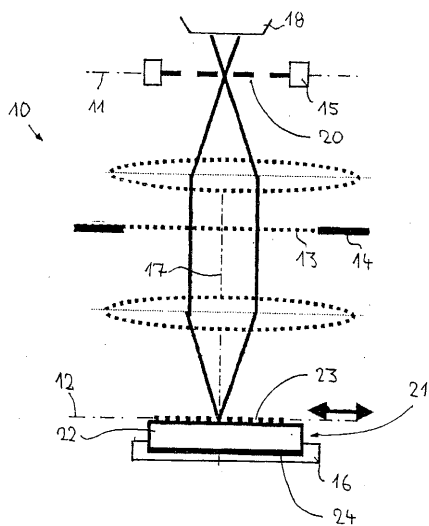
【符号の説明】

【0066】

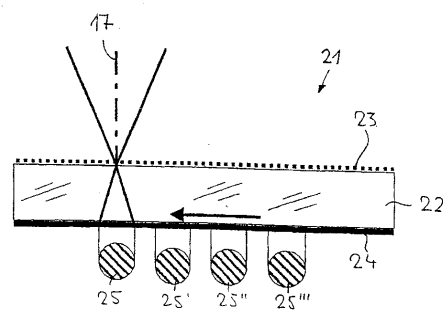
1 0	投影対物レンズ	
1 1	物体平面	
1 3	ひとみ面	
1 4	開口絞り	
1 5	レチクルホルダ	10
1 6	ウェハホルダ	
1 7	光軸	
1 8	照明系	
2 1	センサユニット	
2 2	石英ウェハ	
2 4	感光記録媒体	
4 0	評価装置	
4 1	デジタルカメラ	
4 2	コンピュータ	
4 3	モニタ	20
4 4	変位テーブル	
4 5	参照マーク	
4 6、4 7	フィルタ	
1 2 1	センサユニット	
1 2 3	参照構造部	
1 2 4	記録媒体	
1 2 5	干渉写真	
1 2 8	供給リール	
1 2 9	巻き取りリール	
2 2 1	センサユニット	30
2 2 2	基板（プレート）	
2 2 3	参照構造部	
2 2 4	記録媒体	
4 1 9	モアレパターン	
4 2 0	マスク構造部	
4 2 4	記録媒体	
4 2 6	線格子	
5 2 0	マスク構造部	
5 2 1	センサユニット	
5 2 2	参照基板	40
5 2 3	参照構造部	
5 2 4	記録媒体	
5 2 6	キャリアプレート	
6 2 1	センサユニット	
6 2 2	参照基板	
6 2 3	参照構造部	
6 2 4	記録媒体	
6 2 6	キャリアプレート	
6 2 7	変位装置	
7 2 4	記録媒体	50

- 9 1 9 照明光学素子
- 9 2 0 穿孔マスク
- 9 2 4 記録媒体
- 9 4 0 吸収層
- 9 7 1 センサユニット
- 9 7 2 透明基板
- 9 7 3 参照構造部
- 9 7 4 感光記録媒体
- 9 7 6 準点状穴
- 9 7 7 大径穴

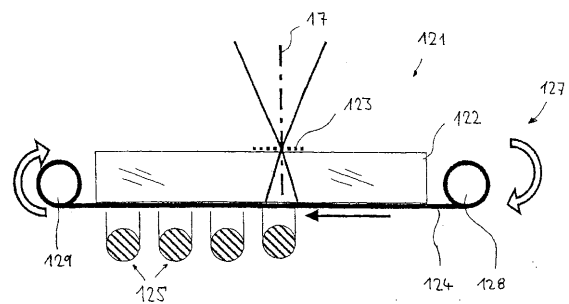
【図 1】



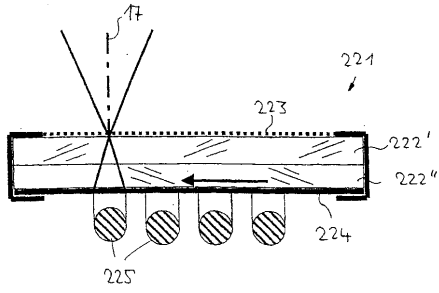
【図 2】



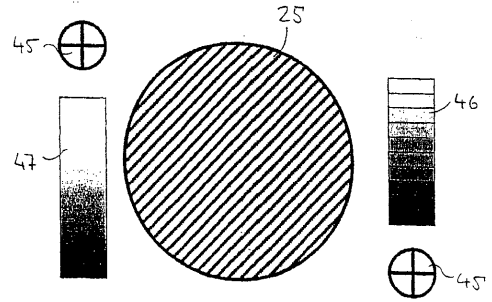
【図 3】



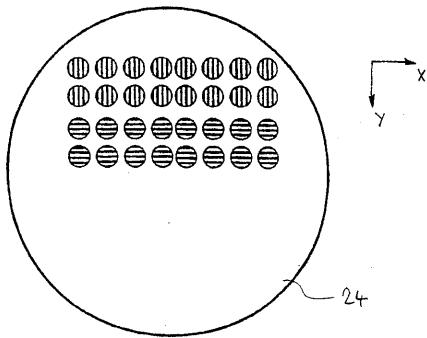
【 図 4 】



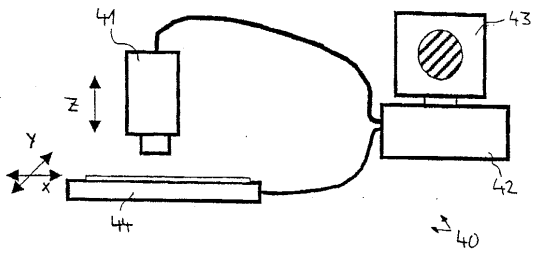
【 図 6 】



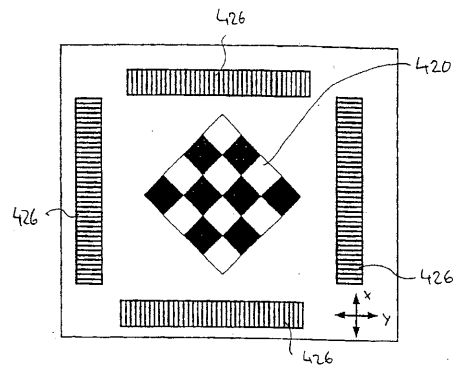
【 図 5 】



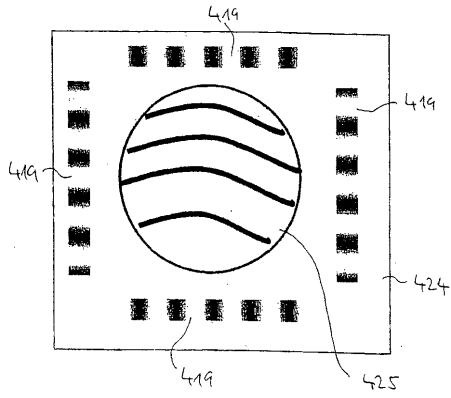
【 図 7 】



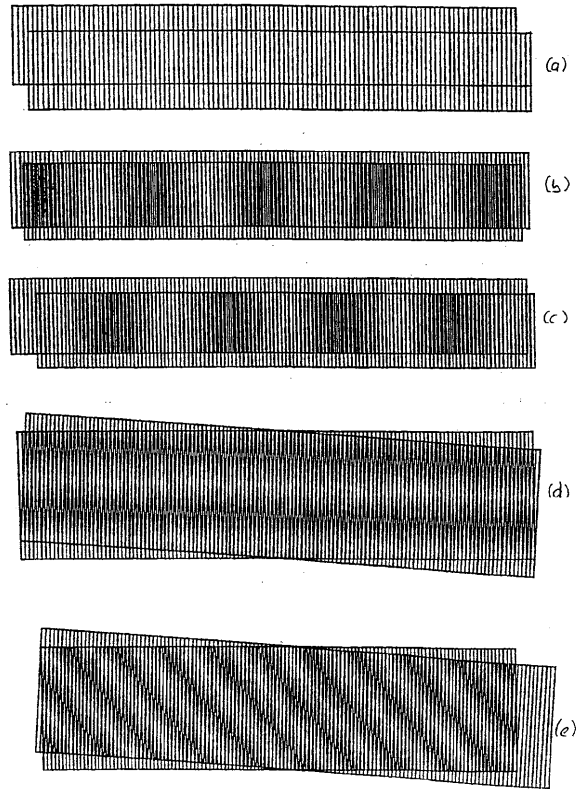
【 図 8 】



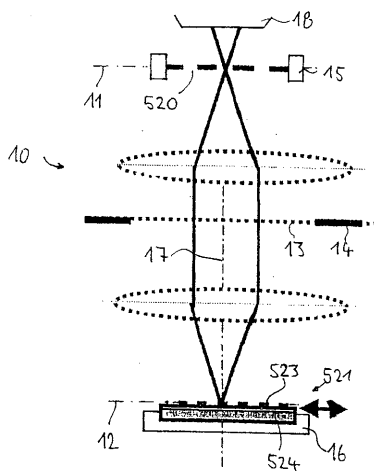
【 図 9 】



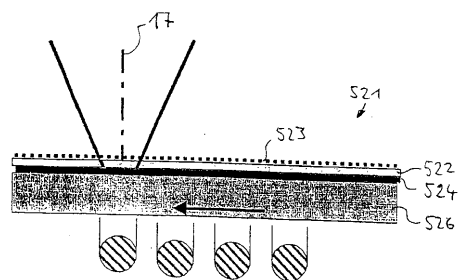
【 図 10 】



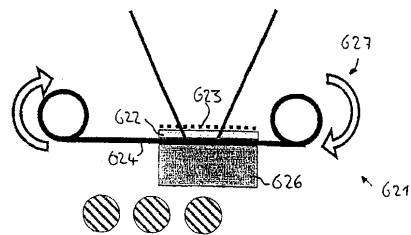
【 図 11 】



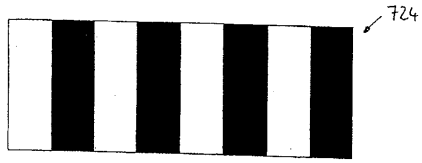
【 図 12 】



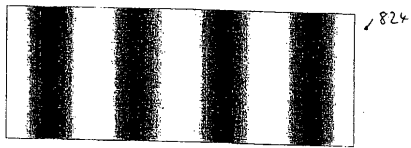
【 図 13 】



【 図 1 4 】



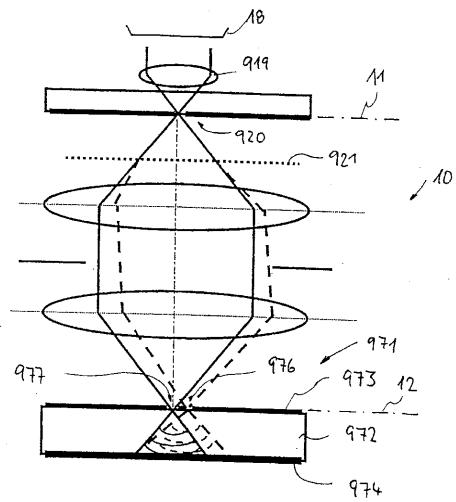
【 図 1 5 】



【 図 1 6 】



【 図 1 7 】



【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.
PCT/EP 02/14559

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 7 G03F7/20 G01M11/02		
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) IPC 7 G01M G03F H01L		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 828 455 A (SMITH ADLAI H ET AL) 27 October 1998 (1998-10-27) cited in the application column 5, line 3 - line 7 column 5, line 58 -column 6, line 40 column 7, line 21 - line 35 column 10, line 18 - line 48 figures ---	1-49
X	US 5 402 224 A (MAGOME NOBUTAKA ET AL) 28 March 1995 (1995-03-28) column 23, line 62 -column 24, line 65 figures 15-17 ---	1,24
X	EP 0 689 099 A (CANON KK) 27 December 1995 (1995-12-27) column 5, line 9 -column 6, line 6 figure 1 ---	1,24
	-/--	
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.		
* Special categories of cited documents : *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance *E* earlier document but published on or after the international filing date *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) *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed *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 *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 *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 *&* document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 29 October 2003		Date of mailing of the international search report 05/11/2003
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5618 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Heryet, C

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP 02/14559

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 0 526 242 A (CANON KK) 3 February 1993 (1993-02-03) column 16, line 7 - line 21 figure 4 ---	1,24
X	EP 0 418 054 A (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD) 20 March 1991 (1991-03-20) cited in the application column 2, line 39 -column 3, line 32 figure 1 -----	1,24

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 02/14559

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5828455	A	27-10-1998	US 5978085 A	02-11-1999
US 5402224	A	28-03-1995	JP 3259190 B2	25-02-2002
			JP 6109588 A	19-04-1994
			JP 6176999 A	24-06-1994
EP 0689099	A	27-12-1995	JP 3186011 B2	11-07-2001
			JP 8069963 A	12-03-1996
			DE 69531568 D1	02-10-2003
			EP 0689099 A1	27-12-1995
			SG 40012 A1	14-06-1997
			US 5925887 A	20-07-1999
EP 0526242	A	03-02-1993	JP 5036586 A	12-02-1993
			DE 69207106 D1	08-02-1996
			DE 69207106 T2	15-05-1996
			DE 69230443 D1	20-01-2000
			DE 69230443 T2	18-05-2000
			EP 0526242 A1	03-02-1993
			EP 0614097 A1	07-09-1994
			KR 9608501 B1	26-06-1996
			US 5608575 A	04-03-1997
			US 5631773 A	20-05-1997
EP 0418054	A	20-03-1991	JP 2543200 B2	16-10-1996
			JP 3100432 A	25-04-1991
			JP 3134537 A	07-06-1991
			JP 3134538 A	07-06-1991
			DE 69014180 D1	22-12-1994
			EP 0418054 A2	20-03-1991
			US 5062705 A	05-11-1991

INTERNATIONALE RESEARCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 02/14559

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES IPK 7 G03F7/20 G01M11/02		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK		
B. RESEARCHIERTE GEBIETE		
Researchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) IPK 7 G01M G03F H01L		
Researchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die researchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 5 828 455 A (SMITH ADLAI H ET AL) 27. Oktober 1998 (1998-10-27) in der Anmeldung erwähnt Spalte 5, Zeile 3 - Zeile 7 Spalte 5, Zeile 58 - Spalte 6, Zeile 40 Spalte 7, Zeile 21 - Zeile 35 Spalte 10, Zeile 18 - Zeile 48 Abbildungen ---	1-49
X	US 5 402 224 A (MAGOME NOBUTAKA ET AL) 28. März 1995 (1995-03-28) Spalte 23, Zeile 62 - Spalte 24, Zeile 65 Abbildungen 15-17 ---	1,24
X	EP 0 689 099 A (CANON KK) 27. Dezember 1995 (1995-12-27) Spalte 5, Zeile 9 - Spalte 6, Zeile 6 Abbildung 1 ---	1,24
	-/--	
<input checked="" type="checkbox"/>	Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen	<input checked="" type="checkbox"/>
	Siehe Anhang Patentfamilie	
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :		
A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist		
E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist		
L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)		
O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht		
P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist		
T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist		
X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden		
Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist		
G Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
29. Oktober 2003		05/11/2003
Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Heryet, C

INTERNATIONALE RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 02/14559

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 0 526 242 A (CANON KK) 3. Februar 1993 (1993-02-03) Spalte 16, Zeile 7 - Zeile 21 Abbildung 4 ---	1,24
X	EP 0 418 054 A (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD) 20. März 1991 (1991-03-20) in der Anmeldung erwähnt Spalte 2, Zeile 39 - Spalte 3, Zeile 32 Abbildung 1 -----	1,24

INTERNATIONALER RESEARCHBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 02/14559

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5828455	A	27-10-1998	US 5978085 A	02-11-1999
US 5402224	A	28-03-1995	JP 3259190 B2	25-02-2002
			JP 6109588 A	19-04-1994
			JP 6176999 A	24-06-1994
EP 0689099	A	27-12-1995	JP 3186011 B2	11-07-2001
			JP 8069963 A	12-03-1996
			DE 69531568 D1	02-10-2003
			EP 0689099 A1	27-12-1995
			SG 40012 A1	14-06-1997
			US 5925887 A	20-07-1999
EP 0526242	A	03-02-1993	JP 5036586 A	12-02-1993
			DE 69207106 D1	08-02-1996
			DE 69207106 T2	15-05-1996
			DE 69230443 D1	20-01-2000
			DE 69230443 T2	18-05-2000
			EP 0526242 A1	03-02-1993
			EP 0614097 A1	07-09-1994
			KR 9608501 B1	26-06-1996
			US 5608575 A	04-03-1997
			US 5631773 A	20-05-1997
EP 0418054	A	20-03-1991	JP 2543200 B2	16-10-1996
			JP 3100432 A	25-04-1991
			JP 3134537 A	07-06-1991
			JP 3134538 A	07-06-1991
			DE 69014180 D1	22-12-1994
			EP 0418054 A2	20-03-1991
			US 5062705 A	05-11-1991