

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5431675号  
(P5431675)

(45) 発行日 平成26年3月5日(2014.3.5)

(24) 登録日 平成25年12月13日(2013.12.13)

(51) Int.Cl.

F I

H O 1 L 21/027 (2006.01)

H O 1 L 21/30 5 3 1 S

H O 5 G 2/00 (2006.01)

H O 5 G 1/00 K

請求項の数 10 (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2007-557224 (P2007-557224)  
 (86) (22) 出願日 平成18年2月24日 (2006.2.24)  
 (65) 公表番号 特表2008-532293 (P2008-532293A)  
 (43) 公表日 平成20年8月14日 (2008.8.14)  
 (86) 国際出願番号 PCT/US2006/006947  
 (87) 国際公開番号 W02006/091948  
 (87) 国際公開日 平成18年8月31日 (2006.8.31)  
 審査請求日 平成21年2月17日 (2009.2.17)  
 (31) 優先権主張番号 11/067, 124  
 (32) 優先日 平成17年2月25日 (2005.2.25)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)  
 (31) 優先権主張番号 11/174, 443  
 (32) 優先日 平成17年6月29日 (2005.6.29)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(73) 特許権者 504010648  
 サイマー インコーポレイテッド  
 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  
 コート 17075  
 (74) 代理人 100082005  
 弁理士 熊倉 禎男  
 (74) 代理人 100067013  
 弁理士 大塚 文昭  
 (74) 代理人 100086771  
 弁理士 西島 孝喜  
 (74) 代理人 100109070  
 弁理士 須田 洋之

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プレパルスによるレーザ生成プラズマEUV光源

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

EUV光を発生させる方法において、  
 原材料を加熱する段階と、  
 多重オリフィスノズルを用いて複数の原材料液滴を発生させ、液滴をターゲットボリュ  
 ーム内のランダムな位置に供給する段階と、  
 ターゲットボリューム内の複数の原材料液滴に第1の光パルスと同時に照射して照射原  
 材料を生成する段階と、  
 その後で、前記照射原材料を第2の光パルスに露出してEUV光を発生させる段階と、  
 を含み、  
 前記第2の光パルスがある焦点サイズを有する焦点に集束され、前記方法が更に、  
 前記照射段階の後に予め設定された時間を待機して、前記露出段階の開始前に前記照射  
 原材料の液滴が、個々の液滴からの蒸気の合により少なくとも前記焦点サイズにまで膨  
 張することができるようにする段階を含む、方法。

【請求項 2】

前記照射原材料が蒸発原材料を含むことを特徴とする請求項1に記載の方法。

【請求項 3】

前記照射原材料がイオンを含むが、イオン化されるのが約1%未満の材料を含むことを  
 特徴とする請求項1に記載の方法。

【請求項 4】

前記露出段階がプラズマを発生させることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 5】

C O<sub>2</sub> レーザを用いて前記第 2 の光パルスが発生させることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 6】

多重オリフィスノズルを有し、複数の加熱された原材料液滴をターゲットボリウム内のランダムな位置に供給する液滴発生器と、

前記ターゲットボリウム内の複数の原材料液滴に第 1 のパルスを同時に照射して照射原材料を生成するための第 1 の光パルス源と、

前記照射原材料を第 2 の光パルスに露出して E U V 光を発生させる第 2 の光パルス源と  
、  
を含み、

前記第 2 の光パルスがある焦点サイズを有する焦点に集束され、更に、

前記露出段階の開始前に前記照射原材料の液滴が、個々の液滴からの蒸気の合一により  
少なくとも前記焦点サイズにまで膨張することができるよう、前記第 2 の光パルス源を前記照射段階の後に予め設定された時間に亘り待機させる、発射制御システムを含む  
ことを特徴とする E U V 光源。

【請求項 7】

前記液滴発生器が非変調液滴発生器を含むことを特徴とする請求項 6 に記載の E U V 光源。

【請求項 8】

前記複数の原材料液滴内の各液滴が、5 μm から 1 0 0 μm の範囲の直径を有することを特徴とする請求項 6 に記載の E U V 光源。

【請求項 9】

前記複数の原材料液滴内の各液滴が、5 μm から 1 5 μm の範囲の直径を有することを特徴とする請求項 6 に記載の E U V 光源。

【請求項 1 0】

E U V 光を発生させる方法において、

原材料を供給する段階と、

少なくとも 1 つの液滴直径を有する原材料液滴を発生させる段階と、

前記少なくとも 1 つの原材料液滴に第 1 の光パルスを照射して照射原材料を生成する段階と、

前記照射原材料を前記液滴直径よりも大きい直径を有する焦点サイズを有する焦点に集束させた第 2 の光パルスに露出して、E U V 光を発生させる段階と

を含み、

前記照射段階と前記露出段階との間に予め設定された時間期間が経過するのを許容して、前記露出段階の開始前に前記照射原材料の液滴が、個々の液滴からの蒸気の合一により  
少なくとも前記焦点サイズにまで膨張することができるようにする、  
ことを特徴とする方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

[ 関連出願 ]

本出願は、代理人整理番号第 2 0 0 4 - 0 0 0 8 - 0 1 号である「E U V プラズマ源ターゲット供給の方法及び装置」という名称の 2 0 0 5 年 2 月 2 5 日出願の同時係属の米国特許出願第 1 1 / 0 6 7 , 1 2 4 号の一部継続出願である代理人整理番号第 2 0 0 5 - 0 0 8 5 - 0 1 号である「プレパルスによるレーザ生成プラズマ E U V 光源」という名称の 2 0 0 6 年 2 月 2 1 日出願の米国特許出願第 1 1 / \_\_\_\_ 号に対する優先権を主張し、これらの特許の内容全体は、引用により本明細書に組み込まれる。

【0 0 0 2】

2006年2月21日出願の米国特許出願はまた、代理人整理番号第2005-0003-01号である「LPP EUVプラズマ原材料ターゲット供給システム」という名称の2005年6月29日出願の同時係属である米国特許出願第11/174,443号の一部継続出願であり、該特許の内容全体は引用により本明細書に組み込まれる。

【0003】

また本出願は、代理人整理番号第2005-0102-01号である本出願と同時出願の「EUV光源用原材料分配装置」という名称の同時係属米国特許非仮出願に関連し、該特許の内容全体は引用により本明細書に組み込まれる。

【0004】

また本出願は、代理人整理番号第2005-0081-01号である本出願と同時出願の「レーザ生成プラズマEUV光源」という名称の同時係属米国特許非仮出願に関連し、該特許の内容全体は、引用により本明細書に組み込まれる。

【0005】

また本発明は、代理人整理番号第2006-0010-01号である本出願と同時出願の「極端紫外線光源」という名称の同時係属米国特許仮出願に関連し、該特許の内容全体は、引用により本明細書に組み込まれる。

【0006】

本発明は、例えば約50nm以下の波長で例えば半導体集積回路製造用フォトリソグラフィにおいて、原材料から生成され、収集されて焦点に配向されるプラズマからのEUV光を極端紫外線（「EUV」）光源チャンバの外側で利用するために供給するEUV光源に関する。

【背景技術】

【0007】

例えば約50nm以下の波長を有する電磁放射線（また軟X線という）、及び約13.5nmの波長の光を含む極端紫外線（「EUV」）光は、フォトリソグラフィ法において使用され、基板内の極めて小さな特徴部（例えばシリコンウェーハ）を生成することができる。

【0008】

EUV光を生成する方法は、必ずしもこれらに限定されるものではないが、EUVレンジの輝線を伴う元素（例えば、キセノン、リチウム又は錫）を有する物質をプラズマ状態に変換することを含む。レーザ生成プラズマ（「LPP」）と呼ばれることの多いこうした1つの方法においては、所要の線放出元素を有する物質の液滴、ストリーム、又はクラスターといったターゲット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。現在のところ、各液滴に個別のレーザパルス（例えば、主レーザパルス）を照射するシステムが開示されている。また、個別のプレパルス（例えば光パルス（液滴当たり1プレパルス））を各液滴に順次照らした後、プレパルスを受けた原材料からEUVを発生させるのに十分なプラズマ生成パルス（例えば、主レーザパルス）を照射するシステムが開示されている。

【0009】

一例として、Sn及びLi原材料では、原材料をそれぞれの融点を超えて加熱してオリフィスを介して強制的に送り、液滴を生成することができる。しかしながら、この形式の非変調噴射は通常、その後でかなり無秩序な液滴に分離されるストリームを発生する。その結果、一般に、液滴サイズのばらつきが大きく、液滴経路に沿っても液滴経路に垂直な平面においても液滴の位置安定性の制御が不十分となる。

【0010】

従って、上述の液滴当たり単一光パルス（プレパルスは含まない）の方法では、相対的に小さなレーザ-液滴相互作用領域に液滴を正確に供給することが必要となる可能性がある。更に、この形式のレーザ-液滴相互作用では、100%結合に近づけるためには、ビームスポットは、相互作用区域が液滴直径よりも小さいことが通常必要とされる。この方法では、小さな位置ずれでも液滴とレーザパルスとの間の結合が無効になる可能性があり

10

20

30

40

50

、その結果、EUV出力が低下し、入力パワーと出力EUVパワーとの間の変換効率が相対的に低くなる。液滴とレーザとの間の結合を高めるため、原材料を毛細管に通過させて、例えば圧電(PZT)材料などの電気作動素子を用いて毛細管を圧搾し、毛細管からの原材料の放出を相対的に均一な液滴ストリームに変調することができる変調液滴ストリームを確立するように、幾つかの実施が開発されてきた。

#### 【0011】

本明細書で使用される用語「電気作動素子」及びその派生語は、電圧、電界、磁界、又はその組み合わせを受けたときに寸法変化を生じる材料又は構造体を意味し、限定ではないが、圧電材料、電歪材料、磁歪材料を含む。通常、電気作動素子は、幾分狭い温度範囲内で信頼性があり且つ効率的に動作し、一部のPZT材料は、約250の最大動作温度を有する。一部のターゲット材料では、この温度は、ターゲット材料の融点に近い温度である。例えば、Snの融点は231であり、これはPZTの動作範囲のマージンを極めて狭めることになる。更に、ターゲット材料の融点とPZTの最大動作温度との間の差が極めて小さいことで、毛細管表面上で原材料が凝固することに起因してノズルの閉塞又は部分的な閉塞を生じる可能性がある。

#### 【0012】

非変調液滴ノズルでは、原材料(例えば、Sn、Li、その他)は、融点をかなり上回って加熱することができる。PZTがないので、この追加加熱によってノズルの閉塞が最小限に抑えられる傾向がある。他方、PZTを使用すると、PZTの動作時に生成される超音波に起因してノズル閉塞に寄与することができる。これらの超音波は、溶融ターゲット材料を介して効率的に伝達され、原材料リザーバの内表面の超音波クリーニングになることができる。その結果この洗浄は、小さなノズルオリフィスを閉塞する可能性がある残留塊を洗い出すことができる。従って、液滴形成の変調に電気作動素子を使用すると、システムの複雑性が増す傾向があり、ノズル閉塞を引き起こし、及び/又は電気作動素子を利用することによって特定の原材料に限定される可能性がある。

#### 【0013】

液滴が発生すると、例えば、その運動量及び/又は重力或いは他の何らかの影響によって、真空チャンバ内で照射部位まで進むことができ、ここで、液滴は、例えばレーザビームが照射されてプラズマを発生させる。このプロセスでは、プラズマは通常、密封容器(例えば、真空チャンバ)内で生成され、様々な形式の測定機器を使用してモニターされる。EUV放射線の発生に加えて、これらのプラズマ法では通常、潜在的に様々なプラズマチャンバ光学素子の動作効率を損い、又は低下させる可能性のある望ましくない副生成物(例えば、デブリ)もプラズマチャンバ内で発生する。このデブリは、熱、高エネルギーイオン、及びプラズマ形成からの散乱デブリ、例えば原材料の原子及び/又はクランプ/マイクロ液滴を含むことができる。このような理由から、所与のEUV出力パワーで形成されるデブリのタイプ、相対量及び総量を最小にする1つ又はそれ以上の技法を利用することが望ましい場合が多い。デブリを最小にするようにターゲットサイズ(例えば、液滴直径)及び/又はターゲット構成(例えば、化学的性質)が選ばれると、このターゲットは、いわゆる「質量制限」ターゲットと呼ばれることがある。

#### 【0014】

CO<sub>2</sub>レーザは、特に特定のターゲットについてはLPPプロセスで幾つかの利点を提示し、これらの利点は、入力パワーと出力EUVパワーの相対的に高い変換効率をもたらす能力を含むことができる。しかしながら、特定の用途においてCO<sub>2</sub>レーザを使用する1つの欠点は、10.6µm放射線を緊密に集束できない点である。例えば、100ミクロン未満の直径を有する代表的な「質量制限」Sn液滴と、約50cmの焦点距離を有するレンズを利用してレーザ放射線を100ミクロン液滴上に集束するCO<sub>2</sub>レーザ集束法を考える。ビーム、例えば、CO<sub>2</sub>レーザビームを集束するために、このような方法においては、ビームの発散は通常、約0.01/50=0.2mrad未満である必要がある。しかしながら、この値は、レンズ位置においての50mmアパーチャでの10.6µm放射線の回折限界値を下回り、すなわち、

$$D_{diff} = 1.22 * 10.6 * 10^{(-6)} / 50 * 10^{(-3)} = 2.6 \text{ mrad}$$

であり、従って到達することができない。この制限を克服するためには、焦点距離を短くするか、又はレンズ（レーザビーム）直径を大きくしなければならない。残念ながら、これらの改良点のいずれにも欠点がある。例えば、LPPプラズマは、楕円コレクタの内側で形成することができ、レーザはコレクタの開口部を通して照射部位に到達する。この設定では、焦点距離を短くするか、又はレンズ（レーザビーム）直径を大きくするには、一般に、コレクタ開口部のサイズを大きくする必要がある。これによって、EUV集束角度が小さくなり、レーザ入力ウィンドウをデブリから保護するための複雑な方策が必要になる可能性がある。

10

#### 【0015】

LPP EUV光源は通常、リソグラフィスキャナなどの光学装置が使用するために光を発生するように設計されている。場合によっては、これらの光学装置では、その構造に起因して、EUV光源の発生した光を装置が使用できる容量に制限を設けることがある。更に、一部の光を使用する光学装置、例えばスキャナは、光源容量が小さいほどより効率的に動作するように設計される（即ち、スキャナ設計者にとっては、光源容量は小さいほどよい）。光源のこの光学的特性は、E t e n d u e 数として一般的に知られている。要約すると、プラズマ開始レーザを集束する能力は、照射容量を最小サイズにすることができ、E t e n d u e 数によって、最大容量を制限することができる。

#### 【0016】

20

以上を念頭に置いて、出願人は、プレパルスによるレーザ生成プラズマEUV光源及び対応する使用法を開示する。

#### 【0017】

【特許文献1】米国特許出願第11/067,124号公報

【特許文献2】米国特許出願第11/174,443号公報

【特許文献3】米国特許第6,625,191号公報

【特許文献4】米国特許第6,549,551号公報

【特許文献5】米国特許第6,567,450号公報

#### 【発明の開示】

#### 【0018】

30

第1の態様において、EUV光を発生させる方法は、原材料を供給する行為/段階と、複数の原材料液滴を発生させる行為/段階と、複数の原材料液滴に第1の光パルスを同時に照射して照射原材料を生成する行為/段階と、その後で、照射原材料を第2の光パルスに露出して、例えば原材料のプラズマを発生させることによってEUV光を発生させる行為/段階とを含むことができる。特定の実施においては、照射原材料は蒸発原材料を含むことができる。1つの実施においては、照射原材料は弱いプラズマを含むことができる。用途によっては、レーザパルス的一方又は両方は、CO<sub>2</sub>レーザによって発生させることができ、原材料はSnを含むことができ、原材料液滴は、5 μmから100 μmの範囲の直径、場合によっては、5 μmから15 μmの範囲の直径を有することができる。

#### 【0019】

40

別の実施においては、EUV光を発生させる方法は、原材料を供給する行為/段階と、少なくとも1つの原材料液滴を発生させる行為/段階と、少なくとも1つの原材料液滴に第1の光パルスを照射して照射原材料を生成する行為/段階と、焦点サイズを有する焦点に照射原材料を露出して第2の光パルスに露出してEUV光を発生させる行為/段階を含むことができる。この実施では、第2の光パルスのある焦点サイズを有する焦点に集束させることができ、照射行為/段階と露出行為/段階との間で特定の時間期間を経過させて、露出行為/段階前に、照射原材料が少なくとも焦点サイズにまで膨張することができるようにすることができる。例えば、予め設定された時間は数マイクロ秒とすることができる。

#### 【0020】

50

別の態様においては、EUV光源は、複数の原材料液滴をターゲットボリウムに供給する液滴発生器と、ターゲットボリウム内の複数の原材料液滴に第1のパルスと同時に照射して原材料を生成する第1の光パルス源と、原材料を第2の光パルスに露出してEUV光を発生させる第2の光パルス源とを含むことができる。第1の実施形態において、液滴発生器は、非変調液滴発生器を含むことができる。特定の実施形態において、液滴発生器は、多重オリフィスノズルを含むことができる。1つの特定の実施形態において、液滴発生器は、壁部を有し、オリフィスが形成された原材料リザーバと、壁部から離間して配置され、壁部を変形させて液滴発生器からの原材料の放出を変調するように動作可能な電気作動素子とを含むことができる。

【発明を実施するための最良の形態】

10

【0021】

最初に図1を参照すると、本発明の実施形態の態様による例示的なEUV光源、例えばレーザ生成プラズマEUV光源20の概略図が示されている。図1に示し、以下で更に詳細に説明するように、LPP光源20は、光パルスを発生させてチャンバ26に供給する供給源22を含むことができる。以下で詳細に説明するように、光パルスは、供給源22から1つ又はそれ以上のビーム経路に沿ってチャンバ26に進み、1つ又はそれ以上のターゲットボリウムを照らすことができる。

【0022】

図1に更に示すように、光源20はまた、例えば、原材料の液滴をチャンバ26の内部に入ってターゲットボリウム28に供給する原材料供給システム24を含むことができ、ここで原材料ターゲットは、1つ又はそれ以上の光パルス、例えば、プレパルスとその後の主パルスによって照射されて、プラズマを生成し、EUV発光を生じることになる。原材料は、限定ではないが、錫、リチウム、キセノン、又はその組み合わせを含む材料を含むことができる。EUV発光元素、例えば錫、リチウム、キセノンなどは、離散的量でEUV発光元素をターゲットボリウムに供給する液体液滴及び/又は液体液滴内に含まれる固体粒子の形態、又は他のあらゆる形態とすることができる。場合によっては、液滴は、該液滴をターゲットボリウム28に向けて又はターゲットボリウム28から離れるように選択的に操向することを可能にする電荷を含むことができる。

20

【0023】

引き続き図1に関して、光源20は、例えば切頭楕円の形態の例えばリフレクタであって、モリブデン又はシリコンの交互の層を有し、供給源22によって発生した光パルスが通過してターゲットボリウム28に到達することを可能にするアパーチャを備えた、多層ミラーであるコレクタ30を含むことができる。コレクタ30は、例えば、ターゲットボリウム28内又はその近傍に第1の焦点を有し、EUV光を光源20から出力し、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いわゆる中間点40（中間焦点40ともいう）に第2の焦点を有する楕円ミラーとすることができる。

30

【0024】

光源20はまた、EUV光源制御システム60を含むことができ、該EUV光源制御システム60はまた、供給源22内の1つ又はそれ以上のランプ及び/又はレーザ源をトリガすることによって、チャンバ26内への供給用の光パルスを発生させる発射制御システム65を含むことができる。光源20はまた、1つ又はそれ以上の液滴撮像器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、液滴撮像器70は、例えば、ターゲットボリウム28に対する1つ又はそれ以上の液滴の位置を示す出力を提供し、この出力を液滴位置検出フィードバックシステム62に供給して、例えば液滴位置及び軌道を計算することができ、これから例えば液滴単位で又は平均して液滴誤差を計算することができる。次いで、液滴誤差を入力として光源コントローラ60に提供することができ、該光源コントローラ60は、例えば、位置、方向、タイミング補正信号を供給源22に供給して、供給源タイミング回路の制御及び/又はビーム位置及び成形システムの制御を行い、例えば、チャンバ26に供給されている光パルスの場所及び/又は焦能力を変えることができる。

40

50

## 【 0 0 2 5 】

図 1 に示すように、光源 2 0 は、例えば、液滴供給機構 9 2 からの原材料の放出点を修正して、望ましいターゲットボリウム 2 8 に到達する液滴の誤差を補正するシステムコントローラ 6 0 からの信号（一部の実施においては、上述の液滴誤差、又は、これから導出された何らかの量を含むことができる）に応答して動作可能な液滴供給制御システム 9 0 を含むことができる。

## 【 0 0 2 6 】

図 2 は、液滴供給機構 9 2 の実施例をより詳細に示している。この図でわかるように、液滴供給機構 9 2 は、例えばアルゴンガスを使用して圧力下で溶融原材料（例えば、錫、リチウムなど）を保持する加圧カートリッジ 1 4 3 を含むことができ、更に、溶融原材料をフィルタ 1 4 4、1 4 5 のセットを通すように構成することができ、該フィルタ 1 4 4、1 4 5 は、例えば、それぞれ 1 5 ミクロンと 7 ミクロンとして、7 ミクロン以上の固体介在物（例えば、酸化物、窒化物のような錫化合物、金属不純物、など）を捕捉することができる。原材料は、フィルタ 1 4 4、1 4 5 からディスペンサ 1 4 8 まで通ることができる。

## 【 0 0 2 7 】

図 3 及び図 4 は、2 つ又はそれ以上の液滴（例えば、図 3 においては液滴 2 0 0 a'、2 0 0 b'、例えば、図 4 においては、液滴 2 0 0 a'、2 0 0 b'、2 0 0 c'、2 0 0 d'）が、図示のようにターゲットボリウム 2 8'、2 8' 内に同時に存在することができるように、複数の液滴を生成してターゲットボリウム 2 8'、2 8' に供給する液滴ディスペンサ 1 4 8'、1 4 8' の 2 つの異なる実施形態を示す。更に詳細には、図 3 は、原材料 2 0 4' を通過させて、（1）ディスペンサを出る液滴の流れか、又は（2）ディスペンサ 1 4 8' を出た後に表面張力によって液滴に分離する連続流のいずれかを生成する単一のオリフィス 2 0 2' を有する液滴ディスペンサ 1 4 8' を示す。いずれの場合においても、複数の液滴が生成されて、ターゲットボリウム 2 8' に供給され、2 つ又はそれ以上の液滴が同時にターゲットボリウム 2 8' 内に存在することができるようになる。以下で更に詳細に説明するように、ターゲットゾーンのサイズ（少なくとも部分的には、ターゲットゾーン内の液滴を照射するのに使用されるレーザビームによって定められる）は、場合によっては、単一の液滴のサイズより大きいとすることができ、これによって、EUV 光源は、サイズ又は位置（例えば、オリフィスからターゲットボリウムの中心に延びる線に対する位置及び/又は同じオリフィスから放出された他の液滴に対する位置）が必ずしも均一ではない液滴の流れに対応することができる。従って、一部の実施形態については、非変調ディスペンサを使用することができる。本明細書で使用される用語「非変調ディスペンサ」及びその派生語は、1 つのディスペンサオリフィスを介して形成される液滴の液滴形成周波数又はその近傍の周波数を有する入力信号を利用しないディスペンサを意味する。非変調ディスペンサの上述の利点にも拘わらず、特定の用途においては、本明細書で説明する光源は、2 0 0 5 年 2 月 2 5 日出願の「EUV プラズマ源ターゲット供給システム」という名称の米国特許出願第 1 1 / 0 6 7 , 1 2 4 号、及び 2 0 0 5 年 6 月 2 9 日出願の「LPP EUV プラズマ原材料ターゲット供給システム」という名称の米国特許出願第 1 1 / 1 7 4 , 4 4 3 号で記載され且つ特許請求されているディスペンサの 1 つのような変調ディスペンサを利用し、その恩恵を受けることができ、これら両特許の内容は、引用により既に本明細書に組み込まれている。

## 【 0 0 2 8 】

図 4 及び図 5 は、非変調多重オリフィス原材料ディスペンサ 1 4 4' を示しており、これは、光パルス（例えば、プレパルス）によってターゲットボリウム 2 8' で同時照射するために複数の液滴を発生させて、原材料を蒸発及び膨張させた後レーザパルス（例えば、主パルス）に露出して、EUV 発光を発生させる。更に詳細には、図 4 及び図 5 は、原材料 2 0 4' を通過させ、各オリフィスについて、（1）ディスペンサを出る液滴の流れ、又は（2）ディスペンサ 1 4 8' を出た後に表面張力により液滴に分離する連続流のいずれかを生成する 9 個のオリフィスを有する原材料ディスペンサ 1 4 8'（そ

10

20

30

40

50

のうち、代表的なオリフィス 202' ' が表記されている)を示す。9個のオリフィスが示されているが、10個以上及び2個だけのオリフィスを採用して適切な多重オリフィスディスペンサを生成してもよいことは理解されたい。図示するように、ディスペンサ 148' ' については、2つ又はそれ以上の液滴が発生してターゲットボリウム 28' ' に供給され、2つ又はそれ以上の液滴が同時にターゲットボリウム 28' ' 内に存在することができるようになる。この配置では、場合によっては、上述した以下の構成要素、即ち、発射制御システム 65、液滴位置検出システム、液滴撮像器 70、液滴位置検出フィードバックシステム 62、及び/又は液滴供給制御システム 90の1つ又はそれ以上を使用せずに、効果的なレーザ-液滴結合を得ることもできる。

#### 【0029】

以下に更に詳細に説明するように、ターゲットゾーンのサイズ(少なくとも部分的には、ターゲットゾーン内の液滴を照射するのに使用されるレーザビームによって定められる)は、場合によっては、単一の液滴のサイズより大きいとすることができ、これによって、EUV光源は、サイズ又は位置が必ずしも均一ではない液滴の流れに対応することができる。従って、一部の実施形態については、非変調ディスペンサを使用することができる。非変調ディスペンサの上述の利点にも拘わらず、特定の用途においては、本明細書で説明する光源は、上述のような変調ディスペンサを利用してその恩恵を受けることができる。例えば、複数の変調ディスペンサを使用して、図示の多重オリフィスディスペンサ 148と類似した「シャワーヘッド形の」効果をもたらすことができる。

#### 【0030】

図3及び図4はまた、供給源 22からの光パルスがこれに沿って移動してターゲットボリウムに到達することができるそれぞれのレーザビーム経路 206'、206' 'を示している。図3及び図4に示すように、レーザビーム経路を焦点に集束させることができるが、焦点は、必ずしもターゲットボリウム内にある必要はない点を理解されたい。別の言い方をすれば、ビーム経路 206'、206' 'に沿って進むパルスは、集束することはできないか、ターゲットボリウム内の焦点に集束することができるか、供給源 22とターゲットボリウム 28'、28' 'との間の光路に沿った場所にある焦点に集束することができるか、又は、ターゲットボリウム 28'、28' 'が供給源 22と焦点との間の光路に沿って位置付けられる場所にある焦点に集束することができる。

#### 【0031】

言い換えると、図3及び図4は、例えば、原材料を蒸発及び膨張させるためのプレパルスと、膨張した原材料からEUV発光を発生させるための後続の主パルスといった、光パルスによる同時照射のためにターゲットボリウム 28'、28' '内に複数の液滴を配置することができることを示している。図6は、単一の光パルスによる照射後のターゲットボリウム内での複数の液滴 200a~200cの蒸発及び膨張を示す。図示のように、 $t = t_1$ にて、液滴がターゲットボリウム内に配置されて照射される。その直後、 $t = t_2$ にて、各液滴は、図示のように部分的に蒸発状態になり膨張する。時間  $t = t_3$ にて、個々の液滴からの蒸気が合一して多少連続的な蒸気雲を形成する。プレパルスのエネルギーによっては、原材料は、一部の実施においては弱いプラズマを形成する可能性がある。本明細書で使用される用語「弱いプラズマ」及びその派生語は、イオンを含むが、イオン化されるのが約1%未満の材料を意味する。プレパルスによる照射後に予め選択された時間が経過した後、照射材料を主パルスに露出させ、プラズマを生成してEUV発光を発生させることができる。原材料を2つ以上の「プレパルス」に露出して原材料(場合によっては、弱いプラズマを形成する)を蒸発させた後に主パルスに露出させてもよい点を理解されたい。

#### 【0032】

図7Aから図7Cは、光パルス(例えばプレパルス及び主パルス)を発生させてターゲットボリウム 28a、28b、28cに供給する供給源 22'、22' '、22' ' 'の幾つかの適切な実施形態を示す。更に、プレパルスは、第1のターゲットボリウムに供給し、主パルスは、第2のターゲットボリウムに供給することができ、第1及び第2

10

20

30

40

50



のターゲットボリウムは、場所及び／又は容積が異なる点を理解されたい。より詳細には、図7Aは、2つの別個の光源300、302を用いてプレパルスと主パルスをそれぞれ発生させる供給源22'の実施形態を示す。図7Aはまた、ビーム分割器306を利用して、共通のビーム経路308に沿った光源300、302からのパルスを組み合わせることができることを示す。光源300は、例えば、非コヒーレント光又はレーザを生成するランプとすることができる。光源302は、典型的にはレーザとすることができるが、光源300に使用されるのと異なる形式のレーザであってもよい。適切なレーザ光には、限定ではないが、例えば、DC又はRF励起により10.6  $\mu\text{m}$ で動作するパルスCO<sub>2</sub>レーザ光、或いは高パワー及び高繰返し率で動作するエキシマ又は分子フッ素レーザが含まれる。用途によっては、他の形式のレーザも適切とすることができる。例えば、固体レーザ、例えば米国特許第6,625,191号、米国特許第6,549,551号、及び米国特許第6,567,450号で示されているようなMOPA構成エキシマレーザシステム、単一のチャンバを有するエキシマレーザ、3つ以上のチャンバ（例えば、1つの発振チャンバと2つの増幅チャンバ（増幅チャンバは並列又は直列））を有するエキシマレーザ、主発振器電力発振器（MOP O）構成、電力発振電力増幅器（POP A）構成、或いは1つ又はそれ以上のCO<sub>2</sub>エキシマ又は分子フッ素増幅器又は発振チャンバにシードを供給する固体レーザは適切とすることができる。他の設計も可能である。

#### 【0033】

図7Bは、単一のレーザを用いてプレパルス及び主パルスを生成する供給源22'の実施形態を示す。図7Cは、2つの別個の光源310、312を用いて、プレパルスと主パルスをそれぞれ発生させる供給源22'の実施形態を示す。図7はまた、光源310、312からのパルスが異なるビーム経路314に沿って進み、ターゲットボリウム28cに到達できることを示している。光源310は、例えば非コヒーレント光又はレーザを生成するランプとすることができる。

#### 【0034】

1つの実施において、約20ミクロン以下の直径を有する液滴を生成するために10ミクロン以下のオリフィス直径を有する単一のオリフィスノズル（図3を参照）を使用することができる。ノズル及び原材料（例えばSn又はLi）は、ノズル閉塞を防止するために融点よりもかなり上回って加熱することができる。多重Sn液滴では、適切なプレパルスは、例えば、パルス幅>10 nsを有するNd-YAGレーザからの1~10 mJのパルスであって、液滴を蒸発させ膨張させるためにターゲットボリウムにおいて100~200ミクロンスポットに集束させることができる。プレパルスレーザは、固定繰返し率で発射することができ、場合によっては、例えば10.6  $\mu\text{m}$ で動作するCO<sub>2</sub>レーザとすることができる主パルスレーザと同期させることができる。CO<sub>2</sub>レーザは、プレパルス後、約1  $\mu\text{s}$ から100  $\mu\text{s}$ でトリガすることができ、これによって原材料蒸気が300~400ミクロンのターゲットをCO<sub>2</sub>レーザに提供することが可能となる。しかしながら、上述のようにより大きな蒸気ターゲットを露出させてもよく、最大ターゲットサイズは、600~800ミクロンほどの大きさとすることができるEtendue数によって制限される可能性がある。

#### 【0035】

別の実施においては、100~200ミクロンのノズル直径D（図5を参照）を有し、同心円状に、不規則に、又は線形に編成することができる約10ミクロンの直径Dの幾つかのオリフィス（場合によっては、20~30個のオリフィス、或いはそれ以上）が形成される多重オリフィスノズル（図4を参照されたい）を使用することができる。2個以上のオリフィスでは、1個又は数個のオリフィスが閉塞してもEUV生成にはあまり重要ではなく、従って、液滴発生器の寿命を大幅に延ばすことができる。この構成では、約20ミクロン以下の直径を有する液滴を生成することができる。ノズル及び原材料（例えば、Sn又はLi）は、ノズルの閉塞を防止するために融点よりもかなり上回って加熱することができる。多重Sn液滴では、適切なプレパルスは、例えば、パルス幅>10 nsを有するNd-YAGレーザからの1~10 mJのパルスであって、液滴を蒸発させ膨張させ

10

20

30

40

50

るためにターゲットボリウムにおいて100～200ミクロンスポットに集束させることができる。プレパルスレーザは、固定繰返し率にて発射することができ、場合によっては、例えば、10.6μmで動作するCO<sub>2</sub>レーザとすることができる主パルスレーザと同期させることができる。CO<sub>2</sub>レーザは、プレパルス後、約1～100μsでトリガすることができ、これによって原材料蒸気が300～800ミクロンのターゲットをCO<sub>2</sub>レーザに提示することが可能となる。100μmの単一の液滴と比較すると、この実施で材料消費率をかなり低減することができる。区域の比率は、

$$100 \times 100 / 20 \times 10 \times 10 \approx 5$$

であり、材料消費率低減の推定値を得る。

10

#### 【0036】

上記で開示された本発明の実施形態の態様は、好ましい実施形態に過ぎず、本発明の開示内容をどのようにも限定せず、特に特定の好ましい実施形態だけに限定するものではない点は当業者には理解されるであろう。本発明の実施形態の開示した態様に対して、当業者には理解され認識されると考えられる多くの変更及び修正を行うことができる。添付の請求項は、本発明の実施形態の開示された態様だけでなく、当業者には明らかであろう当該均等物及び他の修正及び変更を保護する範囲及び意味が意図される。本特許出願においてアメリカ合衆国法典第35巻第112条を満足するのに必要とされる詳細において説明され例示された実施形態の特定の態様は、上述の実施形態の態様の上述のあらゆる目的、該態様によって解決すべき問題、又は該態様の他のあらゆる理由、もしくは該態様の対象物を完全に達成することができるが、本発明の記載の実施形態の現在説明された態様は、本発明によって広義に企図されている主題の単なる例示、例証、及び典型に過ぎない点を当業者であれば理解すべきである。実施形態の本明細書で説明され特許請求された態様の範囲は、本明細書の教示内容に基づいて当業者にはここで明らかであり、又は明らかになるとすることができる他の実施形態を完全に包含する。本発明の範囲は、添付の請求項だけによって唯一且つ完全に限定され、添付の請求項の記載を超えるものは何も存在しない。単数形での当該請求項における要素の言及は、当該請求項の要素を解釈する際に「1つ及び1つのみ」を意味することが意図されるものではなく、明示的に記載されていない限り「1つ又はそれ以上」を意味するものとする。当業者には公知であるか又は後で公知となる実施形態の上述の態様の要素のいずれかに対する全ての構造的及び機能的均等物は、引用により本明細書に明示的に組み込まれ、本発明の請求項によって包含されるものとする。本明細書及び/又は請求項で使用され、本出願の明細書及び/又は請求項において明示的に意味が与えられた全ての用語は、このような用語についてあらゆる辞書又は他の一般的に使用される意味に関係なく、当該意味を有するものとする。実施形態の任意の態様として本明細書で検討した装置又は方法は、本出願において開示された実施形態の態様によって解決しようとしたあらゆる問題に対応するか、又は、本発明の請求項によって包含されることは意図されていないか又は必要ではない。本明細書の開示内容におけるいかなる要素、構成要素、又は方法段階も、その要素、構成要素、又は方法段階が明示的に請求項において記載されているか否かに関係なく、一般公衆に開放されることを意図したものではない。添付の請求項におけるいかなる請求項の要素も、その要素が語句「手段」を使用して明示的に記載されるか、又は方法の請求項においては、その要素が「行為」の代わりに「段階」として記載されない限り、アメリカ合衆国法典第35巻第112条、第6項の規定事項に従って解釈すべきではない。

20

30

40

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0037】

【図1】本発明の実施形態の態様によるレーザ生成プラズマEUV光源の全体的な広義の概念の概略図である。

【図2】原材料フィルタ/ディスペンサの概略図である。

【図3】複数の液滴を発生させて光パルスによってターゲットボリウムで同時照射し、原材料を蒸発及び膨張させた後、レーザパルスに露出してEUV発光を発生させる、非変

50

調単一オリフィス原材料ディスペンサの概略図である。

【図 4】複数の液滴を発生させて光パルスによってターゲットボリウムで同時照射し、原材料を蒸発及び膨張させた後、レーザパルスに露出して E U V 発光を発生させる、非変調多重オリフィス原材料ディスペンサの概略図である。

【図 5】多重オリフィスディスペンサを示す図 4 の線 5 - 5 に沿った断面図である。

【図 6 A】3 つの液滴が光パルスによって同時に照射された後の原材料の膨張を示す図である。

【図 6 B】3 つの液滴が光パルスによって同時に照射された後の原材料の膨張を示す図である。

【図 6 C】3 つの液滴が光パルスによって同時に照射された後の原材料の膨張を示す図である。

10

【図 7 A】プレパルス及び主パルスを発生させて該パルスをターゲット場所に供給する光パルス源の実施形態を示す図である。

【図 7 B】プレパルス及び主パルスを発生させて該パルスをターゲット場所に供給する光パルス源の別の実施形態を示す図である。

【図 7 C】プレパルス及び主パルスを発生させて該パルスをターゲット場所に供給する光パルス源の別の実施形態を示す図である。

【符号の説明】

【 0 0 3 8 】

2 0 レーザ生成プラズマ E U V 光源

20

2 2 供給源

2 4 原材料供給システム

2 6 チャンバ

2 8 ターゲットボリウム

3 0 コレクタ

6 0 E U V 光源制御システム

6 5 発射制御システム

6 2 液滴位置検出フィードバックシステム

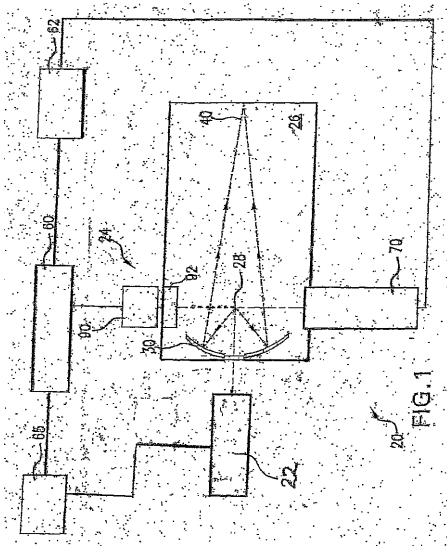
7 0 液滴撮像器

9 0 液滴供給制御システム

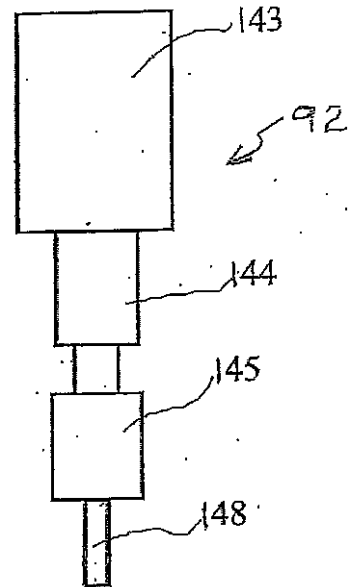
30

9 2 液滴供給機構

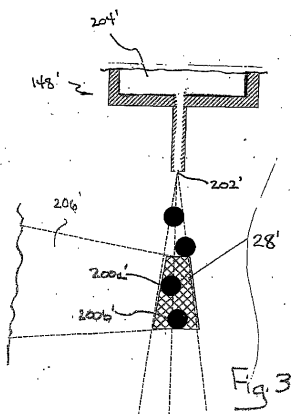
【図 1】



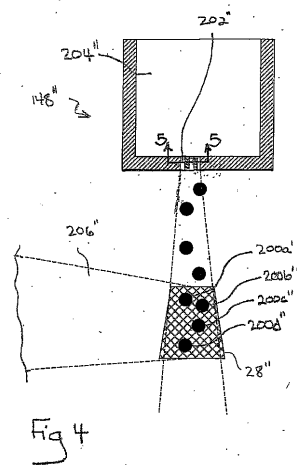
【図 2】



【図 3】



【図 4】



【図 5】

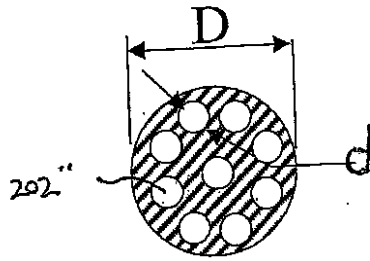


Fig. 5

【図 6】

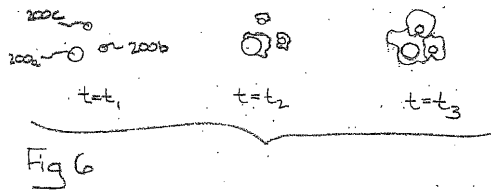


Fig. 6

【図 7 A】

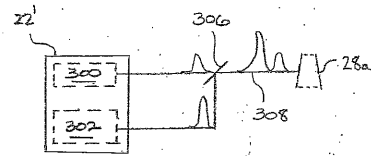


Fig. 7A

【図 7 B】

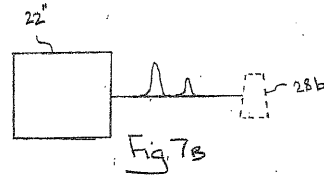


Fig. 7B

【図 7 C】

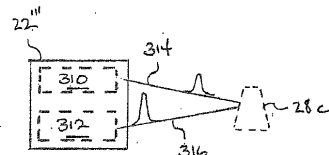


Fig. 7C

---

フロントページの続き

(31)優先権主張番号 11/358,988

(32)優先日 平成18年2月21日(2006.2.21)

(33)優先権主張国 米国(US)

(72)発明者 ビカノフ アレクサンダー エヌ

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 2 1 2 8 サン ディエゴ カダス デ レイズ 1 5 6  
4 8

(72)発明者 コーディキン オリー

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 カピーラ ロード 1 1 6 5

審査官 松岡 智也

(56)参考文献 特開2004-247293(JP,A)

特開2006-216801(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/027

H05G 2/00