

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2010-21550

(P2010-21550A)

(43) 公開日 平成22年1月28日(2010.1.28)

(51) Int.Cl.
H01L 21/027 (2006.01)F I
H01L 21/30 515 Dテーマコード (参考)
5 F 0 4 6

審査請求 有 請求項の数 15 O L 外国語出願 (全 33 頁)

(21) 出願番号 特願2009-162313 (P2009-162313)
 (22) 出願日 平成21年7月9日 (2009.7.9)
 (31) 優先権主張番号 61/079, 975
 (32) 優先日 平成20年7月11日 (2008.7.11)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)
 (31) 優先権主張番号 61/136, 150
 (32) 優先日 平成20年8月14日 (2008.8.14)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)
 (31) 優先権主張番号 61/136, 983
 (32) 優先日 平成20年10月20日 (2008.10.20)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 504151804
 エーエスエムエル ネザーランズ ビー.
 ブイ.
 オランダ国 ヴェルトホーフェン 550
 4 ディー アル, デ ラン 6501
 (74) 代理人 100079108
 弁理士 稲葉 良幸
 (74) 代理人 100109346
 弁理士 大貫 敏史
 (72) 発明者 スール, ワウター, アンTON
 オランダ国, ナイメーヘン エヌエルー6
 546 ヴイヴィ, ヘグダムブルーク 1
 717

最終頁に続く

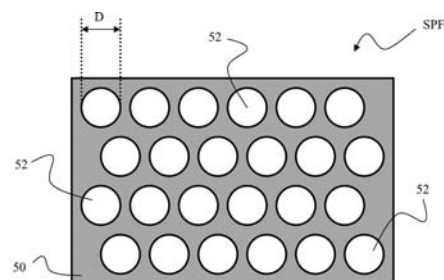
(54) 【発明の名称】 リソグラフィ装置における使用のためのスペクトル純度フィルタ

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 スペクトル純度フィルタの機械的ロバスト性を保持し、製作費用の低減が可能なスペクトル純度フィルタを提供する。

【解決手段】 従来のスペクトル純度フィルタの問題は、あまりにも小型であるため、アパーチャの作成に利用可能な製造オプションが限られているおよび／または高価であるということである。本発明の一態様では、アパーチャを含むスペクトル純度フィルタであって、アパーチャは、第1の波長の放射を回折し、且つ、第2の波長の放射の少なくとも一部がアパーチャを透過することを可能にするように構成され、第2の波長の放射は第1の波長の放射より短く、アパーチャは20 μmより大きい直径を有する、スペクトル純度フィルタを提供する。

【選択図】 図3



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

アパーチャを含むスペクトル純度フィルタであって、

前記アパーチャは、第 1 の波長の放射を回折し、且つ、第 2 の波長の放射の少なくとも一部が前記アパーチャを透過することを可能にするように構成され、前記第 2 の波長の放射は前記第 1 の波長の放射より短く、

前記アパーチャの側壁に、コーティングが設けられる、スペクトル純度フィルタ。

【請求項 2】

前記コーティングは、前記第 1 の波長の放射の少なくとも一部を吸収する、請求項 1 に記載のスペクトル純度フィルタ。

【請求項 3】

前記コーティングは、前記第 1 の波長の放射の少なくとも一部の反射を阻止する、請求項 1 または 2 に記載のスペクトル純度フィルタ。

【請求項 4】

前記コーティングは、前記第 2 の波長の少なくとも一部の反射を促進する、請求項 1 乃至 3 のうちいずれか一項に記載のスペクトル純度フィルタ。

【請求項 5】

前記コーティングは、前記アパーチャに対する劣化または環境による損傷を阻止する、請求項 1 乃至 4 のうちいずれか一項に記載のスペクトル純度フィルタ。

【請求項 6】

前記アパーチャは、 $20\text{ }\mu\text{m}$ より大きい直径を有する、請求項 1 乃至 5 のうちいずれか一項に記載のスペクトル純度フィルタ。

【請求項 7】

第 1 の直径を有する第 1 のアパーチャを含むスペクトル純度フィルタであって、

前記第 1 のアパーチャは、第 1 の波長の放射を回折し、且つ、第 2 の波長の放射の少なくとも一部が前記アパーチャを透過することを可能にするように構成され、前記第 2 の波長の放射は前記第 1 の波長の放射より短く、

前記スペクトル純度フィルタは更に、

第 2 の直径を有する第 2 のアパーチャを備え、前記第 2 の直径は前記第 1 の直径より小さく、

前記第 2 の直径は、前記第 1 の波長の放射の回折を阻止する一方で、前記第 2 の波長の放射の少なくとも一部の透過を可能にするよう十分に小さい、スペクトル純度フィルタ。

【請求項 8】

第 1 の直径を有する第 1 のアパーチャを有する材料層であって、前記第 1 のアパーチャは、第 1 の波長の放射を回折し、且つ、第 2 の波長の放射の少なくとも一部が前記アパーチャを透過することを可能にするように構成され、前記第 2 の波長の放射は前記第 1 の波長の放射より短い、材料層と、

前記材料層における、前記第 1 の直径より小さい第 2 の直径を有する第 2 のアパーチャであって、前記第 2 のアパーチャは、前記第 1 の波長の放射の回折を阻止する一方で、前記第 2 の波長の放射の少なくとも一部の透過を可能にするよう十分に小さい、第 2 のアパーチャと、

放射ビームを調整する照明システムであって、前記放射ビームは前記第 1 の波長の放射および前記第 2 の波長の放射のうち少なくとも一方を含む、照明システムと、

前記放射ビームの断面にパターンを与えてパターン付き放射ビームを形成することが可能なパターンニングデバイスを支持するサポートと、

基板を保持する基板テーブルと、

前記パターン付き放射ビームを前記基板のターゲット部分上に投影させる投影システムと、

を含むリソグラフィ装置。

【請求項 9】

1つ以上のアパーチャを有するスペクトル純度フィルタであって、前記1つ以上のアパーチャは、第1の波長の放射を透過および回折し、且つ、第2の波長の放射の少なくとも一部が前記1つ以上のアパーチャを透過することを可能にするように構成され、前記第2の波長の放射は前記第1の波長の放射より短く、前記スペクトル純度フィルタを形成する材料は前記第1の波長の放射の透過に対して実質的に透明であり、前記スペクトル純度フィルタは、前記第1の波長の放射の0次回折の相殺的干渉が、前記材料を通過する前記第1の波長の放射と、前記1つ以上のアパーチャを通過する前記第1の波長の放射との間で生じるように構成される、スペクトル純度フィルタと、

更なるアパーチャを有する構造であって、前記スペクトル純度フィルタおよび前記構造は、前記第2の波長の放射の少なくとも一部が前記スペクトル純度フィルタおよび前記構造に設けられた前記更なるアパーチャを通過可能であるように互いに対して配置され、前記スペクトル純度フィルタの前記1つ以上のアパーチャの間隔または直径は、前記第1の波長の放射の50%未満の放射が前記構造に設けられた前記更なるアパーチャを通過可能であることを確実にするように構成される、構造と、

放射ビームを調整する照明システムであって、前記放射ビームは前記第1の波長の放射および前記第2の波長の放射のうち少なくとも一方を含む、照明システムと、

前記放射ビームの断面にパターンを与えてパターン付き放射ビームを形成することが可能なパターンングデバイスを支持するサポートと、

基板を保持する基板テーブルと、

前記パターン付き放射ビームを前記基板のターゲット部分上に投影させる投影システムと、

を含むリソグラフィ装置。

【請求項10】

第1の直径を有する第1のアパーチャを有する材料層であって、前記第1のアパーチャは、第1の波長の放射を回折し、且つ、第2の波長の放射の少なくとも一部が前記アパーチャを透過することを可能にするように構成され、前記第2の波長の放射は前記第1の波長の放射より短い、材料層と、

前記材料層における、前記第1の直径より小さい第2の直径を有する第2のアパーチャであって、前記第2のアパーチャは、前記第1の波長の放射の回折を阻止する一方で、前記第2の波長の放射の少なくとも一部の透過を可能にするよう十分に小さい、第2のアパーチャと、

放射ビームを調整する照明システムであって、前記放射ビームは前記第1の波長の放射および前記第2の波長の放射のうちの少なくとも一方を含む、照明システムと、

を含む放射源。

【請求項11】

1つ以上のアパーチャを有するスペクトル純度フィルタであって、前記1つ以上のアパーチャは、第1の波長の放射を透過および回折し、且つ、第2の波長の放射の少なくとも一部が前記1つ以上のアパーチャを透過することを可能にするように構成され、前記第2の波長の放射は前記第1の波長の放射より短く、前記スペクトル純度フィルタを形成する材料は前記第1の波長の放射の透過に対して実質的に透明であり、前記スペクトル純度フィルタは、前記第1の波長の放射の0次回折の相殺的干渉が、前記材料と通過するように構成される前記第1の波長の放射と、前記1つ以上アパーチャを通過するように構成される第1の波長の放射との間で生じるように構成される、スペクトル純度フィルタと、

更なるアパーチャを有する構造であって、前記スペクトル純度フィルタおよび前記構造は、前記第2の波長の放射の少なくとも一部が前記スペクトル純度フィルタおよび前記構造に設けられた前記更なるアパーチャを通過可能であるように互いに対して配置され、前記スペクトル純度フィルタの前記1つ以上のアパーチャの間隔または直径は、前記第1の波長の放射の50%未満の放射が前記構造に設けられた前記更なるアパーチャを通過可能であることを確実にするように構成される、構造と、

放射ビームを調整する照明システムであって、前記放射ビームは前記第1の波長の放射

10

20

30

40

50

および前記第 2 の波長の放射のうち少なくとも一方を含む、照明システムと、
を含む放射源。

【請求項 1 2】

第 1 の波長の放射および第 2 の波長の放射を含む放射ビームのスペクトル純度に作用を及ぼす方法であって、

前記放射ビームをスペクトル純度フィルタに向けることを含み、前記スペクトル純度フィルタは、

第 1 の直径を有する第 1 のアパーチャを有する材料層であって、前記第 1 のアパーチャは、第 1 の波長の放射を回折し、且つ、第 2 の波長の放射の少なくとも一部が前記アパーチャを透過することを可能にするように構成され、前記第 2 の波長の放射は前記第 1 の波長の放射より短い、材料層と、

前記材料層における、前記第 1 の直径より小さい第 2 の直径を有する第 2 のアパーチャであって、前記第 2 のアパーチャは、前記第 1 の波長の放射の回折を阻止する一方で、前記第 2 の波長の放射の少なくとも一部の透過を可能にするよう十分に小さい、第 2 のアパーチャとを含む、方法。

【請求項 1 3】

第 1 の波長の放射および第 2 の波長の放射を含む放射ビームのスペクトル純度に作用を及ぼす方法であって、

前記放射ビームをスペクトル純度配置に向けることを含み、前記スペクトル純度配置は、

1 つ以上のアパーチャを有するスペクトル純度フィルタであって、前記 1 つ以上のアパーチャは、第 1 の波長の放射を透過および回折し、且つ、第 2 の波長の放射の少なくとも一部が前記 1 つ以上のアパーチャを透過することを可能にするように構成され、前記第 2 の波長の放射は前記第 1 の波長の放射より短く、前記スペクトル純度フィルタを形成する材料は前記第 1 の波長の放射の透過に対して実質的に透明であり、前記スペクトル純度フィルタは、前記第 1 の波長の放射の 0 次回折の相殺的干渉が、前記材料と通過するように構成される前記第 1 の波長の放射と、前記 1 つ以上アパーチャを通過するように構成される第 1 の波長の放射との間で生じるように構成される、スペクトル純度フィルタと、

更なるアパーチャを有する構造であって、前記スペクトル純度フィルタおよび前記構造は、前記第 2 の波長の放射の少なくとも一部が前記スペクトル純度フィルタおよび前記構造に設けられた前記更なるアパーチャを通過可能であるように互いに対して配置され、前記スペクトル純度フィルタの前記 1 つ以上のアパーチャの間隔または直径は、前記第 1 の波長の放射の 50 % 未満の放射が前記構造に設けられた前記更なるアパーチャを通過可能であることを確実にするように構成される、構造とを含む、方法。

【請求項 1 4】

リソグラフィ方法であって、

前記方法は、第 1 の波長の放射および第 2 の波長の放射を含む放射ビームをスペクトル純度フィルタ配置に向けることを含み、前記スペクトル純度フィルタ配置は、

第 1 の直径を有する第 1 のアパーチャを有するフィルタであって、前記第 1 のアパーチャは、第 1 の波長の放射を回折し、且つ、第 2 の波長の放射の少なくとも一部が前記アパーチャを透過することを可能にするように構成され、前記第 2 の波長の放射は前記第 1 の波長の放射より短い、フィルタと、

前記フィルタにおける、前記第 1 の直径より小さい第 2 の直径を有する第 2 のアパーチャであって、前記第 2 のアパーチャは、前記第 1 の波長の放射の回折を阻止する一方で、前記第 2 の波長の放射の少なくとも一部の透過を可能にするよう十分に小さい、第 2 のアパーチャと、を含み、

前記方法は、前記スペクトル純度フィルタまたはスペクトル純度配置により透過された放射を用いて放射感应性材料で被覆された基板にパターンを付けることを含み、リソグラフィ方法。

【請求項 1 5】

リソグラフィ方法であって、

前記方法は、第1の波長の放射および第2の波長の放射を含む放射ビームをスペクトル純度フィルタ配置に向けることを含み、前記スペクトル純度フィルタ配置は、

1つ以上のアパーチャを有するスペクトル純度フィルタであって、前記1つ以上のアパーチャは、第1の波長の放射を透過および回折し、且つ、第2の波長の放射の少なくとも一部が前記1つ以上のアパーチャを透過することを可能にするように構成され、前記第2の波長の放射は前記第1の波長の放射より短く、前記スペクトル純度フィルタを形成する材料は前記第1の波長の放射の透過に対して実質的に透明であり、前記スペクトル純度フィルタは、前記第1の波長の放射の0次回折の相殺的干渉が、前記材料を通過するように構成される前記第1の波長の放射と、前記1つ以上のアパーチャを通過するように構成される前記第1の波長の放射との間で生じるように構成される、スペクトル純度フィルタと、

10

更なるアパーチャを有する構造であって、前記スペクトル純度フィルタおよび前記構造は、前記第2の波長の放射の少なくとも一部が前記スペクトル純度フィルタおよび前記構造に設けられた前記更なるアパーチャを通過可能であるように互いに対して配置され、前記スペクトル純度フィルタの前記1つ以上のアパーチャの間隔または直径は、前記第1の波長の放射の50%未満の放射が前記構造に設けられた前記更なるアパーチャを通過可能であることを確実にするように構成される、構造とを含み、

前記方法は、前記スペクトル純度フィルタまたはスペクトル純度配置により透過された放射を用いて放射感应性材料で被覆された基板にパターンを付けることを含み、リソグラフィ方法。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

[0001] 本発明の実施形態は、スペクトル純度フィルタ (spectral purity filter S P F) に関し、特に、これに制限されないが、リソグラフィ装置における使用のためのスペクトル純度フィルタに関する。

【背景技術】

【0002】

[0002] リソグラフィ装置は、所望のパターンを基板上、通常、基板のターゲット部分上に付与する機械である。リソグラフィ装置は、例えば、集積回路 (I C) の製造に用いることができる。その場合、I Cの個々の層上に形成される回路パターンを生成するために、マスクまたはレチクルとも呼ばれるパターンングデバイスを用いることができる。このパターンは、基板 (例えば、シリコンウェーハ) 上のターゲット部分 (例えば、ダイの一部、または1つ以上のダイを含む) に転写することができる。通常、パターンの転写は、基板上に設けられた放射感应性材料 (レジスト) 層上への結像によって行われる。一般には、単一の基板が、連続的にパターンングされる隣接したターゲット部分のネットワークを含んでいる。公知のリソグラフィ装置としては、ターゲット部分上にパターン全体を一度に露光することにより各ターゲット部分を照射するいわゆるステッパ、および放射ビームによってある特定の方向 (「スキャン」方向) にパターンをスキャンすると同時に、この方向に平行または逆平行に基板をスキャンすることにより各ターゲット部分を照射するいわゆるスキャナが含まれる。パターンを基板上にインプリントすることにより、パターンングデバイスから基板にパターンを転写することも可能である。

30

40

【0003】

[0003] 小型化が進む構造を基板上に投影可能とするために、5~20nmの範囲内、例えば、13~14nmの範囲内の波長を有する極端紫外線 (E U V) を使用することが提案されている。更に、例えば、6.7nmまたは6.8nmといった10nm未満の波長を有する放射を用いることも提案されている。リソグラフィの関連では、10nm未満の波長は、時に、「b e y o n d E U V (超E U V)」または「軟X線」とも呼ばれる。

50

【0004】

[0004] 極端紫外線および超EUV放射は、例えば、プラズマを用いて生成されうる。プラズマは、例えば、好適な材料（例えば、スズ）の粒子に向けてレーザを誘導することによって、または、XeガスまたはLi蒸気といった好適なガスまたは蒸気のストリームに向けてレーザを誘導することによって作成されうる。結果として得られるプラズマは、極端紫外線（または超EUV放射）を放出し、この極端紫外線は、極端紫外線を受け取り、放射をビームへと集束するミラー付きかすめ入射コレクタといったコレクタを用いて集められる。

【0005】

[0005] プラズマを用いてEUV放射を発生するEUV源といった実際のEUV源は、所望する「帯域内」('in-band')EUV放射だけでなく、所望しない「帯域外」('out-of-band')放射も放出する。この帯域外放射は、深紫外線(DUV)放射範囲(100~400nm)において最も顕著である。更に、例えば、レーザ生成プラズマEUV源といった一部のEUV源の場合、通常は10.6μmであるレーザからの放射は、相当量の帯域外放射がある。

【0006】

[0006] リソグラフィ装置では、スペクトル純度が、幾つかの理由から必要となっている。1つの理由は、レジストが帯域外波長の放射に感応するため、レジストがそのような帯域外放射に露光されると、レジストに付けられるパターンの像品質が劣化してしまうことがあることである。更に、一部のレーザ生成プラズマ源における、例えば、10.6μm放射である帯域外赤外線放射は、リソグラフィ装置内のパターンングデバイス、基板、および光学部品を望ましくなく且つ不必要に加熱してしまう。このような加熱は、これらの素子に損傷を与え、これらの素子の寿命を低下させ、および／または、レジストコートされた基板上に投影され且つ付けられるパターンに欠陥またはディストーションをもたらしてしまう。

【0007】

[0007] これらの問題を解決することを目的として、赤外線放射の透過を実質的に阻止し、同時にEUV放射の透過を可能にする、幾つか異なる透過型スペクトル純度フィルタが提案されてきている。これらの提案されているスペクトル純度フィルタの一部は、例えば、赤外線放射に対して実質的に不透明であり、同時に、EUV放射に対して実質的に透過性である薄金属層またはホイルを含む。これらのおよび他のスペクトル純度フィルタには更に、1つ以上のアパーチャが設けられてもよい。アパーチャのサイズおよび間隔は、赤外線放射がアパーチャによって回折され、一方でEUV放射がアパーチャを通り透過されるように選択されうる。アパーチャが設けられたスペクトル純度フィルタは、アパーチャが設けられていないスペクトル純度フィルタより高いEUV透過率を有しうる。これは、EUV放射は、所与の厚さを有する金属ホイルなどを通過するよりも容易にアパーチャを通過することが可能となるからである。

【0008】

[0008] アパーチャが設けられたスペクトル純度フィルタに関連付けられる1つの問題は、これらのアパーチャはあまりにも小型であるため、アパーチャの作成に利用可能な製造オプションが限られているおよび／または高価であるということである。更に、アパーチャの直径が小さいことにより、スペクトル純度フィルタの機械的ロバスト性が低減してしまう。

【0009】

[0009] リソグラフィ装置では、レジストコート基板にパターンを付けるために用いられる放射の強度の損失を最小限にすることが望ましい。この理由の1つは、例えば、露光時間を低減しスループットを増加するために、理想的には、基板にパターンを付けるために最大限の放射が利用可能であるべきであるということである。同時に、リソグラフィ装置を通過し基板上に入射する不所望の（例えば帯域外）放射量を最小限にすることが望ましい。

10

20

30

40

50

【0010】

[0010] したがって、本発明の実施形態は、改善型または代替型のスペクトル純度フィルタを提供することを目的とする。例えば、本発明の実施形態は、製造がより容易であり、および／または、公知のまたは提案されているスペクトル純度フィルタよりも機械的によりロバストである、少なくとも1つのアパーチャが設けられたスペクトル純度フィルタを提供することを目的とする。更に、本発明の実施形態は、代替のスペクトル純度フィルタ配置を提供することを目的とする。本発明の実施形態は、赤外線放射といった不所望の（例えば帯域外）放射の改善された抑制を有するスペクトル純度フィルタを提供することを更なる目的とする。

【発明の概要】

10

【0011】

[0011] 本発明の第1の態様では、アパーチャを含むスペクトル純度フィルタであって、アパーチャは、第1の波長の放射を回折し、且つ、第2の波長の放射の少なくとも一部がアパーチャを透過することを可能にするように構成され、第2の波長の放射は第1の波長の放射より短く、アパーチャは20 μm より大きい直径を有する、スペクトル純度フィルタを提供する。

【0012】

[0012] 本発明の第2の態様では、アパーチャを含むスペクトル純度フィルタであって、アパーチャは、第1の波長の放射を回折し、且つ、第2の波長の放射の少なくとも一部がアパーチャを透過することを可能にするように構成され、第2の波長の放射は第1の波長の放射より短く、アパーチャの側壁に、コーティングが設けられる、スペクトル純度フィルタを提供する。

20

【0013】

[0013] コーティングは、第1の波長の放射の少なくとも一部を吸収するように構成されることができる。コーティングは、第1の波長の放射の少なくとも一部の反射を阻止するように構成されることができる。コーティングは、第2の波長の少なくとも一部の反射を促進するように構成されることができる。コーティングは、アパーチャに対する劣化または環境による損傷を阻止するように構成されることができる。

【0014】

[0014] アパーチャは、20 μm より大きい直径を有していてもよい。

30

【0015】

[0015] 本発明の第1または第2の態様では、アパーチャは、20 μm より大きく200 μm 以下の直径を有していてもよい。

【0016】

[0016] 本発明の第1または第2の態様では、スペクトル純度フィルタには、複数のアパーチャが設けられてよい。スペクトル純度フィルタには、アパーチャの周期的なアレイが設けられてよい。スペクトル純度フィルタには、アパーチャの非周期的なアレイが設けられてもよい。

【0017】

[0017] 本発明の第3の態様では、第1の直径を有する第1のアパーチャを含むスペクトル純度フィルタであって、第1のアパーチャは、第1の波長の放射を回折し、且つ、第2の波長の放射の少なくとも一部がアパーチャを透過することを可能にするように構成され、第2の波長の放射は第1の波長の放射より短く、スペクトル純度フィルタは更に、第2の直径を有する第2のアパーチャを備え、第2の直径は第1の直径より小さく、第2の直径は、第1の波長の放射の回折を阻止する一方で、第2の波長の放射の少なくとも一部の透過を可能にするよう十分に小さい、スペクトル純度フィルタを提供する。

40

【0018】

[0018] 第1のアパーチャは、20 μm より大きい直径を有する。第1のアパーチャは、20 μm より大きく200 μm 以下の直径を有してよい。第2のアパーチャは、第1の波長の放射の波長の半分以下である直径を有してよい。

50

【0019】

[0019] スペクトル純度フィルタには、複数の第1のアーチャーが設けられてよい。スペクトル純度フィルタには、第1のアーチャーの周期的なアレイが設けられてよい。スペクトル純度フィルタには、第1のアーチャーの非周期的なアレイが設けられてもよい。

【0020】

[0020] スペクトル純度フィルタには、複数の第2のアーチャーが設けられてよい。スペクトル純度フィルタは、第2のアーチャーの周期的なアレイが設けられてよい。スペクトル純度フィルタには、第2のアーチャーの非周期的なアレイが設けられてもよい。

【0021】

[0021] 本発明の第1、第2、または第3の態様では、スペクトル純度フィルタを形成する材料は、第2の波長の放射の透過に対して実質的に透明であってよい。スペクトル純度フィルタを形成する材料は、第1の波長の放射の透過に対して実質的に不透明であってよい。スペクトル純度フィルタを形成する材料は、第1の波長の放射を吸収または反射するように構成されることができる。

10

【0022】

[0022] 本発明の第3の態様では、スペクトル純度フィルタを形成する材料は、第1の波長の放射の透過に対して実質的に透明であってよい。スペクトル純度フィルタは、材料を通過するように構成される第1の波長の放射と、第1のアーチャーを通過する（且つ第1のアーチャーによって回折される）ように構成される第1の波長の放射との間に位相差導入されるように構成されることができる。スペクトル純度フィルタは、第1の波長の放射の0次回折の相殺的干渉が、材料を通過する（且つ材料によって回折される）ように構成される第1の波長の放射と、第1のアーチャーを通過し且つ第1のアーチャーによって回折されるように構成される第1の波長の放射との間で生じるように構成されることができる。スペクトル純度フィルタは、相殺的干渉をもたらす厚さを有してよい。

20

【0023】

[0023] 本発明の第4の態様では、1つ以上のアーチャーが設けられたスペクトル純度フィルタであって、1つ以上のアーチャーは、第1の波長の放射を透過および回折し、且つ、第2の波長の放射の少なくとも一部が1つ以上のアーチャーを透過することを可能にするように構成され、第2の波長の放射は第1の波長の放射より短く、スペクトル純度フィルタを形成する材料は第1の波長の放射の透過に対して実質的に透明であり、スペクトル純度フィルタは、第1の波長の放射の0次回折の相殺的干渉が、材料を通過するように構成される第1の波長の放射と、1つ以上のアーチャーを通過するように構成される第1の波長の放射との間で生じるように構成される、スペクトル純度フィルタを含むスペクトル純度配置であって、スペクトル純度配置は更に、更なるアーチャーが設けられた構造であって、スペクトル純度フィルタおよび構造は、第2の波長の放射の少なくとも一部がスペクトル純度フィルタおよび構造に設けられた更なるアーチャーを通過可能であるように互いに対して配置され、スペクトル純度フィルタの1つ以上のアーチャーの間隔または直径は、第1の波長の放射の50%未満の放射が構造に設けられた更なるアーチャーを通過可能であることを確実にするように構成される、構造を含む、スペクトル純度配置を提供する。

30

40

【0024】

[0024] スペクトル純度フィルタは、材料を透過する第1の波長の放射と、1つ以上のアーチャーを通過する第1の波長の放射との間に位相差が導入され、それにより相殺的干渉をもたらすように構成されることができる。スペクトル純度フィルタは、相殺的干渉をもたらす厚さを有してよい。

【0025】

[0025] スペクトル純度フィルタの1つ以上のアーチャーの間隔または直径は、第1の波長の放射の1次回折が構造に入射し、構造の更なるアーチャーを透過しないことを確実にするように構成されることができる。

【0026】

50

[0026] 構造はプレートであってよい。

【0027】

[0027] 構造は、放射源、照明システム、または投影システムの少なくとも一部とすることができる。構造は、リソグラフィ装置の放射源、照明システム、または投影システムの少なくとも一部とすることができる。構造は、放射源のハウジングの少なくとも一部、照明システムのハウジングの少なくとも一部、または、投影システムのハウジングの少なくとも一部とすることができる。

【0028】

[0028] スペクトル純度フィルタには、複数のアパーチャが設けられてよい。スペクトル純度フィルタには、アパーチャの周期的なアレイ、または、アパーチャの非周期的なアレイが設けられてよい。

【0029】

[0029] スペクトル純度フィルタの1つ以上のアパーチャの間隔または直径は、第1の波長の放射の10%未満の放射が、構造に設けられた更なるアパーチャを通過可能であることを確実にするよう、または、第1の波長の放射の5%未満の放射が、構造に設けられた更なるアパーチャを通過可能であるよう構成されることができる。

【0030】

[0030] 本発明の第1、第2、第3、または第4の態様では、第1の波長の放射は、電磁スペクトルの赤外線部分にある波長を有することができる。第1の波長の放射は、約10.6 μm である波長を有することができる。第2の波長の放射は、電磁スペクトルのEUV部分にあるまたはそれより短い波長を有することができる。

【0031】

[0031] 本発明の第5の態様では、本発明の第1、第2、第3、または第4の態様によるスペクトル純度フィルタまたはスペクトル純度配置が設けられたリソグラフィ装置を提供する。

【0032】

[0032] このリソグラフィ装置は更に、第1の波長の放射、第2の波長の放射、または第1の波長の放射および第2の波長の放射を含む放射ビームを調整する照明システムと、放射ビームの断面にパターンを与えてパターン付き放射ビームを形成することができるパターンングデバイスを支持するサポートと、基板を保持する基板テーブルと、パターン付き放射ビームを基板のターゲット部分上に投影する投影システムとを含みうる。

【0033】

[0033] 本発明の第6の態様では、本発明の第1、第2、第3、または第4の態様によるスペクトル純度フィルタまたはスペクトル純度配置が設けられた放射源を提供する。

【0034】

[0034] 本発明の第7の態様では、第1の波長の放射および第2の波長の放射を含む放射ビームのスペクトル純度に作用を及ぼす方法であって、かかる放射ビームを、本発明の第1、第2、第3、または第4の態様によるスペクトル純度フィルタまたはスペクトル純度配置に向けることを含む方法を提供する。

【0035】

[0035] 本発明の第8の態様では、第1の波長の放射および第2の波長の放射を含む放射ビームを、本発明の第1、第2、第3、または第4の態様によるスペクトル純度フィルタまたはスペクトル純度配置に向けることと、そのスペクトル純度フィルタまたはスペクトル純度配置によって透過された放射を用いて放射感应性材料が被覆された基板にパターンを付けることを含むリソグラフィ方法を提供する。

【0036】

[0036] 本発明の実施形態の説明において、「実質的に透明」および「実質的に不透明」という言葉を用いた。「実質的に透明」とは、問題の放射の50%より大きい透過率、特に、80%乃至100%の透過率を有する材料または対象物として定義することができる。「実質的に不透明」とは、問題の放射の50%未満の透過率、特に、0%乃至20%

10

20

30

40

50

の透過率を有する材料または対象物として定義することができる。

【図面の簡単な説明】

【0037】

[0037] 本発明のいくつかの実施形態を、単なる例として、添付の概略図を参照して以下に説明する。これらの図面において同じ参照符号は対応する部分を示す。

【図1】[0038] 図1は、本発明の一実施形態によるリソグラフィ装置を概略的に示す。

【図2】[0039] 図2は、図1に示すリソグラフィ装置のより詳細ではあるが概略的な図である。

【図3】[0040] 図3は、本発明の第1の実施形態によるスペクトル純度フィルタを概略的に示す。

【図4】[0041] 図4は、本発明の別の実施形態によるスペクトル純度フィルタを概略的に示す。

【図5】[0042] 図5は、図3および4に示す実施形態に関連付けられる動作原理を概略的に示すグラフである。

【図6】[0043] 図6は、図3および図4に示し且つこれらを参照して説明する実施形態に関連付けられる更なる動作原理を概略的に示すグラフである。

【図7】[0044] 図7は、図3および図4に示す実施形態に関連付けられるさらに別の動作原理を概略的に示す。

【図8】[0045] 図8は、本発明の別の実施形態によるスペクトル純度フィルタのアーチの側壁のコーティングを概略的に示す。

【図9】[0046] 図9は、本発明の別の実施形態による位相格子スペクトル純度フィルタを概略的に示す。

【図10】[0047] 図10は、図9に示す位相格子スペクトル純度フィルタに関連付けられる動作原理を概略的に示す。

【図11】[0048] 図11は、図9に示す位相格子スペクトル純度フィルタに関連付けられる更なる動作原理を概略的に示す。

【図12】[0049] 図12は、図9に示す位相格子スペクトル純度フィルタに関連付けられる更に別の動作原理を概略的に示す。

【図13】[0050] 図13は、図9に示し且つ図9を参照して説明する実施形態に関連付けられる更なる動作原理を概略的に示すグラフである。

【図14】[0051] 図14は、図9乃至13の実施形態に関連付けられる動作原理を概略的に示し且つ集約している。

【図15】[0052] 図15は、図9乃至14に示し且つこれらを参照して説明する実施形態の用途を概略的に示す。

【図16】[0053] 図16は、本発明の更に別の実施形態によるスペクトル純度フィルタを概略的に示す。

【発明を実施するための形態】

【0038】

[0054] 図1は、本発明の一実施形態によるリソグラフィ装置2を概略的に示している。このリソグラフィ装置2は、放射ビームB（例えば、EUV放射）を調整するように構成された照明システム（イルミネータ）ILと、パターニングデバイス（例えば、マスク）MAを支持するように構成され、かつ特定のパラメータに従ってパターニングデバイスを正確に位置付けるように構成された第1ポジションPMに連結されているサポート構造（例えば、マスクテーブル）MTと、基板（例えば、レジストコートウェーハ）Wを保持するように構成され、かつ特定のパラメータに従って基板を正確に位置付けるように構成された第2ポジションPWに連結されている基板テーブル（例えば、ウェーハテーブル）WTと、パターニングデバイスMAによって放射ビームBに付けられたパターンを基板Wのターゲット部分C（例えば、1つ以上のダイを含む）上に投影するように構成された投影システム（例えば、屈折投影レンズシステム）PSとを含む。

【0039】

[0055] 照明システムとしては、放射を誘導し、整形し、または制御するために、屈折型、反射型、磁気型、電磁型、静電型、またはその他のタイプの光コンポーネント、あるいはそれらのあらゆる組合せなどのさまざまなタイプの光コンポーネントを含むことができる。

【0040】

[0056] サポート構造は、パターニングデバイスの重量を支えるなどしてパターニングデバイスを支持する。サポート構造は、パターニングデバイスの配向、リソグラフィ装置2の設計、および、パターニングデバイスが真空環境内で保持されているか否か等の他の条件に応じた態様で、パターニングデバイスを保持する。サポート構造は、機械式、真空式、静電式またはその他のクランプ技術を使って、パターニングデバイスを保持することができる。サポート構造は、例えば、必要に応じて固定または可動式にすることができるフレームまたはテーブルであってもよい。サポート構造は、パターニングデバイスを、例えば、投影システムに対して所望の位置に確実に置くことができる。本明細書において使用される「レチクル」または「マスク」という用語はすべて、より一般的な「パターニングデバイス」という用語と同義であると考えられる。

10

【0041】

[0057] 本明細書において使用される「パターニングデバイス」という用語は、基板のターゲット部分内にパターンを作り出すように、放射ビームの断面にパターンを与えるために使用できるあらゆるデバイスを指していると、広く解釈されるべきである。なお、留意すべき点として、放射ビームに付与されたパターンは、例えば、そのパターンが位相シフトフィーチャまたはいわゆるアシストフィーチャを含む場合、基板のターゲット部分内の所望のパターンに正確に一致しない場合もある。通常、放射ビームに付けたパターンは、集積回路などのターゲット部分内に作り出されるデバイス内の特定機能層に対応することになる。

20

【0042】

[0058] パターニングデバイスの例としては、マスクおよびプログラマブルミラーアレイが含まれる。マスクは、リソグラフィでは公知であり、EUV放射（または超EUV）リソグラフィ装置では、通常、反射型である。プログラマブルミラーアレイの一例では、小型ミラーのマトリックス配列が用いられ、各小型ミラーは、入射する放射ビームを様々な方向に反射させるように個別に傾斜させることができる。傾斜されたミラーは、ミラーマトリックスによって反射される放射ビームにパターンを付ける。

30

【0043】

[0059] 本明細書において使用される「投影システム」という用語は、あらゆる型の投影システムを包含していると広く解釈されるべきである。通常、EUV（または超EUV）放射リソグラフィ装置では、光学素子は反射型である。しかし、他の型の光学素子を用いてもよい。光学素子は真空中にあってもよい。「投影レンズ」という用語はすべて、より一般的な「投影システム」という用語と同義であると考えられる。

【0044】

[0060] 本明細書に示されているとおり、リソグラフィ装置2は反射型のもの（例えば、反射型マスクを採用しているもの）である。

40

【0045】

[0061] リソグラフィ装置は、2つ（デュアルステージ）以上の基板テーブル（および／または2つ以上のマスクテーブル）を有する型のものであってもよい。そのような「マルチステージ」機械においては、追加のテーブルを並行して使うことができ、または予備工程を1つ以上のテーブル上で実行しつつ、別の1つ以上のテーブルを露光用に使うこともできる。

【0046】

[0062] 図1を参照すると、イルミネータILは、放射源SOから放射ビームを受ける。放射源とリソグラフィ装置は、別個の構成要素であってもよい。そのような場合には、放射源は、リソグラフィ装置の一部を形成しているとはみなされず、また放射は、放射源

50

S Oからイルミネータ I Lへ、例えば、適切な誘導ミラーおよび／またはビームエキスパンダを含むビームデリバリシステムを使って送られる。その他の場合においては、放射源は、リソグラフィ装置の一体部分とすることもできる。放射源 S Oおよびイルミネータ I Lは、必要に応じてビームデリバリシステムとともに、放射システムと呼んでもよい。

【0047】

[0063] イルミネータ I Lは、放射ビームの角度強度分布を調節するアジャスタを含むことができる。一般に、イルミネータの瞳面内の強度分布の少なくとも外側および／または内側半径範囲（通常、それぞれ σ -outer および σ -inner と呼ばれる）を調節することができる。さらに、イルミネータ I Lは、インテグレータおよびコンデンサといったさまざまな他のコンポーネントを含んでもよい。イルミネータ I Lを使って放射ビーム B を調整すれば、放射ビーム B の断面に所望の均一性および強度分布を持たせることができる。

【0048】

[0064] 放射ビーム B は、サポート構造（例えば、マスクテーブル M T）上に保持されているパターンングデバイス（例えば、マスク M A）上に入射して、パターンングデバイスによってパターン形成される。マスク M Aによって反射されると、放射ビーム B は投影システム P S を通過し、投影システム P S は、基板 W のターゲット部分 C 上にビームの焦点をあわせる。第 2 ポジショナ P W および位置センサ I F 2（例えば、干渉計デバイス、リニアエンコーダ、または静電容量センサ）を使って、例えば、さまざまなターゲット部分 C を放射ビーム B の経路内に位置付けるように、基板テーブル W T を正確に動かすことができる。同様に、第 1 ポジショナ P M および別の位置センサ I F 1 を使い、例えば、マスキライブラリからマスクを機械的に取り出した後またはスキャン中に、マスク M A を放射ビーム B の経路に対して正確に位置付けることもできる。通常、マスクテーブル M T の移動は、第 1 ポジショナ P M の一部を形成するロングストロークモジュール（粗動位置決め）およびショートストロークモジュール（微動位置決め）を使って達成することができる。同様に、基板テーブル W T の移動も、第 2 ポジショナ P W の一部を形成するロングストロークモジュールおよびショートストロークモジュールを使って達成することができる。ステップの場合は（スキャナとは対照的に）、マスクテーブル M T は、ショートストロークアクチュエータのみに連結されてもよく、または固定されてもよい。マスク M A および基板 W は、マスクアライメントマーク M 1 および M 2 と、基板アライメントマーク P 1 および P 2 とを使って、位置合わせされてもよい。例示では基板アライメントマークが専用ターゲット部分を占めているが、基板アライメントマークをターゲット部分とターゲット部分との間の空間内に置くこともできる（これらは、スクライプラインアライメントマークとして公知である）。同様に、複数のダイがマスク M A 上に設けられている場合、マスクアライメントマークは、ダイとダイの間に置かれてもよい。

【0049】

[0065] 例示の装置 2 は、以下に説明するモードのうち少なくとも 1 つのモードで利用できる。

【0050】

[0066] 1. ステップモードにおいては、マスクテーブル M T および基板テーブル W T を基本的に静止状態に保ちつつ、放射ビームに付けられたパターン全体を一度に（すなわち、単一静止露光）ターゲット部分 C 上に投影する。その後、基板テーブル W T は、X および／または Y 方向に移動され、それによって別のターゲット部分 C を露光することができる。ステップモードにおいては、露光フィールドの最大サイズによって、単一静止露光時に結像されるターゲット部分 C のサイズが限定される。

【0051】

[0067] 2. スキャンモードにおいては、マスクテーブル M T および基板テーブル W T を同期的にスキャンする一方で、放射ビームに付けられたパターンをターゲット部分 C 上に投影する（すなわち、単一動的露光）。マスクテーブル M T に対する基板テーブル W T の速度および方向は、投影システム P S の（縮小）拡大率および像反転特性によって決めることができる。スキャンモードにおいては、露光フィールドの最大サイズによって、単

一動的露光時のターゲット部分の幅（非スキャン方向）が限定される一方、スキャン動作の長さによって、ターゲット部分の高さ（スキャン方向）が決まる。

【0052】

[0068] 3. 別のモードにおいては、プログラマブルパターンニングデバイスを保持した状態で、マスクテーブルMTを基本的に静止状態に保ち、また基板テーブルWTを動かす、またはスキャンする一方で、放射ビームに付けられているパターンをターゲット部分C上に投影する。このモードにおいては、通常、パルス放射源が採用されており、さらにプログラマブルパターンニングデバイスは、基板テーブルWTの移動後ごとに、またはスキャン中の連続する放射パルスと放射パルスとの間に、必要に応じて更新される。この動作モードは、前述の型のプログラマブルミラーアレイといったプログラマブルパターンニングデバイスを利用するマスクレスリソグラフィに容易に適用することができる。

10

【0053】

[0069] 上述の使用モードの組合せおよび／またはバリエーション、あるいは完全に異なる使用モードもまた採用可能である。

【0054】

[0070] 図2は、放射源SO、イルミネータIL（時に照明システムとも呼ぶ）、および投影システムPSを含むリソグラフィ装置2をより詳細に示す。放射源SOは、放電プラズマを含む放射エミッタ4を含む。EUV放射は、XeガスまたはLi蒸気といったガスまたは蒸気によって生成されうる。これらのガスまたは蒸気中では、非常に高温のプラズマが作成されて、電磁スペクトルのEUV放射範囲内の放射が放出される。この非常に高温のプラズマは、放電の部分的にイオン化されたプラズマを光軸6上に崩壊させることによって作成される。放射を効率よく生成するためには、例えば、分圧が10PaのXeまたはLi蒸気、または、任意の他の好適なガスまたは蒸気の分圧が必要である。一部の実施形態では、スズが用いられうる。図2は、放電生成プラズマ（discharge produced plasma DPP）放射源SOを示す。例えば、レーザ生成プラズマ（laser produced plasma LPP）放射源といった他の放射源も用いてもよいことは理解できよう。

20

【0055】

[0071] 放射エミッタ4から放出される放射は、放射源チャンバ8からコレクタチャンバ10へと渡される。コレクタチャンバ10は、汚染トラップ12とかすめ入射コレクタ14（図には概略的に矩形で示す）を含む。コレクタ14を通過可能とされた放射は、格子スペクトルフィルタ16から反射して、コレクタチャンバ10内のアパーチャ20における仮想放射源点18内に焦点が合わされる。放射は、アパーチャ20を通過する前に、スペクトル純度フィルタSPFを通過する。スペクトル純度フィルタSPFは以下により詳細に説明する。放射ビーム21は、コレクタチャンバ10から、イルミネータIL内で、第1のリフレクタ22および第2のリフレクタ24を介してレチクルまたはマスクテーブルMT上に位置付けられたレチクルまたはマスクMAへと反射される。パターン付き放射ビーム26が形成され、このビームは、第1の反射素子28および第2の反射素子30を介して投影システムPS内で基板テーブルWT上に保持される基板W上に結像される。

30

【0056】

[0072] なお、放射源SO、照明システムIL、および投影システムPS内には、一般に、図2に示すものより多いまたは少ない素子があってもよいことは理解されよう。例えば、一部の実施形態では、照明システムILおよび／または投影システムPSは、より大きいまたはより小さい数の反射素子、即ち、リフレクタを含んでもよい。

40

【0057】

[0073] リソグラフィ装置においてスペクトル純度フィルタを用いて、放射ビームの不所望（例えば帯域外）の波長成分を除去することは知られている。例えば、1つ以上のアパーチャを含むスペクトル純度フィルタを設けることが知られている。各アパーチャの直径は、各アパーチャが1つ以上の不所望の波長を有する放射を回折する一方で、1つ以上の異なる波長を有する所望の放射はアパーチャを通過可能とするように選択される。例えば、不所望の放射には、赤外線放射が含まれうる。一方で、所望の放射には、EUVまた

50

は超 E U V 放射が含まれうる。

【0058】

[0074] 提案する、アパーチャを含むスペクトル純度フィルタ（時に、アパーチャスペクトル純度フィルタとも呼ばれる）には、最大 $20\text{ }\mu\text{m}$ の直径を有するアパーチャが設けられる。これらのアパーチャの直径が小さいことによって、これらのアパーチャの形成に利用可能な製造オプションが限られ、また、スペクトル純度フィルタの機械的ロバスト性も低減してしまう。本発明の一実施形態では、スペクトル純度フィルタには、1つ以上のアパーチャが設けられ、これらのアパーチャは $20\text{ }\mu\text{m}$ より大きい直径を有する。これらのアパーチャは、その直径が $20\text{ }\mu\text{m}$ より大きいので、 $20\text{ }\mu\text{m}$ より小さい直径を有するアパーチャよりも簡単にスペクトル純度フィルタに設けられうる。例えば、 $20\text{ }\mu\text{m}$ より大きい直径を有するアパーチャは、既知のレーザドリル装置および技術を用いて設けられうる。 $20\text{ }\mu\text{m}$ より大きい直径を有するアパーチャは、例えば、上述した $10.6\text{ }\mu\text{m}$ の帯域外赤外線放射の抑制に適している。より大きい直径を有するアパーチャはさらに、より高い波長を有する赤外線放射を抑制しうる。アパーチャは、例えば、赤外線放射の回折をもたらすことで赤外線放射を抑制するために、例えば、 $20\text{ }\mu\text{m}$ より大きく $200\text{ }\mu\text{m}$ 以下の直径を有しうる。

10

【0059】

[0075] $20\text{ }\mu\text{m}$ より大きい直径のアパーチャの使用は、 $20\text{ }\mu\text{m}$ 未満の直径のアパーチャを有する提案するスペクトル純度フィルタと比較して、関連付けられる多くの利点を有する。例えば、レーザカッティング（時に、レーザドリリングとも呼ばれる）が、金属プレートや他の材料から形成されるプレートに1つ以上の穴（例えばアレイ）を設けて、アパーチャスペクトル純度フィルタを形成するのに非常に適している。現在利用できるレーザマイクロマシニングシステム（例えば、レーザドリル装置）の最小直径は約 $20\text{ }\mu\text{m}$ である。これは、このようなマイクロマシニングシステムが、本発明の実施形態と組み合わせられた使用に特に適していることを意味する。対照的に、このようなマイクロマシニングシステムは、アパーチャが $20\text{ }\mu\text{m}$ 未満の直径を有する、提案するアパーチャスペクトル純度フィルタにおける使用には適していない。別の利点は、スペクトル純度フィルタの機械的ロバスト性が、フィルタにおけるアパーチャの直径が $20\text{ }\mu\text{m}$ より大きい場合に増加することである。これは、所与の充填比（即ち、アパーチャ空間とプレートまたは非アパーチャ空間との比）に対して、隣接するアパーチャ間の壁厚が、アパーチャの直径が $20\text{ }\mu\text{m}$ 未満である場合よりも、アパーチャの直径が $20\text{ }\mu\text{m}$ より大きい場合の方が大きいことによる。このことは、スペクトル純度フィルタが、例えば、亀裂伝播を阻止するために大きい応力の集中に耐えなければならない場合に特に有利である。別の利点は、 $20\text{ }\mu\text{m}$ より大きい直径のアパーチャを有するスペクトル純度フィルタでは、アパーチャの側壁における E U V 光学損失は、小さい直径のアパーチャの場合よりも小さい（同じ所与の厚さを有するスペクトル純度フィルタに対して）。このような損失は、スペクトル純度フィルタまたはフィルタのアパーチャの小さな位置ずれ、または、スペクトル純度フィルタにおける厚さの変動により生じうる。例えば、E U V 放射ビームといった、スペクトル純度フィルタ上に入射する放射ビームが発散する場合、損失はより大きくなる。 $20\text{ }\mu\text{m}$ より大きい直径を有するアパーチャを用いることの更に別の利点は、アパーチャの側壁にコーティングを塗布することが容易になるということである。赤外線放射の抑制を最大限にするために、例えば、赤外線吸収および／または反射防止コーティングを側壁に塗布するか、または、E U V 反射を促進し、それによりアパーチャを透過させるためにコーティングを設けることが望ましい場合がある。

20

30

40

【0060】

[0076] 上述した利点を、本発明の具体的な実施形態を参照して以下により詳細に説明する。

【0061】

[0077] 図3は、本発明の第1の実施形態によるスペクトル純度フィルタ S P F を概略的に示す。スペクトル純度フィルタ S P F は、プレート 50 を含み、このプレートには、

50

円形アパーチャ 5 2 の周期的なアレイが設けられる。アパーチャ 5 2 の直径 D は、抑制されるべき第 1 の波長の放射が各アパーチャ 5 2 の入り口において実質的に回折され、同時に第 2 の、短い波長の放射がアパーチャ 5 2 を透過するように選択される。アパーチャ 5 2 の直径は、 $20\text{ }\mu\text{m}$ より大きい。特に、 $20\text{ }\mu\text{m}$ より僅かに大きい直径が、EUV リソグラフィ装置の放射源によって大抵の場合発生される $10.6\text{ }\mu\text{m}$ の赤外線放射の回折および抑制に適している。アパーチャ 5 2 は、長波長の赤外線放射を回折によって抑制するために、 $20\text{ }\mu\text{m}$ より大きく $200\text{ }\mu\text{m}$ 以下の直径を有してよい。

【0062】

[0078] プレート 5 0 は、任意の好適な材料から形成することができる。プレート 5 0 は、スペクトル純度フィルタ SPF が抑制するように設計されている第 1 の波長または波長範囲に対して実質的に不透明であるべきである。例えば、プレート 5 0 は、電磁スペクトルの赤外線範囲における波長といった第 1 の波長を反射または吸収しうる。プレート 5 0 は更に、スペクトル純度フィルタ SPF が透過させるように設計されている、例えば、電磁スペクトルの EUV 範囲における波長である 1 つ以上の第 2 の波長の放射に対しても実質的に不透明でありうる。しかし、スペクトル純度フィルタ SPF は、かかるスペクトル純度フィルタ SPF が透過させるように設計されている 1 つ以上の波長に対して実質的に透過性であるプレート 5 0 から形成することもできる。これは、スペクトル純度フィルタ SPF が透過させるように設計されている 1 つ以上の波長についてスペクトル純度フィルタの透過率を増加しうる。スペクトル純度フィルタ SPF のプレート 5 0 を形成しうる材料の一例としては金属がある。別の例としては EUV 放射に対して実質的に透過性の薄箔がある。

【0063】

[0079] スペクトル純度フィルタ SPF におけるアパーチャ 5 2 は、六角形パターンに配置される。本実施形態は、円形アパーチャの最密充填を与え、したがって、スペクトル純度フィルタに最も高い透過率を与える。しかし、四角形といった他のアパーチャの配置も可能であり、また、矩形または周期的あるいは非周期的な配置を用いてもよい。例えば、非周期的アレイの場合は、ランダムパターンを採用してもよい。

【0064】

[0080] 図 4 は、本発明の別の実施形態によるスペクトル純度フィルタ SPF の概略図である。本実施形態では、スペクトル純度フィルタ SPF にはアパーチャ 5 4 が設けられているのが分かる。アパーチャ 5 4 は円形ではなく、細長いスロットまたはスリットである。アパーチャ 5 4 の短い寸法 SD は、 $20\text{ }\mu\text{m}$ より大きく $200\text{ }\mu\text{m}$ 以下の長さを有することが分かる。アパーチャ 5 4 の長い寸法 LD は任意の長さであってよい。なお、図 4 に示す細長いアパーチャ 5 4 は、アパーチャに入射し且つ回折されることが望まれる放射が、長い寸法 LD と実質的に平行な方向に実質的に偏光される場合にのみ適していることは理解されよう。

【0065】

[0081] 図 5 は、図 3 のスペクトル純度フィルタの幾何学的透過率を示し、また、それが、アパーチャ間の壁厚とこれらのアパーチャ（即ち、換言すれば、スペクトル純度フィルタにおける穴）の直径との比に応じてどのように変化するかを示すグラフである。幾何学的透過率は、図 3 に示すようにスペクトル純度フィルタを真横から見た場合にアパーチャ全体が画定する面積に比例する。図 5 からは、アパーチャ直径の 10 分の 1 である典型的な壁厚では、スペクトル純度フィルタの幾何学的透過率は約 75% であることが分かる。幾何学的透過率は、アパーチャの直径を増加することによって更に増加できることが分かるが、これは、アパーチャ間の壁厚の低減によってスペクトル純度フィルタのロバスト性の低下に恐らくつながるであろう。

【0066】

[0082] スペクトル純度フィルタの最小厚は、スペクトル純度フィルタのアパーチャの側壁において回折放射を吸収することが望まれるのか、または、スペクトル純度フィルタの下流で回折放射を吸収することが望まれるのかに依存する。スペクトル純度フィルタが

十分に厚い場合、回折放射の多くは、アパーチャの側壁において吸収されうる。（放射ビームの）入射パワーの僅かな一部しかアパーチャの出口に到達しないので、異なるアパーチャ間の干渉の影響は無視してよい。したがって、赤外線放射の抑制は、同じ寸法を有する単一のアパーチャの赤外線放射の抑制とほぼ等しい。

【0067】

[0083] 単一の円形アパーチャからの回折のフラウンホーファー(Fraunhofer)（遠視野）近似では、回折角 θ の関数としての強度分布は、次の通りに与えられる：

【0068】

【数1】

$$I(\theta) = I_0 \left(\frac{2J_1(ka \sin \theta)}{ka \sin \theta} \right)^2$$

10

ただし、 $k = 2\pi/\lambda$ は波数であり、 a はアパーチャ半径であり、 J_1 は第1種の1次ベッセル関数である。

【0069】

[0084] 上述したように、赤外線放射の透過を抑制することが望ましい。問題の用途に応じて、100倍以上で、または、他の用途では、約10倍で赤外線放射を抑制することが望ましい場合がある。一部の用途では、20倍の抑制が望ましい場合がある。これは、スペクトル純度フィルタに入射する赤外線放射の5%だけスペクトル純度フィルタによって透過されるということを意味する。

20

【0070】

[0085] 図6は、5%の赤外線放射（パワーに関して、または言い換えると強度）がその中に含まれる角度を、アパーチャの直径（アパーチャの直径は、アパーチャ半径の2倍である、即ち、 $2a$ ）の関数として示す。図6は、 $30\mu\text{m}$ の直径を有するアパーチャが用いられる場合、5%の透過放射を含む角度は、 2.9° となることを示す。所望の20倍の抑制を達成するために（即ち、5%の入射赤外線放射の透過を達成するために）、 2.9° を超えて回折された放射は全て吸収されなければならない。このような吸収は、スペクトル純度フィルタ内で行われることが可能である。したがって、スペクトル純度フィルタの最小厚は、アパーチャ直径と最小回折角とによって決定され、この最小回折角以外では、全ての放射が吸収される。例えば、上述した $30\mu\text{m}$ の直径を有するアパーチャでは、5%の透過放射を含む角度は、 2.9° であると説明した。したがって、この回折角以外の全ての放射がアパーチャの側壁により吸収されることを確実にするためには、スペクトル純度フィルタは、

30

【数2】

$$30\mu\text{m} / \tan 2.9^\circ = 0.584\text{mm}$$

の最小厚を有さなければならない。

【0071】

[0086] スペクトル純度フィルタの厚さを増加することによって、 $10.6\mu\text{m}$ の波長を有する赤外線放射をより多く抑制することができる。しかし、より短い波長を有する放射（例えば、EUV放射）の透過率が、アパーチャのアスペクト比が高くなることによって低減してしまう。

40

【0072】

[0087] 薄型のスペクトル純度フィルタでは、入射パワーの相当な割合が、スペクトル純度フィルタを透過させられる。アパーチャを透過する放射間の干渉の度合いは、放射のコヒーレンスに依存する。例えば、入射放射が非常に非コヒーレントである場合、アパーチャ間には干渉が実質的になく、回折パターンは、上述した単一アパーチャの近似によって記述される。この場合、スペクトル純度フィルタの背後（即ち、下流）の位置で赤外線放射を吸収することができる。例えば、スペクトル純度フィルタが、リソグラフィ装置の中間焦点（例えば、図2に示し且つ図2を参照して説明した仮想放射源点18）の0.5m前に配置される場合、回折放射は、中間焦点にあるプレートなどによって吸収されるこ

50

とができる。プレートには、例えば、EUV放射を透過させるために8mmの直径を有するアパーチャが設けられる。この場合、 0.9° で回折された放射は全て、アパーチャを通過できないようにされる。図6から分かるように、スペクトル純度フィルタにおけるアパーチャは、5%の透過放射を含む角度が 0.9° であることを確実にする（つまり、抑制の倍率がおよそ20であることを確実にする）ために最大 $100\mu\text{m}$ の直径を有することができる。本実施形態におけるスペクトル純度フィルタは、放射を吸収するのではなく放射を回折するようにのみ作用するので、スペクトル純度フィルタは、機械的安定性に最小限必要とされる薄さ、例えば、 0.1mm の厚さであってよい。

【0073】

[0088] 図3および図4では、スペクトル純度フィルタのアパーチャを図示し、また、アパーチャの周期的アレイの一部であることを説明した。周期的なアパーチャアレイと組み合わされたスペクトル純度フィルタに入射するコヒーレントな赤外線放射の源は、非常に鋭角（例えば、 0.5° 未満）な中心最大値を有する遠視野回折パターンを生じさせる。この中心最大値に、80~90%の赤外線放射強度が含まれる。このような遠視野回折パターンを有する透過プロファイルが確立される場合、遠視野において、EUV放射から赤外線放射を分離させることは困難または不可能となる。したがって、実質的にコヒーレントな放射源の場合、回折パターンに影響を与える他の方法を用いる。例えば、アパーチャの非周期的アレイは、結果として得られる回折パターンの中心最大値を広げ、非常に鋭角にはならないことを確実にする。これにより、遠視野において、EUV放射から赤外線放射を、例えば、上述したようなアパーチャが設けられたプレートを用いて、分離させることを容易にする。

【0074】

[0089] 図7は、図3乃至図6に示し、且つこれらの図面を参照して説明した実施形態を概略的に示し且つまとめたものである。EUV放射52および赤外線放射64を含む放射ビーム60が、例えば、図3に関連して説明したようなスペクトル純度フィルタSPF上に入射する。スペクトル純度フィルタSPFの下流には、赤外線放射64を吸収可能なプレート66が位置付けられる。プレート66には、アパーチャ70が設けられ、また、中間焦点68がアパーチャ70内に位置付けられるように放射ビーム60の中間焦点68に隣接して位置付けられる。放射ビーム60が、スペクトル純度フィルタSPF上に入射すると、放射ビームのEUV部分62が、回折されることなく、スペクトル純度フィルタSPFを通過する。同時に、放射ビームの赤外線部分64が、上述したように、スペクトル純度フィルタSPFのアパーチャによって回折される。したがって、プレート66の位置では、放射ビームのEUV部52がアパーチャ70を通過する一方で、放射ビームの回折された赤外線部分64の大部分が、プレート66に向けられ且つそれによって吸収されることが分かる。プレート66の下流には、放射ビームの赤外線部分64が低減されるまたは実質的に除去されて、実質的にEUV放射を含む放射ビーム72が残ることが理解できよう。

【0075】

[0090] 上述の実施形態では、アパーチャは、円形、または、スロット若しくはスリット状であるとして説明した。しかし、アパーチャは、例えば、矩形、六角形、五角形などの他の形状を有することができる。

【0076】

[0091] 上述したスペクトル純度フィルタは、プレートから形成されるものとして説明した。本願に記載するスペクトル純度フィルタは、メッシュ、または、2つの重ねあわされた直交ワイヤグリッドから形成されることも可能である。プレートにドリルで穴をあけることよりもメッシュを製造することの方が容易でありうる。ワイヤグリッドも、プレートにおける円形アパーチャのアレイよりも製造が容易でありうる。例えば、各ワイヤグリッドは、例えば、レーザ干渉リソグラフィを用いて形成することができる。これは、各アパーチャをレーザマシニングツールを用いて個別に開けることが必要な、ドリルによって開けられたアパーチャのアレイをスペクトル純度フィルタに設けるよりも迅速且つ容易に

行うことができる。

【0077】

[0092] 上述の実施形態では、スペクトル純度フィルタのアパーチャの側壁における吸収を説明した。スペクトル純度フィルタは、1つ以上の波長の放射の吸収に適した材料から形成されうる。例えば、スペクトル純度フィルタは、高い赤外線放射吸収率を有する材料から形成されうる。例えば、多くのガラス（例えば、溶解石英）やセラミックス（例えば、 TiO_2 ）がこの範疇に含まれる。上述したように、 $20\text{ }\mu\text{m}$ より大きい直径を有するアパーチャを使用することによって、アパーチャの側壁にコーティングを塗布することが容易になる。これは、アパーチャの側壁に、特定波長の放射の反射を吸収または抑止する材料であるまたはその材料を含むコーティングを設けうることを意味する。例えば、赤外線放射の吸収の場合、上述したガラスやセラミックスといった材料から形成されるまたはこれらの材料を含むコーティングが設けられうる。あるいはまたは追加的に、例えば、 ZnSe 、 ZnS 、 GaAs 、および Ge といった CO_2 レーザ窓材料、および／または、 ThF_4 および YF_3 といった屈折率が低いハロゲン化合物を含む、反射防止コーティングをアパーチャの側壁に塗布してもよい。コーティングは、追加的にまたはあるいは、例えば、EUV放射といった1つ以上の波長の放射の反射を促進してもよい。

10

【0078】

[0093] 図8は、スペクトル純度フィルタの一実施形態を示す。本実施形態では、コーティング（上述したようなもの）が、スペクトル純度フィルタのアパーチャの側壁に塗布されている。図8は、スペクトル純度フィルタSPFを断面図で示す。スペクトル純度フィルタSPFのプレート82に設けられているアパーチャ80を示す。アパーチャ80の側壁には、赤外線吸収材82が設けられている。

20

【0079】

[0094] スペクトル純度フィルタSPFとスペクトル純度フィルタSPFのアパーチャ80上に入射しているEUV放射84と赤外線放射86を示す。赤外線放射86は、アパーチャ80に入るに従って回折され、アパーチャ80の側壁上のコーティング82によって吸収される。スペクトル純度フィルタSPFによって透過される放射は、主に、EUV放射84を含むことが分かるであろう。

【0080】

[0095] アパーチャ80の側壁に設けられたコーティング82は、1つ以上の波長の放射の反射を促進または抑制する必要がない。コーティング82は、代わりに、劣化または環境による損傷からアパーチャ80を保護するために用いることもできる。

30

【0081】

[0096] 上記実施形態のスペクトル純度フィルタは、例えば、赤外線放射である不所望の波長の放射に対して実質的に不透明であるプレート（など）から形成されるとして説明している。上述したスペクトル純度フィルタには、不所望の波長の放射を回折する一方で、所望の波長の放射がアパーチャによって透過されることを可能とするアパーチャが設けられる。したがって、上述のスペクトル純度フィルタは、不所望の波長が入射するスペクトル純度フィルタのアパーチャの側壁において、または、スペクトル純度フィルタの一部においてまたは一部（例えば、アパーチャを画定しないスペクトル純度フィルタの一部）から、不所望の波長を有する放射を反射または吸収する。不所望の波長の吸収によって、スペクトル純度フィルタが加熱してしまう。このような加熱は、スペクトル純度フィルタの損傷、および／または、スペクトル純度フィルタのディストーションを結果として生じさせてしまうことがある。このようなディストーションまたは損傷は、スペクトル純度フィルタの機能性に不利な影響を与えうる。

40

【0082】

[0097] したがって、上述の理由から、一部の用途では、スペクトル純度フィルタへの熱負荷を低減することが望ましい。本発明の一実施形態では、熱負荷の低減は、不所望の1つ以上の波長を有する放射に対して位相格子として作用するスペクトル純度フィルタを用いることによって達成しうる。位相格子スペクトル純度フィルタは、不所望の放射に対

50

して実質的に透過性である（理想的には完全に透過性である）材料を含む。更に、位相格子スペクトル純度フィルタには、不所望の放射の大部分が0次以外の回折次数に回折されるように構成される（例えば、そのようになる間隔または直径を有する）アパーチャが設けられる。この解決策の1つの利点は、不所望の放射がスペクトル純度フィルタによって吸収されず、したがって、スペクトル純度フィルタを加熱しないということである。別の利点は、不所望の放射の大部分は0次に回折されないので、0次と位置合わせされた位置に配置されるアパーチャが設けられた構造は、所望の（且つ非回折）放射がアパーチャを通過することを可能にする一方で、不所望の放射は、アパーチャを囲む材料（例えば、プレート）によってブロックされることである。アパーチャの非周期的なアレイの場合、このような「次数」がない場合がある。したがって、本発明のより一般的な実施形態では、10
スペクトル純度フィルタの1つ以上のアパーチャの間隔または直径が、第1の波長を有する放射（例えば、赤外線放射）の50%未満の放射が構造に設けられた更なるアパーチャを通過可能であるように構成されうる。スペクトル純度フィルタの1つ以上のアパーチャの間隔または直径は、第1の波長を有する放射（例えば、赤外線放射）の10%未満の放射が構造に設けられた更なるアパーチャを通過可能であるように構成されうる。スペクトル純度フィルタの1つ以上のアパーチャの間隔または直径は、第1の波長を有する放射（例えば、赤外線放射）の5%未満の放射が構造に設けられた更なるアパーチャを通過可能であるように構成されうる。

【0083】

[0098] 図9は、本発明の一実施形態による位相格子スペクトル純度フィルタPGSPFを概略的に示す。位相格子スペクトル純度フィルタPGSPFは、不所望の（例えば、「第1の」）波長の放射に対して実質的に透過性であるプレート90を含む。例えば、不所望の放射が10.6 μm の放射を含む場合、プレート90は、ケイ素、ZnSe、ZnS、GaAs、Ge、ダイヤモンド、またはダイヤモンド状炭素から形成されうる。20

【0084】

[0099] プレート90には、アパーチャ92のアレイが設けられる。アパーチャ直径ADは、不所望の波長の放射がアパーチャ92に入射するとその放射を回折するように選択される。例えば、アパーチャ92の直径は、上述したような製造の容易さから、20 μm より大きいことが好都合でありうる。アパーチャ92のアレイは、回折された不所望の波長を有する放射の1次回折が、0次回折から実質的に分離されるように選択される周期性PEを有する。この配置の意義を、以下により詳細に説明する。一般に、周期性PEは、30
位相格子スペクトル純度フィルタPGSPFが回折するように設計されている放射の波長と同じ桁である。しかし、他の実施形態では、周期性PEは、この波長よりも最大2桁大きくてもよい（例えば、不所望の波長を有する放射の回折が非常に小さい度合いしか求められていない場合）。

【0085】

[0100] ここまでは、アパーチャ92を組み込んだことによる、不所望の波長を有する放射の回折に関連して図9を説明した。上述したように、このスペクトル純度フィルタは、位相格子スペクトル純度フィルタPGSPFである。次に、接頭辞「位相格子」の意義について説明する。40

【0086】

[0101] 図10は、位相格子スペクトル純度フィルタPGSPFを断面図で示す。図10は、アパーチャ92と、これらのアパーチャ92を囲むプレート90を形成する材料を示す。位相格子スペクトル純度フィルタPGSPFに入射する不所望の放射94（例えば、赤外線放射）を示す。位相格子スペクトル純度フィルタPGSPFは、プレートを通過する放射96と、アパーチャを通過する放射の位相差が π ラジアンであるように選択される厚さHを有する。換言すれば、アパーチャから放出される放射98は、プレートから放出される放射96と180°位相がずれている。アパーチャの直径が不所望の放射の波長より実質的に大きいと仮定すると、回折効果は小さいと仮定でき、したがって、位相シフトは、平面波面に基づいて計算することができる。50

【 0 0 8 7 】

[0102] プレートを通過する放射と、アパーチャを通過する放射との間の位相差 $\Delta\phi$ は、次のように与えられる：

【 0 0 8 8 】

【数 3】

$$\Delta\phi = \frac{2\pi H(n_1 - n_0)}{\lambda}$$

ただし、 n_1 は、プレートの材料の屈折率であり、 $n_0 = 1$ は、真空の屈折率である。

【 0 0 8 9 】

[0103] したがって、 π の位相差を与える厚さは、次のように与えられる：

10

【 0 0 9 0 】

【数 4】

$$H = \left(m + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{n_1 - n_0}$$

ただし、 $m = 0, 1, 2, \dots$ は負ではない整数である。

【 0 0 9 1 】

[0104] ケイ素を選択して材料またはプレート 90 を形成する場合、 π の位相差を与える厚さ H （単位： μm ）は次のように与えられる。

【数 5】

$$H = (2.19 + m 4.38) \mu\text{m}.$$

20

【 0 0 9 2 】

[0105] 当該技術において知られているように、位相格子スペクトル純度フィルタの厚さが、プレートを通す放射とアパーチャを通す放射との間の位相差が π ラジアンであるような厚さである場合、不所望の波長を有する放射の相殺的干渉が発生する。

【 0 0 9 3 】

[0106] 図 11 および図 12 は、図 9 および図 10 の位相格子スペクトル純度フィルタの、不所望の波長を有する放射を含む入射放射ビームへの影響を示す。不所望の波長を有する放射 94 が、位相格子スペクトル純度フィルタ P G S P F に入射するものとして示す。位相格子スペクトル純度フィルタ P G S P F のアパーチャの直径および周期性は、不所望の波長を有する放射が回折されるように選択され、また、1 次回折 100 が 0 次回折 102 から実質的に分離されるように回折される。しかし、図 11 は、上述した相殺的干渉の 0 次 102 への影響は表さない。

30

【 0 0 9 4 】

[0107] 図 12 は、0 次回折 102 から 1 次回折 100 を分離することの累積的影響と、上述した相殺的干渉の 0 次回折への影響をより正確に示す。0 次回折 102 は、不所望の波長を有する放射 94 の入射強度のほんの僅かしか含まない（一般に 10 % 未満）。不所望の放射の大部分は、1 次またはそれより高次の高い次数に回折される。不所望の波長を有する放射 94 の入射強度の大部分が、高回折次数に回折されることを確実にするために、位相格子スペクトル純度フィルタ P G S P F のフィルファクタ（fill factor）は、50 % 以上のオーダーのフィルファクタを有すべきである（フィルファクタは、アパーチャによって残された空間ではなくプレートを形成する材料によって占有される部分面積として定義される）。

40

【 0 0 9 5 】

[0108] 1 次回折および高次数回折を吸収するようプレート 104 が設けられうる。アパーチャ 106 がプレート 104 内に設けられて、例えば、非回折放射（例えば、EUV 放射）が通過可能としうる。0 次回折 102 もアパーチャを通過可能であるが、この次数は（上述したように）、一般に、入射強度の 10 % 未満である。位相格子スペクトル純度フィルタ P G S P F、プレート 104、およびアパーチャ 106 は、不所望の放射の少なくとも 90 % が、例えば、リソグラフィ装置の一部内または一部を通過して更に奥へと通過することを阻止する。

50

【0096】

[0109] フィルファクタが50%であるので、これは、プレートによってブロックされる放射（例えば、EUV放射）の透過率も50%のオーダーであることを意味する。プレートによってブロックされない放射の透過率は、フィルファクタを低減することによって増加することができるが、これは、不所望の放射（例えば、赤外線放射）の抑制が低減することになる。

【0097】

[0110] 図13は、50%から100%へのEUVの透過率の増加（これは、フィルファクタが50%から0%に低減されたことに対応する）に対する、上述した位相格子スペクトル純度フィルタの赤外線放射の透過率における増加を示す。グラフは、例えば、単一のアパーチャ行または列を含む格子である1次元位相格子についての関係を表す。例えば、60%のEUV透過率では、赤外線透過率は4%であることが分かり、したがって、赤外線放射の相対的な抑制率は、15である（即ち、フィルタは、赤外線放射のEUV放射に対する比率を、15倍で減少する）。

【0098】

[0111] 図14は、図9乃至図13に関連して説明した原理を概略的にまとめたものである。EUV成分108と赤外線成分110を含む放射ビームが、上述したように位相格子スペクトル純度フィルタPGSPFに入射する。位相格子スペクトル純度フィルタPGSPFは、アパーチャ114が設けられたプレート112に関連して示す。EUV成分108は、位相格子スペクトル純度フィルタPGSPFのアパーチャ（図示せず）を通過して、プレート112のアパーチャ114に向かい該アパーチャを通過することが分かる。対照的に、赤外線成分110は、位相格子スペクトル純度フィルタPGSPFによって破壊的に干渉され、更に該フィルタによって回折される。この結果、赤外線成分110の1次回折は、0次から、1次回折および高次数回折がプレート112によってブロックされ、また、例えば、リソグラフィ装置内の奥へ進むことが阻止される程度に分離される。0次回折は実質的に低減または除去される。

【0099】

[0112] 図15は、一実施形態を概略的に示す。上述したような位相格子スペクトル純度フィルタPGSPFは、例えば、図2に図示し且つ図2を参照して説明した仮想放射源点18である、リソグラフィ装置の中間焦点120の前に（即ち、上流に）配置される。図15を再び参照すると、中間焦点120は、プレート124のアパーチャ122内に位置付けられる。プレートは、例えば、放射源、または、イルミネータハウジングの一部を形成しうる。位相格子スペクトル純度フィルタPGSPFに入射する放射ビーム126は、EUV成分128と赤外線成分130を含む。上述したように、位相格子スペクトル純度フィルタPGSPFは、赤外線成分130の大部分が、アパーチャ122を通過可能でなくなる程度にまで破壊的に干渉されるかまたは回折されるよう赤外線成分130を回折するまたは赤外線成分130の破壊的干渉をもたらすように構成される。例えば、赤外線成分130の1次回折および高次数回折132は、それらがアパーチャ122を通過できないように回折されることが分かる。赤外線成分130の小さい割合の0次回折134がアパーチャ122を通過可能である。しかし、この小さい割合の0次回折134は、赤外線成分130のほんの一部であり、例えば、入射強度の10%未満であってよい。

【0100】

[0113] 中間焦点120（例えば、イルミネータの入射瞳）におけるアパーチャ122の一般的な直径は8mmである。したがって、位相格子スペクトル純度フィルタPGSPFから中間焦点120への距離が0.1mである場合、0次から 2.3° （ $\arctan(0.004/0.1)$ ）を超えて分離される回折次数が抑制される。 2.3° を超えて回折されるべき1次回折（したがって高次数回折）について、上述した位相格子スペクトル純度フィルタPGSPFのアパーチャの周期性は、 $264\mu\text{m}$ 未満（ $\lambda/\sin\theta = 264\mu\text{m}$ 、ただし、 $\lambda = 10.6\mu\text{m}$ 、 $\theta = 2.3^\circ$ ）であるべきである。

【0101】

10

20

30

40

50

[0114] 図9乃至図15に関連して上述した実施形態では、最大50%のEUV放射が、位相格子スペクトル純度フィルタのプレートを形成する材料によってブロックされる。EUV透過率を増加する一方で、破壊的干渉および回折によって赤外線放射を抑制することが好適である。本発明の更なる実施形態では、位相格子スペクトル純度フィルタを形成する材料は、第1のアーチャアレイおよび第2のアーチャアレイを含み、第2のアーチャアレイは、第1のアーチャアレイの周りに分散配置され、第1のアーチャアレイの直径よりも小さい直径を有する。第1のアーチャアレイは、抑制すべき放射（例えば、赤外線放射）の回折を引き起こすのに十分な直径を有する。第2の（または更なる）アーチャアレイは、抑制されることが望まれる放射の波長より小さい直径を有する。これは、第2のアーチャ（サブ波長アーチャとも呼ぶ）アレイは、抑制したい放射の回折に影響を与えないが、より短い波長（例えば、EUV）の放射が位相格子スペクトル純度フィルタを通過可能にするということを意味する。

10

【0102】

[0115] 位相格子スペクトル純度フィルタPGSPFのアーチャおよび材料などを通過する放射の位相差を決定する目的で、サブ波長のアーチャを有する材料の屈折率を、例えば、材料と真空（位相格子スペクトル純度フィルタが真空中で用いられる場合）の誘電率の加重平均に基づいて、いわゆる有効媒質近似によって近似されうる。したがって、サブ波長アーチャの組み込みを考慮するために、位相格子スペクトル純度フィルタの厚さは、所望の位相シフトと、後に続く、大きいアーチャと位相格子スペクトル純度フィルタを形成する材料とを通過する不所望の放射の破壊的干渉とが依然として得られるように適宜変更されなければならない。

20

【0103】

[0116] 図16は、サブ波長アーチャが設けられた位相格子スペクトル純度フィルタの一実施形態を示す。図16は、位相格子スペクトル純度フィルタPGSPFを概略的に示す。位相格子スペクトル純度フィルタPGSPFを形成する材料144には、第1のアーチャ140のアレイが設けられる。この第1のアーチャアレイは、例えば、赤外線放射といった不所望の波長を有する放射である第1の波長を有する放射の僅かな回折を引き起こすように配置される（例えば、その僅かな回折を引き起こすのに十分な直径を有する）。第1のアーチャアレイは更に、例えば、EUV放射といった所望の波長を有する放射である第2の波長を有する放射の透過を可能にするように配置される（例えば、透過を可能にするのに十分な直径を有する）。第2の波長を有する放射の波長は、第1の波長を有する放射の波長よりも短い。

30

【0104】

[0117] 第2の（即ち、更なる）アーチャ142のアレイも、位相格子スペクトル純度フィルタPGSPFを形成する材料144に設けられる。第2のアーチャ142のアレイの直径は、第1のアレイを形成するアーチャ140の直径より小さい。第2のアレイのアーチャ142の直径は、位相格子スペクトル純度フィルタが回折し且つ破壊的干渉を引き起こすように構成される対象である放射の第1の波長より小さい。第2のアレイのアーチャ142の直径は、上述したような有効媒質近似の有効性を確実にするために、第1の波長を有する放射の波長の半分未満であることが好適である。第2のアレイのアーチャ142の直径は、位相格子スペクトル純度フィルタが通過させるように構成される対象である放射の第2の波長より大きい。これは、更なるアーチャアレイを設けることによって、第1の波長を有する放射（例えば、赤外線放射）の回折に影響を受けない一方で、第2の波長を有する放射（例えば、EUV放射）の透過が増加されることを意味する。

40

【0105】

[0118] 本発明の本実施形態によるケイ素位相格子スペクトル純度フィルタは、100 μm の直径と50%のフィルファクタを有する大きいアーチャの2次元アレイを含みうる。大きいアーチャ間の材料（即ち、ケイ素）には、4 μm の直径と、例えば、50%のフィルファクタを有する小直径アーチャの更なるアレイが設けられうる。大きいアパ

50

ーチャ間の材料の有効屈折率は、誘電率（屈折率の二乗に略等しい）の加重平均に応じて計算され、 $\sqrt{(0.5 \times 3.42^2 + 0.5 \times 1^2)} = 2.52$ の値が得られる。したがって、（破壊的干渉を達成するために）第1の波長を有する放射が位相格子スペクトル純度フィルタPGSPFを通過する際に π である位相シフトを達成するためには、位相格子スペクトル純度フィルタPGSPFの厚さを決定すべく行う必要のある計算は、この有効屈折率を考慮するために変更されなければならない。ケイ素位相格子スペクトル純度フィルタPGSPFの厚さは、

【数6】

$$H = (3.49 + m \cdot 6.98) \mu\text{m}$$

を用いて計算されるべきである。

10

【0106】

[0119] ただし、 m は、正の整数またはゼロである。例えば、 H は、 $6.98 \mu\text{m}$ であってよい。なお、この計算は、ケイ素の屈折率とは異なる屈折率を有する材料を用いて位相格子スペクトル純度フィルタPGSPFを形成する場合には、異なってくることは理解できよう。

【0107】

[0120] ここでの位相格子スペクトル純度フィルタでは、赤外線透過率はゼロに近い（例えば、図13のグラフを参照）。全体のフィルファクタが25%の場合、位相格子スペクトル純度フィルタのEUV透過率は、約75%である。

【0108】

20

[0121] なお、（スペクトル純度フィルタの大きいアパーチャによって回折されるべき波長に対して）サブ波長のアパーチャの使用は、位相格子スペクトル純度フィルタにおける使用に制限されないことは理解されよう。このようなサブ波長アパーチャは、スペクトル純度フィルタの1つ以上の波長を有する放射に対する透過率を増加するために、任意のスペクトル純度フィルタに設けてよい。

【0109】

[0122] 上述した実施形態では、「所望の」波長を有する放射は、電磁スペクトルのEUV範囲内またはEUV範囲より下方の波長を有する放射であるとして説明した。更に、「不所望の」波長は、電磁スペクトルの赤外線部分における波長を有する放射として説明した。なお、本発明は、他の波長を有する放射にも適用可能であることは理解できるであろう。例えば、図9乃至図15に関連して上述した実施形態（1次回折がスペクトル純度フィルタの下流に設けられたアパーチャを通過しないように、1次回折が0次から分離される実施形態）は、EUV放射および赤外線放射以外の波長を有する放射にも適用可能である。同様に、図16に関連して上述した実施形態（サブ波長アパーチャを用いて所望の波長を有する放射に対する位相格子スペクトル純度フィルタの透過率を向上させる実施形態）を、EUV放射以外の波長の放射と共に用いてもよい。

30

【0110】

[0123] 本発明の実施形態の上述の説明は、EUV放射（例えば、 $5 \sim 20 \text{ nm}$ ）を発生する放射源に関するが、本発明は、 10 nm 未満の波長を有する放射である「超EUV」放射を発生する放射源においても具現化されうる。「超EUV」放射は、例えば、 6.7 nm または 6.8 nm の波長を有しうる。「超EUV」放射を発生する放射源は、上述した放射源と同様に動作しうる。本発明は、1つ以上の波長を有する放射を別の1つ以上の波長を有する放射から分離する、抽出する、フィルタリングすることが望まれる任意の波長の放射を用いるリソグラフィ装置にも適用することができる。記載したスペクトル純度フィルタは、例えば、リソグラフィ装置または放射源（リソグラフィ装置用であってよい）において用いてよい。本発明は、リソグラフィ以外の分野において用いられるフィールドおよび装置にも適用してよい。

40

【0111】

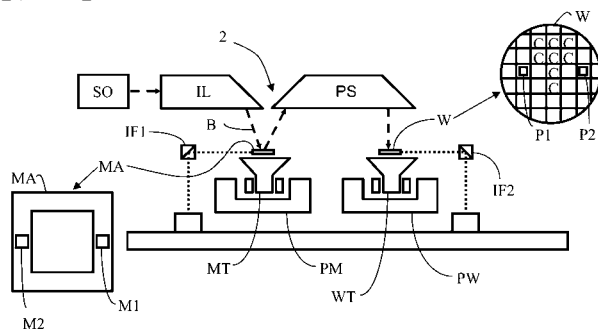
[0124] 上述の説明は、例示的であって限定することを意図していない。したがって、当業者には、特許請求の範囲から逸脱することなく記載した発明に変更をなしうることは

50

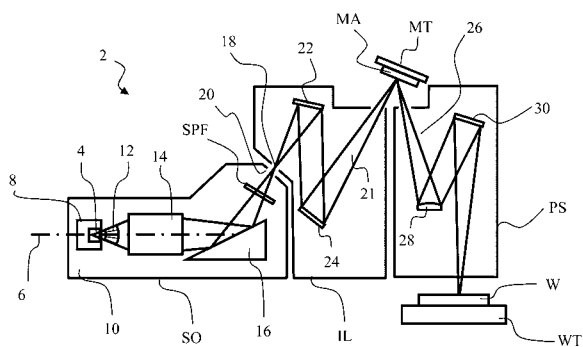
明らかであろう。

上記の説明は、制限ではなく例示を意図したものである。したがって、当業者には明らかなように、添付の特許請求の範囲を逸脱することなく本記載の発明に変更を加えてもよい。

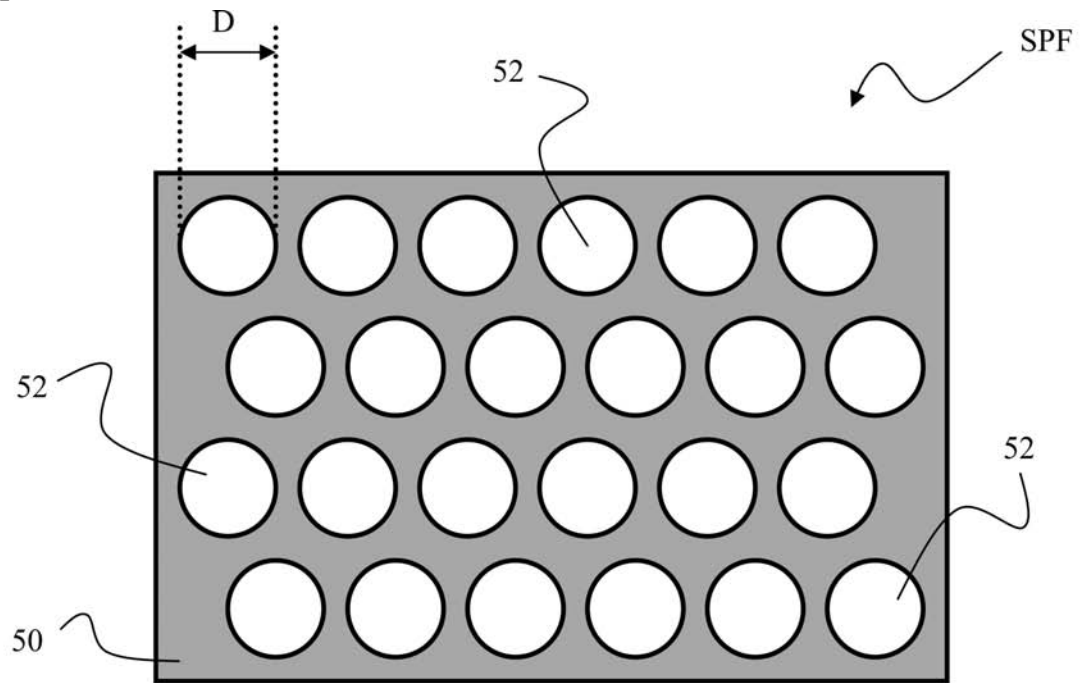
【図 1】



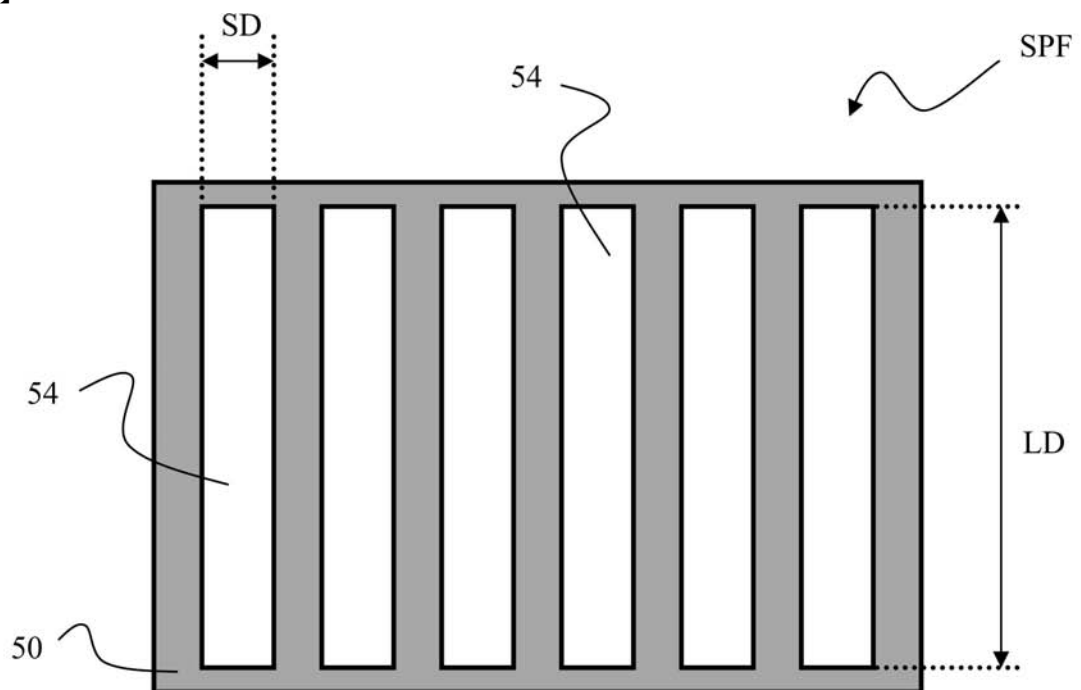
【図 2】



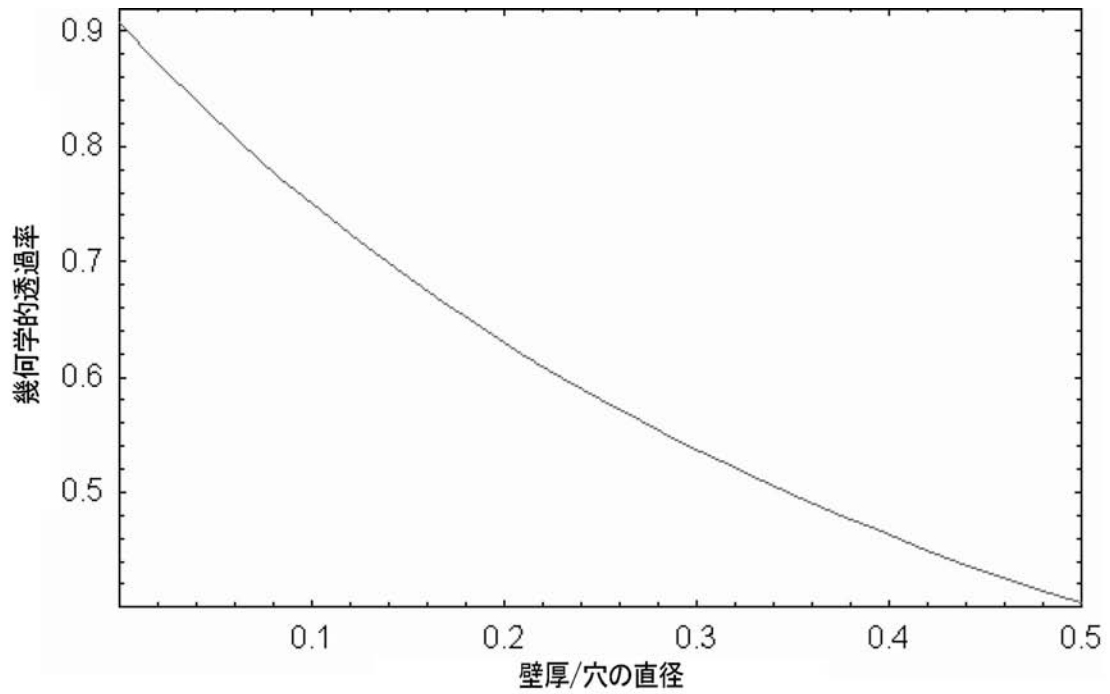
【図 3】



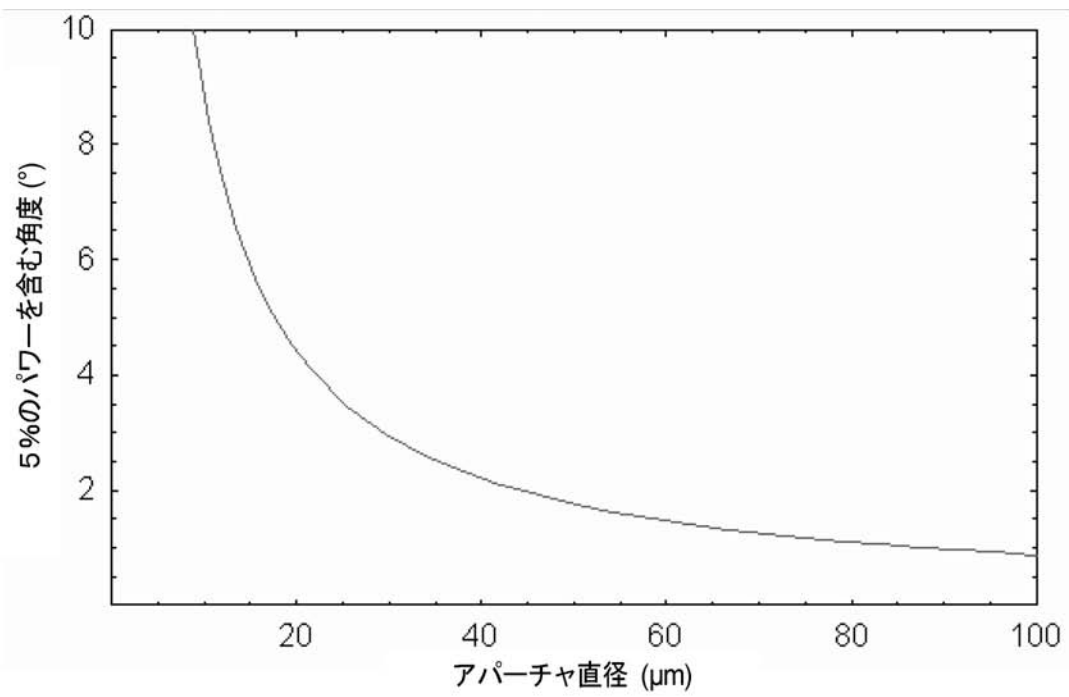
【図 4】



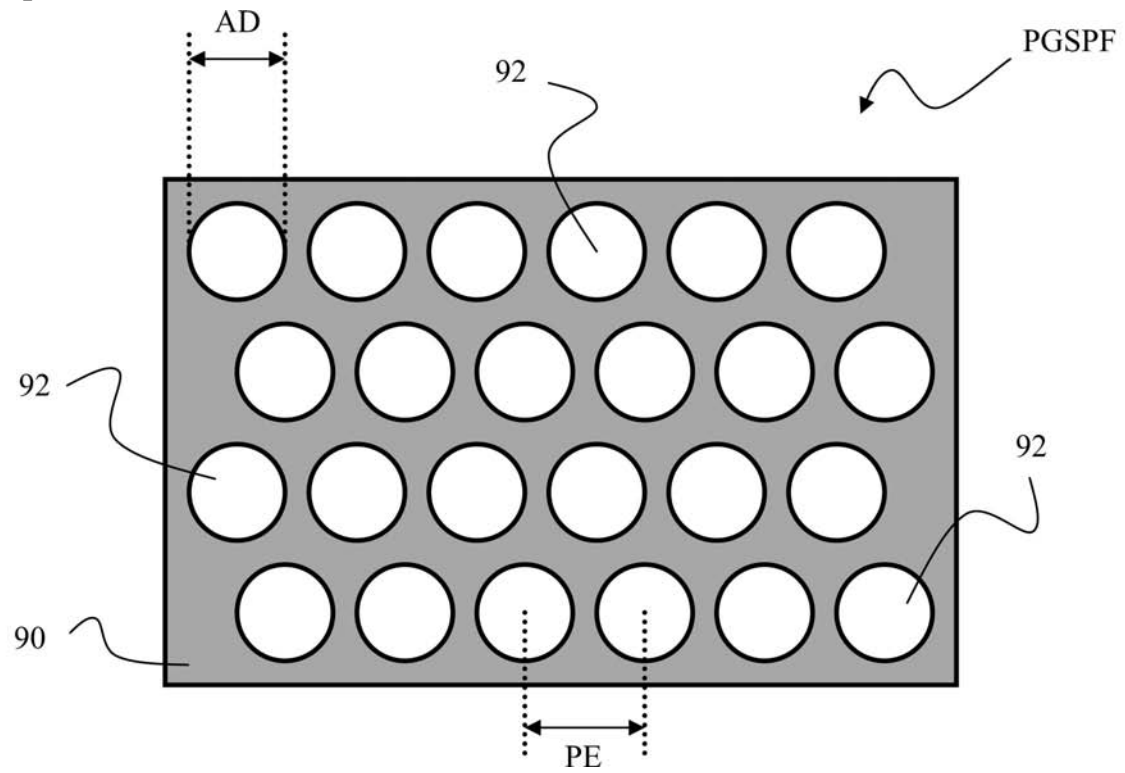
【図 5】



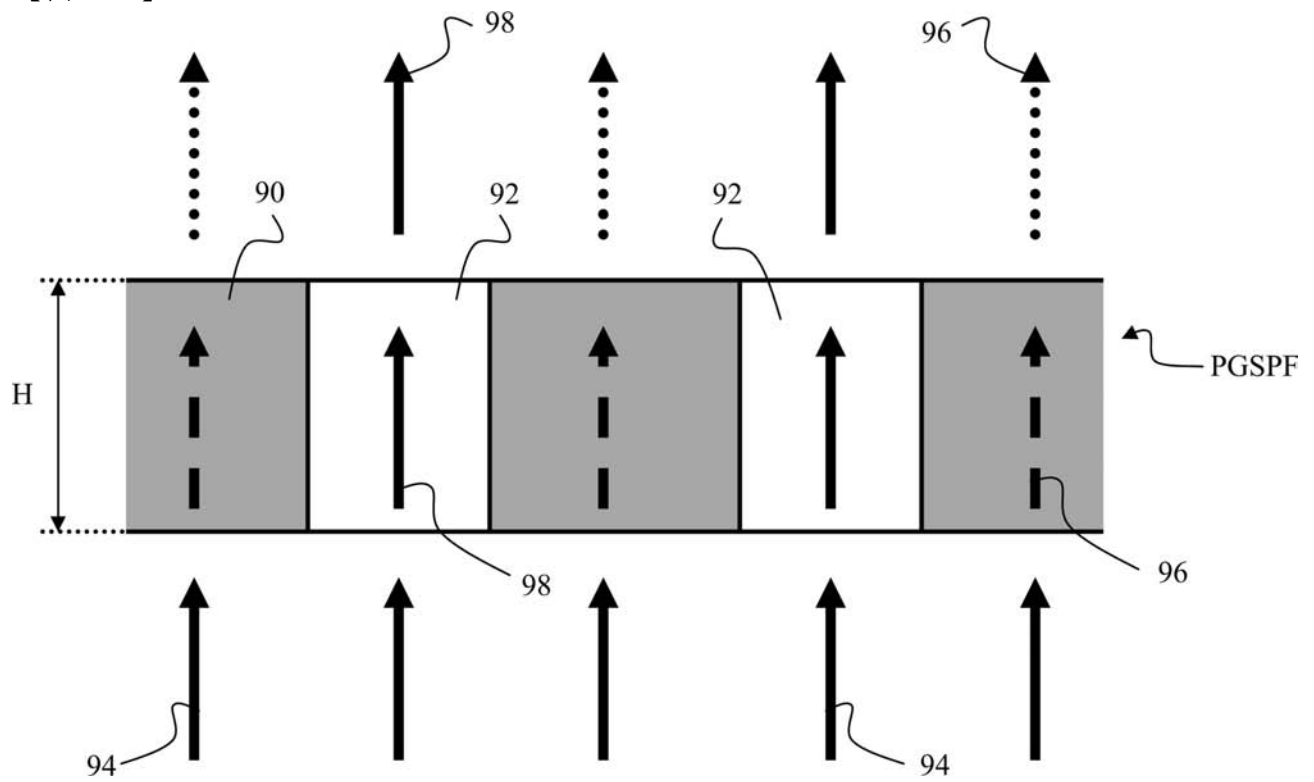
【図 6】



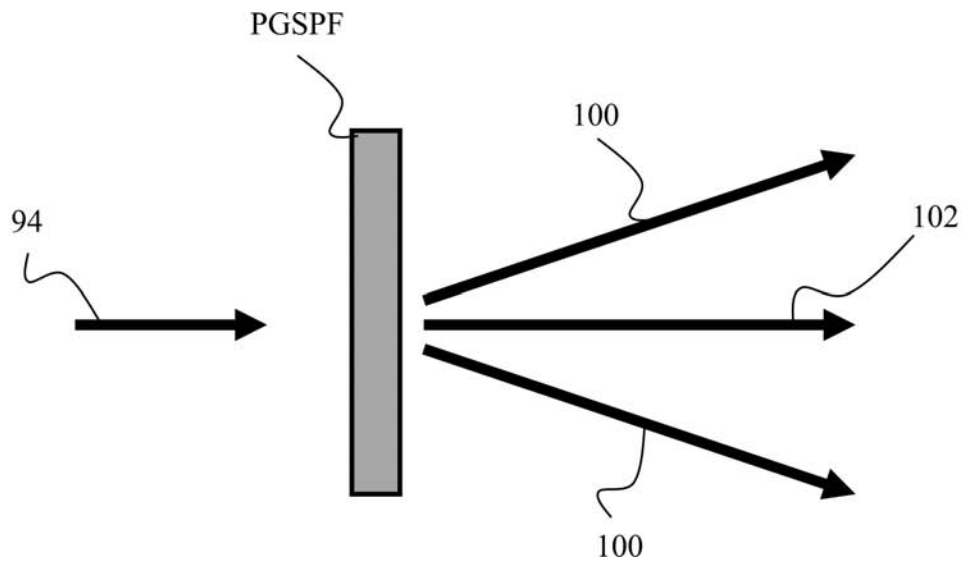
【図 9】



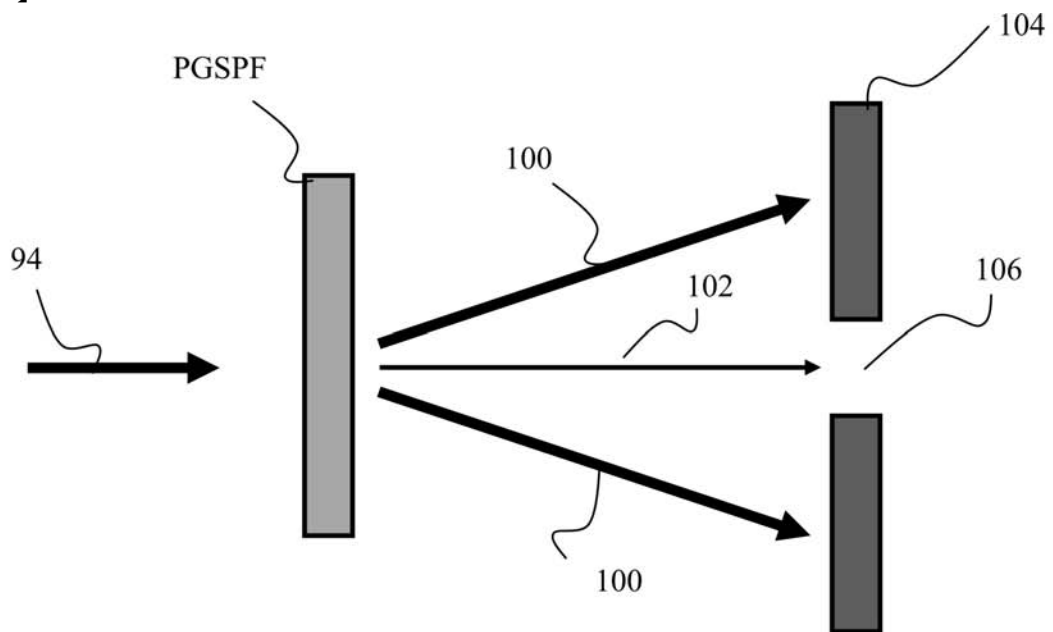
【図 10】



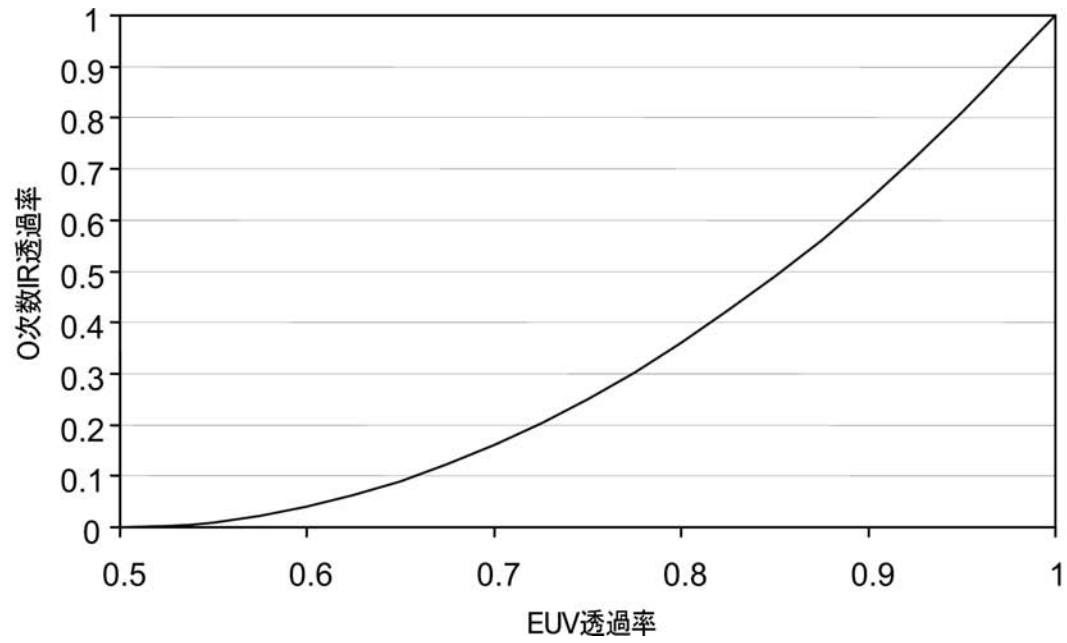
【図 1 1】



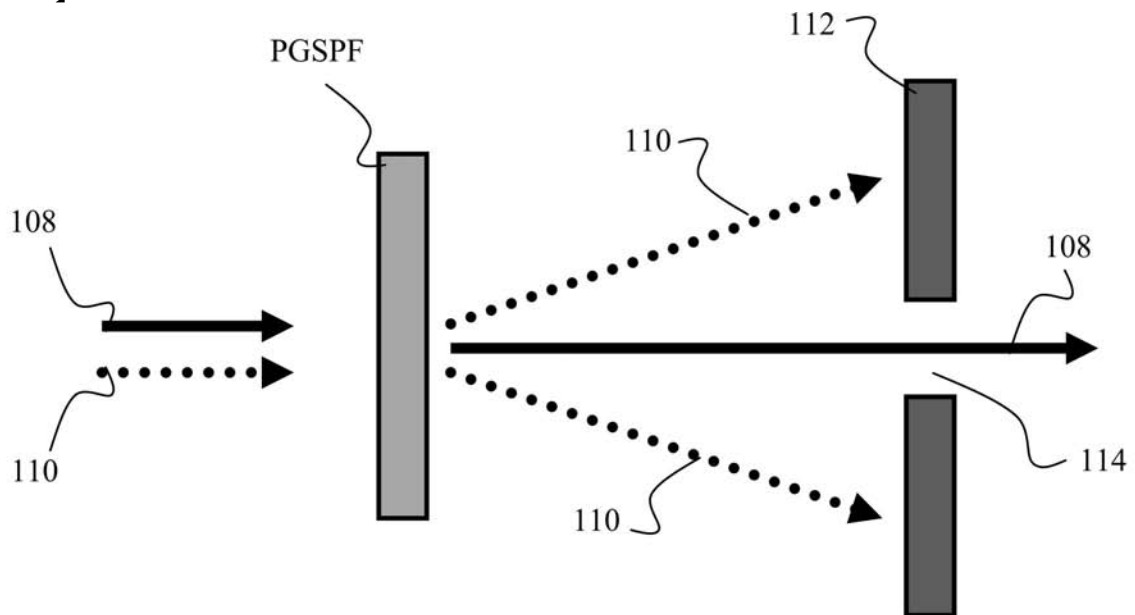
【図 1 2】



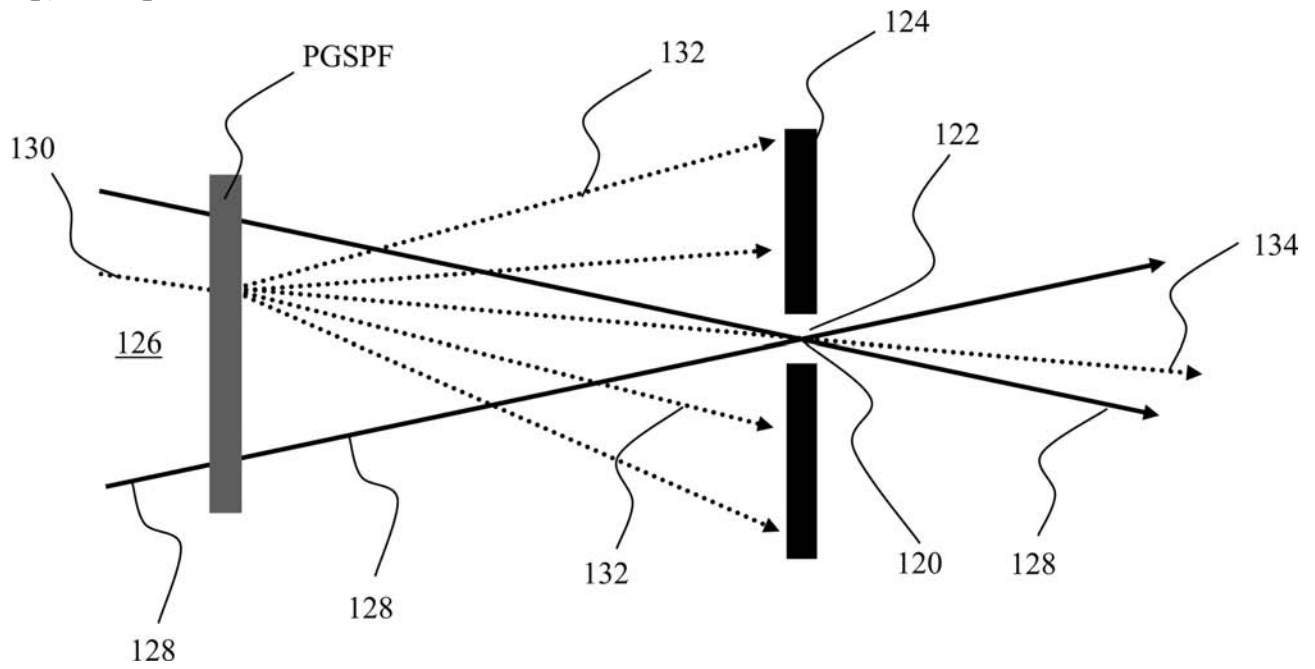
【図 1 3】



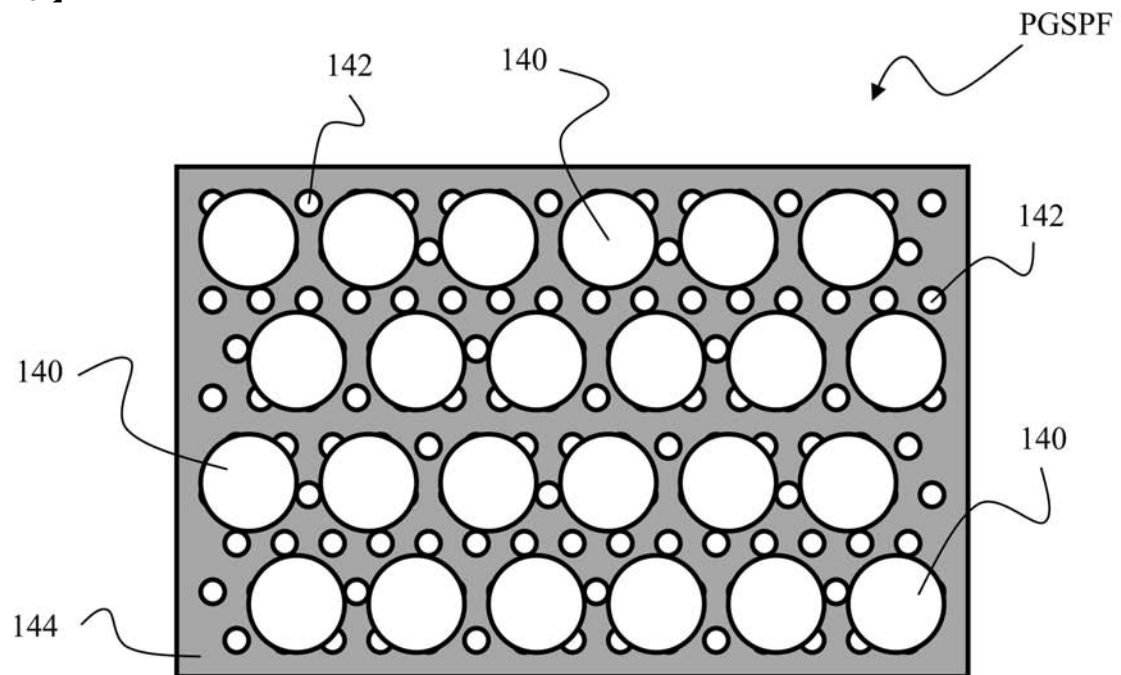
【図 1 4】



【図 1 5】



【図 1 6】



フロントページの続き

- (72)発明者 ヴァン ハーペン, マーテン, マリヌス, ヨハネス, ウィルヘルムス
オランダ国, ヒーシュ エヌエル-5 3 8 4 エイチエス, デ シッケル 3 2
- (72)発明者 バニエ, バディム, エヴィージェンエビッチ
オランダ国, ヘルモント エヌエル-5 7 0 4 エヌケイ, ニアースラーン 2
- (72)発明者 ヤク, マーティン, ヤコブス, ヨハン
オランダ国, アイントホーフェン エヌエル-5 6 1 1 エヌピー, ボマンソフ 1 8 7
- (72)発明者 ヤクニン, アンドレイ, ミクハイロヴィッチ
オランダ国, アイントホーフェン エヌエル-5 6 5 3 ケーディー, オウダエン 1 1 7
- Fターム(参考) 5F046 CB05 CB08

【外国語明細書】
2010021550000001.pdf