

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5977828号  
(P5977828)

(45) 発行日 平成28年8月24日(2016.8.24)

(24) 登録日 平成28年7月29日(2016.7.29)

(51) Int.Cl.

H05G 2/00 (2006.01)

F 1

H05G 2/00

K

請求項の数 11 (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2014-527148 (P2014-527148)  
 (86) (22) 出願日 平成24年7月10日 (2012.7.10)  
 (65) 公表番号 特表2014-531743 (P2014-531743A)  
 (43) 公表日 平成26年11月27日 (2014.11.27)  
 (86) 國際出願番号 PCT/US2012/046093  
 (87) 國際公開番号 WO2013/028272  
 (87) 國際公開日 平成25年2月28日 (2013.2.28)  
 審査請求日 平成27年6月25日 (2015.6.25)  
 (31) 優先権主張番号 13/249,504  
 (32) 優先日 平成23年9月30日 (2011.9.30)  
 (33) 優先権主張国 米国(US)  
 (31) 優先権主張番号 61/525,561  
 (32) 優先日 平成23年8月19日 (2011.8.19)  
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(73) 特許権者 504151804  
 エーエスエムエル ネザーランズ ピー. ブイ.  
 オランダ国 ヴェルトホーフェン 550  
 O エーエイチ, ピー. オー. ボックス  
 324  
 (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 グラハム マシュー アール  
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州 92  
 127 サン デイエゴ ソーンミント  
 コート 17075

早期審査対象出願

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】光ビームアラインメントのためのエネルギーセンサ

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

駆動軸線に沿って進むパルスの增幅光ビームを生成する駆動レーザシステムと、  
 前記パルスの增幅光ビームをターゲット領域に向けて誘導するビーム送出システムと、  
 ターゲット材料を含むターゲット混合物を前記ターゲット領域に供給するターゲット材  
 料送出システムと、

前記ターゲット領域と交差する主軸線から異なる位置で半径方向に分離される 2 以上の  
 センサであって、前記パルスの增幅光ビームが前記ターゲット混合物と交差した時にプラ  
 ズマ状態の前記ターゲット材料から放出された紫外電磁放射線のエネルギーを検出する 2 以  
 上のセンサと、

前記 2 以上のセンサからの出力を受け取り、検出した前記エネルギーを用いた計算に基  
 づいて前記ターゲット混合物と前記ターゲット領域内の前記駆動軸線との間の相対的半径方  
 向アラインメントを推定し、かつ前記ターゲット領域における前記ターゲット混合物に対  
 する前記增幅光ビームの半径方向アラインメントを調節し、それによって前記ターゲット  
 混合物と前記ターゲット領域内の前記駆動軸線との間の相対的半径方向距離を調節する信  
 号を前記ビーム送出システムに出力するコントローラと、を備え、

前記ターゲット混合物に対する前記增幅光ビームの半径方向アラインメントを調節する  
 ことは、前記ビーム送出システム内の一つ又はそれよりも多くの要素の位置を調整するこ  
 とを含む、装置。

## 【請求項 2】

前記駆動レーザシステムは、望ましい波長を高い利得で光学的に増幅することができる利得媒体と、励起源と、内部光学系と、を各々が含む1以上の光増幅器を含む、請求項1に記載の装置。

【請求項3】

前記利得媒体は、CO<sub>2</sub>を含む、請求項2に記載の装置。

【請求項4】

前記ビーム送出システムは、前記増幅光ビームを前記ターゲット領域に集束させる集束光学要素を含む、請求項1に記載の装置。

【請求項5】

前記ターゲット材料送出システムは、前記ターゲット領域に前記ターゲット混合物の液体液滴を供給するノズルを含む、請求項1に記載の装置。 10

【請求項6】

前記パルスの増幅光ビームが前記ターゲット混合物と交差した時に前記プラズマ状態の前記ターゲット材料から放出された前記紫外電磁放射線の少なくとも一部分を捕捉して向け直す放射線コレクタを更に備える、請求項1に記載の装置。

【請求項7】

放出された前記紫外電磁放射線は、極紫外電磁放射線を含む、請求項1に記載の装置。

【請求項8】

前記2以上のセンサは、前記主軸線から半径方向に分離された少なくとも4つのセンサを含む、請求項1に記載の装置。 20

【請求項9】

前記2以上のセンサのうちの少なくとも1つが、他のセンサのうちの少なくとも1つを半径方向に分離する距離とは異なる距離によって前記主軸線から半径方向に分離される、請求項1に記載の装置。

【請求項10】

前記ターゲット混合物から前記駆動レーザシステムに向けて反射して戻されたレーザビームの光学像を捕捉する撮像デバイスを更に備え、

前記コントローラはまた、前記撮像デバイスからの出力を受け取り、かつ前記撮像デバイスから受け取った前記出力にも基づいて前記相対的半径方向アラインメントを推定する、請求項1に記載の装置。 30

【請求項11】

前記2以上のセンサのサンプリング速度が、前記駆動レーザシステムのパルス繰返し速度の程度である、請求項1に記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

〔関連出願への相互参照〕

本出願は、2011年8月19日出願の「光ビームアラインメントのためのエネルギーセンサ」という名称の米国特許仮出願番号第61/525,561号に対する優先権を主張し、かつ2011年9月30日出願の「光ビームアラインメントのためのエネルギーセンサ」という名称の米国一般特許出願番号第13/249,504号に対する優先権を主張するものであり、これらの特許の両方は、これにより引用によって本明細書にその全体が組み込まれる。 40

【0002】

本開示の主題は、駆動レーザシステムからの増幅された光ビームを極紫外光源内のターゲット領域でターゲット材料に対して位置合わせする装置に関する。

【背景技術】

【0003】

極紫外線(EUV)光は、約50nm又はそれ未満の波長を有する電磁放射線であり、かつ軟X線と呼ばれることもある。EUV光は、基板、例えば、シリコンウェーハ内に極 50

めて小さな特徴部を生成するためにフォトリソグラフィ処理に使用することができる。EUV光を生成する方法は、以下に限定されるものではないが、輝線がEUV範囲にある元素、例えば、キセノン、リチウム、又は錫を有するプラズマ状態に材料を変換することを含む。レーザ生成プラズマ(LPP)と呼ぶことが多い1つのこのような方法において、必要とされるプラズマは、駆動レーザと呼ぶことができる増幅された光ビームを用いて、例えば、材料の液滴、流れ、又はクラスターの形態であるターゲット材料を照射することによって生成することができる。この処理に関して、プラズマは、典型的には密封容器、例えば、真空チャンバ内で生成され、かつ様々なタイプの測定機器を使用してモニタされる。

【先行技術文献】

10

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】米国特許公開第2011/0141865号明細書

【特許文献2】米国特許公開第2011/0140008号明細書

【特許文献3】米国特許公開第200670219957号明細書

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0005】

一部の一般的な態様において、パルスの増幅光ビームの位置は、ターゲット混合物が位置付けられ、それによってターゲット混合物内のターゲット材料の少なくとも一部分を紫外電磁放射線を放出するプラズマ状態に変換するターゲット領域に向けて駆動軸線に沿ってパルスの増幅光ビームを誘導し、放出電磁放射線のエネルギーをターゲット領域と交差する主軸線から半径方向に分離された2つ又はそれよりも多くの異なる位置で検出し、検出エネルギーを解析し、解析された検出エネルギーに基づいてターゲット混合物とターゲット領域内の増幅光ビームの駆動軸線との間の相対的半径方向アラインメントを推定し、かつターゲット領域内のターゲット混合物に対する増幅光ビームの半径方向アラインメントを調節し、それによってターゲット領域内のターゲット混合物と駆動軸線の間の相対的な半径方向距離を調節することにより、ターゲット混合物のターゲット材料に対して調節される。

20

【0006】

30

実施は、以下の特徴の1つ又はそれよりも多くを含むことができる。例えば、放出紫外電磁放射線のエネルギーは、極紫外電磁放射線のエネルギーを測定することによって検出することができる。放出紫外電磁放射線のこのエネルギーは、深紫外電磁放射線のエネルギーを測定することによって検出することができる。放出紫外電磁放射線は、極紫外(EUV)電磁放射線とすることができる。

【0007】

ターゲット混合物と駆動軸線間の相対的半径方向アラインメントは、ターゲット領域内のターゲット混合物と駆動軸線の間の半径方向アラインメントを推定することによって推定することができる。

【0008】

40

増幅光ビームの半径方向アラインメントは、ターゲット領域内のターゲット混合物に向けて増幅光ビームをステアリングして移動する1つ又はそれよりも多くの光学要素の位置及び角度の1つ又はそれよりも多くを調節することによってターゲット混合物に対して調節することができる。増幅光ビームをステアリングして移動する1つ又はそれよりも多くの光学要素の位置及び角度の1つ又はそれよりも多くは、増幅光ビームをターゲット領域に向けて向け直す曲面ミラーの位置及び角度の1つ又はそれよりも多くを調節することによって調節することができる。

【0009】

主軸線から半径方向に分離された2つ又はそれよりも多くの異なる位置での放出電磁放射線のエネルギーは、主軸線から半径方向に分離された4つの位置で放出電磁放射線のエネ

50

ルギを測定することによって検出することができる。

【0010】

本方法はまた、増幅光ビームを供給する駆動レーザシステムに向けてターゲット混合物から反射して戻されたレーザビームの光学像を捕捉する段階を含む。ターゲット領域内のターゲット混合物と増幅光ビームの駆動軸線との間の相対的半径方向アラインメントは、捕捉画像を解析することによって少なくとも部分的に推定することができる。

【0011】

2つ又はそれよりも多くの位置での放出電磁放射線のエネルギーは、エネルギーを増幅光ビームのパルス繰返し速度の程度である速度で測定することによって検出することができる。

10

【0012】

増幅光ビームの半径方向アラインメントをターゲット領域においてターゲット混合物に対して調節し、それによってターゲット領域内のターゲット混合物と駆動軸線との間の相対的半径方向距離を低減することができる。

【0013】

検出エネルギーは、第1の1つ又はそれよりも多くの位置で取られた第1の組のエネルギーの第1の全エネルギーと、第2の1つ又はそれよりも多くの位置で取られた第2の組のエネルギーの第2の全エネルギーとの差の値を判断することによって解析することができ、第1の1つ又はそれよりも多くの位置は、第2の1つ又はそれよりも多くの位置とは異なる。第1の全エネルギーは、第1の1つ又はそれよりも多くの位置で取られたエネルギーの合計とすることができ、第2の全エネルギーは、第2の1つ又はそれよりも多くの位置で取られたエネルギーの合計とすることができる。

20

【0014】

検出エネルギーは、差値を2つ又はそれよりも多くの位置の全てで取られたエネルギーのうちの全ての全エネルギーにより正規化することによって解析することができる。

【0015】

相対的半径方向アラインメントは、ターゲット領域内のターゲット混合物と増幅光ビームの駆動軸線との間で主軸線に垂直である第1の方向に沿って取られた半径方向距離を推定することによって推定することができる。相対的半径方向アラインメントは、ターゲット領域内のターゲット混合物と増幅光ビームの駆動軸線との間で第1の方向と主軸線とに垂直である第2の方向に沿って取られた半径方向距離を推定することによって推定することができる。

30

【0016】

別の一般的な態様において、装置は、駆動軸線に沿って進むパルスの増幅光ビームを生成する駆動レーザシステムと、パルスの増幅光ビームをターゲット領域に向けて誘導するビーム送出システムと、ターゲット材料を含むターゲット混合物をターゲット領域に与えるターゲット材料送出システムと、ターゲット領域と交差する主軸線から半径方向に分離され、パルスの増幅光ビームがターゲット混合物と交差した時にプラズマ状態のターゲット材料から放出された紫外電磁放射線のエネルギーを検出するように構成された2つ又はそれよりも多くのセンサと、2つ又はそれよりも多くのセンサからの出力を受け取り、検出エネルギーを解析して解析に基づいてターゲット領域内のターゲット混合物と駆動軸線との間の相対的半径方向アラインメントを推定し、かつ信号をビーム送出システムに出力してターゲット領域内のターゲット混合物に対して増幅光ビームの半径方向アラインメントを調節し、それによってターゲット領域内のターゲット混合物と駆動軸線との間の相対的半径方向距離を調節するように構成されたコントローラとを含む。

40

【0017】

実施は、以下の特徴の1つ又はそれよりも多くを含むことができる。例えば、駆動レーザシステムは、望ましい波長を高い利得で光学的に増幅することができる利得媒体を各々が含む1つ又はそれよりも多くの光増幅器と、励起源と、内部光学系とを含むことができる。利得媒体は、CO<sub>2</sub>を含むことができる。

50

## 【0018】

ビーム送出システムは、増幅光ビームをターゲット領域に集束させる集束光学要素を含むことができる。ターゲット材料送出システムは、ターゲット混合物の流体液滴をターゲット領域に与えるノズルを含むことができる。

## 【0019】

装置はまた、パルスの増幅光ビームがターゲット混合物と交差した時にプラズマ状態のターゲット材料から放出された紫外電磁放射線の少なくとも一部分を捕捉して向け直す放射線コレクターを含むことができる。

## 【0020】

放出紫外電磁放射線は、極紫外電磁放射線を含むことができる。

10

## 【0021】

2つ又はそれよりも多くのセンサは、主軸線から半径方向に分離された少なくとも4つのセンサを含むことができる。すなわち、4つのセンサは、主軸線の周りに角度的に位置決めすることができる。

## 【0022】

2つ又はそれよりも多くのセンサのうちの少なくとも1つは、他のセンサの少なくとも1つを半径方向に分離する距離とは異なる距離によって主軸線から半径方向に分離することができる。2つ又はそれよりも多くのセンサの全ては、同じ距離によって主軸線から半径方向に分離することができ、すなわち、それらは、主軸線から等距離とすることができる。

20

## 【0023】

装置は、ターゲット混合物から駆動レーザシステムに向けて反射して戻されたレーザビームの光学像を捕捉するように構成された撮像デバイスを含むことができる。コントローラはまた、撮像デバイスからの出力を受け取ることができ、かつ撮像デバイスからの受け取った出力にも基づいて相対的半径方向アラインメントを推定するように構成することができる。

## 【0024】

2つ又はそれよりも多くのセンサのサンプリング速度は、駆動レーザシステムのパルス繰返し速度の程度とすることができます。

## 【0025】

別の一般的な態様において、測定システムは、ターゲット領域と交差する主軸線から半径方向に分離され、パルスの増幅光ビームがターゲット混合物と交差した時にターゲット混合物のプラズマ状態のターゲット材料から放出された紫外電磁放射線のエネルギーを検出するように構成された2つ又はそれよりも多くのセンサと、2つ又はそれよりも多くのセンサからの出力を受け取るコントローラとを含む。コントローラは、検出エネルギーを解析して解析に基づいてターゲット領域内のターゲット混合物と増幅光ビームの駆動軸線との間の相対的半径方向アラインメントを推定し、かつ信号をビーム送出システムに出力してターゲット領域内のターゲット混合物に対する増幅光ビームの半径方向アラインメントを調節し、それによってターゲット領域内のターゲット混合物と駆動軸線の間の相対的半径方向距離を調節するように構成される。

30

## 【0026】

実施は、以下の特徴の1つ又はそれよりも多くを含むことができる。例えば、2つ又はそれよりも多くのセンサは、主軸線から半径方向に分離された少なくとも4つのセンサを含むことができる。

## 【0027】

2つ又はそれよりも多くのセンサのうちの少なくとも1つは、他のセンサの少なくとも1つを半径方向に分離する距離とは異なる距離によって主軸線から半径方向に分離することができる。

## 【0028】

測定システムは、増幅光ビーム生成する駆動レーザシステムに向けてターゲット混合物

40

50

から反射して戻されたレーザビームの光学像を捕捉するように構成された撮像デバイスを含むことができる。コントローラはまた、撮像デバイスからの出力を受け取ることができ、かつ撮像デバイスからの受け取った出力に同じく基づいて相対的半径方向アラインメントを推定するように構成される。

【図面の簡単な説明】

【0029】

【図1】レーザ生成プラズマ（LPP）極紫外（EUV）光源のブロック図である。

【図2】図1の光源の例示的なターゲット領域、コレクターミラー、エネルギー検出器、及びターゲット材料供給装置を示す斜視図である。

【図3】図1の光源の測定システムのブロック図である。

10

【図4】図3の測定システムによって実行される手順の流れ図である。

【図5A】コレクターミラーを通過する增幅光ビームの駆動軸線に沿って取られた図2の例示的なコレクターミラー、ターゲット領域、エネルギーセンサ、及びターゲット材料供給装置の図である。

【図5B】コレクターミラーを通過する增幅光ビームの駆動軸線に沿って取られた図2の例示的なコレクターミラー、ターゲット領域、エネルギーセンサ、及びターゲット材料供給装置の図である。

【図5C】コレクターミラーを通過する增幅光ビームの駆動軸線に沿って取られた図2の例示的なコレクターミラー、ターゲット領域、エネルギーセンサ、及びターゲット材料供給装置の図である。

20

【図6】図1及び図2の光源のy方向に沿って取られたビーム送出システム内の要素の位置の関数としての全エネルギーEtotの例示的なグラフである。

【図7】図1及び図2の光源のy方向に沿って取られたビーム送出システム内の要素の位置の関数としての增幅光ビームの駆動軸線とターゲット領域との間の相対的半径方向アラインメントRAyの例示的なグラフである。

【図8】コレクターミラーを通過する增幅光ビームの駆動軸線に沿って取られた図2の例示的なコレクターミラー、ターゲット領域、エネルギーセンサ、及びターゲット材料供給装置の図である。

【発明を実施するための形態】

【0030】

30

図1を参照すると、LPP EUV光源100は、ビーム経路に沿ってターゲット材料114に向けて進む增幅光ビーム110でターゲット材料114をターゲット領域105で照射することによって形成される。增幅光ビーム110の駆動軸線は、ビーム110が不規則に成形され及び/又は非対称である場合があるので、ビーム110のほぼ中心又はビーム110が進んでいる大体の方向と見なすことができる。增幅光ビーム110の駆動軸線は、光ビーム110の光軸と見なすことができる。

【0031】

照射部位とも呼ばれるターゲット領域105は、真空チャンバ130の内部107内にある。增幅光ビーム110がターゲット混合物114に当たった時に、ターゲット混合物114内のターゲット材料は、輝線をEUV範囲に有する元素を有するプラズマ状態に変換される。プラズマ状態内のターゲット混合物114は、従って、EUV放射線を出射し、EUV放射線は、出射EUV放射線を中間フォーカスとも呼ぶ中間位置145に向けて向け直すように構成することができるコレクターミラー135により利用される。

40

【0032】

生じたプラズマは、ターゲット混合物内のターゲット材料の組成に依存するある一定の特性を有する。これらの特性は、プラズマによって生成されるEUV光の波長及びプラズマから放出されるデブリのタイプ及び量を含むことができる。

【0033】

光源100は、ページのz方向と平行である主軸線111から半径方向に分離された2つ又はそれよりも多くのセンサ170を含む。主軸線111は、ターゲット領域105と

50

交差し、かつコレクターミラー 135 の開口 140 からターゲット領域 105 に向けて延びる方向に沿って全体的に延びる。半径方向は、ターゲット領域 105 の区域において主軸線 111 に垂直である平面に沿っている。従って、半径方向は、x 及び y 軸によって定義された平面に沿って延び、2つ又はそれよりも多くのセンサ 170 は、ターゲット領域 105 の区域において主軸線 111 に垂直であるこの平面内にある。センサ 170 は、主軸線 111 周りに位置決めされるが、主軸線 111 から異なる距離にあることができ、互いから等しく離間する必要はない。

【0034】

センサ 170 は、増幅光ビーム 110 がターゲット混合物 114 と交差する時に、プラズマ状態のターゲット材料から出射した EUV 放射線のエネルギーを測定するように構成される。このようにして、センサ 170 は、エネルギーの差を光ビーム 110 周りで上下左右でサンプリングし、光ビーム 110 とターゲット領域 105 の位置関係を判断するように構成される。

【0035】

光源 100 は、出力をエネルギーセンサ 170 から受け取り、この受け取った出力に少なくとも部分的に基づいて解析を行い、かつ増幅光ビーム 110 の駆動軸線とターゲット混合物 114 の間の相対的なアラインメントを判断する主コントローラ 155 も含む。

【0036】

次に、エネルギーセンサ 170 及び主コントローラ 155 に対して更に説明する前に光源 100 の他の特徴を説明する。

【0037】

光源 100 は、ターゲット混合物 114 を液滴、液体流、固体粒子又はクラスター、液滴内に閉じ込められた固体粒子、又は液体流内に閉じ込められた固体粒子の形態で送出、制御、かつ誘導するターゲット材料送出システム 125 を含む。ターゲット材料 114 は、例えば、水、錫、リチウム、キセノン、又はプラズマ状態に変換された時に EUV 範囲の輝線を有するいずれかの材料のようなターゲット材料を含むことができる。例えば、ターゲット材料は、錫とすることができます、これは、純粋な錫 (Sn)、SnBr<sub>4</sub>、SnBr<sub>2</sub>、SnH<sub>4</sub> のような錫化合物、錫ガリウム合金、錫インジウム合金、錫インジウムガリウム合金のような錫合金、又はこれらの合金のあらゆる組合せとすることができます。ターゲット混合物 114 は、非ターゲット粒子のような不純物を含む可能性もある。従って、不純物がない状況では、ターゲット混合物 114 は、ターゲット材料のみから構成される。ターゲット混合物 114 は、ターゲット材料送出システム 125 によってチャンバ 130 の内部 107 の中にかつターゲット領域 105 に送出することができる。

【0038】

光源 100 は、レーザシステム 115 の 1つ又は複数の利得媒体の反転分布によって増幅光ビームを生成する駆動レーザシステム 115 を含む。光源 100 は、レーザシステム 115 とターゲット領域 105 の間でレーザシステム 115 からターゲット領域 105 にビーム 110 を誘導するビーム送出システムを含む。ビーム送出システムは、ビーム搬送システム 120 及び集束アセンブリ 122 を含む。ビーム搬送システム 120 は、増幅光ビーム 110 をレーザシステム 115 から受け取り、増幅光ビーム 110 を必要に応じてステアリング及び修正して増幅光ビーム 110 を集束アセンブリ 122 に出力する。集束アセンブリ 122 は、増幅光ビーム 110 を受け取って、ビーム 110 をターゲット領域 105 に集束させる。集束アセンブリ 122 はまた、ビーム 110 をステアリングするか、又はビーム 110 の位置をターゲット領域 105 に対して調節することができる。

【0039】

一部の実施において、レーザシステム 115 は、1つ又はそれよりも多くの主パルス、及び一部の場合に 1つ又はそれよりも多くのプレパルスを供給する 1つ又はそれよりも多くの光増幅器、レーザ、及び / 又はランプを含むことができる。各光増幅器は、望ましい波長を高い利得で光学的に増幅することができる利得媒体と、励起源と、内部光学系とを含む。光増幅器は、レーザ空洞を形成するレーザミラー又は他のフィードバックデバイス

10

20

30

40

50

を有する場合もあれば、有していない場合もある。従って、レーザシステム 115 は、たとえレーザ空洞がなくても、増幅光ビーム 110 をレーザ増幅器の利得媒体内の反転分布によって生成する。更に、レーザシステム 115 は、十分なフィードバックをレーザシステム 115 に供給するレーザ空洞がある場合には、コヒーレントレーザビームである増幅光ビーム 110 を生成することができる。「増幅光ビーム」という用語は、単に増幅されるが必ずしもコヒーレントレーザ発振であるわけではないレーザシステム 115 からの光、及び増幅されかつコヒーレントレーザ発振でもあるレーザシステム 115 からの光（駆動レーザビームと呼ぶことができる）のうちの 1 つ又はそれよりも多くのを包含する。

#### 【0040】

レーザシステム 115 内の光増幅器は、CO<sub>2</sub>を含む充填ガスを利得媒体として含むことができ、光を約 9100 と約 11000 nm の間の波長、特に、約 10600 nm で 1000 よりも大きいか又はそれに等しい利得で増幅することができる。レーザシステム 115 に使用される適切な増幅器及びレーザは、レーザデバイス、例えば、比較的高電力、例えば、10 kW 又はそれよりも高く、かつ高いパルス繰返し速度、例えば、50 kHz 又はそれよりも高く作動し、放射線を例えば約 9300 nm 又は約 10600 nm で DC 又は RF 励起で生成するパルスガス放電 CO<sub>2</sub> レーザデバイスを含むことができる。レーザシステム 115 内の光増幅器は、より高い電力でレーザシステム 115 を作動する時に使用することができる水のような冷却システムを含むことができる。

#### 【0041】

コレクターミラー 135 は、増幅光ビーム 110 が通過してターゲット領域 105 に到達することを可能にする開口 140 を含む。コレクターミラー 135 は、例えば、ターゲット領域 105 での第 1 焦点と、EUV 光を光源 100 から出力することができ、かつ例えば集積回路リソグラフィツール（図示せず）に入力することができる中間位置 145 での第 2 焦点（中間焦点とも呼ばれる）とを有する機能面ミラーとすることができる。

#### 【0042】

主コントローラ 155 はまた、レーザ制御システム 157 及びビーム制御システム 158 に接続される。主コントローラ 155 は、従って、レーザ位置、方向、及びタイミング補正信号を例えばレーザ制御システム 157 及びビーム制御システム 158 に与えることができ、レーザ制御システム 157 は、補正信号を使用してレーザタイミング回路を制御することができる。ビーム制御システム 158 は、補正信号を使用して、チャンバ 130 内のビーム焦点の位置及び／又は集束力を変えるようにビーム搬送システム 120 の増幅光ビーム位置及び形状を制御することができる。

#### 【0043】

光源 100 は、例えばターゲット領域 105 に対する液滴の位置を示す出力を与え、かつこの出力を主コントローラ 155 に与える 1 つ又はそれよりも多くのターゲット又は液滴撮像器 160 を含むことができ、主コントローラ 155 は、例えば、液滴位置誤差を液滴単位で又は平均して計算することができる液滴位置及び軌道を計算することができる。

#### 【0044】

ターゲット材料送出システム 125 は、主コントローラ 155 からの信号に応答して、例えば、望ましいターゲット領域 105 に到達する液滴における誤差を補正するようにターゲット材料供給装置 127 によって放出されるような液滴の放出点を修正するように作動可能であるターゲット材料送出制御システム 126 を含む。

#### 【0045】

更に、光源 100 は、ターゲット領域 105 内のターゲット混合物 114 から反射された光を見るために使用することができる 1 つ又はそれよりも多くの光検出器 165 を含むことができる。別の試験レーザ（ターゲット領域 105 に向けて誘導される He - Ne レーザのような）からのターゲット混合物 114 から反射された光を検出するために、1 つ又はそれよりも多くの光検出器 165 をチャンバ 130 内に置くことができる（図 1 に示すように）。他の実施において、増幅光ビーム又はターゲット混合物 114 から後方反射された案内レーザビーム（案内レーザ 175 からの）を検出するために、1 つ又はそれよ

10

20

30

40

50

りも多くの光検出器 165 を駆動レーザシステム 115 の近くに置くことができる。

【0046】

光源 100 はまた、光源 100 の様々な部分を位置合わせするか又は增幅光ビーム 110 をターゲット領域 105 にステアリングするのを補助するのに使用することができる案内レーザ 175 を含むことができる。案内レーザ 175 に関連して、光源 100 は、案内レーザ 175 から光の一部分及び增幅光ビーム 110 をサンプリングするために集束アセンブリ 122 内に置かれたサンプリング装置 124 を含む。他の実施において、サンプリング装置 124 は、ビーム搬送システム 120 内に置かれる。サンプリング装置 124 は、光の部分集合をサンプリング又は向け直す光学要素を含むことができ、このような光学要素は、案内レーザビーム及び增幅光ビーム 110 の電力に耐えることができるあらゆる材料から製造される。サンプリング装置 124 は、サンプリングされた光の診断部分の画像を捕捉する光センサを含むことができ、光センサは、診断を目的として主コントローラ 155 によって使用することができる画像信号を出力することができる。このようなサンプリング装置 124 の例は、その全体が引用により本明細書に組み込まれている 2011 年 6 月 16 日公開の米国特許公開第 2011/0141865 号明細書に見出される。

【0047】

測定システムは、エネルギーセンサ 170 及び主コントローラ 155 から少なくとも部分的に形成される。測定システムはまた、サンプリング装置 124、ターゲット撮像器 160、及び 1 つ又はそれよりも多くの光検出器 165 を含むことができる。主コントローラ 155 は、エネルギーセンサ 170 からの出力を解析し（かつターゲット撮像器 160 及び光検出器 165 からの出力を解析することができ）、かつこの情報を使用して、以下で更に説明するように、ビーム制御システム 158 を通じて集束アセンブリ 122 又はビーム搬送システム 120 内の構成要素を調節する。

【0048】

すなわち、要約すると、光源 100 は、駆動軸線に沿って誘導される增幅光ビーム 110 を生成し、これは、ターゲット混合物 114 をターゲット領域 105 で照射して混合物 114 内のターゲット材料を EUV 範囲の光を出射するプラズマに変換する。增幅光ビーム 110 は、レーザシステム 115 の設計及び特性に基づいて判断される特定の波長（光源波長とも呼ばれる）で作動する。更に、增幅光ビーム 110 は、ターゲット材料がコヒーレントなレーザ光を生成するのに十分なフィードバックをレーザシステム 115 に提供して戻す時か、又は駆動レーザシステム 115 がレーザ空洞を形成する適切な光学的フィードバックを含む場合にはレーザビームとすることができます。

【0049】

図 2 を参照すると、光源 100 は、例示的な実施において、ターゲット領域 205、コレクターミラー 235、エネルギーセンサ 270、及びターゲット材料供給装置 227 を含む。この実施において、エネルギーセンサ 270 は、4 つのエネルギーセンサ 271、272、273、274 を含む。ターゲット材料供給装置 227 は、ターゲット混合物 214 の液滴を 10,000 個 / 秒を超える速度でターゲット領域 205 に生成することができ、ターゲット混合物 214 の液滴は、約 20 m / sec の速度で進むことができる。液滴のサイズは、幅が約 10 μm 又はこれよりも大きいとすることができます。コレクターミラー 235 は、レーザシステム 115 からの增幅光ビーム 210 がコレクターミラー 235 を通過してターゲット領域 205 と交差することを可能にする開口 240 を含む。

【0050】

この実施において、エネルギーセンサ 270 は、主軸線 211（これは、z 方向と平行である）から半径方向に分離され、かつ軸線周りに角度的に配置される。すなわち、エネルギーセンサ 270 は、主軸線 211 に垂直である平面に置かれ、かつ主軸線 211 周りに角度をつけて置くことができる。エネルギーセンサ 270 の各々（特に、センサ 271、272、273、274）は、主軸線 211 からある一定の半径方向距離に位置決めすることができ、特定のセンサ（例えば、センサ 271）の半径方向距離は、主軸線 211 からの別のセンサ（例えば、センサ 272、273、274 のいずれか）の半径方向距離と異な

る場合がある。各エネルギーセンサ 270 は、紫外領域の電磁放射線のエネルギーを観測かつ測定することができるあらゆるセンサとすることができる。従って、一部の実施において、エネルギーセンサ 270 は、フォトダイオードであり、他の実施においては、エネルギーセンサ 270 は、光電子増倍管である。

【0051】

エネルギーセンサ 270 は、EUV 光生成中に使用される前に、エネルギーセンサ 270 の相対感度を判断するために主軸線 211 上で（すなわち、ターゲット領域 205 で）既知の信号を用いて較正される。較正情報は、記憶され、かつ解析中に主コントローラ 155 によって使用される。較正のために、エネルギーセンサ 270 が主軸線 211 から半径方向に等距離であることは必要ではない。

10

【0052】

增幅光ビーム 210 は、ターゲット領域 205 でターゲット材料 214 と交差するよう 20 にターゲット領域 205 に向けて案内され、光源 100 は、交差時間及び面積オーバーラップが十分に大きい場合に十分な EUV 放射線を生成することができる。例えば、一部の実施において、增幅光ビーム 210 がターゲット材料 214 の液滴と交差する時間は、約 1 ~ 10 μs の間とすることができます。一般的に、增幅光ビーム 210 の駆動軸線 212 は、有効量の EUV 放射線をターゲット領域 205 で生成するためにターゲット領域 205 から特定の半径方向距離内にあるべきである。しかし、駆動軸線 212 を有効量の EUV 放射線を生成するように位置決めすることができる半径方向距離の許容可能な範囲がある場合がある。光源 100 は、ターゲット領域 205 に向けて增幅光ビーム 210 の照準を合わせるように構成することができる。ただし最終的には、駆動軸線 212 のアラインメントは、少なくとも最小量の EUV 放射線を生成する駆動軸線 212 の方向及び角度であるように主コントローラ 155 により判断され、このアラインメントは、主軸線 211 又はターゲット領域 205 の中心と一致しない場合がある。

20

【0053】

図 3 を参照すると、測定システム 300 は、駆動軸線 212 をターゲット領域 205 に 30 対して位置合わせして有効量の EUV 放射線を生成するために使用される。この目的のために、測定システム 300 は、エネルギーセンサ 170（例えば、エネルギーセンサ 270 のような）を含み、その出力は、主コントローラ 155 のアラインメント制御モジュール 305 に供給される。主コントローラ 155、特に、アラインメント制御モジュール 305 は、図 4 に関して以下に説明する手順を実行し、1 つ又は複数の信号をビーム制御システム 158 に送ってビーム搬送システム 120 及び集束アセンブリ 122 のうちの 1 つ又はそれよりも多くにおける要素を調節することにより、ターゲット領域 105 に対する增幅光ビーム 110 の駆動軸線の位置又は角度のうちの 1 つ又はそれよりも多くを調節する。有効量の EUV 放射線は、1 μm ほども小さい增幅光ビーム 110 の駆動軸線とターゲット領域 205 との間のオフセットの値に対して実質的に落ちる可能性がある。従って、測定システム 300 は、0.1 から 50 μm の程度の相対的半径方向アラインメントの調節を行うために使用することができる。

30

【0054】

要件ではないが、測定システム 300 は、他の機能を実行する他の構成要素を含むことができる。例えば、測定システム 300 は、サンプリング装置 124 を含み、これは、米国特許公開第 2011/0141865 号明細書により詳細に説明されているように、主コントローラ 155 のオーバーラップ制御モジュール 310 によって使用されて画像信号の特徴を計算し、かつビーム搬送システム 120 及び集束アセンブリ 122 のうちの 1 つ又はそれよりも多くにおける要素を調整するための信号をビーム制御システム 158 に送ることができる画像信号を出力する。

40

【0055】

別の例として、測定システム 300 は、光検出器 165 からの出力及び任意的にエネルギーセンサ 170 からの出力を受け取って解析し、解析に基づいて增幅光ビーム 110 のパルスの発射のタイミングを調節する方法を判断するレーザトリガ制御モジュール 315 を

50

含む。レーザトリガ制御モジュール 315 は、解析の結果に応じて、発射時間及び速度を調節する信号をレーザ制御システム 157 に出力する。

【0056】

更に別の例として、測定システム 300 は、液滴位置誤差を液滴単位で又は平均で計算することができる液滴位置及び軌道を計算する液滴位置モジュール 320 を含む。液滴位置モジュール 320 は、こうして液滴位置偏差を判断する。すなわち、モジュール 320 の出力は、ターゲット材料送出制御システム 126 内に供給することができ、これは、この出力を使用して、ターゲット領域 105 内のターゲット材料 114 の位置又は方向を調節するか、又はターゲット材料供給装置 127 から出力されるターゲット材料 114 のタイミング又は速度を調節することができる。モジュール 320 の出力は、ビーム搬送システム 120 及び集束アセンブリ 122 のうちの 1 つ又はそれよりも多くにおける要素を必要に応じて調整又は調節するビーム制御システム 15 内に供給することができる。10

【0057】

図 4 を参照すると、測定システム 300 は、增幅光ビーム 110 の半径方向アラインメントをターゲット混合物 114 に対して調節する手順 400 を実行する。光源 100 の初期設定の後に、主コントローラ 155 は、增幅光ビーム 110 を駆動レーザシステム 115 から駆動軸線に沿ってターゲット混合物 114 が位置するターゲット領域 105 に向けて誘導する信号をレーザ制御システム 157 及びビーム制御システム 158 に送る（段階 405）。ターゲット混合物 114 内のターゲット材料の少なくとも一部分は、紫外（例えば、EUV）電磁放射線を放出するプラズマ状態に変換される。20

【0058】

次に、エネルギーセンサ 170 は、プラズマ状態のターゲット材料 114 から放出される EUV 電磁放射線のエネルギーを検出し、主コントローラ 155 は、出力（感知されたエネルギー）をエネルギーセンサ 170 の各々から受け取る（段階 410）。主コントローラ 155 は、感知エネルギーを解析する（段階 415）。図 2 に示す実施において、主コントローラ 155 に対して、エネルギーセンサ 271 は、感知エネルギー E1 を出力し、エネルギーセンサ 272 は、感知エネルギー E2 を出力し、エネルギーセンサ 273 は、感知エネルギー E3 を出力し、エネルギーセンサ 274 は、感知エネルギー E4 を出力する。主コントローラ 155 は、解析された感知エネルギーに基づいて相対的半径方向アラインメント RA を推定する（段階 420）。1 つの例示的な実施において、主コントローラ 155 は、y 方向の相対的半径方向アラインメント（RAy）を以下の計算に基づいて推定する。30

【0059】

【数 1】

$$RAy = \frac{(E1+E2)-(E3+E4)}{E1+E2+E3+E4}$$

【0060】

図 6 も参照すると、例示的なグラフ 600 は、エネルギーセンサの全てから取られたエネルギーの全エネルギー E<sub>tot</sub> を示し、図 2 に示す実施において、y 方向に沿って取られたビーム送出システム内の要素の位置の関数として E<sub>tot</sub> = E1 + E2 + E3 + E4 である。40

【0061】

図 7 も参照すると、例示的なグラフ 700 は、增幅光ビームの駆動軸線とターゲット領域との間の相対的半径方向アラインメント RAy を y 方向に沿って取られたビーム送出システム内の調節可能な要素の位置の関数として示している。增幅光ビーム 110 がビーム送出システム内の調節可能な要素と相互作用するので、要素の調節により、增幅光ビームは、ターゲット領域に対して横断方向に又は角度的に移動される。相対的半径方向アラインメント RAy は、要素が y 方向に沿って調節される時に、変曲値 705 を通過する経路を辿る。変曲値 705 は、增幅光ビームが y 方向にエネルギーセンサ 271 及び 272 間及びエネルギーセンサ 274 及び 273 間でほぼ等距離である点を示している。增幅光ビーム50

が  $y$  方向に等距離の値からオフセットしているので、相対的半径方向アラインメント  $RA_y$  は、変曲値 705 から離れる経路を辿る。

【0062】

すなわち、 $RA_y$  信号は、增幅光ビーム 210 の駆動軸線 212 のターゲット領域 205 からのオフセット（これは、主軸線 211 により表すことができる）を判断するのに使用することができる。例えば、図 5A に示すように、駆動軸線 212 は、エネルギーセンサ 271 及び 274 により近く、従って、 $RA_y$  は、変曲値 705 よりも大きく、それぞれエネルギーセンサ 271、274 からのエネルギー信号  $E_1$  及び  $E_4$  が、それぞれエネルギーセンサ 272、273 からのエネルギー信号  $E_2$  及び  $E_3$  よりも大きいことを示している。別の例として、図 5B に示すように、駆動軸線 212 は、エネルギーセンサ 272 及び 273 により近く、従って、 $RA_y$  は、変曲値 705 を下回り、従って、エネルギー信号  $E_2$  及び  $E_3$  がエネルギー信号  $E_1$  及び  $E_4$  よりも大きいことを示している。図 5C を参照すると、駆動軸線 212 は、エネルギーセンサ 273 及び 274 から  $y$  方向に沿ってほぼ等距離にあり、かつエネルギーセンサ 271 及び 272 から  $y$  方向に沿ってほぼ等距離にある。従って、 $RA_y$  は、変曲値 705 に近づく。

10

【0063】

エネルギーセンサ 271、272、273、274 が、 $y$  方向に完全に位置合わせされ、かつ主軸線 211 に沿った信号が、等しいエネルギーをエネルギーセンサ 271、272、273、274 の各々に供給するように較正された場合に、 $RA_y$  の変曲値 705 は 0 に近づくであろう。

20

【0064】

次に、主コントローラ 155 は、增幅光ビームの方向をターゲット領域 105 に対して調節する（段階 425）。主コントローラ 155 は、ビーム送出システム内の 1つ又はそれよりも多くの要素の位置を調節し、それによって增幅光ビーム 110 の位置及び / 又は角度をターゲット領域 105 に対して調節する方法を判断することによってこれを行う。その後に、主コントローラ 155 は、增幅光ビームの位置及び / 又は角度を制御する 1つ又はそれよりも多くの要素に結合されたアクチュエータを調節するビーム制御システム 158 に信号を送る。このようにして、ターゲット混合物と增幅光ビームの駆動軸線との間の相対的半径方向距離が調節される。また、これにより、プラズマ状態のターゲット材料から出射した EUV 電磁放射線出力の全エネルギーを改善することができる。

30

【0065】

例えば、ビーム送出システム内の要素は、 $y$  方向に沿って調節される時に、駆動軸線 212 とターゲット領域 205 との間の相対的なアラインメントを変える（これは、主軸線 211 により表される）。全エネルギー  $E_{tot}$  は、要素の特定の位置 605 に対して最大値に到達する。従って、ビーム送出システム内の要素の位置を調節することにより、ターゲット混合物と增幅光ビームの駆動軸線との間の相対的半径方向距離も調節され、それによってプラズマ状態のターゲット材料によって放出される EUV 放射線を増大させてより多くの EUV 光を光源 100 から生成する。

【0066】

調節することができる 1つ又は複数の要素は、集束アセンブリ 122 内の最終集束レンズ及びミラーのうちの 1つ又はそれよりも多くとすることができます。このような要素及びそれらの調節の例は、2011年6月16日公開の米国特許公開第 2011/0140008 号明細書に見ることができ、この特許は、全体が引用により本明細書に組み込まれている。他の実施において、調節することができる要素は、集束アセンブリ 122 内の最終集束曲面ミラーとすることができます。このような要素の例は、2066年10月5日公開の米国特許公開第 200670219957 号明細書に見ことができ、この特許は、全体が引用により本明細書に組み込まれている。

40

【0067】

別の例として及び図 2 を参照すると、曲面ミラー 223 は、ミラー 223 を  $y$  又は  $x$  方向のうちの 1つ又はそれよりも多くに沿って平行移動させることにより、又はミラー 22

50

3をx又はy方向周りに回転させることによって調節することができる。

【0068】

調節することができる要素は、ビーム搬送システム120又は集束アセンブリ122内のミラー、曲面ミラー、レンズ、又はあらゆる他の構成要素とすることができます。このような要素の例は、米国特許公開第2011/0140008号明細書に説明されたビーム搬送システムに見ることができる。

【0069】

以上の内容ではy方向に沿った調節の例を提供したが、相対的半径方向アラインメントは、x方向に沿って又はx及びyの両方向に沿って調節することができる。例えば、x方向に沿った相対的半径方向アラインメントRAxは、以下の例示的な式により与えることができる。

【0070】

【数2】

$$RAx = \frac{(E1+E2)-(E3+E4)}{(E1+E2+E3+E4)}$$

【0071】

更に、上述の方法以外に相対的半径方向アラインメントをx又はy方向において計算する方法があると考えられる。エネルギーセンサ271、272、273、274は、図2に示すものと異なる角度位置に沿って置くことができ、かつこれらの角度位置に限定されない。例えば、エネルギーセンサ271、272、273、274は、図8に示すように置くことができる。1つの方向に沿った相対的半径方向アラインメントだけを知る必要がある場合には、2つほどまでに少ないエネルギーセンサを使用することができる。

【0072】

上述の測定システム300は、光データのみを使用して増幅光ビームのアラインメントを判断する測定システムよりも高いサンプリング速度を可能にする。例えば、測定システム300は、ターゲット領域でターゲット混合物の液滴当たり1つのサンプル（相対的半径方向アラインメントRAがサンプルにおいて判断される）の割合で作動することができる。更に、エネルギーセンサ170の範囲及び感度は、アラインメントを判断するのに使用される従来の光検出器の範囲及び感度よりも大きい。

【0073】

相対的半径方向アラインメントを調節することにより、EUV生成を増大させることができ、光源100は、エネルギーセンサに依存する測定システム300を欠く従来のシステムよりも大きい効率で作動させることができる。

【0074】

他の実施も、以下の特許請求の範囲内である。

【符号の説明】

【0075】

155 主コントローラ

205 ターゲット領域

210 光ビーム

235 コレクターミラー

240 開口

10

20

30

40

【 図 1 】

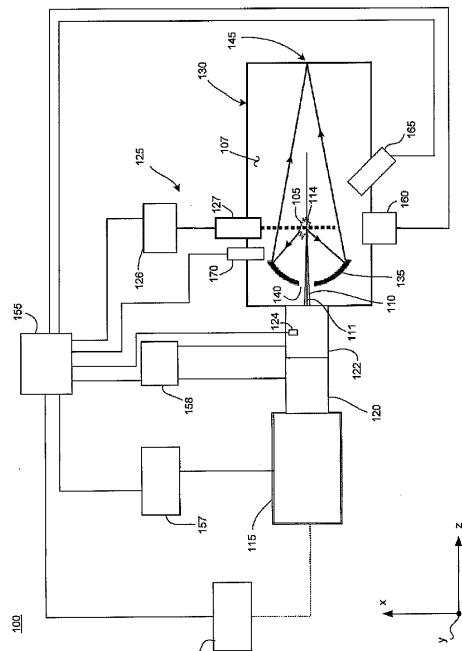


Fig. 1

【 図 2 】

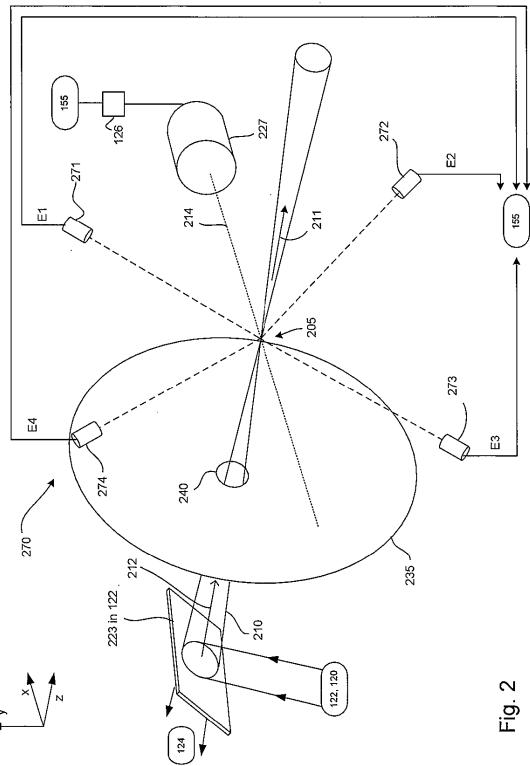


Fig. 2

【図3】

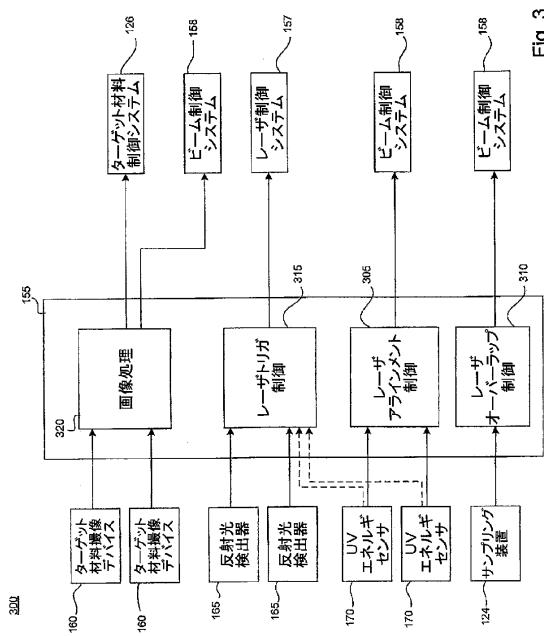


Fig. 3

### 【図4】

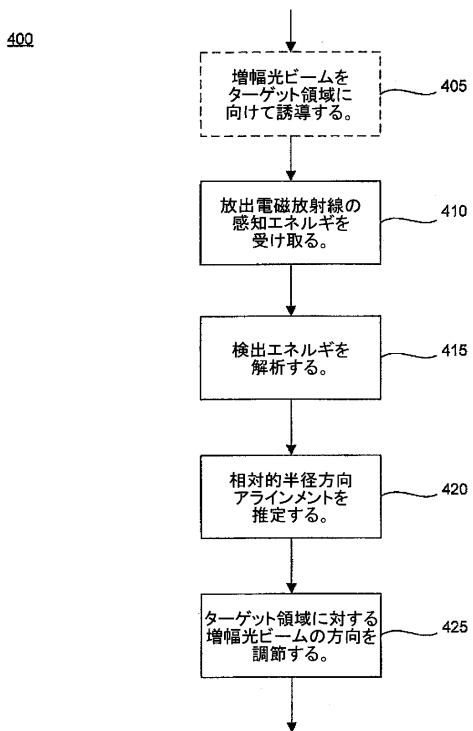


Fig. 4

【図 5 A】

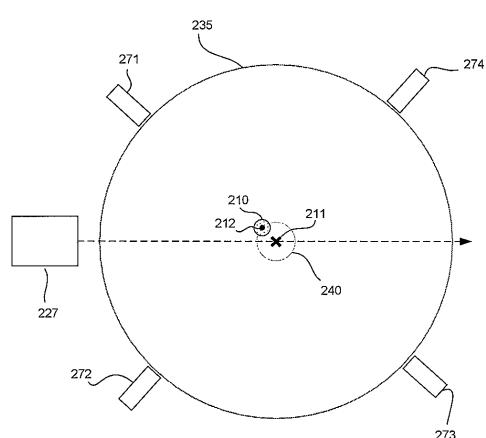


Fig. 5A

【図 5 B】

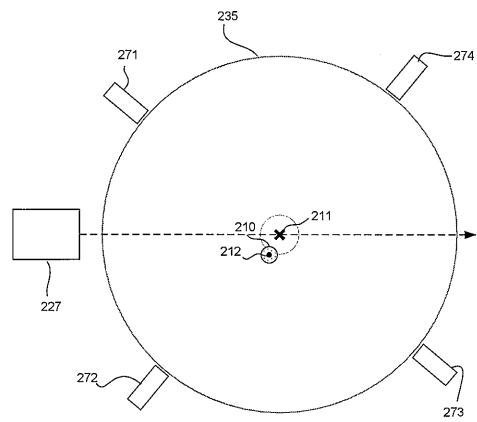


Fig. 5B

【図 5 C】

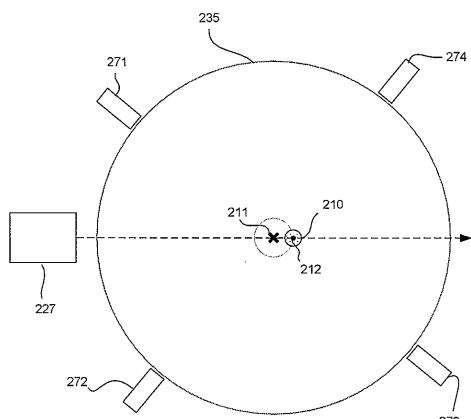


Fig. 5C

【図 6】

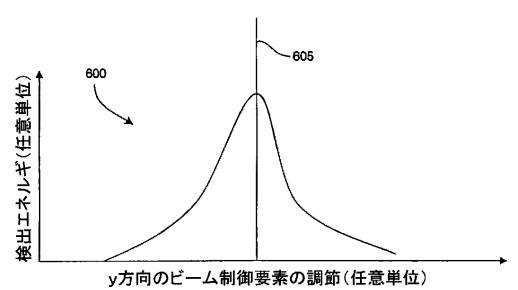


Fig. 6

【図 7】

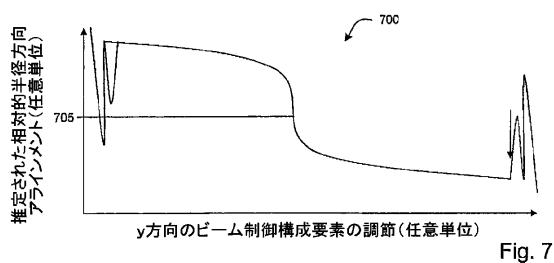


Fig. 7

【図8】

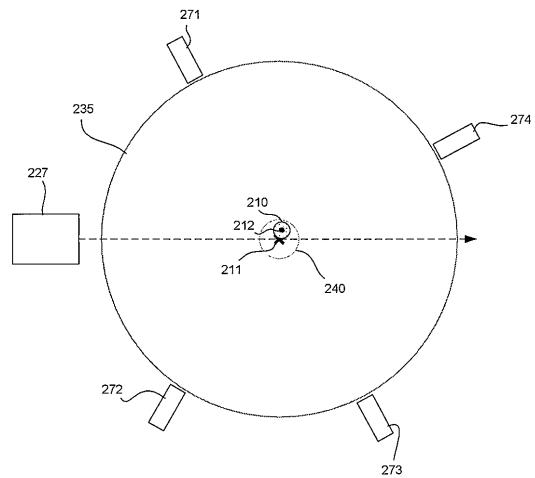
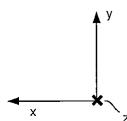


Fig. 8



---

フロントページの続き

前置審査

(72)発明者 チャン スティーヴン  
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 92127 サンディエゴ ソーンミント コート 17  
075

(72)発明者 クラウチ ジェイムズ エイチ  
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 92127 サンディエゴ ソーンミント コート 17  
075

(72)発明者 フォーメンコフ イゴー ヴィー  
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 92127 サンディエゴ ソーンミント コート 17  
075

審査官 原 俊文

(56)参考文献 特表2007-528607(JP, A)  
米国特許出願公開第2011/0140008(US, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
H05G 2/00