

【公報種別】特許法第 17 条の 2 の規定による補正の掲載

【部門区分】第 6 部門第 1 区分

【発行日】平成24年8月30日(2012.8.30)

【公表番号】特表2008-534963(P2008-534963A)

【公表日】平成20年8月28日(2008.8.28)

【年通号数】公開・登録公報2008-034

【出願番号】特願2008-504138(P2008-504138)

【国際特許分類】

G 0 1 N 21/956 (2006.01)

H 0 1 L 21/66 (2006.01)

【F I】

G 0 1 N 21/956 A

H 0 1 L 21/66 J

【誤訳訂正書】

【提出日】平成24年7月10日(2012.7.10)

【誤訳訂正 1】

【訂正対象書類名】特許請求の範囲

【訂正対象項目名】全文

【訂正方法】変更

【訂正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ウェーハを検査するシステムであって、当該システムは光学サブシステムより構成され、当該光学サブシステムの導光光学部品は、平行化された光が通過する平行光化空間内および平行化されていない光が通過する非平行光化空間内に配置されている複数の反射光学部品、および平行光化空間内にのみ配置される一つまたはそれ以上の屈折光学部品より構成され、

該複数の反射光学部品のうち一つは該平行化された光を該屈折光学部品のうち一つに導光し、

該光学サブシステムは、該屈折光学部品のうち一つによって照明路および集光路内に分離されたアクセス可能な瞳を有するようさらに構成され、

該照明路の瞳と該集光路の瞳には異なる光学部品を設置可能であり、

該光学サブシステムは、20nmより大きい周波帯に亘る当該ウェーハの検査用に構成されている

ことを特徴とするシステム。

【請求項 2】

周波帯は、200nm以下の波長を含むこととする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 3】

周波帯は、ウェーハの特性に基づいて選択されることとする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 4】

周波帯は、ウェーハ上の材料が、それにおいて不透明および透明の両方である波長を含むよう選択されることとする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 5】

周波帯は、ウェーハ上の欠陥に対応する信号対雑音比を増大させるよう選択されることとする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 6】

周波帯は、150nmから450nmまでの範囲内の波長を含むこととする請求項 1 に

記載のシステム。

【請求項 7】

光学サブシステムは、一つまたはそれ以上の光源を含むこととする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 8】

一つまたはそれ以上の光源は、一つまたはそれ以上のファイバー・レーザーを含むこととする請求項 7 に記載のシステム。

【請求項 9】

一つまたはそれ以上の光源は、多重高調波の光を生ずるよう構成されているレーザーを含み、かつ、光学サブシステムは、該多重高調波のうちの一つの光をウェーハに、該多重高調波のうちの複数の光を順次ウェーハに、あるいは該多重高調波のうちの複数の光を同時にウェーハに導光するようさらに構成されていることとする請求項 7 に記載のシステム。

【請求項 10】

一つまたはそれ以上の光源は、カスケード・アークを含むこととする請求項 7 に記載のシステム。

【請求項 11】

一つまたはそれ以上の光源は、アーク灯、レーザー、多重高調波の光を生ずるよう構成されているレーザー、またはその何らかの組合せを含むこととする請求項 7 に記載のシステム。

【請求項 12】

反射光学部品は、光学サブシステムによって集光された光の倍率を変更するよう構成されている二つまたはそれ以上の光学部品を含むこととする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 13】

光学サブシステムは、50X から 500X までの倍率を有するようさらに構成されていることとする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 14】

光学サブシステムは、低い中心オブスキュレーションを有するようさらに構成されていることとする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 15】

光学サブシステムは、フーリエ平面を有するようさらに構成されていることとする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 16】

一つまたはそれ以上の屈折光学部品は、平行光化空間内に配置されている屈折ビームスプリッター要素を含み、かつ、該屈折ビームスプリッター要素は、フッ化カルシウムで構成されていることとする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 17】

一つまたはそれ以上の屈折光学部品は、平行光化空間内に配置されている屈折ビームスプリッター要素を含み、該屈折ビームスプリッター要素は、溶融シリカで構成されており、かつ、周波帯は、190nm より大きい波長を含むこととする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 18】

光学サブシステムの物体側のニューメリカル・アパーチャは、0.70 より大きいこととする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 19】

光学サブシステムの物体側のニューメリカル・アパーチャは、0.90 より大きいか、あるいは、0.90 に等しいこととする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 20】

光学サブシステムの視野は、0.1mm より大きいこととする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 2 1】

光学サブシステムの視野は、0.8 mmより大きいか、あるいは、0.8 mmに等しいこととする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 2 2】

光学サブシステムは、物体空間内でテレセントリックであることとする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 2 3】

光学サブシステムは、ひずみが低いこととする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 2 4】

請求項 1 に記載のシステムであって、前記光学サブシステムは広帯域の光学サブシステムであり、その帯域は200 nmより小さい波長、および、200 nmより大きい波長を含むことを特徴とするシステム。

【誤訳訂正 2】

【訂正対象書類名】明細書

【訂正対象項目名】全文

【訂正方法】変更

【訂正の内容】

【発明の詳細な説明】

【発明の名称】広帯域のウェーハ検査用反射光学システム

【技術分野】

【0001】

本発明は、一般に、広帯域のウェーハ検査用の全反射光学システムに関する。ある種の実施形態は、屈折光学部品（複数可）が光に収差を導入しないよう、実質的に光が平行化された平行光化空間内に配置されている一つまたはそれ以上の屈折光学部品を除き、その全ての導光光学部品が、反射光学部品である光学サブシステムを含むシステムに関する。反射光学部品は、非平行光化空間および実質的に光が平行化された平行光化空間内に配置されている。

【背景技術】

【0002】

以下の説明および例は、それらがこのセクションに含まれているからといって、それらが先行技術である、と認められるものではない。

【0003】

例えば論理および記憶デバイスなどの半導体デバイスの製造は、一般に、半導体デバイスの各種の特徴および多重のレベルを形成する非常に多数の半導体製造プロセスを用いた、例えば半導体ウェーハなどの基板処理を含んでいる。例えば、リソグラフィは、半導体ウェーハ上に配置したレジストへのパターンの転写を含む半導体製造プロセスである。半導体製造プロセスの追加の例には、化学機械研磨、エッチング、成膜、およびイオン注入が含まれるが、これらに限定されない。多重の半導体デバイスを、単一の半導体ウェーハ上に配置して製造してよく、かつ、さらにそれらを個々の半導体デバイスに分離してよい。

【0004】

検査プロセスを、半導体製造プロセス中のさまざまな段階で使用して、ウェーハ上の欠陥を検出し、製造プロセスにおけるより高い歩留まり、したがって、より高い利潤を促進する。検査は、常に、例えば集積回路などの半導体デバイス製造の重要な部分となっている。しかしながら、半導体デバイスの寸法が小さくなるにつれて、検査は、容認可能な半導体デバイスの製造の成功にとってさらに重要になる。これは、デバイスが、より小さな欠陥で故障する場合があるからである。例えば、半導体デバイスの寸法が小さくなるにつれて、小さくなりつつある欠陥の検出が必要になって来ているが、これは、比較的小さな欠陥でさえ、半導体デバイスで不要な収差を生じることがあるからである。

【0005】

比較的小さな欠陥の検出を改善するための一つの明らかな方法は、光学検査システムの解像度を上げることである。光学検査システムの解像度を上げる一つの方法は、システムが動作できる波長を下げることである。検査システムの波長が、可視周波帯以下に下がると、比較的小さな周波帯に対して、比較的良好な解像度が、容易に得られる。例えば、収差が、小さな周波帯に亘って、比較的低い光学部品は、比較的容易に設計および製作ができる。

【 0 0 0 6 】

しかしながら、検査システムが、比較的広い周波帯に亘って動作でき、したがって、欠陥検出が、ある与えられた環境に対して、広い範囲の波長、あるいは、より大きな帯域幅から選択できる多数のより小さな帯域幅に亘って行なえることも望ましい。検査データを生成する機能が広い周波帯に亘るものであれば、実質的に異なる特性を有する多種多様なウェーハの検査を行なうための検査システムの変通性が増大するなどの明らかな利点が生まれる。また、広い周波帯に亘って生成される検査データは、単一の波長のみで、あるいは、狭い周波帯に亘って生成される検査データより、ウェーハについて相当より多くの情報をもたらす場合がある。さらにまた、半導体ウェーハ上の透明な層同士の間の薄膜干渉は、層の厚さのばらつきのため、測定ノイズを生じる場合がある。ウェーハを照明するのに、広帯域の光源を用いる場合は、異なる波長同士の間の干渉が平衡し、それにより、干渉ノイズ効果が最小限になる傾向がある。したがって、広帯域の照明源を有することは、ノイズを最少限度に抑え、それにより、より小さな欠陥を見ることを可能にする点で望ましい。

【 0 0 0 7 】

可視周波帯以下の波長で動作することができる広帯域の検査システムを設計することは、些細なことではない。しかしながら、いくつかの光学検査システムが、屈折レンズのみ、溶融シリカとフッ化カルシウム (CaF₂) 要素の両方の組合せで構成された屈折レンズ、あるいは、溶融シリカとCaF₂要素の両方の混合物を含むカタディオプトリック・レンズ組立体を用いて、可視周波帯以下の広帯域のウェーハ検査用に設計されてきた。溶融シリカとCaF₂などの材料との組合せ、またはこのような材料の組合せで構成された要素を含むミラー/レンズ配列体は、溶融シリカによる光の散乱を克服するため、検査システムレンズで使用され、それにより、相当な帯域幅を有する検査システムを可能にしている。

【特許文献1】発見できず

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 8 】

しかしながら、上記の材料の組合せは、一般に、230nm以下の波長で動作するように設計されている広帯域の光学システムには使用できない。例えば、溶融シリカの透過率は、溶融シリカ内の酸素(O₂)分子による光の吸収により、約185nm以下に印象的に低下する。したがって、溶融シリカの透過特性は、その波長以下での使用に利用できる二つの異種屈折材料が存在しないため、その波長以下のいかなる広帯域のソリューションも禁じている。その波長以上であっても、溶融シリカの散乱度は、吸収エッジに近い波長では、比較的大きくなる(図2参照)。したがって、達成可能な約230nm以下の周波帯は、溶融シリカ要素を含むレンズを用いる場合は、むしろ狭い。例えば、200nmの周りの、波長範囲がわずか10nm~20nmの周波帯は、一般に、カタディオプトリック構成での溶融シリカ要素とCaF₂との組合せを含む検査システムを用いて達成可能である。溶融シリカの散乱度が、より長い波長で平坦化する場合は、より長い周波帯が構成可能である。

【 0 0 0 9 】

溶融シリカ要素を含み、かつ、230nmから370nmまでの周波帯に亘る顕微鏡検査用に構成されているレンズの例は、Shafer他の米国特許第5,999,310号に記載されており、これは、ここであたかも完全に記述されているかのように、引用によって組み込まれ

ている。この特許に記載されているレンズは、重要なウェーハ検査機能、並びに、異なる種類の照明を使用する能力、および、コマ、アス、一次色収差、および残留横色収差などの収差の最小限化などの利点を提供する。したがって、これらのレンズについては、ウェーハ検査用途における相当な有用性が、上記の溶融シリカの透過特性により、見出されているが、これらレンズは、200 nmの波長、さらに言えば、230 nmの波長以下の広帯域のウェーハ検査には適していない。これらの限界は、この特許に記述されているレンズに特異的ではないが、溶融シリカで構成された少なくとも一つのレンズ要素を含むいかなる検査システムにも真であろう。

【0010】

したがって、200 nm以下、および、200 nm以上の波長を含む広い周波帯に亘るウェーハ検査機能を有するウェーハ検査システムを開発することは、有利であろう。

【課題を解決するための手段】

【0011】

ウェーハを検査するよう構成されているシステムおよびウェーハを検査する方法の各種の形態についての以下の説明は、いかなるやり方においても、添付のクレームの主題事項を限定すると、解釈すべきではない。

【0012】

一形態は、ウェーハを検査するよう構成されている光学サブシステムを含むシステムに関する。この光学サブシステムの全ての導光光学部品は、実質的に光が平行化された空間内にしか配置されていない一つまたはそれ以上の屈折光学部品を除き、反射光学部品である。この光学サブシステムは、20 nmより大きい周波帯に亘るウェーハの検査用に構成されている。

【0013】

一形態では、周波帯は、約200 nm以下の波長を含んでいる。別の形態では、周波帯は、ウェーハの特性に基づいて選択される。いくつかの形態では、周波帯は、ウェーハ上の材料が、不透明および透明の両方である波長を含むよう選択される。また別の形態では、周波帯は、ウェーハ上の欠陥に対応する信号対雑音比が増大するよう選択される。追加の形態では、周波帯は、約150 nmから約450 nmまでの範囲の波長を含んでいる。

【0014】

一形態では、この光学サブシステムは、一つまたはそれ以上の光源を含んでいる。一形態では、一つまたはそれ以上の光源は、一つまたはそれ以上のファイバー・レーザーを含んでいる。別の形態では、一つまたはそれ以上の光源は、多重高調波の光を生ずるよう構成されたレーザーを含んでいる。このような一形態では、この光学サブシステムは、多重高調波のうちの一つの光をウェーハに、多重高調波のうちの複数の光を順次ウェーハに、または多重高調波のうちの複数の光を同時にウェーハに導光するよう構成されている。異なる形態では、一つまたはそれ以上の光源は、カスケード・アークを含んでいる。他の形態では、一つまたはそれ以上の光源は、アーク灯、レーザー、多重高調波の光を生ずるよう構成されたレーザー、またはそれらの何らかの組合せを含んでいる。

【0015】

別の形態では、反射光学部品は、この光学サブシステムによって集光された光の倍率を変更するよう構成されている二つまたはそれ以上の光学部品を含んでいる。いくつかの形態では、この光学サブシステムは、約50 Xから約500 Xまでの倍率を有するよう構成されている。

【0016】

一形態では、この光学サブシステムは、低い中心オブスキュレーションを有するよう構成されている。追加の形態では、この光学サブシステムは、ビームスプリッターによって照明路および集光路内に分離されたアクセス可能な瞳を有するよう構成されている。別の形態では、この光学サブシステムは、アクセス可能なフーリエ平面を有するよう構成されている。

【0017】

いくつかの形態では、一つまたはそれ以上の屈折光学部品は、実質的に光が平行化された空間内に配置されている屈折ビームスプリッター要素を含んでいる。このような形態では、屈折ビームスプリッター要素は、フッ化カルシウムで構成されている。このような別の形態では、屈折ビームスプリッター要素は、溶融シリカで構成されており、かつ、この光学サブシステムの周波帯は、約 190 nm より大きい波長を含んでいる。

【0018】

いくつかの形態では、この光学サブシステムの物体側のニューメリカル・アパーチャは、約 0.70 より大きい。別の形態では、この光学サブシステムの物体側のニューメリカル・アパーチャは、約 0.90 より大きいか、あるいは、約 0.90 に等しい。追加の形態では、この光学サブシステムの視野は、約 0.1 mm より大きい。また、この光学サブシステムの視野は、約 0.8 mm より大きいか、あるいは、約 0.8 mm に等しくてよい。さらなる形態では、この光学サブシステムは、物体空間内で実質的にテレセントリックである。別の形態では、この光学サブシステムは、ひずみが低い。上記のシステムの形態のそれぞれは、ここで述べるようにさらに構成してよい。

【0019】

異なる形態は、ウェーハを検査するよう構成されている別のシステムに関する。このシステムは、広帯域の光学サブシステムを含んでいる。広帯域の光学サブシステムの全ての導光光学部品は、実質的に光が平行化された空間内にしか配置されていない一つまたはそれ以上の屈折光学部品を除き、反射光学部品である。広帯域の光学サブシステムは、200 nm より小さい波長、および、200 nm より大きい波長の両方でのウェーハの検査用に構成されている。このシステムは、ここで述べるようにさらに構成してよい。

【0020】

追加の形態は、ウェーハを検査する方法に関する。該方法は、反射光学部品のみを用いて、光源からウェーハに、非平行光化空間を介して、光を導光する工程を含んでいる。該光は、20 nm より大きい周波帯を有している。該方法はまた、反射光学部品のみを用いて、ウェーハから検出器に、非平行光化空間を介して、光を導光する工程を含んでいる。また、該方法は、検出器によって生ずる信号を用いて、ウェーハ上の欠陥を検出する工程を含んでいる。

【0021】

一形態では、光源からの光は、一つまたはそれ以上の離散的な波長を有している。このような形態では、光を光源からウェーハに導光する工程は、一つまたはそれ以上の離散的な波長のうちの一つの波長を有する光をウェーハに導光する工程を含んでいる。異なるこのような形態では、光源からウェーハに光を導光する工程は、一つまたはそれ以上の離散的な波長の組合せを有する光を同時にウェーハに導光する工程を含んでいる。一つまたはそれ以上の離散的な波長のそれぞれは、光源からウェーハに、順次、交互に導波してよい。上記の方法の形態のそれぞれは、ここで述べる任意の他の工程（複数も可）含んでいてよい。

【発明を実施するための最良の形態】

【0022】

以下の詳細な説明を読むことにより、また、添付の図面を参照することにより、本発明の他の目的および利点が、明らかになるであろう。

【0023】

本発明は、各種の変更態様および代わりの形態が可能であるが、その特定の実施形態が、図面の例により示され、ここで詳細に記述されるであろう。しかしながら、図面およびそれに対する詳細な説明は、本発明を、開示された特定の形態に限定することを意図したものではなく、反対に、添付のクレームによって定義された本発明の精神および範囲内にある全ての変更態様、同等物および代替物を包含することを意図していることを理解されたい。

【0024】

ここで使用される場合、術語「欠陥」は、一般にウェーハ上、あるいはウェーハ内に形

成される場合がある異常または望ましくない任意の特徴を指す。

【 0 0 2 5 】

ここで使用される場合、術語「ウェーハ」は、一般に半導体または非半導体材料から形成された基板を指す。そのような半導体または非半導体材料の例には、単結晶シリコン、ガリウムヒ素、およびリン化インジウムが含まれるが、これらに限定されない。このような基板は、一般に半導体製造施設で見られ、かつ（あるいは）、そこで処理される場合がある。ウェーハは、基板上に形成された一つまたはそれ以上の層を含んでいてよい。例えば、そのような層には、レジスト、誘電体材料、および導電体が含まれるが、これらに限定されない。多くの異なるタイプのそのような層は、技術上既知であり、かつ、術語ウェーハは、ここで用いられるように、全てのタイプのそのような層を含むウェーハの包含を意図している。

【 0 0 2 6 】

ウェーハ上に形成された一つまたはそれ以上の層は、パターン形成されていても、パターン形成されていなくてもよい。例えば、ウェーハは、複数のダイを含み、それぞれが、繰り返し可能なパターンの特徴を持っていてよい。材料のこのような層の形成および処理は、最終的には完成したデバイスをもたらしてよい。そのようなものとして、ウェーハは、完全な半導体デバイスの全ての層が形成されていない基板、あるいは、完全な半導体デバイスの全ての層が形成されている基板を含んでいてよい。

【 0 0 2 7 】

ウェーハは、集積回路、薄膜ヘッドダイ、微小電気機械システム（MEMS）デバイス、平坦なパネル・ディスプレイ、磁気ヘッド、磁気および光学記憶媒体、レーザー、導波管、およびウェーハ上で処理される他の受動部品、プリントヘッド、およびウェーハ上で処理されるバイオチップデバイスなどの光通信機器および光電子デバイス含んでいてよい他の部品の少なくとも一部をさらに含んでいてよい。

【 0 0 2 8 】

ここで図面を参照すると、図 1 および図 3 ~ 8 は原寸に比例して描かれていないことが注目される。詳細には、これらの図のいくつかの要素の縮尺比は、非常に誇張されていて、要素の特徴を強調している。図 1 および 図 3 ~ 8 が同じ縮尺比で描かれていないことも注目される。二つ以上の図に示した同様に構成してよい要素は、同じ参照番号を用いて示した。

【 0 0 2 9 】

図 1 は、ウェーハを検査するよう構成されたシステムの一実施形態を示す。該システムは、光学サブシステムを含んでいる。ウェーハ 10 は、ステージ（図示せず）上に配設してよく、該ステージは、ウェーハを支持し、ウェーハの回転を位置合わせし、ウェーハを光学システムの焦点面に合わせ、かつ、この光学サブシステムに対してウェーハを移動させるよう構成してよい。ステージは、技術上既知の任意の適当な機械的またはロボチック・デバイスを含んでいてよい。この光学サブシステムは、ウェーハ 10 から鏡面的に反射され、散乱され、かつ、回折された光を検出器 36 に導光し、検出器によって生ずる信号を用いて、ウェーハの検査ができるよう構成されている。例えば、ウェーハ 10 から反射され、散乱され、回折され、あるいは別様に戻された光は、反射光学部品 12（これは、一実施形態では、非球面であってよい）によって集められる。反射光学部品 12 によって集められた光は、平坦な反射光学部品 14 に導光され、該反射光学部品は、反射光学部品 12 のアパーチャ 16 を介して光を導光する。

【 0 0 3 0 】

いくつかの反射光学部品の例は、ここで、「平坦」であるか、あるいは、「平坦な」ミラーであるとして、述べているが、このような反射光学部品は、実際には、完全に平坦ではない場合があることを理解されたい。例えば、ここで述べる平坦な反射光学部品は、実質的にまたはほぼ平坦であるよう設計されている場合がある。また、反射光学部品の「平面度」は、該反射光学部品を製造するのに用いた製造工程によって決定される場合があり、該製造工程は、実質的にまたはほぼ平坦ではあるが、完全には平坦ではない反射光学部

品しか作れない場合がある。「平坦な」反射要素はまた、より高次の非球面部品を有して、それらの形状を表わす場合もあるが、平坦な球面部品を有する場合もある。

【0031】

再び図1を参照すると、アパーチャ16を通過した光は、次いで、反射光学部品20（これは、一実施形態では、非球面であってよい）のアパーチャ18を通過する。アパーチャ18を通過した光は、反射光学部品22（これも、一実施形態では、非球面であってよい）によって集められる。反射光学部品22は、光の焦点を反射光学部品20に合わせる。反射光学部品20によって反射された光は、反射光学部品22のアパーチャ24を介して導光される。アパーチャ24を通過した光は、反射光学部品28（傾斜した平坦な反射光学部品であってよい）のアパーチャ26を介して導光される。アパーチャ26を通過した光は、反射光学部品30（放物面鏡または何らかの適当な曲率を有する他の鏡であってよい）に導光される。

【0032】

反射光学部品30は、実質的に光を平行化し、かつ、実質的に平行化された光を再び反射光学部品28に導光する。反射光学部品28によって反射された実質的に平行化された光は、光学部品38を介し、かつ、瞳32を介して、反射光学部品34に導光される。反射光学部品34は、一実施形態では、傾斜したまたは軸はずれの反射球面であってよい。反射光学部品34は、実質的に平行化された光の焦点を検出器36に合わせるよう構成されている。検出器36は、電荷結合デバイス（CCD）カメラ、時間遅延積分（TDI）カメラ、または光電子増倍管のアレイなど、技術上既知の任意の適当な検出器を含んでよい。

【0033】

図1に示すレンズ製造の成功は、反射光学部品の非球面度に左右される。しかしながら、反射光学部品の設計のベストフィット球面からの逸脱は、世界クラスの光学製造販売業者の製造能力内である。レンズの成功における別のファクターは、チップ、チルト、デスベース、およびデセンターの点での、光軸に対するミラーの位置合わせ製造許容差である。設計をより製造しやすいようにするためには、プレスクリプションを変更して、含まれているミラーの数を増減することにより、各要素の光学パワーを下げてよい。例えば、図1に示す設計は、ミラー5個を有し、これらによって、屈折ビームスプリッター要素38および任意の他の適当な屈折要素（複数も可）をここでさらに述べるように配置できる比較的低い視野角を有する実質的に平行化された空間を形成している。しかしながら、反射システムの別の設計では、6個または7個の反射光学部品を含んでよい。また、非球面の次数が製造コストに影響する場合があります、ミラー数と製造の難度との間でトレードオフを行なってよい。明らかに、図1に示すレンズのプレスクリプションは、レンズのプレスクリプションに影響する場合があるこの光学サブシステムの他の変数に加えて、上記のファクターにより、変化させてよい。したがって、図1に示すレンズの適当なプレスクリプションは、ここで与えられた記述を基に、技術上普通の技能の一つによって、決定することができ、かつ、そのような全ての適当なプレスクリプションは、ここで述べる実施形態の範囲内である。

【0034】

したがって、図1に示す光学サブシステムは、システム瞳32が配置されている実質的に光が平行化された空間を有している。また、全ての屈折光学部品は、収差を無くすため、実質的に光が平行化された空間内に配置されている。このような光学サブシステムの構成は、他の光学サブシステムに比べて多くの利点を有している。例えば、この光学サブシステムは、広帯域のウェーハ検査に使用することができる。詳細には、この光学サブシステムは、20nmより大きい周波帯に亘ってウェーハの検査ができるよう構成されている。また、この光学サブシステムは、非平行化空間内に屈折光学部品を含んでいないので、この光学サブシステムは、200nm以下および200nm以上の波長を含む20nmより大きい周波帯に亘るウェーハの検査に使用することができる。このやり方で、この光学サブシステムは、広い波長範囲に亘って色収差を補正するのに使用できる屈折材料の適

当な組合せが無いいため以前は禁じられていた波長における広帯域のウェーハ検査に使用できる。

【 0 0 3 5 】

したがって、ここで述べる広帯域の検査システムは、250 nm以下の波長において広帯域である光学システムを開発する努力の中で試みられてきた他のシステム構成に比べて特に有利である。例えば、広帯域の屈折光学システムを設計するためには、特定の設計波長で一つのレンズタイプの色収差と別のレンズタイプのそれとを平衡させることができるよう、それぞれ異なる散乱度を有する二つまたはそれ以上の異種光学材料が必要となる。溶融シリカおよびCaF₂の散乱度は、非常に似ているので、全ての屈折レンズにおいて、これらの二つの材料だけで得られる帯域幅は、高ニューメリカル・アパーチャの要件では、一般に1 nmより小さい。二つの材料が、カタディオプトリック要素と対になる場合は、20 nmまでの帯域幅を、200 nmの周りのより低い波長で成し遂げることができる。これらの試みは共に、溶融シリカの散乱度（これは、図2に示すように、250 nm以下の波長で、実質的に高い）によって、限定されてきた。溶融シリカおよびフッ化カルシウム（CaF₂）（これは、生産に値する唯一の他の屈折材料である）を用いた設計は、これらの波長において、20 nmより大きい周波帯を成し遂げる点で成功しなかった。また、このような屈折光学システムの周波帯は、波長の最適化（これは、照明の周波帯と欠陥タイプおよびウェーハ層構成との整合を必要とする）を可能とするには不十分である。例えば、波長の最適化を成功裡に行なうには、約60 nmより大きい周波帯が必要となる。また、背景のセクションでさらに述べたように、約185 nm以下の波長における溶融シリカの透過率は、溶融シリカにおける酸素分子の光の吸収により、受容できないほど低い。したがって、溶融シリカは、約185 nm以下の波長で動作するよう設計されている光学システムでは、全く使用できない場合がある。

【 0 0 3 6 】

したがって、ここで述べるシステムは、屈折またはカタディオプトリックなソリューションが構成できない超深波長を含み得る帯域幅でのウェーハ検査に使用可能な広帯域の光学サブシステムを有利に提供する。詳細には、図1に示す光学サブシステムは、非平行光化空間内にいかなる屈折光学部品も含んでいないので、この光学サブシステムには、上記の色収差、散乱度、および透過率の問題がない。したがって、この光学サブシステムは、真空紫外（VUV）レジームから可視レジームまでの波長を含む実質的に大きな周波帯に亘る広帯域のウェーハ検査に使用できる。例えば、この光学サブシステムは、約150 nmから約450 nmまでの範囲における波長を含む周波帯に亘るウェーハの検査用に構成することができる。このやり方で、いくつかの実施形態では、この光学サブシステムは、200 nmより小さい波長におけるウェーハの検査用に構成されている広帯域の光学サブシステムとして構成することができる。この光学サブシステムはまた、200 nmより大きい波長におけるウェーハの検査用に構成することができる。

【 0 0 3 7 】

したがって、この光学サブシステムは、300 nmの周波帯に亘ってウェーハ検査を行なうよう構成することができる。しかしながら、ウェーハ検査用に選択される周波帯は、多数のファクターによって異なる場合がある。例えば、周波帯は、欠陥タイプ（複数も可）およびウェーハ上に形成された構成などのウェーハの特性に基づいて選択してよい。一つのこのような例では、周波帯は、構成内の欠陥の大きさ、欠陥の深さ、欠陥の近くに配置されている構成、および欠陥と構成との間の共振などの特性に基づいて選択してよい。また、周波帯は、ウェーハ上の材料が、それにおいて不透明および透明の両方である波長を含むよう選択してよい。別の例では、周波帯は、ウェーハ上の欠陥に対応する信号対雑音比を増大させるよう選択してよい。特に背景信号に対して欠陥信号を増大させると、検査データの信号対雑音比が増大し、それにより、欠陥検出が増強される。このやり方で、周波帯は、最適な欠陥信号が得られるよう選択することができる。適当な波長、もしくは、ウェーハ検査用の波長を選択する方法の例が、Guan他の共通に譲渡された米国特許第6,570,650号に記載されており、これは、ここであたかも完全に記述されているかのように

、引用によって組み込まれている。ここで述べる検査システムの波長（複数も可）もまた、この特許で述べられているように選択してよい。

【0038】

したがって、この光学サブシステムは、少なくとも20nmを超える周波帯で動作するよう構成されている。しかしながら、この光学サブシステムによって検査が行なわれる周波帯は、100nmまたはそれ以上、300nmまたはそれ以上、400nmまたはそれ以上、さらに言えば、500nmまたはそれ以上であってよい。このやり方で、この光学サブシステムは、実質的に大きな帯域幅に亘るウェーハ検査を行なう。明らかに、反射光学部品上の反射コート膜の効率が、この光学サブシステムの有用な周波帯を決定する場合がある。したがって、反射光学部品上の反射コート膜は、反射コート膜が比較的高い効率を有するよう、システムの設計周波帯によって選択してよい。いくつかの例では、反射光学部品上のコート膜は、金属層および（または）誘電体層などの一つまたはそれ以上の層を含んでいてよい。また、この光学サブシステムの異なる反射光学部品上のコート膜は、各種の反射光学部品の所望の性能によって異なっていてよい。

【0039】

さらに図1に示すように、瞳32は、この光学サブシステムの光学部品内に配置されていない。このやり方で、瞳32（これは、この光学サブシステムの集光路内に配置されている）は、アクセス可能である。このような構成は、他の検査システムに比べて相当な利点を有している。例えば、多くの検査システムでは、瞳は、システムのレンズ要素内または対物レンズマウンティング内に配置されている。このやり方では、このような検査システムの瞳は、アクセス不可能である。これとは対照的に、図1に示すこのシステムの集光路における瞳は、アクセス可能であるため、各種の光学部品を、瞳において、集光光の光路に挿入することができる。また、集光瞳において挿入された光学部品は、行なわれるであろう検査の種類および（または）検査されるであろうウェーハの種類によって変更してよい。一つまたはそれ以上の光学部品を、技術上既知の任意の方法またはデバイスを用いて、瞳32に、かつ、瞳32から移動してよい。

【0040】

瞳32に配置してよい光学部品は、例えば、偏光部品、位相板、周波帯フィルタ、ブロッキング・アパーチャ、これら要素の組合せ、および技術上既知の任意の他の適当な光学部品を含んでいてよい。また、瞳は、実質的に光が平行化された空間内に配置されるため、屈折光学部品は、集光光に色収差を導入したり、集光光の散乱度を変更したりすることなしに、瞳に挿入することができる。瞳32に挿入された光学部品が、屈折光学部品である場合は、該光学部品は、好ましくは、CaF₂などの材料、またはこの光学サブシステムの周波帯全体に亘って透過率が比較的高い別の材料から構成されている。

【0041】

集光路における瞳32には、この光学サブシステムのフーリエ平面を配置してもよい。このやり方で、この光学サブシステムは、アクセス可能なフーリエ平面を有するよう構成することもできる。そのようなものとして、瞳32に配置してよい一つまたはそれ以上の光学部品は、フーリエ・フィルタリング部品を含んでいてよい。該フーリエ・フィルタリング部品は、空間フィルタ、またはウェーハ上の正規のパターン化された形体によって反射され、かつ（あるいは）、散乱された光を集光路から除去するのに使用できる別の適当な部品を含んでいてよい。ウェーハ上の形体を繰り返すことによって反射され、かつ（あるいは）、散乱された集光光を濾過することによって、ランダムに散乱された光のみが、フーリエ・フィルタを通過して、検出器上に至り、それによって、システムの欠陥検出を増強する。また、いくつかの実施形態では、この光学サブシステムは、フーリエ平面が、正弦法則に従うよう構成してよい。正弦法則は、一般に、ウェーハの表面上のパターン（これは、一定の間隔のほぼ様な角度で光を回折させる）を繰り返すことによって引き起こされる光の回折を記述したものである。正弦法則は、式 $N = d \sin(\theta)$ によって定義される。ここで、Nは、回折の次数、 θ は、波長、dは、繰り返しパターンのピッチ、および、 θ は、回折角度である。

【 0 0 4 2 】

また、この光学サブシステムの光学部品は、図 1 に示すように、システムの視野に対して比較的大きいため、この光学サブシステムは、物体空間において実質的にテレセントリックである。この光学サブシステムのテレセントリシティは、照明からウェーハへの入射光線が、視野に亘って同じ主光線方向で到達し、したがって、感度が、視野に亘って一定であることを示す点で有利である。したがって、この光学サブシステムのテレセントリシティは、集光瞳におけるフーリエ・フィルタリングの簡単さおよび能率を有利に増大させる。

【 0 0 4 3 】

別の実施形態では、フーリエ・フィルタリングは、光学的に行なうことができない。例えば、非フーリエ・フィルタリング光は、検出器に導光してよく、かつ、検出器によって生ずる信号のフィルタリングは、プロセッサまたは検出器に結合されたコンピュータ・システム（図示せず）によって行なわれてよい。このプロセッサまたはコンピュータ・システムは、技術上既知の任意の適当な処理部品を含んでいてよい。また、このプロセッサまたはコンピュータ・システムは、技術上既知の任意のやり方で、検出器に結合してよく、かつ、ここで述べるようにさらに構成してよい。このようなポストデータ取得フーリエ・フィルタリングは、例えば、Lange に対して共通に譲渡された米国特許第 6,603,541 号（これは、ここであたかも完全に記述されているかのように、引用によって組み込まれている）で記述されているように行なうことができる。

【 0 0 4 4 】

一実施形態では、この光学サブシステムは、図 1 に示すように、実質的に光が平行化された空間内に配置される屈折ビームスプリッター要素 38 を含んでいてよい。このような一実施形態では、屈折ビームスプリッター要素は、CaF₂、またはこの光学サブシステムの周波帯全体に亘って透過率が比較的高い別の屈折材料から形成されていてよい。例えば、CaF₂は、約 150 nm から可視範囲の波長までの波長に亘って透明であり、それによって、この光学サブシステムが、これらの波長に亘ってウェーハ検査を行なうことを可能にする。別の実施形態では、屈折ビームスプリッター要素は、溶融シリカで形成されていてよい。このような屈折ビームスプリッター要素は、約 190 nm より大きい波長を含む周波帯での動作に適している。また、屈折ビームスプリッター要素は、実質的に光が平行化された空間内に配置されているので、屈折ビームスプリッター要素は、集光光に色または他の収差を導入せず、かつ、集光光の散乱度を変更しない。

【 0 0 4 5 】

屈折ビームスプリッター要素 38 は、この光学サブシステムに照明を結合するのに使用してよい。また、図 1 に示すこの光学サブシステムは、検査に照明を与えるのに使用される一つまたはそれ以上の光源を含んでいてよい。図 3 は、一つの光源からこの光学サブシステムに光を結合するのに使用できる構成の一実施形態を示す。図 3 に示すように、光源 40 は、レンズ 41 を介して、かつ、反射光学部品 44（これは、平坦なミラーであってよい）内のアパーチャ 42 を介して導光するよう構成されている。アパーチャ 42 を通過した光は、反射光学部品 46 に導光され、該反射光学部品は、レンズ 41 との組合せで、ビーム拡張器として動作して、瞳 48 のアパーチャを満たす。反射光学部品 46 は、放物面ミラーまたは何らかの適当な曲率を有する別のミラーであってよい。反射光学部品 46 は、実質的に光を平行化し、かつ、実質的に平行化された光を再び傾斜した反射光学部品 44 に導光する。

【 0 0 4 6 】

反射光学部品 44 は、実質的に平行化された光をビームスプリッター 38（これは、図 1 に示すように、この光学サブシステム内に位置していてよい）に導光する。このやり方で、屈折ビームスプリッター要素は、照明路における実質的に平行化された空間内にも配置される。したがって、ビームスプリッター要素は、照明に色または他の収差を導入せず、かつ、照明の散乱度を変更しない。屈折ビームスプリッター要素 38 に向けられる照明は、ビームスプリッターによって反射光学部品 28 に向けられ、次いで、上記の反射光学

部品によって、ウェーハ 10 に向けられる。したがって、屈折ビームスプリッター要素 38 によって反射された照明は、集光光と同じ光路に沿って、しかし、反対方向に移動することができる。このやり方で、図 1 に示すように、この光学サブシステムは、高数値リカル・アパーチャ (NA) でウェーハに導光することができる。例えば、この光学サブシステムの物体側の NA は、約 0.70 より大きくてよい。別の例では、この光学サブシステムの物体側の NA は、約 0.90 より大きい、あるいは、約 0.90 に等しくてよい。

【0047】

図 3 に示すように、照明路内に配置されているこの光学サブシステムの瞳 48 は、光学部品内に配置されておらず、集光瞳 32 のビームスプリッター 38 からの距離と等距離のところに配置されている。このやり方で、照明路の瞳は、集光路の瞳と同様、アクセス可能である。そのようなものとして、ビーム整形部品、波長選択フィルタ、位相変更部品、減衰フィルタ、ブロッキング・アパーチャ、偏光部品、技術上既知の任意の他の適当な光学部品、およびそれらの何らかの組合せなどの各種の光学部品を、照明瞳に配置してよい。また、照明瞳は、実質的に光が平行化された空間内に配置されているので、照明路の瞳に配置される光学部品は、屈折光学部品（これは、上でさらに述べたように構成されていてよい）を含んでいてよい。

【0048】

さらにまた、照明路の瞳 48 は、集光路の瞳 32 と分離されている。瞳は、ビームスプリッター 38 によって、照明路および集光路に分離されている。したがって、この光学サブシステムは、照明路および集光路に分離されているアクセス可能な瞳を有するよう構成されている。瞳のこのような分離は、異なる光学部品を、照明路および集光路の瞳に配置できるという増大した変通性をもたらす。例えば、異なる偏光部品を、照明路および集光路の瞳に位置させることができる。別の例では、波長選択フィルタを、照明路の瞳に位置させることができ、かつ、フーリエ・フィルタを、集光路の瞳に設置することができる。さらなる例では、ブロッキング・アパーチャを、照明路および集光路の瞳に位置させることができる。ブロッキング・アパーチャは、各種の明視野および暗視野モードでの検査が行なえるよう、瞳の形状を操作するように構成してよい。光の偏光および（または）位相を変える他の光学部品を、照明瞳および（または）集光瞳に挿入して、ウェーハ欠陥の信号対雑音比を最高にすることができる。多くの他のこのような組合せが可能であり、かつ、すべてのこのような組合せが、ここで述べる実施形態の範囲内に存在している。

【0049】

図 4 は、二つまたはそれ以上の光源からの光をこの光学サブシステムに結合するのに使用することができる構成の一実施形態を示す。図 4 に示すように、光源 50 および 52 からの光は、光学部品 54 に導光される。光学部品 54 は、光が平行化された空間内に配置されるため、好ましくは、屈折2 色性ビームスプリッターである。このやり方で、光学部品 54 は、色または他の収差を照明に導入しない。屈折光学部品 54 は、光源 50 からの光を通過させ、かつ、光源 52 からの光をビーム拡張器要素 58 に向けて反射させることができる 2 色性ビームスプリッターを含んでいてよい。いくつかの実施形態では、光源 50 および 52 からの二つの光ビームは、二つの光源からの光が、ほぼ同じ光の分布（例えば、大きさおよび角度の範囲）を有するよう、反射光学部品 54 において、実質的に同じラグランジュ・インvariantを有していてよい。このやり方で、二つの光ビームを、単一の光ビームに適切に結合することができる。そのようなものとして、組合せ光ビームを、同時にウェーハに向けて検査することができる。

【0050】

反射光学部品 60（これは、軸はずれの放物面であってよい）は、光を実質的に平行化するよう、かつ、実質的に平行化された光を再び瞳 62 に、次いで、屈折ビームスプリッター要素 38（これは、図 1 に示すように、この光学サブシステム内に位置していてよい）に導光するよう構成されている。視野絞り 59 は、ミラー 58 とミラー 60（これは、ウェーハ面に共役である）との間に配置されている。この光学サブシステムの照明部分の

この実施形態も、瞳 6 2 を有しており、該瞳は、実質的に光が平行化された空間内に配置されており、かつ、集光路の瞳から分離されている。したがって、光学サブシステムは、光源を含み、かつ、図 4 に示す光学部品も、上記のように分離され、かつ、アクセス可能な瞳の利点を有することになる。

【 0 0 5 1 】

図 3 および 4 には、一つまたはそれ以上の光源からの光をこの光学サブシステムに結合するための二つの異なる構成を示してあるが、多くの適当な光学構成が可能であり、かつ、全てのそのようなバリエーションは、ここで述べる実施形態の範囲内に存在していることを理解されたい。例えば、異なる波長を有する光源同士を組み合わせることは、実質的に光が平行化された空間内に位置する 2 色性ビームスプリッターを用いて成し遂げることができる。また、図 4 に示す構成は、複数の光ビームを同時に一つのウェーハに導光するのに使用できるが、この構成はまた、光源群からの光を順次、該ウェーハに導光するのにも使用することができる。また、図 4 に示す構成は、三つまたはそれ以上の光源からの光を、この光学サブシステムに結合するよう修正することができる。さらにまた、追加の照明光学要素を用いて、ウェーハ面に共役な視野絞りを作り出すこと、あるいは、照明ビームの空間均一性を、色収差を導入しないやり方で動作する全ての反射部品または屈折部品の利用と両立するやり方で均質化することができる。

【 0 0 5 2 】

さらにまた、この光学照明サブシステムは、光のビームを、斜めの入射角度でウェーハに向けることができるよう構成することができる。光を斜めの入射角度でウェーハに導光する一つの方法は、ウェーハの上側面と反射光学部品 1 4 の底面との間に配置された空間を介して、光をウェーハに導光することである。このやり方で、光は、この光学サブシステムのレンズに対して外部の、かつ、結像路におけるいかなる光学面にも反射する必要がない空間を介して、ウェーハに導光することができる。別の例では、光は、反射光学部品 1 2 内の比較的小さな中心はずれのアパーチャを介して、斜めの入射角度でウェーハに導光することができる。ウェーハの斜めの照明から生ずる光は、ここで述べるように集光し、かつ、検出することができる。

【 0 0 5 3 】

別の実施形態では、光源からの光は、反射光学部品 1 2 と 1 4 との間の空間を利用することによって、あるいは、反射光学部品 1 2 内に一つまたはそれ以上の穴（例えば、各種の入射の仰角および方位角に対して異なる穴）を有することによって、反射光学部品 1 4 内の穴（図示せず）を介してウェーハに直接送ることができる。このような実施形態については、集光光学系は、可能的には、フーリエ・フィルタとして働く集光瞳を用いて、ここで述べるように構成してよい。

【 0 0 5 4 】

図 3 および 4 に示す光源（複数も可）は、多数の異なる光源を含んでいてよい。好ましくは、該光源（複数も可）は、少なくとも一つの広帯域の光源または多数の同時狭帯域を含む光源を含んでいる。また、比較的高い輝度を有する広帯域の光源（複数も可）は、この光学サブシステムに含まれるのに特に適している場合がある。この光学サブシステムに含まれてよい光源の一実施形態は、カスケード・アークであり、該カスケード・アークは、10,000 K を超える高い黒体温度を有し、かつ、セミコヒーレントなやり方で比較的大量の深紫外（DUV）光を生ずる。また、カスケード・アークは、約 150 nm 以下から約 450 nm 以上までの広範囲の周波帯に亘る光を生ずる。この光学サブシステムはまた、230 nm 以上の照明用のアーク灯（例えば、水銀キセノン（HgXe）アーク灯）および個々の波長のレーザーを含んでいてよい。

【 0 0 5 5 】

可能的なレーザー源は、532 nm、355 nm、および 266 nm の波長の光を生ずる周波数倍増または混合 YAG レーザー、257 nm の光を生ずるアルゴン・イオンレーザー、244 nm の光を生ずる周波数倍増アルゴン・イオンレーザー、157 nm、193 nm、または 248 nm の光を生ずるエキシマレーザー、198 nm または 193 nm

の光を生ずる周波数混合レーザー、および 185 nm (Hg) および 222 nm (セシウム、Cs) の光を生ずる光学的にポンピングされる原子蒸気レーザー、並びに、約 140 nm ~ 約 450 nm の周波帯内の他のものを含んでいる。また、レーザーは、好ましくは比較的長いパルス持続時間を有する連続 (CW) レーザーまたはパルスレーザーであってよい。レーザーはまた、何らかの高調波の光を生ずるよう構成されているレーザーを含んでいてよい。例えば、第 8 高調波の光を出すレーザーを使用してよい。このようなレーザーのより低い高調波 (例えば、第 7、第 6、第 5 など) で生ずる光はまた、同時に、個々に、または任意の組合せで照明用に使用してよい。このやり方で、この光学サブシステムは、多重高調波のうちの一つの光をウェーハに、多重高調波のうちの複数の光を順次ウェーハに、または多重高調波のうちの複数の光を同時にウェーハに、導光するよう構成してよい。ここで述べるこの光学サブシステムでの使用に適する場合があるこのようなレーザーは、現在、株式会社ニコンなどの会社によって、商業用途向けに開発されつつある。集光光のフーリエ・フィルタリングを上記のように行ないたい場合は、照明用のコヒーレントな光源を使用するのが有利である場合がある。

【0056】

上記の光源のうちのいずれも、単独で、あるいは、それらの任意の組合せで使用してよい。例えば、一実施形態では、一つまたはそれ以上の光源は、一つまたはそれ以上のファイバー・レーザーを含んでいる。他の実施形態では、一つまたはそれ以上の光源は、アーク灯、レーザー、多重高調波の光を生ずるよう構成されたレーザー、またはそれらの何らかの組合せを含んでいる。

【0057】

この光学サブシステムで使用される高輝度光源は、好ましくは、照明ニューメリカル・アパーチャ (NA) および視野 (FOV) のエテンデュにマッチしている。エテンデュは、一般に、像平面上の像の大きさに像がレンズから像平面に移動する角度を掛けたもの、として定義することができる。したがって、エテンデュは、一般に、像の輝度の尺度である。一般に、比較的小さな像が、比較的高い NA で物体面上に形成できるよう、比較的小さなエテンデュが好ましい。エテンデュのマッチングは、例えば、照明源が十分な輝度を有している場合、照明に対して別個のズーム (これは、そのズーム範囲に亘って、検出器のエテンデュに等しくても等しくなくてもよい) で成し遂げることができる。照明に対して使用されるズームは、ここで述べるように構成してよい。照明および集光のエテンデュは、この光学サブシステムのシグマが、1 に等しくなく、各種の暗視野 (DF) 検査オプション用である場合、等しくなくてよい。シグマは、一般に、この光学サブシステムの照明 NA の、この光学サブシステムの集光 NA に対する比として定義することができる。

【0058】

図 5 は、ウェーハを検査するよう構成されているシステムの異なる実施形態を示す。このシステムはまた、光学サブシステムを含んでおり、該光学サブシステムは、非平行光化空間内の反射導光光学部品のみを含んでいる。例えば、図 5 に示すこの光学サブシステムは、反射光学部品 12、14、18、および 22 を含んでおり、これらは、図 1 に示す同様の参照番号を有する反射光学部品に対して上記のように構成してよい。

【0059】

しかしながら、図 5 に示すこのシステムは、反射光学部品 18 によって反射された光を実質的に平行化し、かつ、実質的に平行化された光を、集光路の瞳を介して、ズーム・サブシステムに導光するよう構成されている一組の反射光学部品を有している。詳細には、図 5 に示すように、反射光学部品 64 (これは、球面ミラーまたは何らかの適当な曲率を有する別のミラーであってよい) は、反射光学部品 18 によって反射された光を実質的に平行化するよう構成されている。実質的に平行化された光は、反射光学部品 66 に導光され、該反射光学部品は、集光路の瞳 68 を介して、光を導光する。このやり方で、瞳 68 は、実質的に平行化された空間内に配置されている。

【0060】

瞳を通過した光は、反射光学部品 70 に導光され、該反射光学部品は、平坦なまたは球

面のミラーであってもよい。また、瞳 68 は、図 1 の集光瞳が間に配設されている二つの反射光学部品よりもはるかに狭い二つの反射光学部品の間に配設されているが、瞳 68 は、それでも容易にアクセス可能である。したがって、瞳 68 には、一つまたはそれ以上の光学部品を配置することができる。これらの光学部品（複数可）は、上記の光学部品のうちの任意のものを含んでいてよく、かつ、行なわれるであろう検査の種類、および（または）検査されるであろうウェーハの特性によって、集光瞳に、かつ、集光瞳から移動してよい。反射光学部品 70 によって反射された光は、反射光学部品 72 に導光され、該反射光学部品は、球面ミラーまたは何らかの適当な曲率を有する別のミラーであってもよい。反射光学部品 72 は、光をズーム・サブシステム（図 5 に示さず）に導光し、該ズーム・サブシステムは、ここでさらに述べるように構成されていてよい。図 5 に示すこのシステムは、ここで述べるように、さらに構成されていてよい。これらミラー 64、70、66、および 72 の全ては、光路に干渉したり光路をブロックしないよう、円形ミラーのセグメントであってもよい。これらのミラーの全てに対するプレスクリプションは、同じ機能を行なうよう変更してよく、これは、瞳内の光学要素に対して十分な余裕を有するビームスプリッターに実質的に光が平行化された空間を与えることになる。

【0061】

図 1 に示す反射光学部品は、この光学サブシステムによって集光された光の倍率または「ズーム」を変更するよう構成された二つの光学部品を含んでいる。このやり方で、このシステムは、好ましくは、全反射ズームを含んでいる。そのようなものとして、このズーム・サブシステムは、この光学サブシステムの倍率を変えても、光に色および他の収差を導入しない。例えば、図 1 に示す実施形態では、反射光学部品 30 および 34 を使用して、限定された範囲に亘り、この光学サブシステムの倍率を制御することができる。この倍率は、反射光学部品 30 および 34 の位置を変えることによって、変更することができる。これら反射部品の位置は、反射光学部品に結合された機械的な部品などの技術上既知の任意の適当な部品（図示せず）を用いて変更することができ、かつ、プロセッサまたはコンピュータ・システムによって制御することができる。この光学サブシステムは、比較的高い倍率システムとして構成することができる。例えば、一実施形態では、この光学サブシステムは、約 50X から約 500X の倍率を有するよう、構成することができる。

【0062】

したがって、図 1 に示すように、この光学サブシステムのズームは、二つの反射光学部品を含んでいる。しかしながら、図 1 に示すこの光学サブシステムに含まれているズーム・サブシステムは、この光学サブシステムによって集光される光の倍率を変更するよう構成されている二つまたはそれ以上の光学部品を含んでいてよい。このやり方で、この光学サブシステムのズームは、三つまたはそれ以上の反射光学部品によって制御することができる。三つまたはそれ以上の反射光学部品を用いて、この光学サブシステムの倍率を制御することは、倍率範囲に亘ってよりよい像品質をもたらす場合がある。

【0063】

図 6 は、この光学サブシステムによって集光された光の倍率を変更するよう構成されている反射光学部品の一実施形態を示す。図 6 に示す実施形態では、ズーム・サブシステムは、四つの反射球面光学部品を含んでいる。詳細には、視野絞り 74 を通過した光は、反射光学部品 76 に導光され、該反射光学部品は、一例では、何らかの曲率を有するミラーであってもよい。反射光学部品 76 によって反射された光は、反射光学部品 78 に導光され、該反射光学部品は、この例では、球面ミラーである。反射光学部品 78 から反射された光は、反射光学部品 80 に導光され、該反射光学部品は、何らかの曲率を有するミラーであってもよい。反射光学部品 80 によって反射された光は、反射光学部品 82 に導光され、これもまた、何らかの曲率を有するミラーであってもよい。反射光学部品 82 によって反射された光は、像平面 84 に導光される。ミラー 76、78、80、および 82 は、光ビームのブロッキングを避けるため、円形要素のセグメントであってもよい。

【0064】

この光学サブシステムの倍率を変更するためには、四つの反射光学部品 76、78、8

0、および82の一組を、視野絞りに向かって、かつ、それから離れる方向に、直線的に移動させてよい。視野絞りと反射光学部品78との間の最小の距離は、約53mmであってよい。また、四つの反射光学部品一組の全長は、約130mmであってよい。四つの反射光学部品一組の全幅は、約42mmであってよい。図6に示すズーム・サブシステムは、ここで述べるシステム実施形態のうちのいずれに含まれていてもよい。

【0065】

ズーミング反射要素の構成は、この光学サブシステムに対して選択された倍率によって、異なっていてよい。しかしながら、図6に示すズーミングに使用される四つの反射部品の一般的な構成は、各種の倍率に使用してよい。例えば、図7に示すように、四つの反射部品ズーム・サブシステムは、この光学サブシステムに、約90X、約200X、または約400Xの倍率を与えることができる。反射ズーミング要素の一つまたはそれ以上の構成は、選択された倍率によって、異なっていてよい。また、反射ズーミング要素同士の互いに他に対する位置は、選択された倍率によって、異なっていてよい。このやり方で、二つまたはそれ以上の反射光学部品を含むズーミング・サブシステムを、選択された一つの倍率に対して使用することができる。

【0066】

しかしながら、四つの反射部品ズーム・サブシステムは、図8に示すように、各種の倍率を得るのに使用することができる。詳細には、反射ズーミング部品の位置を、傾斜および直線運動の両方によって変えて、上記の異なる倍率のような異なる倍率を得ることができる。ズーミング要素構成の光路の全長は、約795mmであってよい。図6～8に示すズーム・サブシステム構成は、ここで述べるシステム実施形態のうちのいずれに含まれていてもよい。

【0067】

ここで述べるシステムは、上記の利点に加えて、多数の利点を有している。例えば、一実施形態では、この光学サブシステムは、中心オブスキュレーションが低くなるよう構成されている。オブスキュレーションは、一般に、反射光学部品に亘って形成されたアパーチャの大きさの、反射光学部品の大きさに対する比によって定義することができる。オブスキュレーションは、出来るだけ低いことが好ましく、かつ、この光学サブシステムのオブスキュレーションは、最高のオブスキュレーション比を有する反射光学部品によって限定される。図1に示すように、この光学サブシステムの反射光学部品の全ては、比較的低いオブスキュレーション比を有している。詳細には、内部に形成されたアパーチャを有する各反射光学部品では、各反射光学部品の大きさは、そのアパーチャの大きさに比べて比較的大きい。したがって、この光学サブシステムは、全体として、比較的低いオブスキュレーションを有することになる。

【0068】

別の実施形態では、この光学サブシステムの物体側のNAは、約0.70より大きい。好適な一実施形態では、この光学サブシステムの物体側のNAは、約0.90より大きい。あるいは、約0.90に等しい。追加の実施形態では、この光学サブシステムの視野は、約0.1mmより大きい。いくつかの実施形態では、この光学サブシステムの視野(FOV)は、約0.8mmより大きい。あるいは、約0.8mmに等しい。このやり方で、この光学サブシステムは、他のウェーハ検査システムに比べて、比較的大きなFOVを有している場合がある。さらなる実施形態では、この光学サブシステムは、ひずみが低い。ひずみは、一般に、検出器における集光光の場所の誤差として定義することができる。この光学サブシステムのひずみの低さは、少なくとも部分的には、この光学サブシステムのテレセントリシティによる場合がある。このやり方で、この光学サブシステムは、実質的に良好な像品質を有することができ、これは、少なくとも部分的に、非常に正確な欠陥検出を容易にする場合がある。

【0069】

したがって、ここで述べるこの光学サブシステムは、ハイエンド・ラインモニター(HELM)ウェーハ検査に使用できる。なぜなら、ここで述べるこの光学サブシステムは、

このような検査に対する仕様の全てを満足しているからである。詳細には、H E L M ウェーハ検査に対する仕様は、比較的大きな N A（例えば、0.90 またはそれ以上）、比較的大きな F O V（例えば、0.8 mm）、物体空間におけるテレセントリシティ、低いひずみ、照明路と集光路との間で分離できるアクセス可能な瞳、高い倍率ポテンシャル、ズーム可能な倍率、およびビームスプリッターが収差の導入なしに挿入できる実質的に光が平行化された空間を含んでいる。ここで述べるシステムは、これらの仕様を満足しているばかりか、全ての反射光学要素を非平行光化空間内で使用することによって、広い周波帯に対する能力を与える。さらにまた、ここで述べるこの光学サブシステムは、少なくとも部分的には、この光学サブシステムが動作できる実質的に低い波長により、比較的良好な解像度を有している。解像度は、システムの波長をシステムの N A で割った値に等しくなる傾向がある。また、この光学サブシステムは、明視野（B F）、D F、結像、非結像などを含む各種の検査モードに対して使用できる。

【0070】

検査に対する感度要件は、リソグラフィ・ロードマップの感度に平行する。これらの感度要件を満足するためのオプション（ここで述べる実施形態によって提供されるもの以外のもの）は、浸漬レンズを含んでおり、該浸漬レンズは、検査システムの解像度を、浸漬液（一般に D U V 周波帯内で約 1.43 の屈折率を有する水）の屈折率の比だけ増大させることが可能である。しかしながら、浸漬レンズのウェーハ検査に対する適応性は、多くのウェーハ材料（例えば、オキサイドおよびホトレジスト）の屈折率に比べた場合の、浸漬液の屈折率の類似性により、相当に減少し、それにより、像コントラストをほとんど生じない。

【0071】

他のシステムの感度は、既に市場の要求に合致していないので、特に明視野アリーナでの波長スケールングによって、さらに感度を上げるニーズが存在している。ここで述べるシステムは、所望の感度を提供するが、これは、検査に用いられる波長が、他の検査システムより印象的に低い場合があるからである。例えば、ここで述べるシステムは、32 nm のリソグラフィック生成ノードで使用することができる。また、ここで述べる反射設計は、材料のコントラスト特性が、吸収エッジ以下および吸収エッジ以上の波長でスパンできるように、相当な帯域幅を見込んでいる。ここで述べる設計はまた、特定の欠陥層上の特定の欠陥に対して、感度を最適化するため、周波帯が選べるよう、波長帯域の選択性も提供している。

【0072】

上記のように、ここで述べる光学サブシステムの実施形態は、200 nm 以下の波長（並びに 200 nm 以上の波長）における広帯域のウェーハ検査用途に使用できる。技術上既知のように、185 nm 以下の波長では、光は、光学システムの光路内に存在する水、酸素、および空気によって、部分的に、あるいは、全体的に吸収される場合がある。したがって、光学サブシステムの波長は、190 nm 以下に落ち、水、酸素、および空気による光の吸収は、これらのシステムに対して、重大な問題を生ずる場合がある。そのようなものとして、一実施形態では、ここで述べるこの光学サブシステムは、検査（例えば、当該波長において実質的に透明な気体を用いる検査）中、パージされた環境内に配設される場合がある。光学サブシステムに対してパージされた環境を作り出すための方法およびシステムの例は、2004 年 5 月 14 日に、共通に譲渡された同時係属出願である Fielden 他により出願された米国特許出願番号 10/846,053（これは、あたかもここで完全に記述されているかのように、引用によって組み込まれている）に記述されている。

【0073】

ここで述べるシステムはまた、上記のようなプロセッサまたはコンピュータ・システム（図示せず）を含んでいてよい。該プロセッサまたはコンピュータ・システムは、図 1 に示す検出器 36 によって生ずる信号の欠陥を検出するよう構成されていてよい。該プロセッサまたはコンピュータ・システムは、技術上既知の任意の方法またはアルゴリズムを用いて欠陥検出を行なうよう、構成してよい。いくつかの実施形態では、該プロセッサまた

はコンピュータ・システムはまた、検出器 36 によって生ずる信号を用いて、ウェーハ上の欠陥のレビューを行なうよう、構成してよい。このやり方で、ここで述べるシステムは、ウェーハ上の欠陥の検査およびレビューを行なうよう、構成してよい。該プロセッサはまた、欠陥分類などの他の欠陥関連機能を行なうよう、構成してよい。該プロセッサまたはコンピュータ・システムは、技術上既知の任意の適当なプロセッサまたはコンピュータ・システムを含んでいてよい。

【0074】

いくつかの実施形態では、ここで述べるシステムは、「スタンドアロン・ツール」またはプロセス・ツールに物理的に結合されていないツールとして構成してよい。しかしながら、このようなシステムは、伝送媒体（これは、有線または無線部分を含んでいてよい）によってプロセス・ツールに結合してよい。該プロセス・ツールは、リソグラフィ・ツール、エッチング・ツール、成膜ツール、研磨ツール、めっきツール、清浄化ツール、またはイオン注入ツール等、技術上既知の任意のプロセス・ツールを含んでいてよい。該プロセス・ツールは、普通のハンドラーによって結合される「クラスタ・ツール」または多数のプロセス・モジュールとして構成してよい。

【0075】

ここで述べるシステムによって行なわれた検査および（または）レビューの結果は、フィードバック制御法、フィードフォワード制御法、またはin situ制御法を用いて、プロセスのパラメータまたはプロセス・ツールを変更するのに使用してよい。プロセスのパラメータまたはプロセス・ツールは、手動または自動で変更してよい。

【0076】

別の実施形態は、ウェーハを検査する方法に関する。該方法は、反射光学部品のみを用いて、光源からウェーハに、非平行光化空間を介して、光を導光する工程を含んでいる。光源からウェーハに光を導光する工程は、ここで述べるシステム実施形態のうちのいずれかを用いて行なうことができる。例えば、図2に示す光源40からの光は、反射光学部品20、22、14、および12（これらは、図1に示すように非平行光化空間内に配置されている）を用いて、図1に示すウェーハ10に導光することができる。反射光学部品はまた、さらにここで十分に述べるように、実質的に光が平行化された空間内で、光を導光するのに使用することができる。

【0077】

該光は、20 nmより大きい周波帯を有している。しかしながら、該周波帯は、上記の周波帯のうちのいずれかを含んでいてよい。また、該周波帯は、上記の波長（例えば、150 nm以下から約450 nm以上まで）のうちのいずれかを含んでいてよい。一実施形態では、該方法は、ウェーハの特性に基づいて、周波帯を選択する工程を含んでいてよい。別の実施形態では、該方法は、ウェーハ上の材料が、それにおいて不透明および透明の両方である波長を含むよう、周波帯を選択する工程を含んでいてよい。いくつかの実施形態では、該方法は、ウェーハ上の欠陥に対応する信号対雑音比が増大するよう、周波帯を選択する工程を含んでいてよい。追加の実施形態では、該方法は、反射光学部品のみを用いて、多重光源からウェーハに、非平行光化空間を介して光を導光する工程（これは、上記のように行なってよい）を含んでいてよい。

【0078】

一実施形態では、光源からの光は、一つまたはそれ以上の離散的な波長を有している。このような一実施形態では、光源からウェーハに光を導光する工程は、一つまたはそれ以上の離散的な波長のうちの一つを有する光をウェーハに導光する工程を含んでいる。異なるこのような実施形態では、光源からウェーハに光を導光する工程は、一つまたはそれ以上の離散的な波長の組合せを有する光を、同時にウェーハに導光する工程を含んでいる。一つまたはそれ以上の離散的な波長のそれぞれは、光源からウェーハに、順次、交互に導光してよい。

【0079】

該方法はまた、反射光学部品のみを用いて、ウェーハから検出器に、非平行光化空間を

介して、光を導光する工程を含んでいる。例えば、図 1 に示すウェーハ 10 からの光は、非平行光化空間内の反射光学部品 12、14、22、20、および 30 を用いて、検出器 36 に導光することができる。一実施形態では、該方法は、ウェーハから集光された光を拡大する工程を含んでよい。いくつかの実施形態では、該方法は、ウェーハから集光された光をフーリエ・フィルタリングする工程を含んでよい。拡大およびフーリエ・フィルタリングは、上記のように行なうことができる。

【0080】

また、該方法は、検出器によって生ずる信号を用いて、ウェーハ上の欠陥を検出する工程を含んでいる。例えば、図 1 に示す検出器 36 によって生ずる信号は、プロセッサまたはコンピュータ・システム（図示せず）が、ウェーハ 10 上の欠陥を検出するのに使用できる。上記のように、フーリエ・フィルタリングする工程は、集光光が検出される前に行ってよい。別の実施形態では、フーリエ・フィルタリングする工程は、検出器によって生ずる信号に対して行なってよい。上記の方法の実施形態のそれぞれは、ここで述べる任意の他の工程（複数も可）を含んでよい。また、上記の方法の実施形態のそれぞれは、ここで述べるシステム実施形態のうちのいずれかを用いて行なうことができる。

【0081】

本発明の各種の態様の更なる修正および別法の実施形態は、この記述を見れば、この技術に長けた人には明らかであろう。例えば、広帯域のウェーハ検査用の全反射光学システムが、与えられている。したがって、この記述は、例示のみと解釈されるべきであり、かつ、この技術に長けた人に、本発明を実施する一般的なやり方を教示することを目的としている。ここで図示し、かつ、記述した本発明の形態は、現在好適とされる実施形態と解釈されるべきであることを理解されたい。全て、本発明のこの記述の利益を得た後に、この技術に長けた人には明らかであるように、ここで図示し、かつ、記述したものの代わりに、別の要素および材料を使用してよく、部分およびプロセスは、逆にしてよく、かつ、本発明のある種の特徴は、独立的に利用されてよい。以下の請求項に記述されているように、発明の精神および範囲を逸脱することなしに、ここで記述した要素に変更を行なってよい。

【図面の簡単な説明】

【0082】

【図 1】ウェーハを検査するよう構成されているシステムの一実施形態の横断面図を説明する概略図である。

【図 2】波長の関数としての溶融シリカの散乱度を説明するプロットである。

【図 3】ウェーハを検査するよう構成されたシステムに含まれ得る一つまたはそれ以上の光源の各種の実施形態の横断面図を説明する概略図である。

【図 4】ウェーハを検査するよう構成されたシステムに含まれ得る一つまたはそれ以上の光源の各種の実施形態の横断面図を説明する概略図である。

【図 5】ウェーハを検査するよう構成されているシステムの別の実施形態の横断面図を説明する概略図である。

【図 6】光学サブシステムによって集光される光の倍率を変更するよう構成されている反射光学部品の異なる実施形態の横断面図を説明する概略図である。

【図 7】光学サブシステムによって集光される光の倍率を変更するよう構成されている反射光学部品の異なる実施形態の横断面図を説明する概略図である。

【図 8】光学サブシステムによって集光される光の倍率を変更するよう構成されている反射光学部品の異なる実施形態の横断面図を説明する概略図である。