

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5863955号
(P5863955)

(45) 発行日 平成28年2月17日(2016.2.17)

(24) 登録日 平成28年1月8日(2016.1.8)

(51) Int.Cl.	F I
H05G 2/00 (2006.01)	H05G 2/00 K
H01L 21/027 (2006.01)	H01L 21/30 531S

請求項の数 12 (全 30 頁)

(21) 出願番号	特願2014-511364 (P2014-511364)	(73) 特許権者	504151804
(86) (22) 出願日	平成24年3月29日 (2012.3.29)		エーエスエムエル ネザーランズ ビー.
(65) 公表番号	特表2014-519682 (P2014-519682A)		ブイ.
(43) 公表日	平成26年8月14日 (2014.8.14)		オランダ国 ヴェルトホーフェン 550
(86) 国際出願番号	PCT/US2012/031257		0 エーエイチ, ビー. オー. ボックス
(87) 国際公開番号	W02013/077901		324
(87) 国際公開日	平成25年5月30日 (2013.5.30)	(74) 代理人	100079108
審査請求日	平成27年3月25日 (2015.3.25)		弁理士 稲葉 良幸
(31) 優先権主張番号	13/107,804	(74) 代理人	100109346
(32) 優先日	平成23年5月13日 (2011.5.13)		弁理士 大貫 敏史
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(72) 発明者	ラジャグル チラグ
早期審査対象出願			アメリカ合衆国 カリフォルニア州 92
			127 サン ディエゴ ソーンミニント
			コート 17075
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 アクチュエータ誘導式ノズル洗浄を備えた液滴発生器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

照射領域に向けられるレーザービームを生成するシステムと、オリフィスを出る流体及び前記流体内に外乱を生成する電気作動式要素を有するサブシステムを含む液滴供給源と、を備えるデバイスであって、

前記電気作動式要素は、EUV放射線を発生させる照射のための液滴を生成する第1の波形と、汚損物質を前記オリフィスから除去するための前記第1の波形と異なる第2の波形と、によって駆動され、前記第1の波形によって生成された前記液滴は、前記液滴が前記照射領域に進む時に少なくとも一部の隣接した液滴を合体させる異なる初期速度を有し、

前記第1の波形は、前記第2の波形よりも低い周期的周波数を有する、デバイス。

【請求項 2】

照射領域に向けられるレーザービームを生成するシステムと、オリフィスを出る流体及び前記流体内に外乱を生成する電気作動式要素を有するサブシステムを含む液滴供給源と、を備えるデバイスであって、

前記電気作動式要素は、EUV放射線を発生させる照射のための液滴を生成する第1の波形と、汚損物質を前記オリフィスから除去するための前記第1の波形と異なる第2の波形と、によって駆動され、前記第1の波形によって生成された前記液滴は、前記液滴が前記照射領域に進む時に少なくとも一部の隣接した液滴を合体させる異なる初期速度を有し、

10

20

前記第 1 の波形は、前記第 2 の波形と異なる周期的形状を有する、デバイス。

【請求項 3】

照射領域に向けられるレーザビームを生成するシステムと、オリフィスを出る流体及び前記流体内に外乱を生成する電気作動式要素を有するサブシステムを含む液滴供給源と、を備えるデバイスであって、

前記電気作動式要素は、EUV放射線を発生させる照射のための液滴を生成する第 1 の波形と、汚損物質を前記オリフィスから除去するための前記第 1 の波形と異なる第 2 の波形と、によって駆動され、前記第 1 の波形によって生成された前記液滴は、前記液滴が前記照射領域に進む時に少なくとも一部の隣接した液滴を合体させる異なる初期速度を有し、

10

前記第 1 の波形は、前記第 2 の波形よりも小さいピーク振幅を有する、デバイス。

【請求項 4】

前記第 1 の波形は、一連の電気パルスを含み、各電気パルスが、基本周波数及び該基本周波数の少なくとも 1 つの高調波を発生させるのに十分に短い立上り時間及び十分に短い立下り時間のうちの少なくとも一方を有する、請求項 1 から 3 の何れか一項に記載のデバイス。

【請求項 5】

前記オリフィスは、チューブの一端に形成され、前記電気作動式要素は、リング形状であり、かつ該チューブの円周を取り囲むように位置決めされる、請求項 1 から 4 の何れか一項に記載のデバイス。

20

【請求項 6】

前記第 1 の波形は、方形波、矩形波、及びピークを有する非正弦波から構成される波形の群から選択される、請求項 1 から 5 の何れか一項に記載のデバイス。

【請求項 7】

前記ピークを有する非正弦波は、高速パルス波形、高速ランプ波形、及びシンク関数波形から構成される波形の群から選択される、請求項 6 に記載のデバイス。

【請求項 8】

前記第 1 の波形は、周波数変調波形及び振幅変調波形から構成される変調波形の群から選択された波形を含む、請求項 1 から 7 の何れか一項に記載のデバイス。

【請求項 9】

照射領域にレーザビームを向ける段階と、

オリフィスを出る流体と、前記流体内に外乱を生成する電気作動式要素を有するサブシステムと、を含む液滴供給源を与える段階と、

第 1 の波形で前記電気作動式要素を駆動し、前記レーザビームによる照射のための液滴を生成してEUV放射線を発生させ、前記液滴は、前記照射領域に進む時に少なくとも一部の隣接した液滴を合体させる異なる初期速度を有する段階と、

前記第 1 の波形と異なる第 2 の波形で前記電気作動式要素を駆動し、汚損物質を前記オリフィスから除去する段階と、を含み、

前記第 1 の波形は、前記第 2 の波形よりも低い周期的周波数を有する、方法。

【請求項 10】

照射領域にレーザビームを向ける段階と、

オリフィスを出る流体と、前記流体内に外乱を生成する電気作動式要素を有するサブシステムと、を含む液滴供給源を与える段階と、

第 1 の波形で前記電気作動式要素を駆動し、前記レーザビームによる照射のための液滴を生成してEUV放射線を発生させ、前記液滴は、前記照射領域に進む時に少なくとも一部の隣接した液滴を合体させる異なる初期速度を有する段階と、

前記第 1 の波形と異なる第 2 の波形で前記電気作動式要素を駆動し、汚損物質を前記オリフィスから除去する段階と、を含み、

前記第 1 の波形は、前記第 2 の波形と異なる周期的形状を有する、方法。

【請求項 11】

50

照射領域にレーザービームを向ける段階と、
オリフィスを出る流体と、前記流体内に外乱を生成する電気作動式要素を有するサブシ
ステムと、を含む液滴供給源を与える段階と、

第 1 の波形で前記電気作動式要素を駆動し、前記レーザービームによる照射のための液滴
を生成して E U V 放射線が発生させ、前記液滴は、前記照射領域に進む時に少なくとも一
部の隣接した液滴を合体させる異なる初期速度を有する段階と、

前記第 1 の波形と異なる第 2 の波形で前記電気作動式要素を駆動し、汚損物質を前記オ
リフィスから除去する段階と、を含み、

前記第 1 の波形は、前記第 2 の波形よりも小さい振幅を有する、方法。

【請求項 1 2】

前記第 1 の波形は、一連のパルス外乱を含み、各パルス外乱が、基本周波数及び該基本周波数の少なくとも 1 つの高調波が発生させるのに十分に短い立上り時間及び十分に短い立下り時間のうちの少なくとも一方を有する、請求項 9 から 1 1 の何れか一項に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

〔関連出願への相互参照〕

本出願は、代理人整理番号 2 0 1 1 - 0 0 0 5 - 0 1 である 2 0 1 1 年 5 月 1 3 日出願の「アクチュエータ誘導式ノズル洗浄を備えた液滴発生器」という名称の米国一般特許出願出願番号第 1 3 / 1 0 7 , 8 0 4 号に対する優先権を請求するものであり、この特許の内容全体は、引用により本明細書に組み込まれている。

【0 0 0 2】

本出願はまた、代理人整理番号 2 0 0 8 - 0 0 5 5 - 0 1 である 2 0 1 0 年 3 月 1 0 日出願の U S 2 0 1 0 - 0 2 9 4 9 5 3 - A 1 として 2 0 1 0 年 1 1 月 2 5 日公開の「レーザー生成プラズマ E U V 光源」という名称の米国特許出願出願番号第 1 2 / 7 2 1 , 3 1 7 号、代理人整理番号 2 0 0 5 - 0 1 0 2 - 0 1 である 2 0 0 6 年 2 月 2 1 日出願の「E U V 光源原材料分注器」という名称の米国特許出願出願番号第 1 1 / 3 5 8 , 9 8 3 号、及び代理人整理番号 2 0 0 7 - 0 0 3 0 - 0 1 である 2 0 0 7 年 7 月 1 3 日出願の「変調外乱波を使用して発生した液滴流を有するレーザー生成プラズマ E U V 光源」という名称の米国特許出願出願番号第 1 1 / 8 2 7 , 8 0 3 号に関連し、これらの特許の開示内容全体は、引用により本明細書に組み込まれている。

【0 0 0 3】

本出願は、極紫外線 (E U V) 光源及びそれらの作動の方法に関する。これらの光源は、原材料からプラズマを生成することによって E U V 光を供給する。1 つの用途では、E U V 光は、集光され、半導体集積回路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。

【背景技術】

【0 0 0 4】

E U V 光のパターン化されたビームを使用して、シリコンウェーハのようなレジスト被覆基板を露光させ、基板内に極めて小さい特徴部を生成することができる。極紫外線 (時には軟 X 線とも呼ばれる) は、一般的に、約 5 から 1 0 0 n m の範囲の波長を有する電磁放射線として定義される。フォトリソグラフィに関連する 1 つの特定の波長は、1 3 . 5 n m で発生し、1 3 . 5 n m システムのための「帯域内 E U V」と一般的に呼ばれる 1 3 . 5 n m \pm 2 % の範囲の光を生成する努力が現在進行中である。

【0 0 0 5】

E U V 光を生成する方法には、輝線を E U V 範囲に有する化学元素を有する原材料のプラズマ状態への変換があるが、必ずしもこれらに限定されない。これらの元素には、キセノン、リチウム、及び錫を含むことができるが、必ずしもこれらに限定されない。

【0 0 0 6】

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は、例えば、液滴、流れ、又はワイヤの形態の原材料にレーザビームを照射することによって所要のプラズマを生成することができる。放電生成プラズマ（DPP）と呼ぶことが多い別の方法は、1対の電極間にEUV輝線を有する原材料を位置決めし、放電を電極間に発生させることによって所要のプラズマを生成することができる。

【0007】

上述したように、EUV光を生成する1つの技術は、原材料を照射することを伴う。この点に関して、赤外線波長、すなわち、約9 μm から11 μm の範囲の波長で光を出力するCO₂レーザは、LPP処理において原材料を照射するいわゆる「駆動」レーザとしての特定の長所を示すことができる。これは、特に、特定のターゲット材料、例えば、錫を含む原材料に当て嵌まる場合がある。1つの利点には、駆動レーザ入力電力と出力EUV電力の間に比較的高い変換効率を生成する機能を含むことができる。

10

【0008】

LPP処理及びDPP処理に関して、プラズマは、典型的に真空チャンバのような密封容器内で生成され、様々なタイプの測定機器を使用してモニタされる。帯域内のEUV放射線を発生させることに加えて、これらのプラズマ処理では、典型的に望ましくない副産物が生成される。副産物は、原材料蒸発により、又は緩衝ガスで原材料イオンを熱中性子化させることによって生成された帯域外放射線、高エネルギー原材料イオン、低エネルギー原材料イオン、励起原材料原子、及び熱原材料原子を含む可能性がある。副産物はまた、異なるサイズかつ異なる速度で照射部位を出るクラスター及び微細液滴の形態の原材料を含む可能性がある。クラスター及び微細液滴は、光学系上へ直接に堆積するか、又はチャンバ壁又はチャンバ内の他の構造体から「反射して」光学系上に堆積する可能性がある。

20

【0009】

より定量的には、約100Wの集光されたEUV放射線を発生させることを目的として現在開発中である1つの配置では、順次毎秒約40,000から100,000錫液滴を照射するように液滴発生器と同期化されるパルス集束式10から12kWCO₂駆動レーザの使用が考えられている。この目的のために、比較的高い繰返し数（例えば、40から100kHz又はそれよりも高く）で液滴の安定した流れを生成し、比較的に長い期間にわたってタイミング及び位置に関して高精度及び優れた反復性で（すなわち、非常に小さい「ジッタ」で）照射部位に液滴を供給する必要性が存在する。一般的に、約10から50 μm の範囲の直径を有する液滴のような比較的小さい液滴を使用して、チャンバに発生されるプラズマによって生成されるデブリの量を低減することが望ましい。

30

【0010】

液滴を発生させる1つの技術は、錫のようなターゲット材料を溶融し、次に、高圧下で約0.5から30 μm の直径を有するオリフィスのような直径が比較的小さいオリフィスに強制的に通過させ、約30から100m/sの液滴速度を有する液滴の流れを生成することを伴う。殆どの条件下で、オリフィスを出る流れ内の自然に発生する不安定な性質、例えば、ノイズが原因となって、流れが液滴に分解する可能性がある。液滴をLPP駆動レーザの光パルスと同期化するために、不規則ノイズの振幅よりも大きい振幅による反復的な外乱を連続的な流れに印加することができる。パルスレーザの繰返し数と同じ周波数（又はそのより高い高調波）で外乱を印加することにより、液滴をレーザパルスと同期化することができる。例えば、外乱は、電気作動式要素（圧電材料のような）の流れに結合し、かつ周期波形で電気作動式要素を駆動することによって流れに印加することができる。

40

【0011】

本明細書で使用する時の「電気作動式要素」という用語及び派生語は、電圧、電場、磁場、又はその組合せを受けた時に寸法変化を受ける材料又は構造体を意味し、圧電材料、電歪材料、及び磁歪材料を含むがこれらに限定されない。

【0012】

上述したように、数週間又はそれよりも長いような比較的に長い期間に向けて連続的に液

50

滴を発生させて何億もの液滴を発生させる液滴発生器は、現在設計中である。これらの作動期間中、液滴発生器を停止して再稼働させることは一般的に実際的ではない。更に、これらの作動期間中、比較的小さいノズルオリフィスは、ターゲット材料内の不純物からの堆積物で部分的に詰まる場合がある。ノズルオリフィスが部分的に詰まった時に、液滴は、ノズルに堆積物のない場合と異なる方向にノズルを出る可能性がある。液滴流の移動のこの変化は、レーザービームと液滴間の不完全な又は最適ではない相互作用を引き起こすことによってEUV出力及び変換効率に悪影響を与える可能性がある。適正に液滴を照射しないと、クラスター及び微細液滴のような問題のあるある一定のタイプのデブリの量が増加する恐れもある。

【0013】

作動中、EUV光源からの出力ビームは、ステッパ又はスキャナのようなリソグラフィ露光ツールにより使用することができる。これらの露光ツールは、最初に光源からのビームを均質化し、次に、例えば反射マスクを使用してビームの断面においてパターンをビームに与えることができる。パターン化されたビームは、次に、レジスト被覆ウェーハの一部分上へ投影することができる。レジスト被覆ウェーハの第1の部分（照射野と呼ぶことが多い）が照明された状態で、ウェーハ、マスク、又は両方は、レジスト被覆ウェーハの照射が完了するまで第2の照射野などを照射するように移動することができる。この処理中、スキャナは、典型的に、各照射野に向けて光源からのいわゆるパルスのバーストを必要とする。例えば、一般的なバースト期間は、約0.5秒という期間にわたって続き、約40kHzのパルス繰返し数で約20,000個のEUV光パルスを含むことができる。バースト期間の長さ、パルスの数、及び繰返し数は、EUV出力パルスエネルギーと、照射野に向けて指定された累積エネルギー又は線量とに基づいて選択することができる。一部の場合には、パルスエネルギー及び/又は繰返し数は、バースト期間中に変わる場合があり、及び/又はバーストは、1つ又はそれよりも多くの非出力期間を含む場合がある。

【0014】

この処理では、連続バーストは、中断期間によって時間的に分離させることができる。1秒の何分の1かにわたって続く場合がある一部の中断期間中に、露光ツールは、次の照射野を照射する準備をし、光源からの光を必要としない。露光ツールがウェーハを交換する時に、中断期間の長期化が発生する場合がある。露光ツールが、いくつかのウェーハを保持するいわゆる「ポート」又はカセットを交換し、測定を行い、1つ又はそれよりも多くの保守機能を実行し、又は何らかの他の予定された又は予定外の処理を実行する時に、中断期間の更なる長期化が発生する場合がある。一般的に、これらの中断期間中、EUV光は、露光ツールにより必要とされず、従って、これらの中断期間の1つ、一部、又は全ては、液滴発生器ノズルから堆積物を取り除く機会を表すことができる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0015】

【特許文献1】米国特許第7,439,530号明細書

【特許文献2】米国特許出願出願番号第11/174,299号明細書

【特許文献3】米国特許第7,491,954号明細書

【特許文献4】米国特許出願出願番号第11/580,414号明細書

【特許文献5】米国特許第7,087,914号明細書

【特許文献6】米国特許出願出願番号第10/803,526号明細書

【特許文献7】米国特許第7,164,144号明細書

【特許文献8】米国特許出願出願番号第10/900,839号明細書

【特許文献9】米国特許出願出願番号第12/638,092号明細書

【特許文献10】US 2010-0294953-A1

【特許文献11】米国特許出願出願番号第12/721,317号明細書

【特許文献12】米国特許第7,872,245号明細書

【特許文献13】米国特許出願出願番号第12/214,736号明細書

【特許文献 14】米国特許出願出願番号第 11 / 827, 803 号明細書
【特許文献 15】US 2006 / 0255298 A - 1
【特許文献 16】米国特許出願出願番号第 11 / 358, 988 号明細書
【特許文献 17】米国特許第 7, 405, 416 号明細書
【特許文献 18】米国特許出願出願番号第 11 / 067, 124 号明細書
【特許文献 19】米国特許第 7, 372, 056 号明細書
【特許文献 20】米国特許出願出願番号第 11 / 174, 443 号明細書
【特許文献 21】米国特許第 7, 465, 946 号明細書
【特許文献 22】米国特許出願出願番号第 11 / 406, 216 号明細書
【特許文献 23】米国特許第 7, 843, 632 号明細書
【特許文献 24】米国特許出願出願番号第 11 / 505, 177 号明細書

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0016】

上記を念頭に置いて、本出願人は、「アクチュエータ誘導式ノズル洗浄を備えた液滴発生器」及び対応する使用方法を開示する。

【課題を解決するための手段】

【0017】

本発明は、実施形態において、照射領域及び液滴供給源に向けられるレーザービームを生成するシステムを含むデバイスに関する。液滴供給源は、オリフィスを出る流体と、流体内に外乱を生成する電気作動式要素を有するサブシステムとを含む。電気作動式要素は、第 1 の波形によって生成された液滴が、液滴が照射領域に進む時に少なくとも一部の隣接した液滴を合体させる異なる初期速度を有するように E U V 放射線を発生させるための照射のための液滴を生成するための第 1 の波形と、汚損物質をオリフィスから除去するための第 1 の波形と異なる第 2 の波形とによって駆動される。

20

【0018】

更に、本発明は、実施形態において、照射領域にレーザービームを向ける段階と、オリフィスを出る流体と流体内に外乱を生成する電気作動式要素を有するサブシステムとを含む液滴供給源を与える段階とを含む方法に関する。本方法はまた、E U V 放射線を発生させるためのレーザービームによる照射のための液滴を生成するために第 1 の波形で電気作動式要素を駆動する段階を含み、液滴は、液滴が照射領域に進む時に少なくとも一部の隣接した液滴を合体させる異なる初期速度を有する。本方法は、汚損物質をオリフィスから除去するために第 1 の波形と異なる第 2 の波形で電気作動式要素を駆動する段階を更に含む。

30

【0019】

更に別の実施形態において、本発明は、照射領域に向けられるレーザービームを生成するシステムと、オリフィスを出る流体と流体内に外乱を生成する電気作動式要素を有するサブシステムとを含む液滴供給源とを含むデバイスに関する。電気作動式要素は、照射領域に到達する前に完全に合体し、かつ詰まっていないオリフィスへの安定した液滴指向を有する液滴を生成する約 A_{min} から約 A_{max} の振幅の範囲を有する波形により駆動され、波形振幅 A は、汚損物質をオリフィスから除去し、同時に照射領域で E U V 生成プラズマを発生させるための液滴を生成するために A_{max} の $2/3$ よりも大きい。

40

【0020】

更に別の実施形態において、本発明は、照射領域にレーザービームを向ける段階と、オリフィスを出る流体と流体内に外乱を生成して波形により駆動される電気作動式要素を有するサブシステムとを含む液滴供給源を与える段階とを含む方法に関する。本方法は、照射領域に到達する前に完全に合体し、かつ詰まっていないオリフィスへの安定した液滴指向を有する液滴を生成する約 A_{min} から約 A_{max} の振幅の範囲を判断する段階を更に含む。本方法は、汚損物質をオリフィスから除去し、同時に照射領域で E U V 生成プラズマを発生させるための液滴を生成するために A_{max} のほぼ $2/3$ よりも大きい振幅 A を有する波形で電気作動式要素を駆動する段階を更に含む。

50

【図面の簡単な説明】

【0021】

【図1】露光デバイスに結合したEUV光源の略示概略図である。

【図1A】LPP EUV光放射体を有するEUV光源を含む装置の略示概略図である。

【図2】オリフィスを出る流れ内に外乱を生成するために流体と1つ又はそれよりも多くの電気作動式要素を結合する異なる技術を示す図である。

【図2A】オリフィスを出る流れ内に外乱を生成するために流体と1つ又はそれよりも多くの電気作動式要素を結合する異なる技術を示す図である。

【図2B】オリフィスを出る流れ内に外乱を生成するために流体と1つ又はそれよりも多くの電気作動式要素を結合する異なる技術を示す図である。

10

【図2C】オリフィスを出る流れ内に外乱を生成するために流体と1つ又はそれよりも多くの電気作動式要素を結合する異なる技術を示す図である。

【図3】オリフィスを出る流れ内に外乱を生成するために流体と1つ又はそれよりも多くの電気作動式要素を結合する異なる技術を示す図である。

【図4】オリフィスを出る流れ内に外乱を生成するために流体と1つ又はそれよりも多くの電気作動式要素を結合する異なる技術を示す図である。

【図5】単一周波数非変調外乱波形から生じる液滴のパターンを示す図である。

【図6】振幅変調外乱波形から生じる液滴のパターンを示す図である。

【図7】周波数変調外乱波形から生じる液滴のパターンを示す図である。

【図8】単一周波数非変調波形外乱及びいくつかの周波数変調波形外乱に向けて得られた錫液滴の写真である。

20

【図9】正弦波信号の奇数高調波の重ね合わせとしての方形波の図である。

【図10】出力オリフィスから～40mmで取られた30kHzでの方形波変調で得られた液滴の画像を示す図である。

【図11】出力オリフィスから～120mmで取られた30kHzでの方形波変調で得られた液滴の画像を示す図である。

【図12A】矩形波変調の実験結果を示す図である。

【図12B】矩形波の周波数スペクトルを含む矩形波変調の実験結果を示す図である。

【図12C】出力オリフィスから20mmで撮られた液滴の画像を示す図である。

【図12D】出力オリフィスから450mmで撮られた合体した液滴の画像を示す図である。

30

【図13A】高速パルス変調の実験結果を示す図である。

【図13B】高速パルスの周波数スペクトルを含む高速パルス変調の実験結果を示す図である。

【図13C】出力オリフィスから20mmで撮られた液滴の画像を示す図である。

【図13D】出力オリフィスから450mmで撮られた合体した液滴の画像を示す図である。

【図14A】高速ランプ波変調の実験結果を示す図である。

【図14B】高速ランプ波の周波数スペクトルを含む高速ランプ波変調の実験結果を示す図である。

40

【図14C】出力オリフィスから20mmで撮られた液滴の画像を示す図である。

【図14D】出力オリフィスから450mmで撮られた合体した液滴の画像を示す図である。

【図15A】シンク関数波変調の実験結果を示す図である。

【図15B】シンク関数波の周波数スペクトルを含むシンク関数波変調の実験結果を示す図である。

【図15C】出力オリフィスから20mmで撮られた液滴の画像を示す図である。

【図15D】出力オリフィスから450mmで撮られた合体した液滴の画像を示す図である。

【図16】図3に示す液滴発生器のような液滴発生器に対する外乱ピーク振幅領域を示す

50

グラフである。

【図 1 7 A】流体内に外乱を生成するために電動アクチュエータを駆動するための実質的に矩形の周期的形状、有限立上り時間、約 $20 \mu s$ の周期、 $50 kHz$ の周期的周波数、及び約 $2 V$ のピーク振幅を有する周期的波形を示す図である。

【図 1 7 B】図 1 7 A に示す波形の周波数スペクトルを示す図である。

【図 1 8 A】流体内に外乱を生成するために電動アクチュエータを駆動するための実質的に矩形の周期的形状、有限立上り時間、約 $20 \mu s$ の周期、 $50 kHz$ の周期的周波数、及び約 $5 V$ のピーク振幅を有する周期的波形を示す図である。

【図 1 8 B】図 1 8 A に示す波形の周波数スペクトルを示す図である。

【図 1 9 A】流体内に外乱を生成するために電動アクチュエータを駆動するための実質的に矩形の周期的形状、有限立上り時間、約 $20 \mu s$ の周期、 $120 kHz$ の周期的周波数、及び約 $2 V$ のピーク振幅を有する周期的波形を示す図である。

【図 1 9 B】図 1 9 A に示す波形の周波数スペクトルを示す図である。

【図 2 0 A】流体内に外乱を生成するために電動アクチュエータを駆動するための実質的に矩形の周期的形状、有限立上り時間、約 $20 \mu s$ の周期、 $120 kHz$ の周期的周波数、及び約 $5 V$ のピーク振幅を有する周期的波形を示す図である。

【図 2 0 B】図 2 0 A に示す波形の周波数スペクトルを示す図である。

【図 2 1】照射領域で E U V 生成プラズマを発生させて汚損物質をノズルオリフィスから除去するのに適切な液滴を同時に生成するために電気作動式要素を駆動するための波形を判断するのに使用することができる処理を示す流れ図である。

【図 2 2】アクチュエータ誘導式ノズル洗浄を引き起こす波形で液滴発生器の電気作動式要素を周期的に駆動しながら E U V 出力を生成するための照射のための液滴を生成するのに使用することができる処理を示す流れ図である。

【発明を実施するための形態】

【0022】

最初に図 1 を参照すると、10' と全体的に指定された E U V フォトリソグラフィ装置の 1 つの例の選択された部分の略示概略断面図が示されている。装置 10' を使用して、例えば、E U V 光のパターン化されたビームでレジスト被覆ウェーハのような基板 11 を露光させることができる。装置 10' に関して、例えば、パターン化されたビームを生成するためにレチクルのような E U V 光のビームでパターン化光学系 13 c を照らす 1 つ又はそれよりも多くの光学系 13 a、b、及び基板 11 上へパターン化されたビームを投影する 1 つ又はそれよりも多くの縮小投影光学系 13 d、13 e を有する E U V 光（例えば、ステッパ、スキャナ、ステップアンドスキャンシステム、直接書込システム、接触及び／又は近接マスクを使用するデバイスのような集積回路リソグラフィツール）を利用する露光デバイス 12' を与えることができる。基板 11 とパターン化手段 13 c の間の相対的移動を制御する機械的なアセンブリ（図示せず）を与えることができる。図 1 に更に示すように、装置 10' は、基板 11 を照射するために経路に沿って光学系 24 により露光デバイス 12' に反射される E U V 光をチャンバ 26' において放出する E U V 光放射体 22 を含む E U V 光源 20' を含むことができる。

【0023】

本明細書で使用する時の用語「光学系」及び派生語は、入射光を反射及び／又は透過し、及び／又は入射光で作動する構成要素を含むが必ずしもこれらに限定されないように広義に解釈することが意図され、かつ 1 つ又はそれよりも多くのレンズ、窓、フィルタ、くさび、プリズム、グリズム、勾配緩和部、透過ファイバ、エタロン、拡散器、ホモジナイザー、検出器及び他の計器構成要素、開口、アキシコン、及び多層ミラー、近垂直入射ミラー、斜入射ミラー、ミラー面反射器、拡散反射器、及びその組合せを含むミラーを含むがこれらに限定されない。更に、特に断らない限り、本明細書で使用する時の用語「光学系」も派生語も、E U V 出力光波長、照射レーザ波長、測定に適する波長、又は何らかの他の特定の波長におけるような 1 つ又はそれよりも多くの特定の波長範囲で単独で作動するか又はそれを利用する構成要素に限定されるように意図しているものではない。

【 0 0 2 4 】

図 1 A は、L P P E U V 光放射体を有する E U V 光源 2 0 を含む装置 1 0 の特定の例を示している。図示のように、L P P 光源 2 0 は、一連の光パルスを生じ、光源チャンバ 2 6 内に光パルスを供給するシステム 2 1 を含むことができる。装置 1 0 に関して、光パルスは、システム 2 1 から 1 つ又はそれよりも多くのビーム経路に沿って進み、露光デバイス 1 2 における基板露光に向けて E U V 光出力を生じ、照射領域 4 8 で原材料を照らすためにチャンバ 2 6 に入ることができる。

【 0 0 2 5 】

図 1 A に示すシステム 2 1 に使用される適切なレーザには、パルスレーザデバイス、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数、例えば、50 kHz 又はそれよりも高いもので作動し、9.3 μm 又は 10.6 μm で、例えば、DC 又は RF 励起で放射線を発生させるパルスガス放電 CO₂ レーザデバイスを含むことができる。1 つの特定の例では、レーザは、複数の段の増幅による発振器増幅器構成（例えば、主発振器 / 電力増幅器（MOPA）又は電力発振器 / 電力増幅器（POPA））を有し、かつ例えば 100 kHz の作動ができる比較的低いエネルギー及び高い繰返し数で Q スイッチ式発振器により開始されるシードパルスを有する軸流 RF 励起 CO₂ レーザとすることができる。発振器から次に照射領域 4 8 に入る前に、レーザパルスは、増幅、成形、及び集束させることができる。連続励起 CO₂ 増幅器は、レーザシステム 2 1 に使用することができる。例えば、発振器及び 3 つの増幅器（O - PA1 - PA2 - PA3 構成）を有する適切な CO₂ レーザデバイスは、現在は 2008 年 10 月 21 日に付与された米国特許第 7,439,530 号明細書であり、代理人整理番号 2005-0044-01 である 2005 年 6 月 29 日出願の「L P P E U V 光源駆動レーザシステム」という名称の米国特許出願出願番号第 11/174,299 号明細書に開示されており、この特許の開示内容全体は、引用により本明細書に組み込まれている。

【 0 0 2 6 】

代替的に、レーザは、液滴が光キャビティの 1 つのミラーとして機能するいわゆる「自己ターゲット式」レーザシステムとして構成することができる。一部の「自己ターゲット式」配置では、主発振器は不要とすることができる。自己ターゲット式レーザシステムは、現在は 2009 年 2 月 17 日に付与された米国特許第 7,491,954 号明細書であり、代理人整理番号 2006-0025-01 である 2006 年 10 月 13 日出願の「E U V 光源のための駆動レーザ送出システム」という名称の米国特許出願出願番号第 11/580,414 号明細書に開示かつ特許請求され、この特許の開示内容全体は、引用により本明細書に組み込まれている。

【 0 0 2 7 】

用途により、他のタイプのレーザ、例えば、高電力及び高パルス繰返し数で作動するエキシマ又は分子フッ素レーザも適切とすることができる。他の例には、例えば、ファイバ、ロッド、スラブ、又はディスク状の活性媒体を有する固体レーザがある。1 つ又はそれよりも多くのチャンバ、例えば、発振器チャンバ及び 1 つ又はそれよりも多くの増幅器チャンバ（増幅器チャンバは並列又は直列）を有する他のレーザアーキテクチャ、主発振器 / 電力発振器（MOPPO）構成、主発振器 / 電力リング増幅器（MOPRA）構成、又は 1 つ又はそれよりも多くのエキシマ又は分子フッ素増幅器又は CO₂ 増幅器又は発振器チャンバにシード光を供給する固体レーザを適切とすることができる。他の設計も適切とすることができる。

【 0 0 2 8 】

一部の事例では、原材料は、最初にプレパルスにより、その後に主パルスによって照射することができる。プレパルスシード光及び主パルスシード光は、単一の発振器又は 2 つの別々の発振器によって生成することができる。いくつかの設定では、1 つ又はそれよりも多くの共通増幅器を使用して、プレパルスシード光及び主パルスシード光を増幅することができる。他の配置に関して、別々の増幅器を使用してプレパルスシード光及び主パルスシード光を増幅することができる。例えば、シードレーザは、高周波（RF）放電によ

10

20

30

40

50

り励起されて準大気圧、例えば、0.05から0.2気圧でのCO₂を含む密封ガスを有するCO₂レーザとすることができる。この配置では、シードレーザは、10.5910352μmの波長を有する10P(20)線のような優勢な方向の1つに自己同調することができる。一部の場合には、Qスイッチングを使用してシードパルスパラメータを制御することができる。

【0029】

上述のCO₂を含む利得媒体を有するシードレーザと共に使用される適切な増幅器は、DC又はRF励起により励起されるCO₂ガスを含む利得媒体を含むことができる。1つの特定の例では、増幅器は、軸流、RF励起(連続又はパルス変調での)CO₂増幅ユニットを含むことができる。ファイバ、ロッド、スラブ、又はディスク状の活性媒体を有する他のタイプの増幅ユニットを使用することもできる。一部の場合には、固体活性媒体を使用することができる。

10

【0030】

増幅器の各々は、固有のチャンバ、活性媒体、及び励起源、例えば、励起電極を有する2つの(又はそれよりも多くの)増幅ユニットを有することができる。例えば、シードレーザが上述のCO₂を含め利得媒体を含む場合に対して、増幅ユニットとして使用される適切なレーザは、DC又はRF励起により励起されるCO₂ガスを含有する活性媒体を含むことができる。1つの特定の例では、増幅器は、約10から25メートルの利得全長を有し、かつ比較的高い電力、例えば、10kW又はそれよりも高いもので一斉に作動する4つ又は5つのような複数の軸流RF励起(連続又はパルス)CO₂増幅ユニットを含むことができる。ファイバ、ロッド、スラブ、又はディスク状の活性媒体を有する他のタイプの増幅ユニットを使用することもできる。一部の場合には、固体活性媒体を使用することができる。

20

【0031】

図1Aは、装置10が、レーザ光源システム21と照射部位48間でビームを拡大、ステアリング、及び/又は集束するなどのビーム調節のための1つ又はそれよりも多くの光学系を有するビーム調整ユニット50を含むことができることも示している。例えば、1つ又はそれよりも多くのミラー、プリズム、レンズなどを含むことができるステアリングシステムを与えかつ配置して、チャンバ26において異なる位置にレーザ集点をステアリングすることができる。例えば、ステアリングシステムは、2次元で独立して第1のミラーを移動することができる先が上向きに反ったアクチュエータ上に取り付けられた第1の平坦なミラー及び2次元で独立して第2のミラーを移動することができる先が上向きに反ったアクチュエータ上に取り付けられた第2の平坦なミラーを含むことができる。この配置では、ステアリングシステムは、ビーム伝播(ビーム軸線)の方向と実質的に直交する方向に焦点を制御可能に移動することができる。

30

【0032】

ビーム調整ユニット50は、照射部位48にビームを集束させてビーム軸線に沿って焦点の位置を調節する集束アセンブリを含むことができる。集束アセンブリに関して、ビーム軸線に沿って焦点を移動するためのビーム軸線に沿った方向での移動に向けてアクチュエータに結合される集束レンズ又はミラーのような光学系を使用することができる。

40

【0033】

ビーム調整システムに関する更なる詳細は、現在は2006年8月8日に付与された米国特許第7,087,914号明細書であり、代理人整理番号2003-0125-01である2004年3月17日出願の「高繰返し数レーザ生成プラズマEUV光源」という名称の米国特許出願出願番号第10/803,526号明細書、現在は2007年1月16日に付与された米国特許第7,164,144号明細書であり、代理人整理番号2004-0044-01である2004年7月27日出願の「EUV光源」という名称の米国特許出願出願番号第10/900,839号明細書、代理人整理番号2009-0029-01である2009年12月15日出願の「極紫外光源のためのビーム移送システム」という名称の米国特許出願出願番号第12/638,092号明細書に示されており、こ

50

れらの特許の各々の内容は、引用により本明細書に組み込まれている。

【0034】

図1Aに更に示すように、EUV光源20は、例えば、チャンバ26の内部に入って、最終的にプラズマを発生させてEUV放射を生成して露光デバイスにおいてレジスト被覆ウェーハのような基板を露光するために液滴がシステム21からの光パルスと相互作用する照射領域48まで錫液滴のような原材料を供給する原材料送出システム90を含むことができる。様々な液滴分注器構成及び相対的な利点に関する更なる詳細は、代理人整理番号2008-0055-01であり、US 2010-0294953-A1として2010年11月25日公開の2010年3月10日出願の「レーザ生成プラズマEUV光源」という名称の米国特許出願出願番号第12/721,317号明細書、代理人整理番号2006-0067-02であり、現在は2011年1月18日に付与された米国特許第7,872,245号明細書である2008年6月19日出願の「レーザ生成プラズマEUV光源内のターゲット材料送出のためのシステム及び方法」という名称の米国特許出願出願番号第12/214,736号明細書、代理人整理番号2007-0030-01である2007年7月13日出願の「変調外乱波を使用して発生した液滴流を有するレーザ生成プラズマEUV光源」という名称の米国特許出願出願番号第11/827,803号明細書、代理人整理番号2005-0085-01であり、US 2006/0255298A-1として2006年11月16日公開の2006年2月21日出願の「プレパルスによるレーザ生成プラズマEUV光源」という名称の米国特許出願出願番号第11/358,988号明細書、代理人整理番号2004-0008-01であり、現在は2008年7月29日に付与された米国特許第7,405,416号明細書である2005年2月25日出願の「EUVプラズマ源ターゲット送出の方法及び装置」という名称の米国特許出願出願番号第11/067,124号明細書、及び代理人整理番号2005-0003-01であり、現在は2008年5月13日に付与された米国特許第7,372,056号明細書である2005年6月29日出願の「LPP EUVプラズマ原材料ターゲット送出システム」という名称の米国特許出願出願番号第11/174,443号明細書に見ることができ、これらの特許の各々の内容は、引用により本明細書に組み込まれている。

【0035】

基板露光に向けてEUV光出力を生成する原材料は、錫、リチウム、キセノン、又はその組合せを含む材料を含むことができるが、必ずしもこれらに限定されない。EUV放射元素、例えば、錫、リチウム、キセノンなどは、液滴及び/又は液滴内に含まれた固体粒子の形態とすることができる。例えば、元素錫は、純粋な錫として、錫化合物、例えば、 SnBr_4 、 SnBr_2 、 SnH_4 として、又は錫合金、例えば、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、又はこれらの合金のあらゆる組合せとして使用することができる。使用する材料に基づいて、ターゲット材料は、室温を含む様々な温度で、又は室温の近くで（例えば、錫合金、 SnBr_4 ）、高温で（例えば、純粋な錫）、又は室温よりも低い温度で（例えば、 SnH_4 ）照射領域に供給することができ、一部の場合には、比較的揮発性、例えば、 SnBr_4 とすることができる。LPP EUV光源におけるこれらの材料の使用に関する更なる詳細は、代理人整理番号2006-0003-01であり、現在は2008年12月16日に付与された米国特許第7,465,946号明細書である2006年4月17日出願の「EUV光源のための代替燃料」という名称の米国特許出願出願番号第11/406,216号明細書に示されており、この特許の内容は、引用により本明細書に組み込まれている。

【0036】

引き続き図1を参照すると、装置10は、EUVコントローラ60を含むことができ、EUVコントローラ60は、システム21においてデバイスを制御し、それによってチャンバ26への供給に向けて光パルスを生成し、及び/又はビーム調整ユニット50内の光学系の移動を制御する駆動レーザ制御システム65を含むことができる。装置10は、例えば、照射領域48に対して1つ又はそれよりも多くの液滴の位置を示す出力を供給する1つ又はそれよりも多くの液滴撮像器70を含むことができる液滴位置検出システムを含

むことができる。撮像器 70 は、液滴位置検出フィードバックシステム 62 にこの出力を供給することができ、液滴位置検出フィードバックシステム 62 は、例えば、液滴単位で又は平均で液滴誤差を計算することができる、例えば、液滴位置及び軌道を計算することができる。液滴誤差は、次に、コントローラ 60 への入力として供給することができ、コントローラ 60 は、例えば、レーザトリガタイミングを制御するために、及び／又は例えばチャンバ 26 内の照射領域 28 に供給された光パルスの位置及び／又は集束力を変えるようにビーム調整ユニット 50 内の光学系の動きを制御するためにシステム 22 に位置、方向、及び／又はタイミング補正信号を供給することができる。また、EUV 光源 20 に関して、原材料送出システム 90 は、例えば、望ましい照射領域 48 に到達する液滴の誤差を補正するように放出点、初期液滴流方向、液滴放出タイミング、及び／又は液滴変調を修正するために、コントローラ 60 からの信号（一部の実施では上述の液滴誤差又はそこから導出される何らかの量を含むことができる）に応答して作動可能な制御システムを有することができる。

10

【0037】

引き続き図 1A に関して、装置 10 は、例えば、モリブデン及びシリコンの交互層を有する漸変多層コーティング、及び一部の場合には、1 つ又はそれよりも多くの高温拡散障壁層、平滑化層、キャップ層、及び／又はエッチストップ層を有する偏長回転楕円体（すなわち、長軸回りに回転した楕円）の形態の反射面を有する近垂直入射集光ミラーのような光学系 24' を含むことができる。図 1A は、システム 21 によって生成された光パルスが通過して照射領域 28 に到達することを可能にする開口を光学系 24' に形成することができることを示している。図示のように、光学系 24' は、例えば、照射部位 28 又はその近くに第 1 の焦点、及び EUV 光源 10 から出力して EUV 光を利用するデバイス、例えば、集積回路リソグラフィツールに EUV 光を入力することができるいわゆる中間領域 40 に第 2 の焦点を有する長球体ミラーとすることができる。長球体ミラーの代わりに、EUV 光を利用するデバイスへのその後の送出に向けて光を集光して中間位置に向ける他の光学系を使用することもできることは認められなければならない。例えば、光学系は、長軸回りに回転されるパラボラアンテナとすることができ、又は環状断面を有するビームを中間位置に供給するように構成することができ、例えば、代理人整理番号 2006-0027-01 であり、現在は 2010 年 11 月 30 日に付与された米国特許第 7,843,632 号明細書である 2006 年 8 月 16 日出願の「EUV 光学系」という名称の米国特許出願出願番号第 11/505,177 号明細書を参照することができ、この特許の内容は、引用により本明細書に組み込まれている。

20

30

【0038】

水素、ヘリウム、アルゴン、又はその組合せのような緩衝ガスをチャンバ 26 内に導入、補給、及び／又はチャンバ 26 から取り除くことができる。緩衝ガスは、プラズマ放電中にチャンバ 26 に存在することができ、かつ光学系劣化を低減し、及び／又はプラズマ効率を増大させるようにプラズマにより生成されたイオンを遅くするように作用することができる。代替的に、磁場又は電場（図示せず）を単独で又は緩衝ガスと組み合わせて使用して急速なイオン損傷を低減することができる。

【0039】

図 2 は、概略図で簡素化した液滴供給源 92 の構成要素を示している。図 2 に示すように、液滴供給源 92 は、流体、例えば、溶融錫を圧力下に保持するリザーバ 94 を含むことができる。また、図示のように、リザーバ 94 には、加圧流体 96 がオリフィスを通ることを可能にするオリフィス 98 を形成することができ、その後に複数の液滴 102a、b に分解する連続的な流れ 100 が確立される。

40

【0040】

引き続き図 2 に関して、図示の液滴供給源 92 は、流体 96 と作動可能に結合された電気作動式要素 104 及び電気作動式要素 104 を駆動する信号発生器 106 を有して流体内に外乱を生成するサブシステムを更に含む。図 2A から図 2C、図 3、及び図 4 は、1 つ又はそれよりも多くの電気作動式要素を流体と作動可能に結合して液滴を生成すること

50

ができる様々な方法を示している。図 2 A から始めると、流体が、圧力を掛けてリザーバ 108 から、例えば、約 0.5 から 0.8 mm の間の内径及び約 10 から 50 mm の長さを有するチューブ 110、例えば、毛細管を強制的に通過させられ、その後液滴 116 a、b に分解されるチューブ 110 のオリフィス 114 を出る連続流 112 が生成される配置が示されている。図示のように、電気作動式要素 118 をチューブに結合することができる。例えば、電気作動式要素をチューブ 110 に結合してチューブ 110 を偏向させて流れ 112 を乱すことができる。図 2 B は、リザーバ 120、チューブ 122、及び各々がそれぞれの周波数でチューブ 122 を偏向させるチューブ 122 に結合された 1 対の電気作動式要素 124、126 を有する類似の配置を示している。図 2 C は、プレート 128 が、流体を強制的にオリフィス 132 を通過させて液滴 136 a、b に分解する流れ 134 を生成するように移動可能なリザーバ 130 に位置決めされた別の変形を示している。図示のように、力をプレート 128 に印加することができ、1 つ又はそれよりも多くの電気作動式要素 138 をプレートに結合して流れ 134 を乱すことができる。毛細管を図 2 C に示す実施形態と共に使用することができることは認められなければならない。図 3 は、リザーバ 140 から強制的に流体を流してチューブ 142 を通過させて、その後液滴 148 a、b に分解するチューブ 142 のオリフィス 146 を出る連続的な流れ 144 が生成される別の変形を示している。図示のように、例えば、リング形状又は円筒チューブ形状を有する電気作動式要素 150 をチューブ 142 の円周を取り囲むように位置決めすることができる。駆動された時に、電気作動式要素 150 は、チューブ 142 を選択的に圧搾及び / 又は圧搾解除して流れ 144 を乱すことができる。2 つ又はそれよりも多くの電気作動式要素を使用してそれぞれの周波数で選択的にチューブ 142 を圧搾することができることは認められなければならない。

【0041】

図 4 は、リザーバ 140' から強制的に流体を流してチューブ 142' を強制的に通過させて、その後液滴 148 a'、b' に分解するチューブ 142' のオリフィス 146' を出る連続的な流れ 144' が生成される別の変形を示している。図示のように、例えば、リング形状を有する電気作動式要素 150 a をチューブ 142' の円周を取り囲むように位置決めすることができる。駆動された時に、電気作動式要素 150 a は、チューブ 142' を選択的に圧搾及び / 又は圧搾解除して流れ 144' を乱すことができる。図 4 は、例えば、リング形状を有する第 2 の電気作動式要素 150 b をチューブ 142' の円周を取り囲むように位置決めすることができることも示している。駆動された時に、電気作動式要素 150 b は、チューブ 142' を選択的に圧搾及び / 又は圧搾解除して流れ 144' を乱してオリフィス 152 から汚損物質を除去することができる。図示の実施形態に関して、電気作動式要素 150 a 及び 150 b を同じ信号発生器により駆動することができ、又は異なる信号発生器を使用することができる。以下で更に説明するように、異なる波形振幅、周期的周波数、及び / 又は波形形状を有する波形を使用して、電気作動式要素 150 b (汚損物質を除去するための) よりも電気作動式要素 150 a (EUV 出力に向けて液滴を生成するための) を駆動することができる。

【0042】

図 5 は、単一周波数の正弦波動外乱波形 202 (約 0.3 / d よりも大きい外乱周波数が対象) から生じる液滴 200 のパターンを示している。外乱波形の各周期によって液滴が生成されることを見ることができる。図 5 は、液滴は共に合体しないが、むしろ、各液滴が同じ初速で確立されることも示している。

【0043】

図 6 は、振幅変調外乱波形 302 から最初に生じる液滴 300 のパターンを示しており、振幅変調波形外乱 302 は、2 つの固有周波数、すなわち、波長 c に対応する比較的高い周波数、例えば、搬送周波数、及び波長 m に対応するより低い周波数、例えば、変調周波数を含むことを見ることができる。図 6 に示す特定の外乱波形の例に関して、変調周波数は、搬送波周波数低調波であり、特に、変調周波数は、搬送波周波数の 1/3 である。この波形に関して、図 6 は、搬送波波長 c に対応する外乱波形の各周期によって液

10

20

30

40

50

滴が生成されることを示している。図6は、液滴が共に合体し、従って、より大きな液滴304の流れになり、外乱波形の各周期の1つのより大きな液滴は、変調波形mに対応することも示している。矢印306a、bは、変調波形外乱302によって液滴上で与えられる初期相対速度成分が液滴合体の原因であることを示している。

【0044】

図7は、周波数変調外乱波形402から最初に生じる液滴400のパターンを示している。周波数変調波形外乱402は、2つの固有周波数、すなわち、波長 λ_0 に対応する比較的高い周波数、例えば、搬送周波数、及び波長 λ_m に対応するより低い周波数、例えば、変調周波数を含むことを見ることができる。図7に示す特定の外乱波形の例に関して、変調周波数は、搬送波周波数低調波であり、特に、変調周波数は、搬送波周波数の1/3である。この波形に関して、図7は、搬送波波長 λ_0 に対応する外乱波形の各周期によって液滴が生成されることを示している。図7は、液滴が共に合体し、従って、より大きな液滴404の流れになり、外乱波形の各周期の1つのより大きな液滴は、変調波形 m に対応することも示している。振幅変調外乱（すなわち、図6）と同様に、初期相対速度成分は、周波数変調波形外乱402によって液滴上で与えられ、かつ液滴合体の原因である。

【0045】

図6及び図7は、2つの固有周波数を有する実施形態を示すと共に説明しており、図6は、2つの固有周波数を有する振幅変調外乱を示し、図7は、2つの周波数を有する周波数変調外乱を示すが、2つよりも多い固有周波数を使用することができ、変調は、角度変調（すなわち、周波数又は位相変調）、振幅変調、又はその組合せとすることができることは認められなければならない。

【0046】

図8は、100kHzの周波数を有する単一周波数非変調波形外乱（上部写真）と、100kHzの搬送周波数及び10kHzの比較的高い変調周波数を有する周波数変調波形外乱（最上部の写真から2番目）と、100kHzの搬送周波数及び10kHzの比較的低い変調周波数を有する周波数変調波形外乱（最上部の写真から3番目）と、100kHzの搬送周波数及び15kHzの変調周波数を有する周波数変調波形外乱（最上部の写真から4番目）と、100kHzの搬送波周波数及び20kHzの変調周波数を有する周波数変調波形外乱（最下部の写真）とに関して、約70 μ mのオリフィス径、 ~ 30 m/sの流れ速度を有する図3に類似した装置を使用して取得した錫液滴の写真を示している。

【0047】

これらの写真は、約3.14mm、すなわち、単一周波数非変調波形外乱を用いてこの液滴サイズ及び繰返し数では達成することができない間隔により離間している約265 μ mの直径を有する錫液滴を生成することができることを示している。

【0048】

測定の結果、単一周波数非変調波形外乱を使用して類似の条件下で観測したジッタを実質的に下回る変調期間の約0.14%のタイミングジッタが見出される。この効果は、いくつかの合体液滴にわたって個々の液滴不安定性を平均化することによって達成される。

【0049】

図9から図12をここで参照すると、本出願人は、変調された例えば上述の複数周波数外乱波形に加えて、他の波形を使用して、そうでなければ単一周波数正弦非変調波形外乱を用いた安定した液滴製造を制限する周波数最小値よりも小さい時に合体した液滴の安定した流れを生成するように制御することができる合体する液滴流を生成することができることと判断した。

【0050】

具体的には、これらの波形は、制御されて予想可能、反復可能、及び/又は非ランダムである異なる初速の流れ内に有する液滴の流れを生成する外乱を流体において生成することができる。

【 0 0 5 1 】

例えば、電気作動式要素を使用して外乱を生成する液滴発生器に関して、電気作動式要素の作動可能な応答範囲の基本周波数及び基本周波数の少なくとも1つの高調波を生成するのに、一連のパルス波形を波形期間の長さと比較すると十分に短い立上り時間及び／又は立下り時間を有する各パルスと共に使用することができる。

【 0 0 5 2 】

本明細書で使用する時の用語、基本周波数及びその派生語及び均等物は、出口オリフィスに流れる流体を乱す周波数、及び／又は流れ内の液滴が等間隔の液滴のパターンに完全に合体することが許容される場合に基本周波数の周期当たりに1つの完全に合体した液滴があるように液滴の流れを生成するために流体内に外乱を生成する電気作動式要素を有するノズルのような液滴を生成するサブシステムに印加される周波数を意味する。

10

【 0 0 5 3 】

適切なパルス波形の例には、方形波（図9）、矩形波、及び高速パルス（図13A）、高速ランプ波（図14A）、及びシンク関数波（図15A）のような十分に短い立上り時間及び／又は立下り時間を有するピークを有する非正弦波があるが必ずしもこれらに限定されない。

【 0 0 5 4 】

図9は、正弦波信号の奇数高調波の重ね合わせとしての方形波800の図を示している。尚、簡潔さを期すために周波数の最初の2つの高調波のみを示している。正確な方形波形状は、漸進的に小さくなる振幅を有する無数の奇数次の高調波で得られることが認められた。更に詳しくいえば、方形波800は、方形波の基本周波数 f （波形802）及びより高い奇数高調波、 $3f$ （波形804）、 $5f$ （波形806）のようなで正弦波の組合せとして数学的に次式：

20

$$v(t) = 4 / \pi \left(\sin(\pi f t) + 1/3 \sin(3\pi f t) + 1/5 \sin(5\pi f t) + 1/7 \sin(7\pi f t) + \dots \right)$$

のように表すことができ、ここで、 t は、時間であり、 $v(t)$ は、波の瞬間的な振幅（すなわち、電圧）であり、 π は、角振動数である。従って、例えば、圧電電気作動式要素に方形波信号を印加すると、その結果、基本周波数 $f = 1/d$ 、並びにこの周波数のより高い高調波 $3f$ 、 $5f$ のようなで機械的振動が発生する可能性がある。これは、電気作動式要素を使用する液滴発生器の制限されたかつ一般的な場合に非常に不均一な周波数応答のために可能である。方形波信号の基本周波数が有意に $0.3/d$ の限界値よりも大きい場合に、この周波数での単一の液滴の形成が事実上禁止され、液滴は、より高い高調波で生成される。上述の振幅及び周波数変調の場合のように、方形波信号で生成された液滴は、流れ内の隣接液滴に関して、周波数 f でより大きな液滴への最終的な合体を引き起こす差速を有する。一部の実施では、EUV光源は、周期当たりに複数の液滴が生成されるように構成される。各液滴は、1）少なくとも2つの液滴が照射部位に到達する前に合体するか、又は2）液滴が密接に離間した液滴二重滴を含むパターンのような望ましいパターンを生成するようにその後の液滴と異なる初速を有する。

30

【 0 0 5 5 】

図10及び図11は、30kHzで方形波変調で得られた液滴の画像を示している。単一の正弦波変調では、この実験に使用した液滴発生器に向けて周期当たりに1つの液滴を取得することができる最低変調周波数は、110kHzであった。図10に示す画像は、出力オリフィスから～40mmで撮られたものであり、図11に示す画像は、液滴が合体していた出力オリフィスから～120mmで後になって撮られたものである。この例は、方形波変調を用いて特定の液滴発生器構成の固有の低周波数限界よりも低い周波数で液滴を取得する利点を示している。

40

【 0 0 5 6 】

類似の独立変数は、高速パルス（図13A）、高速ランプ波（図14A）、及び正弦関数波（図15A）を含むがこれらに限定されない短い立上り時間及び／又は立下り時間を有する複数の高調波を有する様々な反復的な変調信号に適用することができる。例えば、

50

鋸歯波形は、基本周波数の奇数だけではなく、偶数の高調波も含み、従って、低周波数変調限界を克服して液滴発生器の安定性を改善するのに有効に使用することができる。一部の 경우에는、特定の液滴発生器構成の方が、他の構成よりも一部の周波数に対する応答性が高い場合がある。この場合に、多くの周波数を生成する波形の方が、特定の液滴発生器の応答周波数に適合する周波数を含む可能性が高い。

【 0 0 5 7 】

図 1 2 A は、液滴発生器を駆動する矩形波 9 0 2 を示し、図 1 2 B は、矩形波の期間に対して基本周波数 9 0 2 a 及び様々な大きさの高調波 9 0 2 b - h を有する対応する周波数スペクトルを示している。図 1 2 C は、矩形波により駆動された液滴発生器の出力オリフィスから 2 0 mm で撮られた画像を示すと共に、合体し始める液滴を示している。図 1 2 D は、液滴が完全に合体した後に出力オリフィスから 4 5 0 mm で撮られた液滴の画像を示している。

10

【 0 0 5 8 】

図 1 3 A は、液滴発生器を駆動する一連の高速パルス 1 0 0 0 を示し、図 1 3 B は、矩形波の周期に対して基本周波数 1 0 0 2 a 及び様々な大きさの高調波 9 0 2 b - i を有する対応する周波数スペクトルを示している。図 1 3 C は、一連の高速パルスにより駆動された液滴発生器の出力オリフィスから 2 0 mm で撮られた画像を示すと共に、合体し始める液滴を示している。図 1 3 D は、液滴が完全に合体した後に出力オリフィスから 4 5 0 mm で撮られた液滴の画像を示している。

20

【 0 0 5 9 】

図 1 4 A は、液滴発生器を駆動する高速ランプ波 1 1 0 0 を示し、図 1 4 B は、単一の高速パルス波周期に対して基本周波数 1 1 0 2 a 及び様々な大きさの高調波 1 1 0 2 b - p を有する対応する周波数スペクトルを示している。図 1 4 C は、高速ランプ波により駆動された液滴発生器の出力オリフィスから 2 0 mm で撮られた画像を示すと共に、合体し始める液滴を示している。図 1 4 D は、液滴が完全に合体した後に出力オリフィスから 4 5 0 mm で撮られた液滴の画像を示している。

【 0 0 6 0 】

図 1 5 A は、液滴発生器を駆動するシンク関数波 1 2 0 0 を示し、図 1 5 B は、単一のシンク関数波周期に対して基本周波数 1 2 0 2 a 及び様々な大きさの高調波 1 2 0 2 b - l を有する対応する周波数スペクトルを示している。図 1 5 C は、シンク関数波により駆動された液滴発生器の出力オリフィスから 2 0 mm で撮られた画像を示すと共に、合体し始める液滴を示している。図 1 5 D は、液滴が完全に合体した後に出力オリフィスから 4 5 0 mm で撮られた液滴の画像を示している。

30

【 0 0 6 1 】

図 1 6 は、図 3 に示す液滴発生器のような液滴発生器の外乱ピーク振幅領域を示すグラフを示す（下のピーク振幅の定義を参照されたい）。約 A_{min} よりも小さいピーク振幅を有する外乱（領域 I）に関して、本出願人は、液滴合体は照射部位に到達する前に完全に合体した液滴を生成するには不十分であることに気が付いた。また、この領域の下端では、外乱は、ランダムな液滴形成をもたらすノイズを克服するのに十分ではない可能性がある。領域 II（約 A_{min} を上回って約 A_{max} よりも小さいピーク振幅による外乱）では、本出願人は、液滴合体は照射部位に到達する前に完全に合体した液滴を生成するのに十分であり、液滴指向はオリフィスが詰まっていないままである限り安定していることに気が付いた。本出願人は、領域 II は出力 EUV ビームを生成するための照射のための液滴を生成するために許容可能であると考えている。領域 III（約 A_{max} よりも大きいピーク振幅による外乱）では、本出願人は、液滴指向はたとえオリフィスが詰まっていないままであるとしても不安定であることに気が付いた。本出願人は、領域 III は不安定な指向のために出力 EUV ビームを生成するための照射のための液滴を生成するためには許容不能と考えている。

40

【 0 0 6 2 】

図 1 6 は、 A_{max} の約 2 / 3 よりも大きいピーク振幅を有する外乱に関して、本出願人

50

が、実質的でない量よりも大きいアクチュエータ誘導式ノズル洗浄を行うことができ、ノズルオリフィス又はその近くに蓄積した堆積物が除去されることに気が付いたことも示している。具体的には、更に以下に説明するように、本出願人は、汚損物質を除去して、部分的に詰まったように構成された液滴発生器において許容可能な指向安定性を回復するために、 A_{max} の約2/3よりも大きいピーク振幅を有する外乱を印加した。

【0063】

図17Aは、流体内に外乱を生成するために電動アクチュエータを駆動する実質的に矩形の周期的形状を有する周期的波形1700を示している。周期的波形1700は、有限立上り時間、約20 μ sの周期、50kHzの周期的周波数、及び約2Vのピーク振幅を有する。例えば、波形1700は、信号発生器からの信号が図3に示す電気作動式要素150のような電気作動式要素に入力される端末にわたって接続されたオシロスコープを使用して測定することができる波形を表している。

【0064】

本明細書で使用する時の用語「ピーク振幅」及びその派生語は、最大瞬時振幅マイナス最小瞬時振幅を意味する。従って、ボルト単位で測定された振幅を有する図17Aに示す波形に関して、ピーク振幅は、1.0Vマイナス-1.0V=2.0Vである。同様に、周期的外乱に関して、ピーク振幅は、最大瞬時外乱振幅-最小瞬時外乱振幅のように計算される。

【0065】

図17Bは、波形1700のフーリエ変換（周波数スペクトル）を示している。本出願人は、図3に示す配置を有する液滴発生器に図17Aの波形を適用し、ピーク振幅（2V）がEUV出力を生成する液滴を生成するのに適切であるピーク振幅の低い端部にあったという点において、約2Vのピーク振幅を有する波形が図16のグラフ上で A_{min} に対応していたことを見出した。本出願人は、ピーク振幅（6V）がEUV出力を生成する液滴を生成するのに適切であるピーク振幅の高い端部にあったという点において、約6Vのピーク振幅を有する波形は図16のグラフ上で A_{max} に対応していたことも見出した。

【0066】

図18Aは、流体内に外乱を生成するために電動アクチュエータを駆動する実質的に矩形の周期的形状を有する周期的波形1800を示している。周期的波形1800は、図17Aに示す周期的波形1700と同じ有限立上り時間、約20 μ sの周期、50kHzの周期的周波数、及び約5Vのピーク振幅を有する。例えば、波形1800は、信号発生器からの信号が図3に示す電気作動式要素150のような電気作動式要素に入力される端末にわたって接続されたオシロスコープを使用して測定することができる波形を表している。図18Bは、波形1800のフーリエ変換（周波数スペクトル）を示している。本出願人は、図3に示す配置を有する液滴発生器に図18Aの波形を適用し、約5Vのピーク振幅を有する波形は、EUV出力を生成する液滴を生成するのに適切であるピーク振幅の範囲であり、かつノズルオリフィス又はその近くに蓄積した堆積物を除去して、部分的に詰まったように構成された液滴発生器において許容可能な指向安定性を回復するのに使用することができることを見出した。

【0067】

図17Bに示す周波数スペクトルと図18Bに示す周波数スペクトルを比較すると、電気作動式要素を駆動するのに使用された波形のピーク振幅（図18B）を増大させると、基本周波数、この場合は50kHz、及びより高い高調波の振幅が有意に増大することを見ることができる。

【0068】

図19Aは、流体内に外乱を生成するために電動アクチュエータを駆動する実質的に矩形の周期的形状を有する周期的波形1900を示している。周期的波形1900は、図17Aに示す周期的波形1700と同じ有限立上り時間、約8.33 μ sの周期、120kHzの周期的周波数、及び約2Vのピーク振幅を有する。例えば、波形1900は、信号発生器からの信号が図3に示す電気作動式要素150のような電気作動式要素に入力され

10

20

30

40

50

る端末にわたって接続されたオシロスコープを使用して測定することができる波形を表している。図 19 B は、波形 1900 のフーリエ変換（周波数スペクトル）を示している。本出願人は、図 3 に示す配置を有する液滴発生器に図 19 A の波形を適用し、約 2 V のピーク振幅及び 120 kHz の周期的周波数を有する波形はノズルオリフィス又はその近くに蓄積した堆積物を除去して、部分的に詰まったように構成された液滴発生器において許容可能な指向安定性を回復するのに使用することができることを見出した。

【0069】

図 17 B に示す周波数スペクトルと図 19 B に示す周波数スペクトルを比較すると、電気作動式要素を駆動するのに使用された波形の周期的周波数（図 19 B）を増大させると、図 17 A の波形に対して基本周波数（50 kHz）よりも高い周波数の振幅が有意に増大することを見ることができる。

10

【0070】

図 20 A は、流体内に外乱を生成するために電動アクチュエータを駆動する実質的に矩形の周期的形状を有する周期的波形 2000 を示している。図示のように、周期的波形 2000 は、図 17 A に示す周期的波形 1700 と同じ有限立上り時間、約 8.33 μ s の周期、120 kHz の周期的周波数、及び約 5 V のピーク振幅を有する。例えば、波形 2000 は、信号発生器からの信号が図 3 に示す電気作動式要素 150 のような電気作動式要素に入力される端末にわたって接続されたオシロスコープを使用して測定することができる波形を表している。図 20 B は、波形 2000 のフーリエ変換（周波数スペクトル）を示している。本出願人は、図 3 に示す配置を有する液滴発生器に図 20 A の波形を適用し、約 5 V のピーク振幅及び 120 kHz の周期的周波数を有する波形はノズルオリフィス又はその近くに蓄積した堆積物を除去して、部分的に詰まったように構成された液滴発生器において許容可能な指向安定性を回復するのに使用することができることを見出した。

20

【0071】

図 17 B に示す周波数スペクトルと図 20 B に示す周波数スペクトルを比較すると、電気作動式要素を駆動するのに使用された波形の周期的周波数（図 20 A）を増大させると、図 17 A の波形に対して基本周波数（50 kHz）よりも高い周波数の振幅が有意に増大することを見ることができる。

【0072】

図 21 は、照射領域で EUV 生成プラズマを発生させ、かつ汚損物質をノズルオリフィスから除去するのに適切な液滴を同時に生成するために電気作動式要素を駆動するための波形を判断するのに使用することができる処理 2100 を示す流れ図である。図 21 に示すように、処理 2100 は、照射領域にレーザビームを向ける段階（ボックス 2102）と、オリフィスを出る流体と、流体内に外乱を生成して波形により駆動される電気作動式要素を有するサブシステムとを含む液滴供給源を与える段階（ボックス 2104）とを含むことができる。例えば、液滴供給源は、図 2、図 2 A、図 2 B、図 2 C、又は図 3 に示す構成の 1 つを含むことができる。波形を信号発生器によって生成して電気作動式要素に電気ケーブルを通じて伝達することができ、かつ例えばケーブルが電気作動式要素に接続された端末にわたってオシロスコープを使用して測定することができる。

30

40

【0073】

次に、ボックス 2106 に示すように、照射領域に到達する前に完全に合体し、かつ詰まっていないオリフィスに対する安定した液滴指向を有する液滴を生成する約 A_{min} から約 A_{max} の振幅の範囲を判断することができる。例えば、上述の設定で、得られる液滴流を観測しながら、増大したピーク振幅（変動する波形形状又は周期的周波数なし）を有する駆動波形（オシロスコープで測定）を生成するように信号発生器の出力を徐々に調節することができる。具体的には、液滴合体及び指向安定性を観測することができる。比較的低いピーク振幅で始まって、ノイズによるランダムな液滴形成を観測することができる。ピーク振幅の増大で、照射領域（図 16 の領域 I）に到達する前に液滴を完全に合体させるには不十分である比較的弱い液滴合体を観測することができる。ピーク振幅の更に

50

別の増加で、照射領域に到達する前に液滴を完全に合体させるのに十分な液滴合体を観測することができる。完全な合体が行われる最小ピーク振幅 A_{min} は、ノズルオリフィスと照射領域の間の距離に依存する場合がある。約 A_{min} から約 A_{max} の範囲でピーク振幅を増大させると、オリフィスが詰まっていないうままである限り（図 16 の領域 I I）、照射領域に到達する前に完全に合体して安定した液滴指向を有する液滴が生成され続ける。約 A_{max} よりも大きいピーク振幅で（図 16 の領域 I I I）、本出願人は、液滴指向はたとえオリフィスが詰まっていないうままであるとしても不安定であることに気が付いた。具体的には、一部の試験では、本出願人は、液滴生成の僅か 2、3 時間後に液滴指向が不安定になると気が付いた。

【0074】

10

照射領域に到達する前に完全に合体し、かつ詰まっていないうオリフィスに対する安定した液滴指向を有する液滴を生成する約 A_{min} から約 A_{max} の振幅の範囲を判断した状態で、ボックス 2108 は、次の段階は、照射領域で E U V 生成プラズマを発生させる液滴を生成するために A_{max} の約 2 / 3 より大きくて A_{max} よりも小さいピーク振幅 A を有する波形で電気作動式要素を駆動することとすることができることを示している。この範囲で、本出願人は、ノズルオリフィス又はその近くに堆積した汚損物質を除去することができるアクチュエータ誘導式ノズル洗浄が行われると考えている。アクチュエータ誘導式ノズル洗浄は、例えば、より高い周波数の振幅増大（すなわち、図 18 B に示すように基本周波数よりも高い周波数）のために発生する場合がある。

【0075】

20

図 22 は、実質的でない量よりも大きいアクチュエータ誘導式ノズル洗浄を引き起こす（洗浄モード）波形で液滴発生器の電気作動式要素を周期的に駆動しながら E U V 出力を生成するための照射のための液滴を生成する（初期出力モード）ために使用することができる処理 2200 を示す流れ図である。図示のように、処理 2200 は、E U V 生成に向けて液滴を生成する（ボックス 2202）波形で液滴発生器の電気作動式要素を駆動することによって始まる。これは、例えば、有限立上り時間、及び 40 から 100 kHz 間の周期的周波数、及び 2 から 6 V 間のピーク振幅を有する実質的に矩形の周期的形状を有する周期的波形とすることができる。代替的に、方形波、高速パルス波形、高速ランプ波形、又はシンク関数波形のようなピークを有する非正弦波、又は周波数変調波形又は振幅変調波形のような変調波形のような上述の他の波形形状の 1 つは、E U V 出力を生成するた

30

【0076】

液滴の流れを用いて、ボックス 2204 は、液滴指向を測定することができることを示している。例えば、流れ内の 1 つ又はそれよりも多くの液滴の位置を望ましい軸線に対して判断することができる。上述したように、カメラのような液滴撮像器を使用して液滴位置を判断することができ、又は固体レーザのような光源は、液滴位置を示す信号をその後に出る光検出器アレイ、アバランシェフォトダイオード、又は光電子増倍管のような検出器に液滴流経路を通じてビームを向けることができる。液滴位置は、1 つ又はそれよりも多くの軸線で判断することができる。例えば、望ましい指向経路を X 軸として定義すると、液滴位置を Y 軸内で X 軸からの距離として測定することができ、かつ液滴位置を Z 軸内の X 軸からの距離として測定することができる。一部の場合には、いくつかの液滴の位置を平均化することができ、標準偏差を計算することができ、及び / 又は何らかの他の計算を行って位置を示す値を判断することができる。次に、この値を E U V 光源に向けて確立された位置スペックと比較して、液滴指向が許容可能であるか否かを判断することができる。Y 軸に沿ったスペックは、Z 軸に沿ったスペックと異なる場合がある。液滴発生器出力と照射領域の間に液滴経路に沿った位置で距離を測定することができる。標準偏差を Y 軸及び Z 軸の両方に対して計算し、次に、スペックと比較することができる。例えば、4 から 1 μm の標準偏差スペック（照射領域の近く又はそこでの測定に向けて）を一部の光源に使用することができる。スペックは、複数のレベルを有する場合がある。液滴がレーザビームによって照射される E U V 出力バースト中、中断期間中、又はその両方で液

40

50

滴指向を測定することができる。

【 0 0 7 7 】

図 2 2 は、指向がスベック内である場合に（ボックス 2 2 0 6）、初期出力モードを使用して E U V 出力を生成するための照射のための液滴が生成し続けることができることを示している。他方、指向がスベック外である場合に（ボックス 2 2 0 6）、液滴発生器は、洗浄モードにおいて作動させることができる（ボックス 2 2 0 8）。洗浄モード作動中、線 2 2 1 0 は、液滴指向を測定し続けることができることを示している（ボックス 2 2 0 4）。液滴指向がスベック内まで回復した場合に（線 2 2 1 2）、液滴発生器を初期出力モード作動することができる（ボックス 2 2 0 2）。

【 0 0 7 8 】

洗浄モードで液滴発生器の電気作動式要素を駆動するのに使用される波形は、E U V 生成に向けて液滴を生成する初期出力モードに使用される波形と異なる場合がある（ボックス 2 2 0 2）。例えば、洗浄モードに使用される波形は、初期出力モードに使用される波形と異なる周期的形状、周期的周波数、及び / 又はピーク振幅を有する場合がある。

【 0 0 7 9 】

例えば、洗浄モード波形は、有限立上り時間及び約 1 0 0 k H z よりも高い周期的周波数を有する実質的に矩形の周期的形状を有する周期的波形とすることができる。1つの例では、初期出力モード波形も洗浄モード波形も、有限立上り時間を有する実質的に矩形の周期的形状を有する周期的波形とすることができ、初期出力モード波形は、約 1 0 0 k H z よりも低い周期的周波数を有し、洗浄モード波形は、約 1 0 0 k H z よりも高い周期的周波数を有する。2つの波形のピーク振幅は、同じであるか又は異なる場合がある。一部の場合には、初期出力モード波形の周期的周波数は、最大駆動レーザパルス繰返し数又は何らかの他のシステムパラメータのような他のシステムパラメータにより抑制される場合がある。

【 0 0 8 0 】

図 1 7 B に示す周波数スペクトルと図 2 0 B に示す周波数スペクトルを比較すると、電気作動式要素を駆動するのに使用された波形の周期的周波数（図 2 0 A）を増大させると、図 1 7 A の波形に対して基本周波数（5 0 k H z）よりも高い周波数の振幅が有意に増大することを見ることができる。上述したように、アクチュエータ誘導式ノズル洗浄は、例えば、より高い周波数の振幅増大のために発生する場合がある。

【 0 0 8 1 】

別の実施では、初期出力モード波形も洗浄モード波形も、有限立上り時間を有する実質的に矩形の周期的形状を有する周期的波形とすることができ、初期出力モード波形は、約 A_{min} から約 A_{max} の範囲のピーク振幅を有し（図 1 6 を参照して上述したように）、洗浄モード波形は、 A_{max} の約 2 / 3 よりも大きいピーク振幅を有し、洗浄モード波形は、初期出力モード波形ピーク振幅よりも大きいピーク振幅を有する。2つの波形の周期的周波数は、同じであるか又は異なる場合がある。洗浄モード中に生成された液滴は、例えば、洗浄モードに使用されるピーク振幅が A_{max} の約 2 / 3 と A_{max} の間に存在する場合に、E U V 出力を生成するための照射に適切とすることができる。従って、一部の場合には、初期出力モードから洗浄モードへの変化は、E U V 光出力を低減することなく発生する可能性がある。他の場合には、洗浄モード中に生成される液滴は、例えば、洗浄モードに使用されるピーク振幅が A_{max} よりも大きい場合に、E U V 出力を生成するための照射に不適切とすることができる。

【 0 0 8 2 】

図 1 7 B に示す周波数スペクトルと図 1 8 B に示す周波数スペクトルを比較すると、電気作動式要素を駆動するのに使用される波形のピーク振幅（図 1 8 A）を増大させると図 1 7 A の波形の基本周波数（5 0 k H z）よりも高い周波数の振幅が有意に増大することを見ることができる。上述したように、アクチュエータ誘導式ノズル洗浄は、例えば、これらのより高い周波数の振幅増大のために発生する場合がある。

【 0 0 8 3 】

代替的に、正弦波、方形波、高速パルス波形、高速ランプ波形、又はシンク関数波形のようなピークを有する非正弦波、又は周波数変調波形又は振幅変調波形のような変調波形のような上述の他の波形形状の1つは、洗浄モード波形として適切とすることができる。

【0084】

指向測定値が、指向がスペック外であることを示す場合に、液滴発生器は、照射野間の期間、露光ツールがウェーハを変える期間、露光ツールがいくつかのウェーハを保持するいわゆる「ポート」又はカセットを交換する期間、又は露光ツール又は光源が測定を実行するか、1つ又はそれよりも多くの保守機能を実行するか、何らかの他の予定された又は予定外の処理を実行する期間のような適切な中断期間が発生するまで、初期出力モードで液滴を発生させ続けることができる。

10

【0085】

適切な中断期間中、液滴発生器は、洗浄モードに置くことができる。上述したように、洗浄モード波形は、EUV生成に向けて液滴を生成するために適切である場合もある。この場合に対して、液滴発生器は、出力EUVパルスの次のバーストに向けて液滴を生成するために洗浄モード波形を使用し続けることができる。また、上述したように、洗浄モード波形は、EUV生成に向けて液滴を生成するために適切である液滴を発生させない場合がある。この場合に、出力EUVパルスの次のバーストに向けて液滴を生成する前に、洗浄モードから初期出力モードに液滴発生器モードを変えることができる。代替的に、出力EUVパルスの次のバーストに向けて液滴を生成する前に、洗浄モードから初期出力モードと異なる別の出力モードに液滴発生器モードを変えることができる。例えば、初期出力モードでは、初期出力モードに向けて2Vのピーク振幅を有する波形、洗浄モードに向けて10Vのピーク振幅を有する波形、及び液滴発生器が洗浄モードでされていた中断期間後のバーストに向けて5Vのピーク振幅を有する波形を使用することができる。

20

【0086】

上述したように、2つ又はそれよりも多くのスペックレベルを使用することができる。例えば、液滴指向が第1のスペックレベルを上回った場合に、洗浄モードへの遷移が表示される場合があるが、特定のタイプの中断期間まで遅延させる場合もある。指向が第2のスペックレベルを上回った場合に、洗浄モードが早めに又は一部の場合には直ちにトリガされる場合がある。代替的に、液滴指向誤差の量により、使用する洗浄モードのタイプが決まる場合がある。例えば、測定された液滴指向が第1のスペック外であった場合に、例えば、制御アルゴリズムを使用して、EUV生成に向けて液滴を生成するためにも適切である洗浄モード波形で次の適切な中断期間で液滴発生器を洗浄モードに置くことができる。他方、測定された液滴指向が第2のスペック外であった場合に、例えば、制御アルゴリズムを使用して、EUV生成に向けて液滴を生成するためには適切ではない洗浄モード波形で次の適切な中断期間で液滴発生器を洗浄モードに置くことができる。例えば、初期出力モードでは、初期出力モードに向けて2Vのピーク振幅を有する波形、測定された液滴指向が第1のスペック外になった後に洗浄モードに向けて5Vのピーク振幅による波形、及び測定された液滴指向が第2のスペック外になった後に10Vのピーク振幅を有する波形を使用することができる。

30

【0087】

いくつかの配置では、液滴指向を測定することなく、又はシステムスペックから外れる液滴指向測定値がなくても、中断期間中に液滴発生器を洗浄モードに置くことができる。例えば、定期的なスケジュール上で制御アルゴリズムを通じて適切な中断期間毎、1つ置きの適切な中断期間毎などに液滴発生器を洗浄モードに置くことができる。代替的に、別のパラメータを測定かつ使用して、液滴発生器が次の適切な中断期間で洗浄モードにされるか否かを判断することができる。例えば、出力EUV、EUV変換効率、又は角度EUV強度分布のような液滴-レーザアラインメントを示すパラメータを使用することができる。

40

【0088】

別の実施では、洗浄波形の周期的周波数は、洗浄モード期間中に変えることができる。

50

例えば、周期的周波数は、周期的周波数の範囲で掃引することができる。周期的周波数の範囲を掃引することにより、液滴発生器の1つ又はそれよりも多くの固有共振周波数に対応する周波数を適用することができる。1つ又はそれよりも多くの液滴発生器共振周波数に1つ又はそれよりも多くの適用された周波数を適合させることは、洗浄効率を増大させるのに有効であると考えられる。周期的周波数範囲の掃引の代替として又はそれに加えて、波形形状を洗浄モード期間中に変更することができる。例えば、各波周期の立上り時間又は立下り時間は、洗浄周期中に適用される周波数スペクトルに対して変わるように修正することができる。

【0089】

図2B及び図4は、複数の電気作動式要素を有する液滴発生器を示している。使用時に、EUV生成に向けて適切である液滴を生成する波形により電気作動式要素の少なくとも1つを駆動することができる。洗浄モード期間中、少なくとも1つの他の電気作動式要素が、汚損物質を除去するのに適切な波形により駆動される場合がある。EUV生成液滴のための電気作動式要素は、EUV生成中に使用されるのと同じ波形、又は異なる波形により洗浄周期中に駆動され続ける場合があり、又は非駆動状態（例えば、非通電状態）である場合がある。洗浄モード中に使用される電気作動式要素の配置、数、サイズ、形状、及びタイプは、EUV生成に適切である液滴を生成するのに使用される電気作動式要素の配置、数、サイズ、形状、及びタイプと異なる場合がある。1つの配置では、洗浄モード中に使用される電気作動式要素は、縦共振モードを励起するために毛細管の長さ方向に沿って位置合せされる振動を生成するように構成される。

【0090】

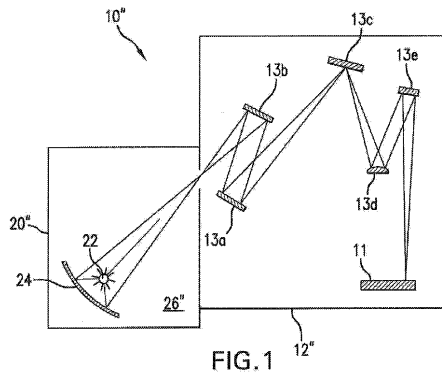
以上の実施形態は、例のみであることを意図しており、本出願により広義に考えられる主題の範囲を制限することを意図しないことは当業者により理解されるであろう。追加、削除、及び修正を本明細書に開示する主題の範囲に開示する実施形態に行うことができることを当業者は認めなければならない。特許請求の範囲は、範囲及び意味において、開示した実施形態だけではなく当業者に明らかであると思われるような均等物及び他の修正及び変形も包含することを意図している。明示的に特に断らない限り、単数形での特許請求の範囲の要素への言及、又は冠詞「a」が前に付いた要素への言及は、その要素の「1つ又はそれよりも多く」を意味することを意図している。本明細書に示す開示内容のいずれのものも、開示内容が明示的に特許請求の範囲に説明されたか否かに関わらず、一般大衆に捧げることを意図したものでない。

【符号の説明】

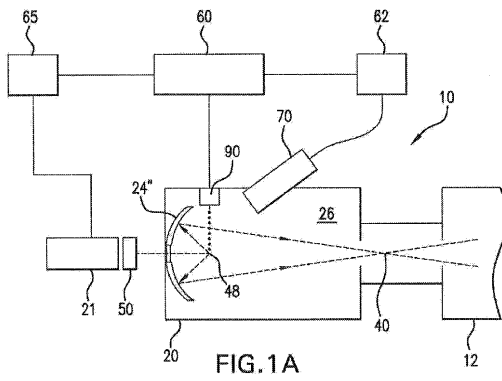
【0091】

- 10 EUVフォトリソグラフィ装置
- 24 ' ' 光学系
- 60 コントローラ
- 65 駆動レーザ制御システム
- 90 原材料送出システム

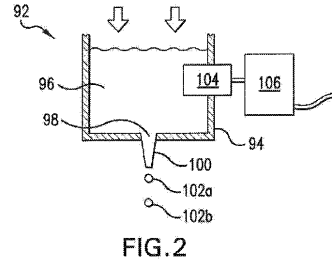
【図 1】



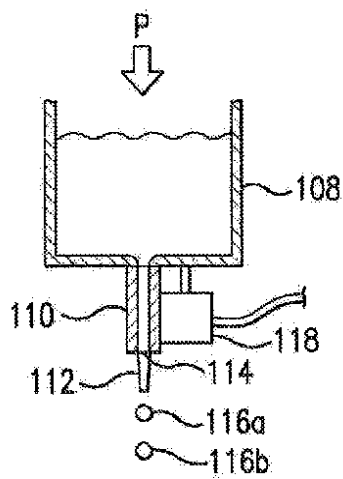
【図 1 A】



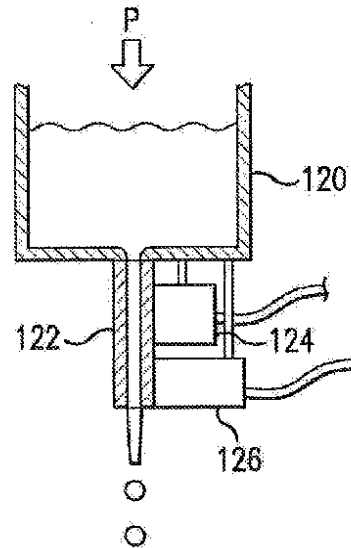
【図 2】



【図 2 A】



【図 2 B】



【図 2 C】

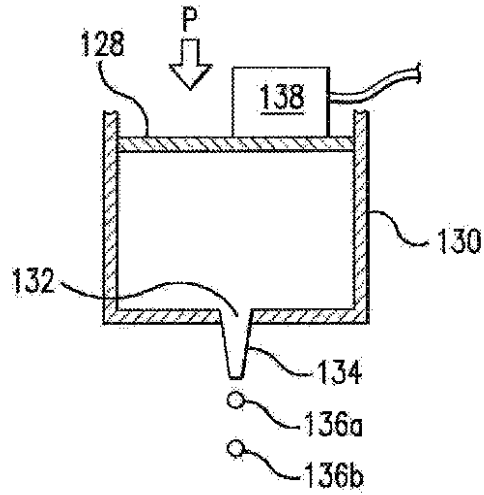


FIG. 2C

【図 3】

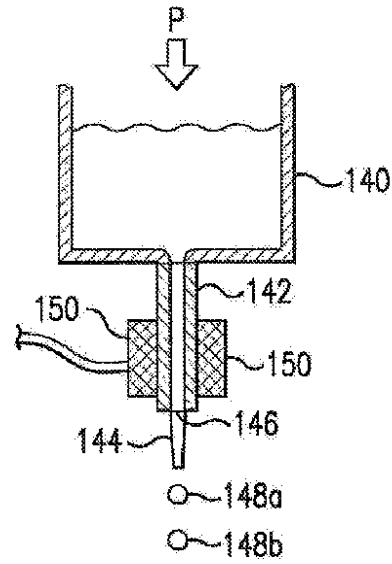


FIG. 3

【図 4】

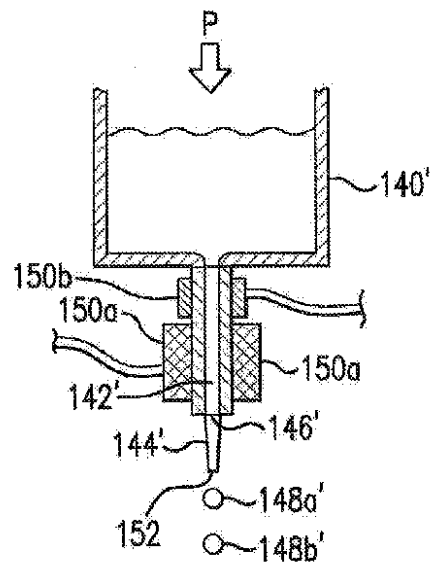


FIG. 4

【図 5】

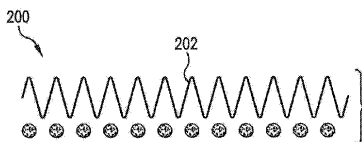


FIG. 5

【図 6】

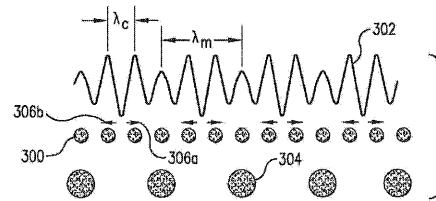


FIG. 6

【図 7】

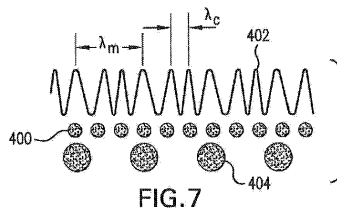


FIG. 7

【図 9】

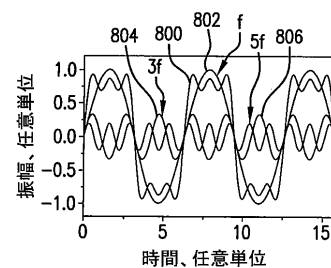


FIG. 9

【図 10】

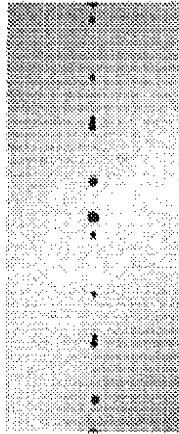


FIG.10

【図 11】

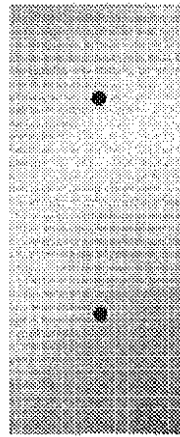


FIG.11

【図 12 A】

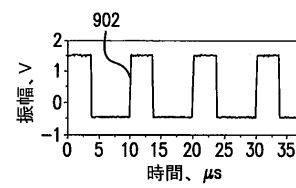


FIG.12A

【図 12 B】

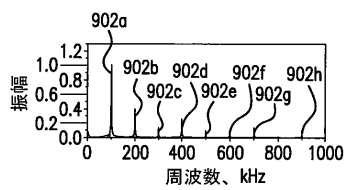


FIG.12B

【図 12 D】

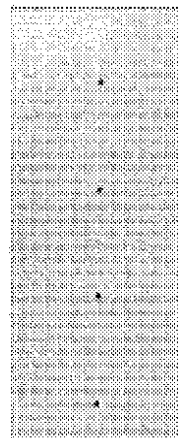


FIG.12D

【図 12 C】

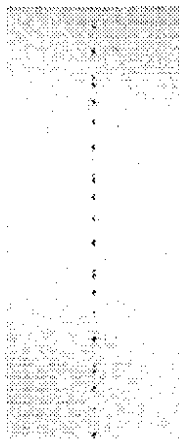


FIG.12C

【図 13 A】

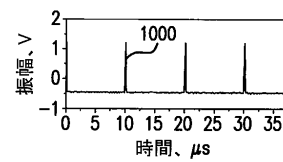


FIG.13A

【図 13 B】

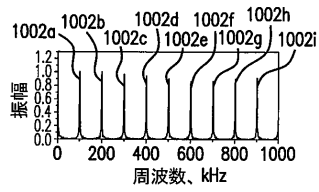


FIG.13B

【図 13 C】

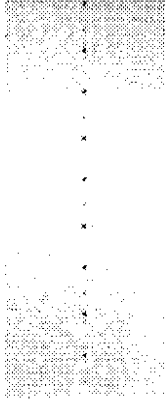


FIG.13C

【図 13 D】

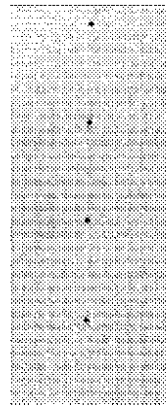


FIG.13D

【図 14 A】

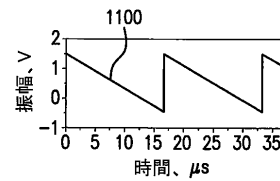


FIG.14A

【図 14 B】

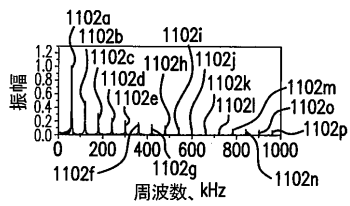


FIG.14B

【図 14 C】



FIG.14C

【図 14 D】

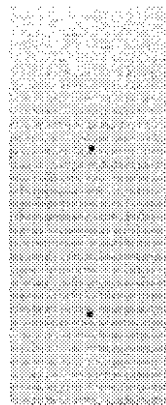


FIG.14D

【図 15 A】

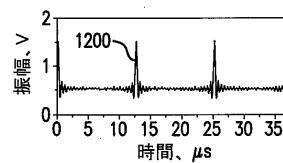


FIG.15A

【図 15 B】

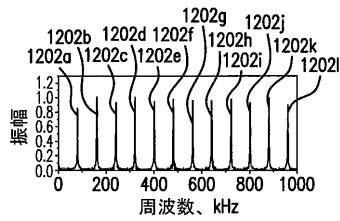


FIG.15B

【図 15 C】

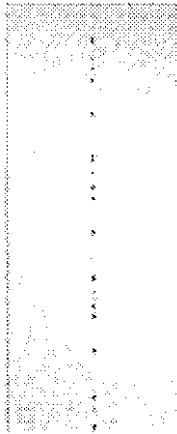


FIG.15C

【図 15 D】

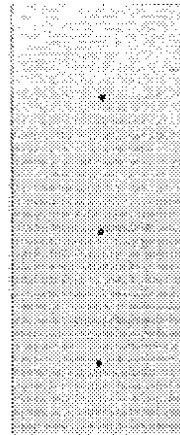


FIG.15D

【図 16】

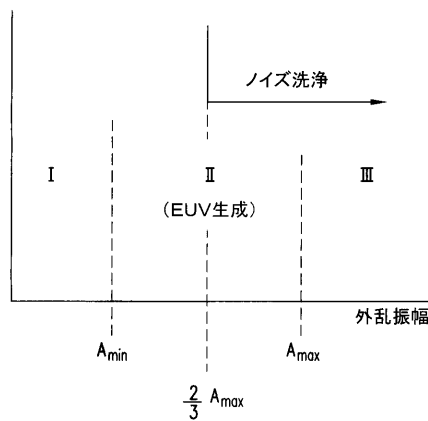


FIG.16

【図 17 A】

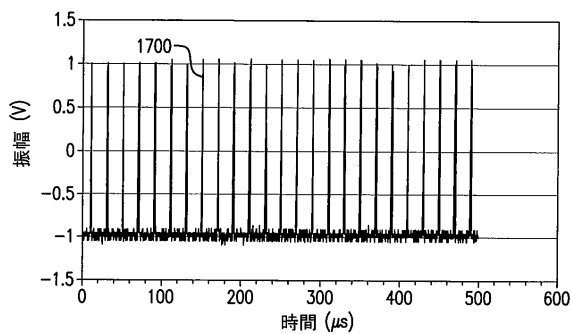


FIG.17A

【図 17 B】

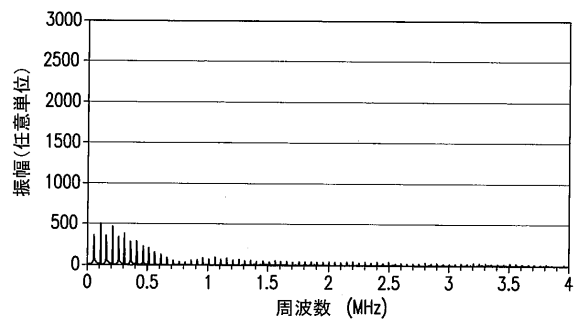


FIG.17B

【図 18 A】

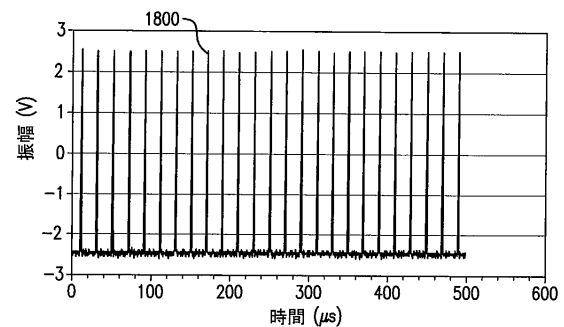


FIG.18A

【図 18 B】

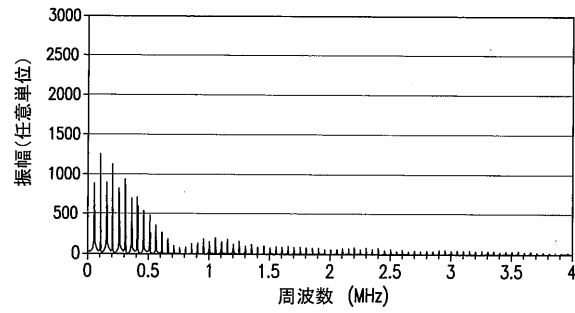


FIG.18B

【図 19 B】

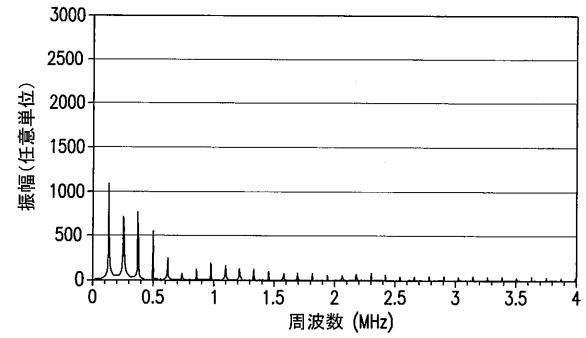


FIG.19B

【図 19 A】

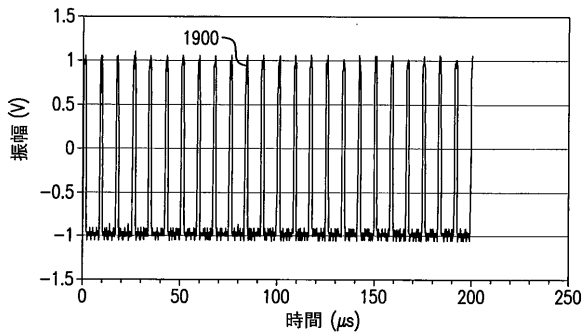


FIG.19A

【図 20 A】

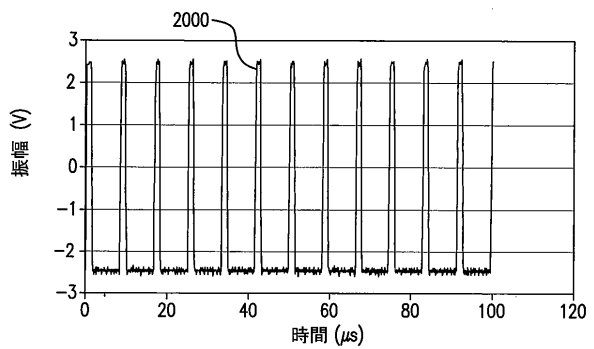


FIG.20A

【図 20 B】

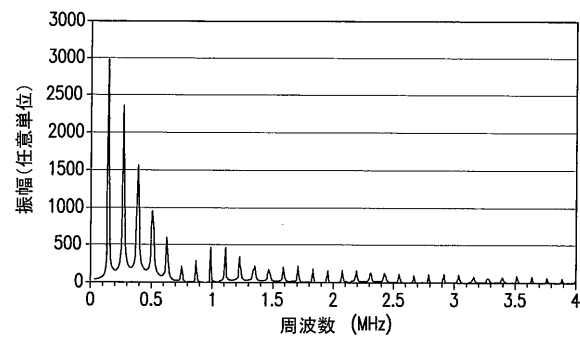


FIG.20B

【図 21】

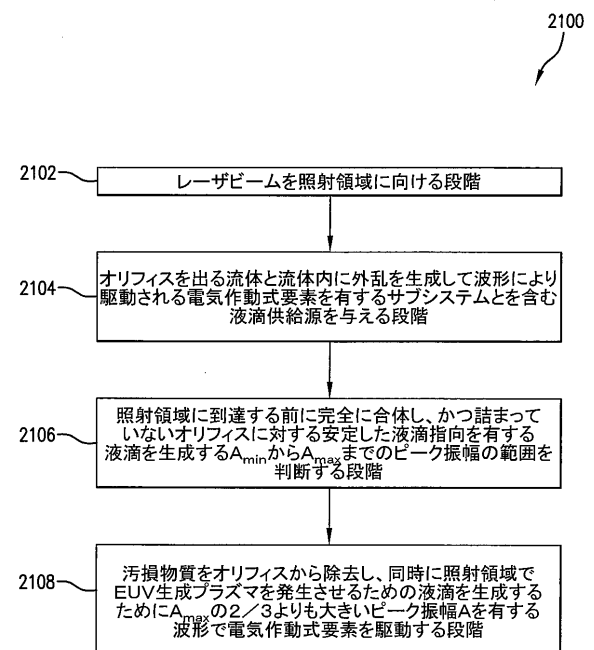


FIG.21

【図 22】

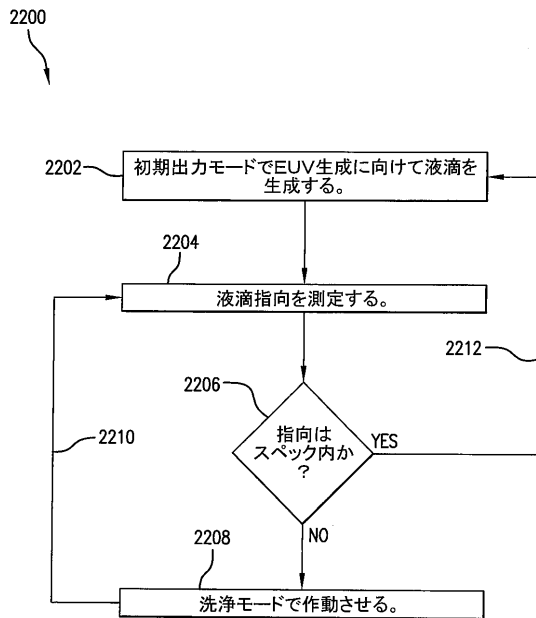


FIG.22

【図 8】

搬送周波数 = 100 kHz

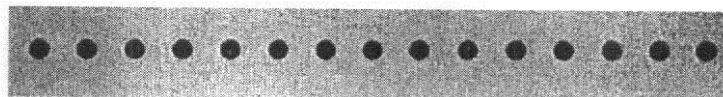
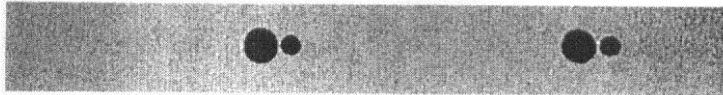
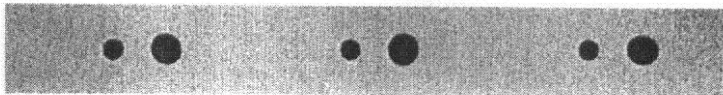
 $f_m = 10$ kHz $f_m = 10$ kHz $f_m = 15$ kHz $f_m = 20$ kHz

FIG.8

フロントページの続き

- (72)発明者 バウムガート ピーター
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 2 1 2 7 サン ディエゴ ソーンミント コート 1 7
0 7 5
- (72)発明者 ヴァスチェンコ ゲオルギー オー
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 2 1 2 7 サン ディエゴ ソーンミント コート 1 7
0 7 5

審査官 伊藤 昭治

- (56)参考文献 特表 2 0 1 0 - 5 3 3 3 8 6 (J P , A)
米国特許出願公開第 2 0 0 6 / 0 1 9 2 1 5 3 (U S , A 1)
特開 2 0 0 5 - 2 6 2 5 2 5 (J P , A)

- (58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
- | | |
|---------|-------------|
| H 0 5 G | 2 / 0 0 |
| H 0 1 L | 2 1 / 0 2 7 |
| B 4 1 J | 2 / 1 6 5 |