

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4071709号
(P4071709)

(45) 発行日 平成20年4月2日(2008.4.2)

(24) 登録日 平成20年1月25日(2008.1.25)

(51) Int.Cl.

F I

H O 1 S 3/225 (2006.01)

H O 1 S 3/223 E

H O 1 S 3/0975 (2006.01)

H O 1 S 3/097 D

H O 1 L 21/027 (2006.01)

H O 1 L 21/30 5 1 5 B

H O 1 S 3/134 (2006.01)

H O 1 S 3/134

H O 1 S 3/137 (2006.01)

H O 1 S 3/137

請求項の数 18 (全 27 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2003-502929 (P2003-502929)
 (86) (22) 出願日 平成14年4月3日(2002.4.3)
 (65) 公表番号 特表2004-531068 (P2004-531068A)
 (43) 公表日 平成16年10月7日(2004.10.7)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2002/021867
 (87) 国際公開番号 W02002/099938
 (87) 国際公開日 平成14年12月12日(2002.12.12)
 審査請求日 平成17年4月4日(2005.4.4)
 (31) 優先権主張番号 09/829,475
 (32) 優先日 平成13年4月9日(2001.4.9)
 (33) 優先権主張国 米国(US)
 (31) 優先権主張番号 09/848,043
 (32) 優先日 平成13年5月3日(2001.5.3)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(73) 特許権者 598013024
 サイマー, インコーポレイテッド
 Cymer, Inc.
 アメリカ合衆国 カリフォルニア 921
 27-1712, サン ディエゴ, ビ
 ア デル カンポ コート 16750
 16750 Via Del Campo
 Court, San Diego,
 California 92127-17
 12 U. S. A.
 (74) 代理人 100082005
 弁理士 熊倉 禎男
 (74) 代理人 100067013
 弁理士 大塚 文昭

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ライン選択及び弁別を用いる注入シード方式F₂レーザー

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

A) フッ素及びバッファガスを含むレーザーガスを通して電気放電によって生成された利得媒体を含み、

1) シードレーザーサブシステムの第1の自然放射ラインの全て又は一部分に対応する所望の第1の狭い周波数範囲での第1の狭帯域レーザービーム、及び

2) シードレーザーサブシステムの第2の自然放射ラインに対応する少なくとも1つの不要な波長範囲での第2のレーザービーム、

を生成するためのシードレーザーサブシステムと、

B) フッ素及びバッファガスを含むレーザーガスを通して電気放電によって生成された第2の利得媒体を含む第2のレーザーサブシステムと、

C) 前記第1の所望の狭帯域レーザービームを、狭帯域レーザーシステム出力ビームまで増幅させるために前記第2の利得媒体の中に向けるための第1の光学手段と、

D) 前記第2のレーザービームを前記第2の利得媒体の中に向けることにより、

1) 前記不要な波長範囲にある利得ポテンシャルを前記第2の利得媒体から枯渇させ、

2) 前記レーザーシステム出力ビームにおいて、不要な波長範囲の光強度を低減する、

ように構成された第2の光学手段と、

を含むことを特徴とする、注入シード方式F₂レーザーシステム。

【請求項2】

前記シードレーザーサブシステムは、レーザーガス圧力、バッファガス混合、F₂分圧、レ

10

20

ーザガス温度、放電電圧、及びパルスエネルギーから成るレーザパラメータ群の１つ又はそれ以上を調節する中心線波長制御手段を含むことを特徴とする請求項１に記載のレーザシステム。

【請求項３】

中心線制御手段は、レーザガス圧力を制御する手段を含むことを特徴とする請求項２に記載のレーザシステム。

【請求項４】

A) １) a) 各コアが一次巻線を有する幾つかのコアNを形成する第１の複数の変圧器コアと、

b) 前記第１の複数のコアの全てを通過する少なくとも１つの第１の二次導体と、
を含む第１のパルス変圧器、及び

10

２) a) 各コアが一次巻線を有する幾つかのコアMを形成する第２の複数のコアと、

b) 前記第２の複数のコアの全てを通過する少なくとも１つの第２の二次導体と、
を含む第２のパルス変圧器、

を有するパルス変圧器システムと、

B) 比較的長い持続時間の高電圧電気パルスを生成するための高電圧パルス電源と、

C) 前記高電圧電気パルスを圧縮して比較的短い持続時間の圧縮された高電圧パルスを生成するための上流側電気パルス圧縮回路であって、

前記圧縮された高電圧パルスを、

１) 前記第１の複数の変圧器コアの各々の前記一次巻線、及び

20

２) 前記第２の複数の変圧器コアの各々の前記一次巻線、

に対して並列に印加し、前記第１の二次導体上の出力において非常に高電圧の第１のパルスを生成し、前記第２の二次導体上の出力において非常に高電圧の第２のパルスを生成するように構成された上流側回路と、

D) 前記第１の非常に高電圧のパルスを前記第１の組の電極に印加して、前記第１の放電領域に放電を引き起こすための第１の下流側電気回路と、

E) 前記第２の非常に高電圧のパルスを前記第２の組の電極に印加して、前記第２の放電領域に放電を引き起こすようにパルスを掛けるための第２の下流側電気回路と、

を有するパルス電力システムを更に含み、

前記第１のレーザサブシステムの出力ビームは、前記第２の放電領域で増幅され、前記第２の放電レーザサブシステムの出力において増幅されたレーザビームを生成する、

30

ことを特徴とする請求項１に記載のレーザシステム。

【請求項５】

Nは、Mに等しいことを特徴とする請求項４に記載のレーザシステム。

【請求項６】

Nは、Mに等しくないことを特徴とする請求項４に記載のレーザシステム。

【請求項７】

N及びMはそれぞれ２３に等しいことを特徴とする請求項４に記載のレーザシステム。

【請求項８】

前記第１の二次導体は、単一導体であり、

40

前記第２の二次導体も、単一導体である、

ことを特徴とする請求項４に記載のレーザシステム。

【請求項９】

前記少なくとも１つの第１の二次導体は、複数の同軸導体であり、

前記少なくとも１つの第２の二次導体も、複数の同軸導体である、

ことを特徴とする請求項４に記載のレーザシステム。

【請求項１０】

前記非常に高電圧の第１のパルス及び非常に高電圧の第２のパルス的一方を他方に対して遅延させるパルス遅延手段を更に含むことを特徴とする請求項４に記載のレーザシステム。

50

【請求項 1 1】

前記パルス遅延手段は、導電経路の延長部を含むことを特徴とする請求項 1 0 に記載のレーザシステム。

【請求項 1 2】

前記遅延手段は、飽和可能インダクタ上で調節可能なバイアスを含むことを特徴とする請求項 1 0 に記載のレーザシステム。

【請求項 1 3】

調節可能な順方向バイアスで適合化された飽和可能インダクタを更に含むことを特徴とする請求項 4 に記載のレーザシステム。

【請求項 1 4】

A) 前記第 2 のレーザシステムは、電力増幅器として構成され、

B) 前記第 1 の光学手段は、前記第 2 の利得媒体の中に第 1 の方向で注入される前記所望の第 1 の狭い波長範囲の前記第 1 の狭帯域レーザビームを作り出すために、前記所望の波長の光を不要な波長範囲の光から分離するように構成されたプリズムビーム分離器を含み、

C) 前記第 2 の光学手段は、前記第 1 の方向と反対の第 2 の方向で前記第 2 の利得媒体の中に注入される第 2 のレーザビームを作り出すために、前記不要な波長範囲の光を前記所望の波長範囲の光から分離するように構成されたプリズムビーム分離器を含む、

ことを特徴とする請求項 1 に記載のレーザシステム。

【請求項 1 5】

前記シードレーザサブシステムは、前記第 1 の狭帯域ビーム及び前記第 2 の狭帯域ビームを生成するように構成された回折格子を含むことを特徴とする請求項 1 に記載のレーザシステム。

【請求項 1 6】

前記第 1 の狭帯域ビーム及び前記第 2 の狭帯域ビームを生成するための少なくとも 1 つのリオフィルタを更に含むことを特徴とする請求項 1 に記載のレーザシステム。

【請求項 1 7】

前記第 1 の狭帯域ビームは、第 1 の偏光を形成し、

前記第 2 の狭帯域ビームは、前記第 1 の偏光から約 90 度回転した第 2 の偏光を形成し、

両方のビームは、前記第 2 の利得媒体の中に単一方向に注入され、前記利得媒体における増幅後に、偏光ビームスプリッタによって分離される、

ことを特徴とする請求項 1 6 に記載のレーザシステム。

【請求項 1 8】

前記第 2 の光学手段はまた、第 2 のレーザビームにおける所望の波長範囲の光の強度を低減するように配置されたエタロンを含むことを特徴とする請求項 1 に記載のレーザシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本出願は、「ライン選択及び弁別を伴う注入シード方式 F_2 レーザ」という名称の 2001 年 6 月 12 日出願の米国特許出願一連番号第 09 / 879,311 号、2001 年 5 月 14 日出願の米国特許出願一連番号第 09 / 855,310 号、「精密なタイミング制御を伴う注入シード方式レーザ」という名称の 2001 年 5 月 3 日出願の米国特許出願一連番号第 09 / 848,043 号、「予注入フィルタを有する注入シード方式 F_2 レーザ」という名称の 2001 年 4 月 9 日出願の米国特許出願一連番号第 09 / 829,475 号、「超狭帯域注入シード方式 F_2 リソグラフィレーザ」という名称の 1999 年 12 月 28 日出願の米国特許出願一連番号第 09 / 473,795 号、「注入シード方式 F_2 リソグラフィレーザ」という名称の 1999 年 12 月 10 日出願の米国特許出願一連番号第 09 / 459,165 号、「目視及び IR 制御を伴う F_2 レーザ」という名称の 1999

10

20

30

40

50

年 1 1 月 1 2 日出願の米国特許出願一連番号第 0 9 / 4 3 8 , 2 4 9 号、「ライン・ナロード・シードビームを有する単一チャンバガス放電レーザ」という名称の 1 9 9 9 年 1 0 月 2 0 日出願の米国特許出願一連番号第 0 9 / 4 2 1 , 7 0 1 号、及び、現在では米国特許第 6 , 2 4 0 , 1 1 0 号として付与されている「エタロン出力カブラを有するライン・ナロード・レーザ」という名称の 1 9 9 9 年 9 月 2 7 日出願の米国特許出願一連番号第 0 9 / 4 0 7 , 1 2 0 号の一部継続出願である。本発明は、レーザに関し、特に、集積回路リソグラフィに有益な注入シード方式レーザに関する。

【背景技術】

【0002】

従来技術のリソグラフィレーザ

K r F エキシマレーザは、集積回路リソグラフィ用の最先端光源である。このようなレーザは、米国特許第 4 , 9 5 9 , 8 4 0 号、米国特許第 5 , 9 9 1 , 3 2 4 号、及び米国特許第 6 , 1 2 8 , 3 2 3 号で説明されている。このレーザは、約 2 4 8 n m の波長で作動する。K r F レーザで、寸法がわずかに 1 8 0 n m の集積回路を製造することができる。更に微細な寸法は、約 1 9 3 n m で作動する A r F レーザ、又は約 1 5 7 n m で作動する F₂レーザでもたすことができる。これらのレーザ、つまり、K r F レーザ、A r F レーザ、及び F₂レーザは、非常に似通っており、実際に、K r F レーザを製造するのに使用されるのと同じ基本的な機器は、わずかに異なる波長に適合するように単にガス濃度を変化させ、放電電圧を上げ、制御装置及び計装を改造すれば、A r F レーザ又は F₂レーザを製造するのに使用することができる。

【0003】

集積回路の製造に使用される一般的な従来技術による K r F エキシマレーザを図 1、図 1 A、及び図 1 B に示す。この従来技術によるレーザのレーザチャンバの断面図を図 1 B に示す。図 1 A に示すように、高電圧電源 3 により電力が供給されるパルス電力システム 2 は、電気パルスを放電チャンバ 8 に位置する電極 6 に供給する。一般的な最先端リソグラフィレーザは、約 1 0 ミリジュール / パルスのパルスエネルギーを用いて約 1 0 0 0 H z から 2 0 0 0 H z のパルス繰返し数で作動される。電極間の空間を通して、約 1 , 0 0 0 から 2 , 0 0 0 センチメートル / 秒の速度で、約 3 気圧のレーザガス (K r F レーザの場合は、約 0 . 1 % フッ素、1 . 3 % クリプトン、及び残りのバッファガスとして機能するネオン) を循環させる。これは、レーザ放電チャンバに位置する接線方向送風機 1 0 で行われる。レーザガスは、やはりレーザ放電チャンバに位置する熱交換器 1 1、及びチャンバの外側に取り付けられた冷間板 (図示せず) で冷却される。エキシマレーザの自然帯域幅は、ライン・ナローイング・モジュール 1 8 によって狭められる (ライン・ナローイング・パッケージ、又は「L N P」ということもある)。市販のエキシマレーザシステムは、一般的に、システムの残りの部分を乱すことなく素早く交換することができる幾つかのモジュールで構成されている。主なモジュールには、以下のものが含まれる。

レーザチャンバモジュール

高電圧電源モジュール

高電圧圧縮ヘッドモジュール

整流子モジュール

出力カブラモジュール

ライン・ナローイング・モジュール

波長計モジュール

コンピュータ制御モジュール

ガス制御モジュール

冷却水モジュール

【0004】

電極 6 は、陰極 6 A 及び陽極 6 B から成る。陽極 6 B は、この従来技術による実施形態では、図 1 B の断面図に示す陽極サポートバー 4 4 によって支えられている。流れは、この図では反時計回りである。陽極サポートバー 4 4 の 1 つの隅部及び 1 つの縁部は、送風

10

20

30

40

50

機 10 からの空気を強制的に電極 6 A 及び 6 B の間に流すための案内羽としての役目をする。この従来技術によるレーザにおける他の案内羽は、46、48、及び50で示されている。有孔流れ戻り板 52 は、チャンバ 8 の金属構造体に対して陽極 6 B を接地するのを助ける。この板には、この流れ戻り板が実質的にガス流に影響を与えないようにレーザガス流路内に位置する大きな穴（図 3 では図示せず）が穿孔されている。個々のコンデンサ 19 のアレーで構成されたピークコンデンサバンクは、パルス電力システム 2 によって各パルスの前に充電される。ピークコンデンサ上での電圧上昇中に 1 つ又はそれ以上のブレイオン化装置 56 は、電極 6 A 及び 6 B との間のレージングガスを弱くイオン化し、コンデンサ 19 上の電荷が約 16,000 ボルトに達すると、電極全体に亘る放電が発生してエキシマレーザパルスが生成される。各パルスに続いて、送風機 10 によって生成された約 1 から 2 センチメートル / ミリ秒の電極間のガス流は、0.5 から 1 ミリ秒後に発生する次のパルスに間に合うように電極間に新しいレーザガスをもたらすのに十分なものである。

10

【0005】

一般的なリソグラフィエキシマレーザでは、フィードバック制御システムにより各パルスの出力レーザエネルギーが測定され、所望のパルスエネルギーからのシフトの程度が判断された後に、その後のパルスエネルギーが所望のエネルギーの近傍となるように電源電圧を調節する信号がコントローラに送られる。これらのエキシマレーザは、一般的に、計画された保守のために短い休止があるだけであって、数ヵ月間の間、24 時間 / 日及び 7 日 / 週で連続的に作動することが要求される。

20

【0006】

注入シード方式

ガス放電レーザシステム（エキシマレーザシステムを含む）の帯域幅を小さくするための公知の技術では、狭帯域「シード」ビームが利得媒体に注入される。1 つのこのようなシステムでは、「シードレーザ」又は「マスタ発振器」というレーザが非常に狭いレーザ帯域ビームを供給するように設計され、そのレーザビームは、第 2 のレーザのシードビームとして使用される。第 2 のレーザが電力増幅器として機能する場合、そのシステムは、一般的に、マスタ発振器電力増幅器（MOPA）システムという。第 2 レーザ自体が共振空洞を有する場合、システムは、一般的に注入シード方式発振器（ISO）と呼ばれ、シードレーザは、通常はマスタ発振器と呼ばれ、下流側レーザは、通常は電力発振器と呼ば

30

【0007】

ジターの問題

上述の種類のガス放電レーザでは、放電の持続時間は非常に短い時間であり、一般的に、約 20 から 50 ns（1 秒の 200 億分の一から 500 億分の一）である。更に、放電によって作り出される反転分布は、その反転分布が実質的に放電中のみに存在するように極めて急速に消耗される。これらの 2 つのレーザシステムでは、下流側レーザの分布は、上流側レーザからのビームが第 2 レーザに達した時に反転されなければならない。従って、2 つのレーザの放電は、レーザシステムの適正な作動のために適切に同期されるべきである。一般的なパルス電力システム内では放電タイミングの変動のいくつかの潜在的な原因があるので、これは問題になる可能性がある。タイミング変動の最も重要な原因の 2 つは、パルス電力回路で使用される飽和可能インダクタにおける電圧変動及び温度変動である。放電のタイミングを所望の値に正規化するために、パルス電力充電電圧及びインダクタ温度をモニタすること、及び、測定からのデータ及び遅延回路を利用することが公知である。従来技術の一例は、本明細書において引用により組み込まれる、米国特許第 6,016,325 号に説明されている。そこでは、従来技術においてタイミング誤差を低減することはできても、それを除去することはできないであろう。最終的にもたらされるこれらの誤差は、「ジター」と呼ばれる。

40

【0008】

レーザ波長及び帯域幅

50

一般的なKrFレーザは、約248nmを中心とした約300pm(FWHM)の自然帯域を有し、リソグラフィ用には、一般的に約0.6pmにライン・ナローイングされる。ArFレーザは、約193nmを中心とした約500の自然帯域を有し、一般的に0.5pmにライン・ナローイングされる。これらのレーザは、図2に示すライン・ナローイング・モジュール18を使用して自然帯域の大部分に亘って比較的簡単に同調させることができる。また、KrFレーザ及びArFレーザについては、スペクトルをレーザ作動中に原子基準線と比較することにより、出力ビームの絶対波長を正確に判断することができる。F₂レーザは、一般的に、エネルギーの大半が約157.63nm及び157.52nmを中心とした2つの狭いライン内にあるレーザビームを生成する。多くの場合、これらの狭い線の強度の小さい方(即ち、157.52nmライン)が抑制され、レーザは、157.63nmラインで作動するように強制される。157.63nmラインの自然帯域幅は圧力に依存し、約0.6から1.2pmまで変動する。帯域幅がこの範囲にあるF₂レーザは、屈折及び反射の両方の光学要素を使用する反射屈折レンズデザインを利用するリソグラフィ装置と共に使用することができるが、全屈折レンズデザインに対しては、レーザビームは、所望の結果をもたらす帯域幅を有するべきである。また、出力ビームの中心線波長は、放電領域の状態により若干変動することになることも公知である。

10

リソグラフィ機器のためのレーザは、非常に複雑かつ高価である。帯域幅が更に小さくなれば、リソグラフィ機器のレンズデザインが大幅に簡素化され、及び/又は、その機器によって製造された集積回路の品質が向上するであろう。すなわち、帯域幅が実質的に低減されたリソグラフィレーザ(KrF、ArF、及びF₂レーザを含む)に対する必要性が存在する。

20

【0009】

帯域幅制御

KrF及びArFレーザの波長は、その自然帯域に相当する数百ピコメートルの範囲に亘って比較的容易に制御される。一方、F₂レーザは、出力の大部分が2つの狭いラインに集中していることから、部分的に同調不可能と考えられてきた。ラインのうちの一方を選択して他方のラインのエネルギーを除去する幾つかの技術が既に用意されている。

【0010】

増幅された自然放射

KrF及びArFシステムのような多くのライン選択式レーザシステムにおいては、狭い周波数帯域の構築は、他のスペクトル領域の構築を抑制する。しかし、様々なレーザ周波数間の弱い相互作用によってこの機構の影響を低減することができる。F₂レーザシステムは、かなりの強度増加、又は利得媒体を通る単なる単一パスを可能にする非常に大きな利得を提供する。最初の光レベルは、任意の潜在的レーザラインにおいていわゆる自然放射と呼ばれるオリジナルを作る。これらの自然放射が増幅された時、その光を増幅自然放射(ASE)と呼び、これは、出力レーザビームの一部となる場合があり、ビームの品質を低減する。F₂レーザの場合は、所望の157.63nmの効率的な生成を維持しながら157.52nmラインを抑制するために多くの試みが行われてきた。リソグラフィ光源として使用するために、157.52nmラインの強度を157.63nmラインの0.1%未満に低減するという必要性がある。

30

40

【0011】

【特許文献1】米国特許出願一連番号第09/879,311号

【特許文献2】米国特許出願一連番号第09/855,310号

【特許文献3】米国特許出願一連番号第09/848,043号

【特許文献4】米国特許出願一連番号第09/829,475号

【特許文献5】米国特許出願一連番号第09/473,795号

【特許文献6】米国特許出願一連番号第09/459,165号

【特許文献7】米国特許出願一連番号第09/438,249号

【特許文献8】米国特許出願一連番号第09/421,701号

【特許文献9】米国特許出願一連番号第09/407,120号

50

【特許文献 10】米国特許第 6, 240, 110 号
【特許文献 11】米国特許第 4, 959, 840 号
【特許文献 12】米国特許第 5, 991, 324 号
【特許文献 13】米国特許第 6, 128, 323 号
【特許文献 14】米国特許第 6, 016, 325 号
【特許文献 15】米国特許第 5, 142, 166 号
【特許文献 16】米国特許第 6, 151, 346 号
【特許文献 17】米国特許第 5, 729, 562 号
【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

10

【0012】

必要とされるのは、157.52 nm ラインが有意でなくなるまで抑制されるより良好な F₂ レーザシステムである。

【課題を解決するための手段】

【0013】

本発明は、2つのレーザサブシステムを有する狭帯域 F₂ レーザシステムを提供する。第1のレーザサブシステムは、F₂ レーザシステムの第1の自然放射ラインに対応する第1の狭い波長範囲での超狭帯域パルスビームを供給するように構成される。このビームは、第1の方向で第2のレーザサブシステムの利得媒体に注入され、そこで、ビームは、狭帯域パルス出力ビームを生成するために増幅される。シードレーザサブシステムはまた、F₂ レーザの第2の自然放射ラインに対応する第2の波長範囲で第2のパルスビームを生成する。このラインは、上述の第1の方向と反対の第2の方向で第2のレーザサブシステムの利得媒体に注入される。第2のビームは、第2のレーザサブシステムの利得媒体において増幅され、第2の波長範囲における利得ポテンシャルの利得媒体を枯渇させる。(この増幅された第2のビームは、消耗されることが好ましい。) このように低減された第2の不要な波長範囲にある利得ポテンシャルを用いて、出力ビームの第2の波長範囲にある光の部分は大幅に低減される。好ましい実施形態においては、放電を適正に同期化するために、2つのレーザサブシステムの放電の時期を正確に決めるように特に構成されたパルス電源が設けられ、レーザガスは、約1%よりも少ない分圧の F₂ を含み、バッファガスは、ヘリウム又はネオン、又は、ヘリウム及びネオンの組合せで構成される。出力ビームの中心波長の制御は、第1レーザにおける以下のパラメータ、すなわち、全レーザガス圧力、ヘリウム又はネオンの相対濃度、F₂ 分圧、レーザガス温度、放電電圧、及びパルスエネルギーのうちの1つ又はそれ以上を調節することによってもたらすことができる。

20

30

【0014】

正確なジター制御に関して、好ましい実施形態には、二組の変圧器コアを有するパルス変圧器ユニットを備えたパルス電力システムが含まれる。単一の上流側パルス圧縮回路は、両方の組のコアの全ての一次巻線と平行に高電圧パルスを供給する。別々の二次導体(一方は、一方の組のコアを通過し、他方は、他方の組のコアを通過する)は、放電パルスを2つの別々のレーザチャンバの各々の電極に供給する別々の下流側回路にそれぞれ超高電圧パルスをもたらす。好ましい実施形態では、ライン・ナローイングは、シードレーザの共振空洞内で達成され、及び/又は、シードレーザの出力をプレ利得フィルタを使用してライン・ナローイングすることができる。

40

【発明を実施するための最良の形態】

【0015】

本出願人の実験

F₂ レーザシステムの中心線波長及び帯域に及ぼす様々な F₂ レーザ作動パラメータの変動の影響を理解して特徴付けるために、本出願人は、入念な実験を行い、F₂ レーザビームスペクトルの2つの主要ラインの絶対値を正確に判断した。本出願人はまた、レーザ作動パラメータ、特にレーザガス圧力を制御することにより、F₂ レーザの中心線波長をある程度制御することができると判断した。帯域幅もまた、これらのパラメータを制御する

50

ことによってある程度制御することができる。

この全てのテストデータの要約を以下に列挙する（表Ⅰ）。

【 0 0 1 6 】

F₂レーザ中心波長データの要約（表Ⅰ）

・絶対波長（D₂基準スペクトル、200 kPaのHeバッファ）

強いライン：157.63053 nm

弱いライン：157.52418 nm

・圧力シフト係数

He：1.84 fm / kPa

Ne：0.81 fm / kPa

・ゼロ圧力波長

157.63053 nm

・任意のヘリウム／ネオンバッファでの中心波長

$\lambda = 157.63053 + 1.84 \times 10^{-6} P_{\text{He}} + 0.81 \times 10^{-6} P_{\text{Ne}} < \text{nm} >$

・パラメータの感度

HV：1 fm / V、（期待された効果）20 fm

F₂：-20 fm / kPa F₂、（期待された効果）1 fm

温度：-0.6 から -1.3 fm / 、（期待された効果）4 ~ 8 fm

エネルギー：2.2 fm / mJ、（期待された効果）5 fm

【 0 0 1 7 】

これらのテストからの本出願人の結論の要約は、以下の通りである。

- 1) 「ゼロ圧力」波長及び圧力シフト係数の決定は、中心波長の推定を可能にする。
- 2) 中心波長は、波長計を必要としないほど十分な精度まで推定することができる。
- 3) レーザ作動パラメータの通常の変化によるF₂レーザの中心波長の変動性は、±0.02 pmに限定されるように見える。

【 0 0 1 8 】

注入シード方式F₂レーザシステム

シードレーザ

図2から図11Dまでは、注入シード方式F₂レーザシステムを設計し、作動させるための様々な技術を説明するものである。F₂注入シード方式光源は、面平行光学共振器又は不安定共振器構成を使用する従来のF₂レーザとすることができる。両方のレーザサブシステムに対するパルス電源は、上述の技術の1つを利用して提供されることが好ましい。それによって、各レーザビームの放電タイミングが確実に適度に同期される。好ましいF₂実施形態では、シードレーザビームは、シードレーザの下流側で濾過される。シードレーザは、好ましくは、濾過後に10 ~ 100 μJの狭帯域エネルギーがF₂電力利得段をシードするのに利用可能であるような十分なエネルギーを発生させることになる。不安定共振器は、安定共振器よりも発散性が低く空間的に密着したビームを生成することになり、これは、注入スペクトルフィルタを通してエネルギーを結合する際に何らかの利点があるであろう。例えば、フィルタが単純な単色光分光器である場合、低い発散性のビームは、単色光分光器の入力スリットまでより容易に集束することになる。別の設計上の任意選択肢は、比較的低い圧力（100 ~ 200 kPa）で第1のF₂光源レーザを作動させることである。これによって、実質的に低減されたスペクトル幅の0.3 ~ 0.6 pmを生み出す。スペクトル幅が小さくなるというのは、ポストゲインフィルタに入るエネルギーのより多くの部分がフィルタを通過することになることを意味する。第1のF₂光源からの生の出力エネルギーの方が遥かに小さいが、これは、注入フィルタが処理することのできる最大エネルギーが同様に限定されるので、実際には欠点にはならないであろう。

【 0 0 1 9 】

好ましい実施形態で第1のF₂光源として使用される従来のF₂レーザは、F₂レーザとして作動するように改造された標準的KrFリソグラフィレーザシステムである。これらのKrFリソグラフィレーザは公知であり、今日では1,000を超えるこれらのユニッ

10

20

30

40

50

トが、集積回路リソグラフィ機械用の光源として集積回路製造工場で稼動している。これらのレーザは、1000から2000パルス/秒の範囲の繰返し数でレーザパルスを生じ、米国カリフォルニア州サンディエゴ所在の「Cymer」インコーポレーテッドのような供給業者から入手可能である。これらのリソグラフィレーザは、共に本明細書において引用により組み込まれる、米国特許第5,991,324号及び米国特許第6,128,323号のような多くの特許で詳細に説明されている。F₂レーザとしての作動に必要とされる主な改造点は、ガス混合気を約0.1%のフッ素と残りのヘリウムとに変えることであり(ただし、ネオン、又は、ヘリウム及びネオンの組合せを使用することもできる)、好ましくは、放電電圧の上限範囲が、約26,000ボルトから約36,000ボルトに増加される。第1のF₂光源と電力利得段とに使用される基本的原型F₂レーザシステムについては、「F₂レーザシステムの設計」という名称の節で以下に説明する。その節では、F₂レーザを製造するための従来技術のKrFレーザシステムに対する重要な改良点について説明する。

【0020】

プレ電力利得フィルタ

狭帯域レーザビームを生成する1つの技術は、シードレーザビームの出力を増幅器段の中に注入する前にそれを濾過することである。従来技術の回折格子単色光分光器プレ電力利得フィルタについて、図6を参照しながら説明する。このフィルタは、マスタ発振器としての自励F₂レーザと共に使用された時、好ましくは、マスタ発振器からの自励スペクトルの0.1pm帯域幅部分を薄切りしなければならず、また、それに続く増幅器段によって必要とされる10~100μJの狭帯域エネルギーを生成することができるべきである。マスタ発振器からの光は、最初に、入力スリット50に集束される。入力スリットを通過する光は、好ましくは曲面鏡52によって平行化され、この曲面鏡は、単純な球面鏡、又は軸外の放物線面とすることができ、平行化された光は、回折格子54に向けられる。この回折格子は、157nm波長範囲で光を分散するように選択された高分散型(例えば、エシェル格子)である。この回折格子は、「Lithrow」構成にされる。ビーム経路54に沿って反射して返される選択された非常に狭い範囲の光は、ビームスプリッタ56の助けを得て出口スリット57上で再映像化される。装置の様々な幾何学的かつ光学的パラメータ(即ち、スリット幅、回折格子分散、曲面鏡焦点距離)によって、出口スリットを出る光の帯域幅が決定される。克服しなければならない1つの設計上の問題は、単色光分光器を通して所望の量のエネルギーを結合しようとした時に入力及び出口スリットに到達する高いピーク強度である。これらの高い強度を処理する一方法は、屈折スリット、即ち、エネルギーを吸収することなく不要な光を別の方向に屈折させる刃形楔を使用することである。このようなスリット装置を図6Aに示す。

【0021】

フィルタとしての機能に加え、図6の装置は、出口映像平面に配置された付加的なビームスプリッタ58及び線形検出器アレー60を含む。この増設によって、重要な残りの問題、即ち、(同調可能)注入フィルタを所望の波長に維持する方法が解決される。回折格子角度に数十マイクロラジアンを超える誤差がある場合、シードビームは、出口スリットに当たり損ねることになり、それに続く電力増幅器段を固定する狭帯域エネルギーがないことになる。この角度の狂いが極めてごく僅かであった場合も、増幅されたスペクトルは所望の波長ではなくなる。幸いにも、単色光分光器は、本質的にそれ自体をモニタすることができる。回折格子及び球面鏡によって形成された映像は、単色光分光器に入った光の分散スペクトルである。第2のビームスプリッタは、2つの同一映像(スペクトル)を1つは出口スリット、1つは線形検出器アレーに生成する。線形検出器アレーは、自励マスタ発振器からの比較的広いスペクトルを感知すると、それをアレー上の各点でのスペクトル強度を表すビデオ信号に変換する。自励波長は、安定で公知であるから、単色光分光器の較正用基準としての役目を果たす。コントローラ66は、線形検出器アレーから読取りを行い、スペクトル映像の中心をアレー上の所望の点、例えばその中心近くに置くように回折格子角度を調節する。このようにして、単色光分光器は、マスタ発振器の自励スペクト

ルに対して自己安定化する。出口スリット及び線形アレーは、基本的には二重映像平面であるから、出口スリット位置は、線形アレー上の特定位置、従って波長に対応する。従って、マスタ発振器からの自励スペクトルをスペクトル基準として用い、出口スリットを出る光の波長を正確に判断することができる。

この装置を較正する一方法は、ビームスプリッタ 6 2 を単色光分光器を出るビームの経路内に置き、エネルギー検出器 6 4 でビームエネルギーをモニタすることである。このような検出器は、注入シードのエネルギーをモニタする必要があるので、いずれにせよ望ましいものである。

【 0 0 2 2 】

較正

較正シーケンスは、以下のように進行すると思われる。(1) 開始角度にある回折格子を用いて、レーザが発射され、線形アレー上に落ちるスペクトル映像と共に出口スリットからの出力エネルギーがモニタされる。スペクトルのピークが、アレー上のピクセル単位的位置を用いて判断される。(2) 回折格子角度を上げて測定を繰り返す。(3) 回折格子角度をある範囲を通して走査した後、得られたデータを検査する。出力エネルギーが最大になるアレー上のスペクトルの位置(ピクセル単位)は、スリットの同等な位置に対応する。

【 0 0 2 3 】

この較正された位置が判断されると、単色光分光器の公知の分散を利用して、回折格子を他の波長に再同調させることができる。例えば、単色光分光器の分散が 0.1 pm/pixel と仮定し、更に、出口スリットの較正位置がピクセル 300 であると仮定する。出力の所望の波長が 157.6299 nm ($157.629.9 \text{ pm}$)、つまり、自励スペクトルの中心である場合、回折格子角度は、映像の中心がピクセル 300 にあるように調節される。所望の波長 (157.6301 nm) が中心から $+0.2 \text{ pm}$ 離れている場合、映像の中心がピクセル 302 になるように回折格子を動かすことになるであろう。更に別の微調節は、自励スペクトルの中心が圧力に依存することから、単色光分光器の較正及びその後の使用においてマスタ発振器の圧力を含めることである。この圧力依存性は、特にマスタ発振器の圧力が大幅に変動することを許す場合には較正の中に含むべきである。自励レーザの中心波長は、ヘリウムがバッファとして使用された時には約 $1 \text{ から } 2 \text{ fm/kPa}$ の範囲の圧力シフト係数を有すると判断された。任意の与えられた圧力に対して、波長の良好な推定値は、従って、 $157.6309 + 0.00000192 * P \text{ nm}$ であり、ここで、 $P = \text{kPa}$ 単位の圧力である。他のバッファガス(例えばネオン、又は、ヘリウム及びネオンの混合気)が使用される場合には、他の圧力シフト係数を使用することができる。

【 0 0 2 4 】

改造回折格子単色光分光器

狭帯域光を生成する代替方法は、図 7 に示すような改造回折格子単色光分光器を使用することである。このフィルタは、良好に平行化されて回折をほぼ制限した干渉性ビームを生成するマスタ発振器の出力ビームを濾過し、この場合、単色光分光器の入口スリットが削除される。

マスタ発振器からのビームの発散を小さくするために、また、マスタ発振器からのビームのサイズを回折格子 5 4 と物理的に適合させるためにビームエキスパンダ 7 0 を使用する。回折格子からの分散光は、球面鏡(又は、レンズ)を通して、所望の波長が選択される出口スリット 7 2 に集束される。線形検出器アレー 6 0 及びコントローラ 6 6 の作動は、先に説明したものと同一である。この装置の利点は、入口スリットが不要となり、高いピーク強度に付随する問題が除外されることである。この装置には、マスタ発振器の位置決め安定性が今度はアレー上の映像位置、従って波長選択過程の一因子になるという点で欠点がある。マスタ発振器からの入力角度のゆっくり変動する変化に対しては、コントローラは、回折格子を再同調して波長を一定に保持することができる。

【 0 0 2 5 】

エタロンフィルタ

エタロン 78 はまた、図 8 に示すように帯域通過フィルタとして使用することができる。単色光分光器フィルタの場合と同様に、エタロンは、原子標準として使用されるマスタ発振器の自励スペクトルに対して自己基準化することが望ましい。マスタ発振器からのビームは、最初に、その発散を小さくすると共にエタロン上のパワー密度を小さくするために、ビームエキスパンダ 70 で拡大される。拡大後に、ビームは、光の大半を改変することなく透過させるが、少ない割合で光をある角度範囲に散乱させる特別の光学要素、「部分拡散器」74 を通過する。この例は、低い回折強度、又は非常に軽くかつ細かく研磨されたオプティカルフラットを有する回折光学装置である。その後、光は、ほぼ通常の入射角でエタロンを通過する。エタロンの帯域通過特性は、自由スペクトル範囲 (F R S) 及びフィネスによって判断される。例えば、2 p m の F S R 及び 20 のフィネスを有するエタロンは、0 . 1 p m F W H M の帯域通過を有することになる。エタロンは、その後、自励マスタ発振器からのスペクトルの 0 . 1 p m スライスを送達する。単色光分光器の場合と同様に、エタロンに負荷される電力を制限するために、低圧力、従って、低減した帯域幅でマスタ発振器を作動させることが有利である。更に、開始スペクトルが狭いほど、エタロンの隣接する伝達順位においてエネルギー量が低減することになる (中心波長から ± 1 F S R) 。エタロンを通過した後、レンズ 76 (又は、球面鏡) は、絞りが設置されている点に光を集束させる。ビームの一部は、ビームスプリッタ 80 によって分割され、フォトダイオードアレー 82 によってモニタされ、このフォトダイオードアレーは、中心波長及び帯域幅信号をコントローラ 66 に供給し、このコントローラは、この情報を使用してエタロン 78 を制御する。絞りの目的は、ビームの軸線上の非拡散成分以外の全ての光を阻止することである。狭帯域のこの光は、その後、電力増幅器段に転送される。ビームスプリッタ及び光学検出器が絞りの後に置かれ、注入フィルタを出るエネルギーをモニタする。

【 0 0 2 6 】

一般に、エタロンの帯域通過の中心波長は、自励マスタ発振器のスペクトルの中心と位置が合わないことになり、エタロンを調節する必要がある。それには、エタロンが中実プレートタイプか又は空隙タイプによって 4 つの方法が可能である。中実エタロンの場合、エタロンは、入射ビームに対して傾けることができるか、又は、エタロンの温度を変えることができ、これは、プレートの光学的な厚みを実質的に変える。空隙エタロンの場合、その角度を変えることができるか、プレート間隔を変えることができるか (例えば、P Z T アクチュエータにより) 、又は、ガスの密度を変えることによってプレート間のガスの屈折率を変えることができる。

【 0 0 2 7 】

好ましい実施形態では、エタロンは、図 8 に示すような耐圧ハウジング 84 内に封入されている空隙タイプである。圧力コントローラを使用して、ハウジング内のガスの圧力を変え (一定の温度で) 、それによってエタロンを圧力で調節する。所要の調節量は非常に小さいので (約 $\pm 0 . 2$ から $\pm 0 . 5$ p m) 、必要とされる圧力変化も小さく、ガスとして窒素を用いた場合約 ± 3 から ± 8 t o r r である。これは、(密封) ハウジングの容積を変えることにより、又は、適切な供給装置からガスを能動的に導入するか又は抜くことによって達成することができる。エタロンは圧力で調節されるので、帯域通過波長が自励マスタ発振器からのスペクトルを通して走査する時に、出力強度が交互に増加及び消滅することになる。

【 0 0 2 8 】

エタロンの調節に対する制御は、エタロンを独自のエタロン分光計に変える付加的な光学要素を含むことによって達成される。付加的なビームスプリッタが出口絞りの前に設置され、レンズの第 2 焦点平面を形成する。この焦点平面においては (第 1 の場合と同様に) 、強度分布は、焦点中心での強いスポット、及び遥かに弱い従来のエタロン・リング・パターンから成る。強いスポットは、エタロンを通過するビームの非拡散部分によって形成され、エタロン・リング・パターンは、ビームの拡散部分によって形成される。強い中

心スポットは、ここでは使用されず、ビームストップ 8 1 により阻止される。その後、エタロン・リング・パターンを読み取るために、焦点平面内に線形検出器アレー 8 2 が置かれる。この構成は、リソグラフィレーザで使用される現在の波長計デザインと非常に似通っている。任意の光学的構成に対して、エタロンリングの直径とエタロン帯域通過の中心波長との間に直接的な関係がある。

【 0 0 2 9 】

この装置の較正は、単色光分光器フィルタについて先に説明した手順と類似の方法で行われる。較正シーケンスは、以下のように進むと考えられる。(1) 開始波長に圧力調節したエタロンを用いて、レーザを発射し、線形アレー上に落ちるエタロン・リング・パターンと共に、出口絞りからの出力エネルギーを測定する。最も内側の完全に形成されたリングの直径を判断する。(2) 圧力コントローラによってエタロン内の圧力が増分された後に測定を繰り返す。(3) 1 つの自由スペクトル範囲を通してエタロンを圧力調節した後に、得られたデータを検査する。出力エネルギーが最大になる最も内側のリングの直径は、圧力依存のマスタ発振器からの自励スペクトルのピークにエタロンの帯域通過が正確に同調された状態に対応する。

【 0 0 3 0 】

この較正された直径が判断された状態で、直径を維持するようにエタロン内の圧力を変えることにより、エタロン帯域通過フィルタの波長を安定させることができる。更に別の微調節として、リソグラフィ波長計で使用されるのと同じ非線形エタロン方程式を使用することにより、エタロン・リング・パターンを直接に「波長」に変換することができる。これによって、帯域通過関数をマスタ発振器スペクトルのピークから既知量だけ離調させることができる。更に別の微調節は、上述の通り、マスタ発振器の圧力をエタロンの較正及びその後の使用に含めることである。

【 0 0 3 1 】

同調

通常は、レーザシステムの作動に選択される狭いスペクトル帯域(約 0 . 1 p m又はそれ以下)は、最大出力パルスエネルギーで所望の帯域幅仕様を満足する狭帯域になる。しかし、限定された量の波長の同調は、上述のプレ利得フィルタで可能である。本出願人は、少なくとも約 1 . 2 p mの同調範囲をかなり容易に達成できると予想する。出力パルスエネルギーと何らかの相当な妥協をすると、追加の同調が実行可能である。同調範囲は、先に示したようにレーザガス圧力の関数である。従って、レーザ内の圧力を調節することにより、より長い全体範囲を達成することができる。

【 0 0 3 2 】

電力利得段

図 9 及び図 1 0 を参照しながら 2 つの好ましい電力利得段を説明することができる。

電力発振器

電力利得段は、図 9 に示すように、電力発振器として構成することができる。電力発振器の設計には、目標とする出力によって、多くの異なる共振器を使用することができる。好ましい実施形態では、共振器は、全てを図 9 に示すように、2 つの分割被覆ミラーにより形成された軸外ハイブリッド不安定共振器である。

【 0 0 3 3 】

注入シードビーム 9 0 は、不安定共振器 9 2 の上部に沿って中心軸線に位置合わせされ、最初に、5 0 % 部分反射器 9 3 A を通って進む。後部共振光学装置 9 4 は、ゼロ電力メニスカスタ입であり、注入されたビームの平行化を妨害するものではない。注入ビームは、共振器の「フレネル」コアを満たし、空洞間フィールドに亘る制御が確立される(この場合の「フレネル」コアは、5 0 % Rミラー 9 3 A と 1 0 0 % Rミラー 9 4 A との間に形成される容積である)。ビームは、増幅と共に前部光学装置まで伝播した後、1 0 0 % 反射凸面表面から反射される。ビームは拡大し、後部光学装置まで進むにつれて増幅され、そこで、一部分が 1 0 0 % 反射凹面表面 9 3 B から反射し、一部分が表面 9 3 A から反射する。これによりビームが再平行化され、3 回目の利得を通過により更に増幅される。

出力カブラの下部 9 4 B は、反射防止被覆されており、ビームは最小の損失で出ることができる。後部光学装置の場合と同様に、前部光学装置は、出力ビームの平行化を保存するためにゼロ電力メニスカスタイプである。この種類の共振器は、50%及び100%反射面が共振器の「フレネル」コア内へのフィードバックをもたらすので電力発振器を形成する。この種類の共振器の利点は、(1)ビーム内に中心の暗い部分又は穴がなく、(2)電力発振器をシードに固定するのにシードエネルギーをほんの僅かしか必要としないということである。

【0034】

電力増幅器

電力増幅器の形の電力利得段を図10に示す。この場合、共振器は、50%反射面93Aを反射防止面に変えることによりフィードバックが排除されている点を除き、図9に示すものと類似のものである。この構成により、軸外マルチパス電力増幅器が得られる。

F₂レーザシステムの設計

第1のF₂光源、及び電力利得段の両方に対して利得媒体としての役目を果たすように、本出願人及びその同僚は、幾つかの原型F₂レーザシステムを製造して試験した。

これらのシステムは、主として、高効率チャンバ及び半導体パルス電力励起を利用して、従来技術によるエキシマレーザシステムに対する幾つかの重要な改良点を組み込んだKrFレーザ及びArFレーザの現在の製造に基づくものである。放電は、ガス汚染を最小限に抑えるためにコロナブレイオン化される。光ビーム経路全体は、酸素による光の吸収を回避するために、また、光学構成要素の損傷を回避するために窒素パージされる。全ての共振光学装置は、傾斜チャンバ窓を装備したレーザチャンバの外部に置かれた。ガス混合気は、4気圧のヘリウムにおける0.1%のフッ素であり、電極隙間は、10mmに減らされた。

【0035】

これらの原型ユニットでは、第1のF₂光源及び電力利得段の両方については、改造パルス電力システムを使用しており、そのシステムの回路図を図11、及び図2及び図3に示す。これらの実施形態に対するパルス電力システムと、従来技術のKrFレーザに対する対応するシステムとの大きな相違は、F₂レーザに対してより高い出力電圧を供給し、上述したように、変圧器上流側の回路の一部が単一回路であり、変圧器の下流側の一部が分割回路であるパルス変圧器56である。このパルス変圧器では、二次巻線として機能する単一四分割ステンレス鋼ロッド(上述で参照した米国特許第6,128,323号で説明されている)に代わって、図11A、11B、及び図11Cに示すように、全てが直接接続されて互いに絶縁されている内側円筒形ロッド及び2つの同軸管から成る変圧器二次導体を使用されている。二次導体は、302で示すようなバスバーと304に示すようなHVケーブルとで接続された2つの同軸アセンブリ(その断面を図11B及び図11Cに図示)から成る。図11Dは、図11B及び11Cと同じ断面と、「Metglas(登録商標)」の層306及び一次巻線を形成するスプールのシリンダ部分308回りに巻かれたマイラーフィルムもまた示す。また、図11Dでは、パルス変圧器の二次部分を形成する中心ワイヤ310、及び、中空円筒形導体312及び314が示されている。「Metglas(登録商標)」層及びマイラー層は、図11A、図11B、及び図11Cでは図示していない。約1,000ボルトの電圧ピークを有する電流パルス(316に示すように)により、図11Aの318に示すように約36,000ボルトのパルスが二次HV端子で生成されることになる。すなわち、2つのレーザに電力を供給する2つのパルス変圧器部分の各々は、12個のインダクションユニット(図3HBに示す23ではなく)で構成される。しかし、12個のインダクションユニットを通過する3つの二次導体は、36の電圧増幅を生み出す。

【0036】

一次シリンダと3つの同軸二次導体との間の結合は、図8Eを参照しながら説明するように、「Metglas(登録商標)」及びマイラー層の巻き付けによりもたらされる。この実施形態では、追加の圧縮段(1つの付加的なコンデンサバンクC_{p-1})が設けられ

10

20

30

40

50

ている。この実施形態におけるコンデンサバンクは、以下の値を有する。

$$C_0 = \text{約 } 12.1 \mu\text{F}$$

$$C_1 = \text{約 } 12.4 \mu\text{F}$$

$$C_{p-2} = \text{約 } 8.82 \text{ nF}$$

$$C_{p-1} = \text{約 } 8.4 \text{ nF}$$

$$C_p = \text{約 } 10 \text{ nF}$$

【0037】

この原型実施形態における改造パルス電力システムは、約 80 ns の出力立ち上げ時間をピークコンデンサバンク内に生成する。パルス変圧器のステップアップ比は、 $36 \times$ （先に詳細に説明した実施形態の $24 \times$ に対して）である。これにより、レーザは、改造なしのパルス変圧器と比較すると、相当に高い電圧で作動することができ、相応に F_2 濃度が低い。本出願人は、作動時の電圧が高いほど放電の安定性が向上し、繰返し数を高くすることができることと判断した。先に説明したように、この実施形態では、別々の変圧器が設置され、その各々は、図 3 B に示すように共通の電源から一次電流により電力が供給されるが、変圧器の各々は、図 3 B に示すような $24 \times$ ではなく $36 \times$ ステップアップをもたらすように、図 1 1 A、B、C、及び D に示すように構成される。

【0038】

ポスト出力フィルタ

先に示したように、本発明の好ましい実施形態の電力利得段の出力は、ライン中心が公称波長回りの約 $\pm 0.5 \text{ pm}$ のスペクトル範囲を覆う公称 $F_2 157.63 \text{ nm}$ ライン内にある約 0.1 pm 又はそれ以下の紫外線帯域幅を有することになる。以下の節で示すように、他のスペクトル範囲、特にヘリウムが使用された時の赤色光及び赤外線光の少量の光エネルギーが F_2 レーザ内で生成される。この赤色光が問題になった場合、 157 nm UV 光を透過して赤色光を吸収又は反射する（レーザ内には戻らない）ように設計された公知の光学フィルタで容易に排除することができる。また、UV 範囲の出力ビームを更にラインナローイングするために、上述の種類の中の 1 つのポスト出力フィルタを増設することができるであろう。しかし、ポスト出力フィルタとして使用された時、フィルタの構成要素は、遥かに高いエネルギービームを処理するように設計する必要がある。

【0039】

パルスタイミング

本発明の好ましい実施形態は、所望の出力パルスレーザビームを生成するために 2 つのレーザシステムの放電タイミングを制御するように構成されたパルス電力システムを利用する。これらの実施形態は、米国特許第 5,142,166 号で説明されている部分巻回パルス変圧器と類似の部分巻回パルス変圧器設計を利用する。これらの実施形態では、パルス電力回路の 2 つのレーザシステムに対する部分は、パルス変圧器システムの下流側で別々のものであり、パルス電力回路のパルス変圧器システムの上流側の部分は、両方のレーザシステムに対して共通である。

【0040】

図 3 は、好ましいパルス電力システムの主要要素の電氣的概要を示す。パルス変圧器システムの上流側のシステムの部分は、米国特許第 6,151,346 号で説明されている（本明細書において引用により組み込まれる）図 1 1 に示す回路と非常に似通っている。単一コンデンサバンクが、充電 C_0 コンデンサバンク 42 を形成する。電気パルスは、並列に取り付けられた 2 つの「IGBT」スイッチから成るスイッチ $S_1 46$ を閉じることにより発生する。 L_0 インダクタ 48 は、スイッチが劣化することなく閉じて C_1 コンデンサバンク 52 を充電することができるように、 S_1 を通る電流の流れを遠ざける。 L_1 飽和可能インダクタは、コンデンサ L_1 が飽和するまで、パルス変圧器システム 56 を通る相当の電流の流れを遠ざけ、それが飽和した時点で、部分巻回パルス変圧器システム 56 の一次巻回は、短い約 0.5 マイクロ秒 の 1000 ボルト パルスでパルスを加えられる。この実施形態において、変圧器システム 56 は、この場合は実質的に同一である 2 つの別々の変圧器ユニット 56 A 及び 56 B で構成される。

【 0 0 4 1 】

パルス変圧器ユニット 5 6 の各々は、米国特許第 6 , 1 5 1 , 3 4 6 号で説明されているパルス変圧器と類似のものである。本実施形態のパルス変圧器ユニットは、二次巻線に単一巻回のみと、2 3 個のインダクションユニットとを有する。変圧器は、図 3 B に示すように、1 : 2 4 のステップアップ比が得られるように自動変圧器として構成される。2 3 個のインダクションユニットの各々は、図 3 A の下縁に沿って示すように、プリント回路基板 5 6 B 上の正端子及び負端子にボルト留めされる 2 つのフランジ（各々がねじ付きボルト穴を備えた平坦縁部を有する）を有するアルミニウム製スプール 5 6 A を含む。（負端子は、2 3 個の一次巻線の高電圧端子である。）絶縁体 5 6 C は、各スピールの正端子を隣接スピールの負端子から分離させる。スピールのフランジ間には、外径 0 . 8 7 5 、壁厚約 1 / 3 2 インチで長さ 1 と 1 / 1 6 インチの中空シリンダがある。スプールは、絶縁された「Metglas（登録商標）」ラッピングの外径が 2 . 2 4 インチになるまで、1 インチ幅で 0 . 7 ミル厚の「Metglas（登録商標）2 6 0 5 S 3 A」、及び、0 . 1 ミル厚のマイラーフィルムでラップされている。1 つの一次巻線を形成する単一のラップされたスピールの斜視図が、米国特許第 6 , 1 5 1 , 3 4 6 号の図 5 に示されている。

10

【 0 0 4 2 】

各変圧器の二次側は、「Teflon（登録商標）」（PTFE）のきつく嵌る絶縁管内に取り付けられた単一外径のステンレス鋼ロッドである。変圧器ユニットは、図 3 A に示すように 4 つの部分になっている。図 3 A に 5 6 D として示すステンレス鋼二次側の低電圧端部は、5 6 E でプリント回路基板 5 6 B 上の一次側 HV リード線に結合され、高電圧端子は、5 6 F に示されている。その結果、変圧器は、自動変圧器構成を有し、ステップアップ比は、1 : 2 3 ではなく 1 : 2 4 になる。すなわち、インダクションユニットの正及び負端子間の約 - 1 4 0 0 ボルトのパルスにより、二次側の端子 5 6 F で約 - 3 5 , 0 0 0 ボルトのパルスが生成されることになる。1 0 0 0 ボルトの一次パルスにより、両方の変圧器の二次側に約 2 4 , 0 0 0 ボルトのパルスが生成される。この単一巻回二次巻線設計により、極めて高速の出力立ち上がり時間を可能にする非常に低い漏れインダクタンスが得られる。

20

【 0 0 4 3 】

パルス変圧器システムの一般的な構成を図 3 B に示す。この図で示すように、パルス電力システムの上流側部分により生成された約 1 0 0 0 ボルトの一次高電圧パルスは、全く同時に各パルス変圧器に到達し、変圧器の各々の対応する出力パルスは、従って、形状及び時間が実質的に同一であることになる。本出願人は、2 つの変圧器の出力におけるジターは、1 ナノ秒よりも短いことになると推定する。

30

【 0 0 4 4 】

図 3 に示すように、この実施形態において、パルス電力回路のパルス変圧器の下流側の部分は別々であるが実質的に等しく、そのために電極 8 3 及び 8 4 と A 及び B とにおけるジターは、3 ns よりも短いと推定される。従って、両方のレーザにおける利得媒体は、約 3 ns よりも短い変動があるが同時に生成される。各パルスの持続時間は、第 1 レーザにおいて生成されたレーザパルスが第 2 レーザにおいて適正に増幅されるように、約 2 0 から 5 0 ns である。回路には、全ての飽和可能インダクタにバイアスを掛けることによりそれらが各パルスの前に逆方向に導電するように、バイアス回路を設けることが好ましい。バイアス回路は、米国特許第 5 , 7 2 9 , 5 6 2 号で詳細に説明されているように、パルス直後の短い時間の間は飽和可能インダクタが順方向導電のままであり、それによって電極から反射したパルスエネルギーを回復することができるよう設計される。

40

【 0 0 4 5 】

本発明の好ましい実施形態では、第 1 レーザの出力カプラは、第 2 レーザの入力窓の約 1 フィート下流側に位置する。従って、この理由又は他の理由から、第 1 レーザと比較して第 2 レーザの放電を遅延させることが望ましいであろう。これは、電気パルスが約 1 ns / 2 0 cm の割合で良導体を通して進むので、第 2 レーザのパルスを運ぶ導体を第 1 レ

50

ーザの対応する導体よりも長くする（例えば、20から40cmだけ）ことにより容易に達成することができる。

【0046】

調節可能な遅延

一方のレーザの放電のタイミングを他方のレーザに対して制御する別の手法は、図3に示す回路において、図3Cに示す位置63のような変圧器56の下流のブランチの1つに飽和可能インダクタを挿入することである。この飽和可能インダクタには、調節可能な順方向バイアスが装着されている。付加される順方向バイアスは、インダクタの順方向の飽和を完了させる時間がほぼ所望の遅延時間と等しくなるように選択される。この遅延時間は、飽和可能インダクタにおける巻回数、その磁心の断面積、及びインダクタの磁束振れ ΔB の関数である。所要の遅延は非常に小さいことから、巻回数は、1巻回とすることができ、磁心は小さい（2インチ直径など）とすることができ、磁束振れ ΔB もまた、図3C2に示すように小さいとすることができ、バイアスを調節することにより、相対遅延を調節することができる。遅延制御は、ジターを制御するためにフィードバックループ設計に組み込むことができるであろう。発振器/増幅器構成に必要とされる予想される遅延は小さいので（ns又は数10ns程度）、遅延反応器は小型化することができる。更に、ここでもまた、ボルト・秒の要件がおそらくパルス電力圧縮回路において必要とされるよりも遥かに小さいので、コア材料は、回路で導入される損失を最小限に抑えるように選択することができる。調節可能な遅延を準備する別の技術を図3Dに示す。この場合、パルスをレーザの1つに搬送する導体101は、単一ループコイル102に配置され、高い透磁率を有するロッド103は、コイルから出入り可能に配置される。このロッドは、ステッパモータ又は圧電ドライバのような高速駆動装置と共に配置することができる。

【0047】

調節可能な遅延をもたらす更に別の方法を図3Eに示す。この技術では、パルス電流供給装置86が、インダクタ L_4 に対する二次パルス電流を供給するのに使用される。この電流供給装置86は、トリガ回路86によりトリガされ、このトリガ回路は、同じくスイッチを閉じる。電流パルス I_s は、スイッチSが閉じるとほぼ同時に開始され、主圧縮電流パルスがコンデンサ C_4 及び C_4' に伝播した後、時間 t_d だけ続く。 t_d は、約10 μ sとすることができ、二次パルス電流は、インダクタ L_4 の飽和をもたらす役目を果たす。この電流を変えることにより、インダクタ L_4 のBH曲線上の飽和点を変えることができ、遅延も同様に変更される。増幅された回路の対応するインダクタ L_4 には、調節不能バイアス電流 I_{bias} によりバイアスが加えられる。インダクタ L_4 及び L_4' に対する2つのパルス電流供給装置を準備するなどのこの技術の他の実施形態も可能である。

【0048】

他のパルス変圧器構成

図3Bに示すパルス変圧器構成の多くの変形が可能である。2つのレーザシステムに対する好ましい出力電圧は同じでない場合がある。異なる電圧が必要とされる場合、変圧器の一方に対するインダクションユニット数を他方に対して増減することにより、これを容易に達成することができる。また、いくつかのインダクションユニットを削除するために変圧器の一方にスイッチを含めることができ、その変圧器の放電電圧出力を他方の変圧器に対して小さくすることができるであろう。低減されたレベルで二次電圧を取り去るために、いずれかの変圧器の4つの変圧器部分の任意の部分の間にタップを設けることができる。

【0049】

中心線波長の制御

本出願人は、上述の通り、 F_2 レーザシステムの中心線波長制御の技術を探るために広範囲な試験を行った。本出願人は、シードビームが20 μ Jから50 μ J又はそれ以上の範囲であるマスタ発振器/電力増幅器構成では、シードビームの中心波長及び帯域幅が、ほぼ正確に出力ビームの中心波長及び帯域幅を決めると判断した。本出願人はまた、中心波長及び帯域幅に及ぼすレーザガス圧力、バッファガス混合、 F_2 分圧、レーザガス温度

、放電電圧、及びパルスエネルギーの影響を正確に測定した。次に、本出願人は、これらの結果を用いて、上述のパラメータのうちの1つ又はそれ以上を変えることにより中心波長を制御した。中心線波長を作るために必要なパラメータ変化の程度は、上述の表Iで示した圧力シフト係数により示される。

本出願人は、中心線波長を制御するには全レーザガス圧力の方が使いやすいパラメータになると考えるが、他のパラメータを使用することもでき、1つよりも多いパラメータの組合せを使用することもできるであろう。

【0050】

弁別を用いるライン選択

図13から図17は、157.63nmラインが選択され、157.52nmラインが能動的に弁別される本発明の好ましい実施形態を説明する。

図13は、本発明の第1の実施形態を示す。シードレーザ100は、低減された帯域幅に対する低圧マスタ発振器として構成され、第2のレーザ102は、効率的な高圧作動式電力増幅器として構成される。シードレーザ100は、レーザチャンバ101と部分反射ミラー104及び106とで構成された共振空洞を使用し、共振空洞の両端でのレーザ放射の抽出を可能にする。両端のプリズム108及び110は、F₂レーザの2つの優勢なレーザラインを角分散させる。これらのプリズムの調節は、例えば、ミラー114を通じて電力増幅器102の一端で所望の強いレーザラインを注入し、部分ミラー116を通じて他端で不要なレーザラインを注入するものである。ビームストップ118は、シードレーザの弱いライン放射が電力増幅器102の入口に入るのを防ぐ。同様のビームストップ120は、シードレーザの強いライン放射が電力増幅器にその出力側から入るのを防ぐ。この設計を用いて、強いレーザライン上のシードレーザからの低帯域幅光は、電力増幅器102で効率的に増幅されることになる。弱いライン上の不要な「ASE」出力を低減するために、能動的な利得抽出が、他方の側からシードレーザの対応する出力によってもたらされる。弱いライン放射は、電力増幅器内で増幅され、弱いラインのスペクトル領域の潜在的利得を実質的に低減し、これは、次に、出力ビーム124のこのスペクトル領域の「ASE」を低減する。不要な光が増幅された放射は、最終的にプリズム110を通過し、そこで、分散によってシードレーザの光軸からの分離が可能になる。この波長上のエネルギーは、ビームストップ122で散逸される。明らかに、両方のプラズマの分散は、対応するビームストップを用いる十分な弁別を保证するのに十分な大きさであるべきである。これは、角分離が両端上のシードレーザビームの固有の発散よりも大きいことを必要とする。CaF₂材料の単一プリズムは、これらの真空紫外線波長では透明であるが、両方のレーザライン間で約0.5mradの角分散を達成し、同時に妥当な透過効率を維持することができる。電力増幅器102内の利得は非常に大きいことから、シードレーザ100は、発散を制限する絞りをを用いて、従って効率を落として作動させることができる。別の方法は、単一又は二重軸不安定共振器デザインを有するマスタ発振器デザインであり、これは、0.5mradよりも小さい発散を容易に達成することが知られている。特定の実施に好ましい場合には、分散を大きくするためにマスタ発振器の両端の単一プリズムの代わりに多重プリズムを使用することができるであろう。

【0051】

図14は、回折格子に基づく異なるデザインである。シードレーザ126は、ここでもまた、高反射ミラー128及び部分反射器130を含む共振空洞を有するマスタ発振器として構成される。両方の波長を含むシードレーザ出力は、両方の波長を分散させるのに使用される回折格子132の方に向けられる。不要な波長は、スリット134を用いてはっきりと分離され、回転ミラー138及び140を通じて電力増幅器136の利得発生器の前部の中に注入され、回転ミラー140は、電力増幅器の処理量の光学的損失が最小限に抑えられるように、「ブルースター」角度を有するコーティングのないCaF₂基板であることが好ましい。シードレーザ放射は偏光されていないか、又は単に弱く偏光されているので、ブルースター角度を通じた結合は可能である。不要な波長の増幅された光は、ミラー142を通じて後方に伝播して回折格子132に至り、そこで、分散によってビーム

ストップ 144 の中に入るように方向付けられる。スリット 146 で選択された所望の波長は、回転ミラー 142 を通じて電力増幅器の入口の中へ方向付けられる。この特定デザインの利点は、回折格子の分散の増加であり、2つの波長の分離を相当に容易にする。

【0052】

図 15 は、偏光に依存する光学的遅れ / 偏光回転を使用する実施形態を示す。この実施形態においては、偏光器 150 及び 152 と部分ミラー 154 及び 156 とがシードレーザ 158 を形成する。偏光器の 1 つは、発生器レーザチャンバ 101 において、中庸な利得という状況の下では、すなわち、低い作動圧力では省略されてもよいであろう。所望の波長の偏光をそのままに維持しながら不要な波長の偏光を 90 度回転させるために、位相リターダ 160 が使用される。それに続く偏光器 162 は、垂直方向の偏光を有するので不要な波長の伝達を拒絶する。MgF₂ のような複屈折材料及び偏光器で作られるこのような光学的遅れに基づくシステムは、リオフィルタと呼ばれ、比較的大きなビーム発散を使用して、多年に亘って波長分離用途、すなわち、天文学的調査に使用されている。所望の波長を有する残りの光は、回転ミラー 164 及び偏光ビームスプリッタ 166 を通じて電力増幅器チャンバ 103 の入口に送られる。シードレーザの反対端では、同様の装置によって弱いラインが出力から分離される。位相リターダ 168 及び偏光器 170 は、ミラー 172 と部分ミラー / ビームスプリッタ 174 とを通じて電力増幅器 176 のチャンバ 103 の前端の中に通すことになる弱いラインを選択する。波長選択における差異は、偏光器 170 の 90 度の回転によって達成される。この理由から、電力増幅器において後方に伝播する不要な波長の増幅された光は、順方向に伝播する所望の波長に対して垂直方向の偏光を有する。この特徴は、偏光ビームスプリッタ 166 及びビームストップ 178 をそれぞれ使用して、後方に伝播するエネルギーを分離及び消散させるために用いられる。このデザインで有利なのは、偏光した入力放射の結果である電力増幅器出力の固有の偏光である。

【0053】

図 16 は、シードレーザと電力増幅器 182 との間に片側位相リターダ / リオフィルタのみを使用する簡素化されたスキームである。シードレーザは、レーザチャンバ 101、ミラー 184、偏光器 186、及び部分ミラー 188 から成る。偏光された光は、位相リターダ 190 に当てられ、この位相リターダは、2つの波長をそれらの偏光に関して分離する。所望のレーザラインの偏光はそのままに維持されるが、不要なものは 90 度回転される。両方のレーザラインは、回転ミラー 192 及び 194 を通じて電力発振器 182 のレーザチャンバ 103 の入口の中に向けられるが、これらの回転ミラーは、縦方向の延長が 2つの利得発生器段の整列を可能にする場合は必要とされない。出力での偏光ビームスプリッタ 196 は、その 90 度回転した偏光によって弱いラインを弁別し、ビームストップ 198 の中にそれを方向付ける。所望の波長は、実際的には損失なく偏光ビームスプリッタ 196 を通る。

【0054】

帯域幅を更に低減してシステム出力放射をスペクトル的に純化するために、シードレーザ部分の共振器ミラーの一方又は両方をエタロンで置換してもよいであろう。一般的な考えは、先に説明した例 1、2、及び 3 と非常に似通っている。電力増幅器の利得は、完全に均一には広げられないので、電力増幅器の利得発生器の前部の中に相応のスペクトルを注入することにより、放射されたスペクトルの一部を抑制することができる。

【0055】

図 17 は、シードレーザ 100 の一端にエタロン 200 を使用する点を除き、図 13 のスキームと非常に似通ったスキームを示す。エタロン伝達最小量は、例えば、このスペクトル内容の電力増幅器の利得発生器 103 の前部の中への伝播を低減するために目標とする波長範囲に調節される。同時に、不要なスペクトル内容の伝達は、自由スペクトル範囲の適切な選択（エタロン間隔）によって最大限にすることができる。この不要なスペクトル内容は、電力増幅器の前部の中に向けられる。エタロンの特定の調節はまた、電力増幅器入口に向かうシードレーザ共振器内の目標とする波長の反射を最大限にすると同時に、

この方向に伝播する不要なスペクトル内容の量を最小限にする。

【 0 0 5 6 】

第 2 のシードレーザミラー 1 0 4 も同様にエタロン 2 0 2 で置換されるスキームを用いて、図 1 7 に示した方法からの更なる改良を達成することができる。しかし、このエタロンは、第 1 のエタロンに対して、その自由スペクトル範囲の適切な選択により補完的に同調されることになる。この構成では、2 つの選択的な要素がここで関与するので、システム内の所望及び不要なスペクトル内容の伝播の選択性 / 弁別性が改良されている。

【 0 0 5 7 】

一般的に、様々な類似の光学的スキームが可能であり、その全ては、不要なスペクトル内容を電力増幅器の前部の中に供給し、従って、対応するスペクトル範囲における順方向 / 出力方向の光学利得及び付随する「ASE」を枯渇させる。目標とするスペクトルは、一般的に、効率的な増幅が行われるように電力増幅器入口で準備される。

これらのデザインを用いて、以下の幾つかの利点が達成される。

- 1 . 狭帯域出力
- 2 . 高スペクトル純度
- 3 . 弱いラインを抑制するのに必要なポストフィルタリングがないことによる高い効率性

【 0 0 5 8 】

理想的には、この構成は対称にされ、すなわち、電力増幅器に入るシードレーザからの光の伝播時間 (距離と等価) は、適切な光学的レイアウトによって同じにされる。このようにして、電力増幅器の利得媒体は、異なる方向からではあるが、両方のレーザラインと同時に相互作用することになり、それによって波長の弁別を最大にする。しかし、時間的な利得プロファイルは、幅が少なくとも数ナノメートルであり、これは 1 メートルの範囲の距離の差に相当するので、対称性からのかなり大きなずれさえも許される。

【 0 0 5 9 】

実際に、電力増幅器の出力側で光注入を僅かに前方に進め、同じ方法で赤色 / 赤外線出力放射を低減してもよいであろう。また、これらのレーザ移行に対する利得は非常に高く (超放射発光) 、これは、それ自体、利得を飽和させるのに非常に少量の入力強度しか必要とせず、迷光レベルからの入力強度でもよいほどである。これらのラインに対する時間的な利得及び放射は、真空紫外線利得 / レーザパルスよりも約 1 0 ~ 2 0 n s 早く起こり、これは、より早く前部からラインを注入することを示唆している。

本発明を特定の実施形態に関して説明したが、本発明は、特許請求の範囲及びその法律上の均等物により範囲が定められることを理解すべきである。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 6 0 】

【 図 1 】 従来技術の市販エキシマリソグラフィレーザの図である。

【 図 1 A 】 集積回路リソグラフィに使用される従来技術の市販エキシマレーザのいくつかの主要要素を示すブロック図である。

【 図 1 B 】 図 1 のレーザのレーザチャンバの図である。

【 図 2 】 本発明の特徴を示すブロック図である。

【 図 3 】 本発明の好ましい実施形態の特徴を示す電気回路図である。

【 図 3 A 】 パルス変圧器の図である。

【 図 3 B 】 図 3 A の特徴を示す図である。

【 図 3 C 】 調節可能な遅延を提供する、図 3 の回路の変更を示す図である。

【 図 3 C 1 】 B - H 曲線を示す図である。

【 図 3 D 】 代替のフィルタ調節技術を示す図である。

【 図 4 】 F_2 レーザシステムのブロック図である。

【 図 5 】 F_2 レーザシステムのブロック図である。

【 図 6 】 第 1 の回折格子単色光分光器の特徴を示す図である。

【 図 6 A 】 第 1 の回折格子単色光分光器の特徴を示す図である。

10

20

30

40

50

【図 7】第 2 の回折格子単色光分光器の特徴を示す図である。

【図 8】エタロンフィルタの特徴を示す図である。

【図 9】電力利得段の図である。

【図 10】電力利得段の図である。

【図 1 1】パルス電力システムの特徴を示す図である。

【図 1 1 A】パルス電力システムの特徴を示す図である。

【図 1 1 B】パルス電力システムの特徴を示す図である。

【図 1 1 C】パルス電力システムの特徴を示す図である。

【図 12】フィードバック制御システムにおけるパルスエネルギー検出器を示す図である。

【図 13】本発明の好ましい実施形態を示す図である。

【図 14】本発明の好ましい実施形態を示す図である。

【図 15】本発明の好ましい実施形態を示す図である。

【図 16】本発明の好ましい実施形態を示す図である。

【図 17】本発明の好ましい実施形態を示す図である。

【符号の説明】

【 0 0 6 1 】

1 0 0 シードレーザ

102 第2のレーザサブシステム

1 2 4 出力ビーム

10

【 図 1 】

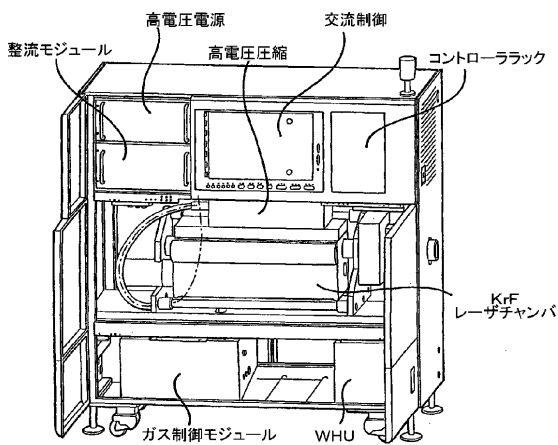


FIG.1 従来技術

【 図 1 A 】

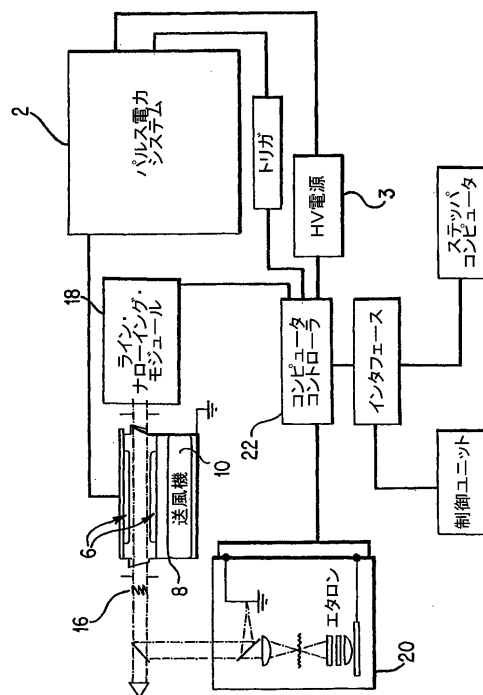


FIG. 1A

【 ㊦ 3 B 】

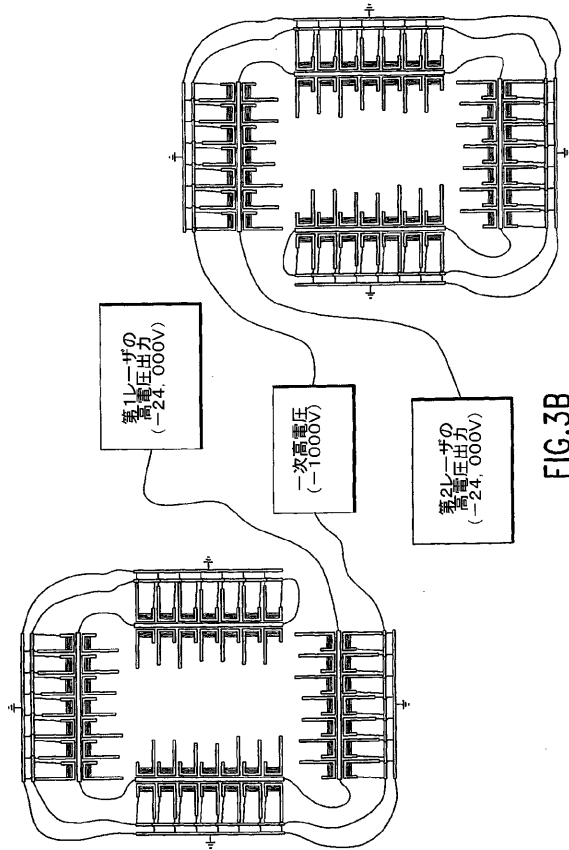


FIG. 3B

【 図 3 C 】

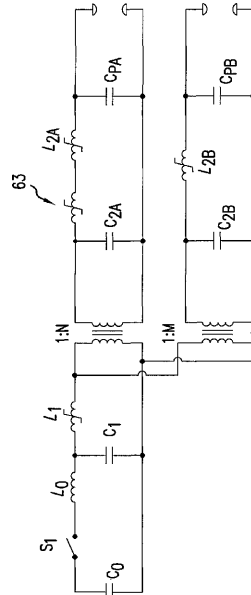


FIG. 3C

【 ㊦ 3 C 1 】

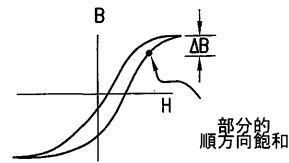


FIG.3C-1

【 図 3 D 】

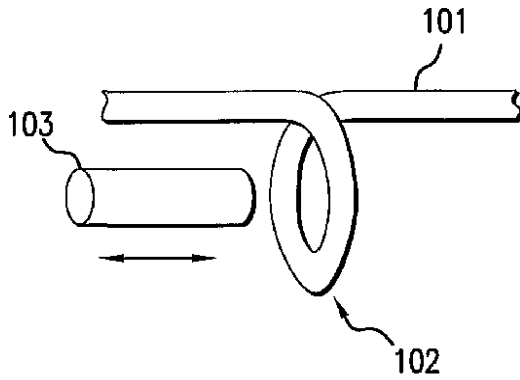


FIG.3D

【 図 3 E 】

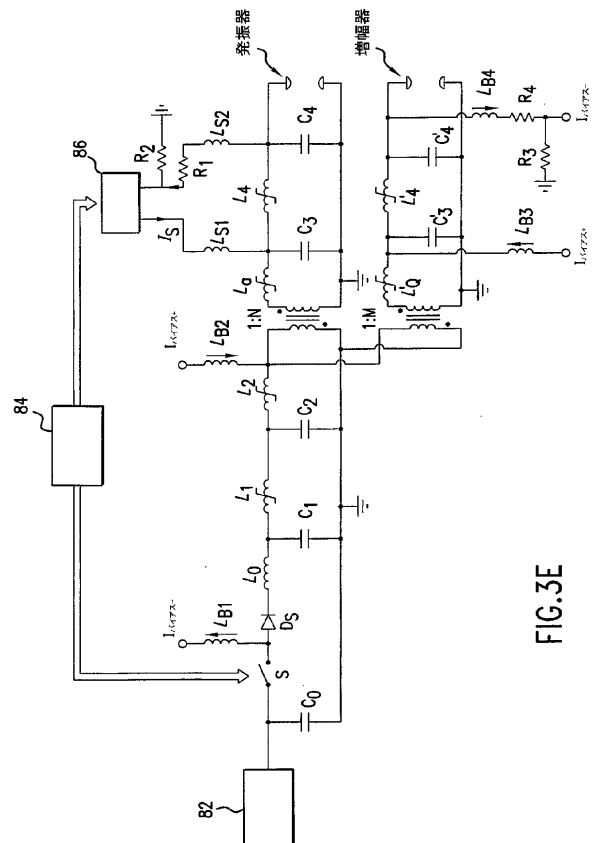


FIG. 3E

【図 7】

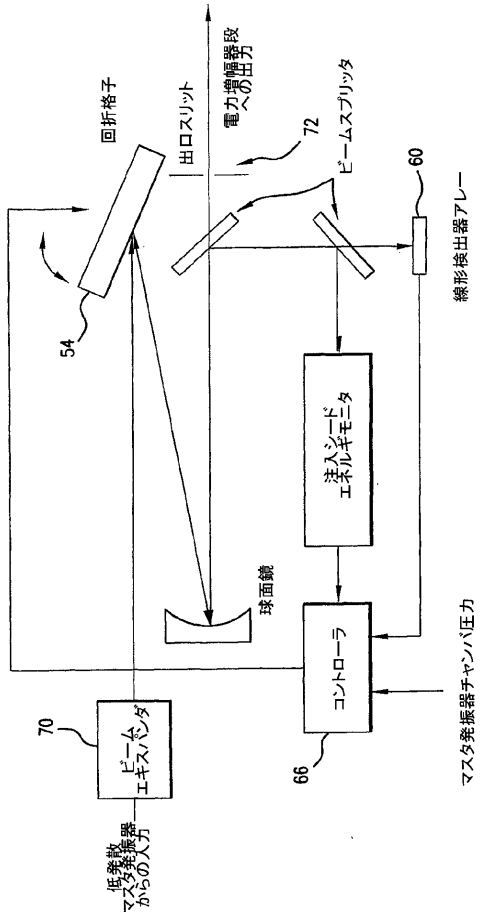


FIG. 7

【図 8】

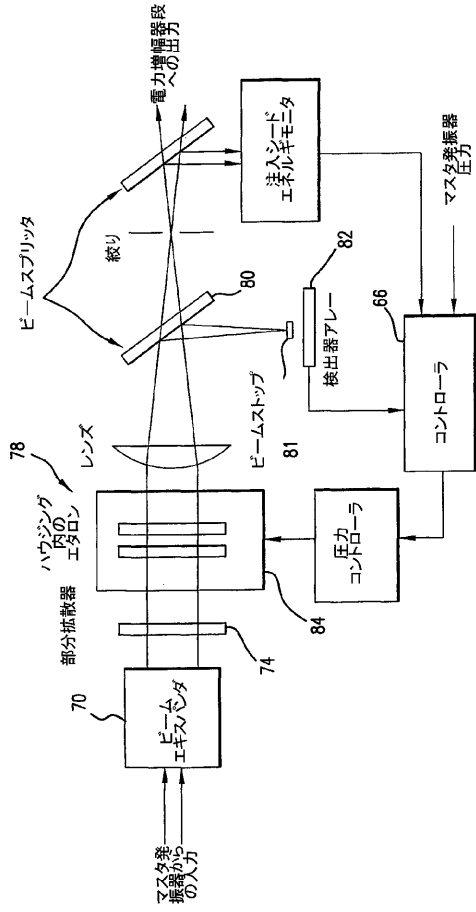


FIG. 8

【図 9】

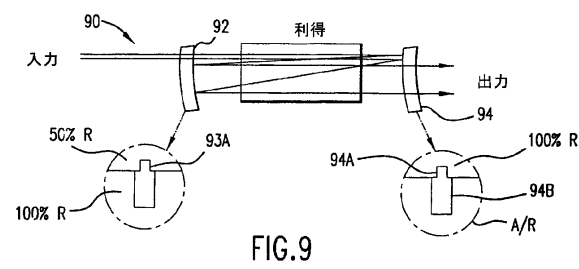


FIG. 9

【図 10】

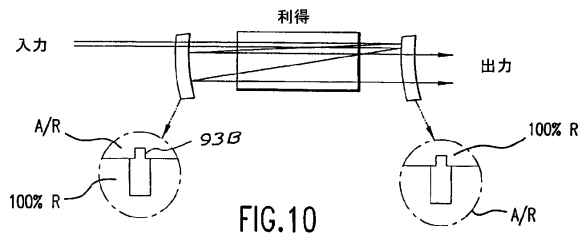


FIG. 10

【図 11】

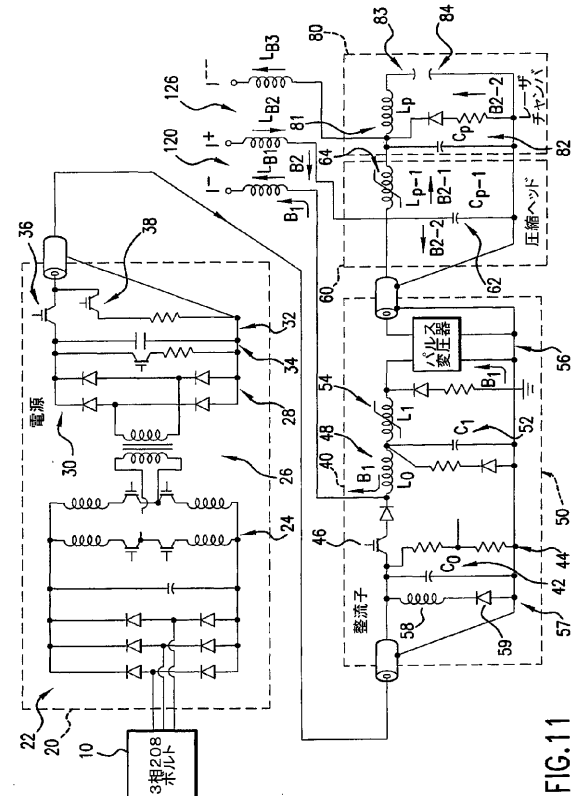


FIG. 11

【図11A】

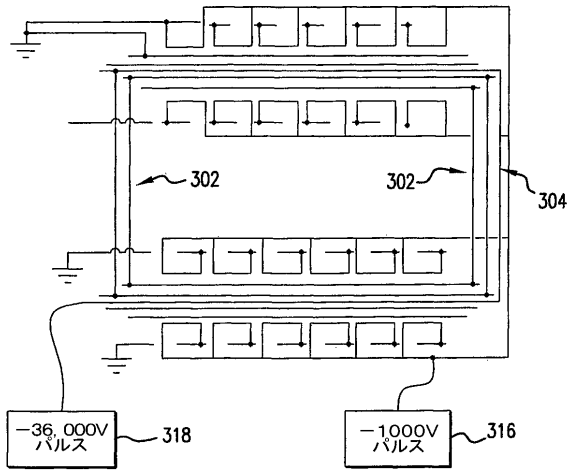


FIG.11A

【図11B】

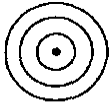


FIG.11B

【図11C】

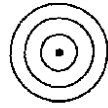


FIG.11C

【図11D】

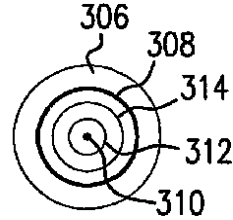


FIG.11D

【図12】

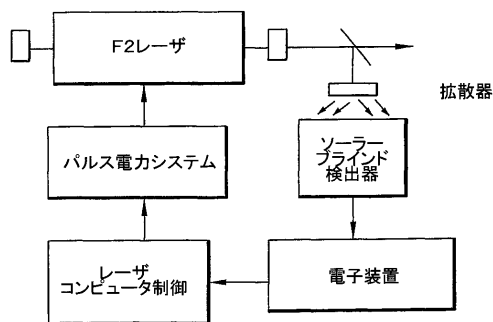


FIG.12

【図13】

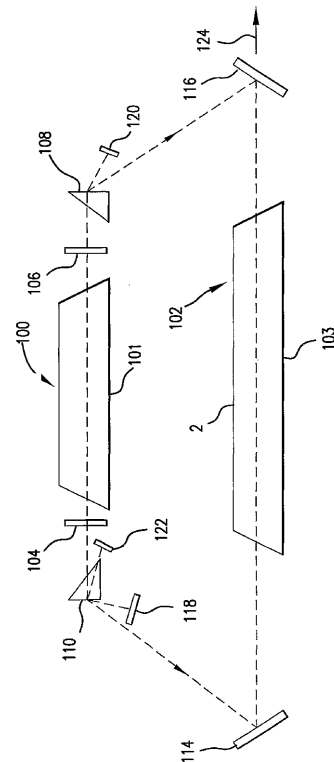


FIG.13

【図 14】

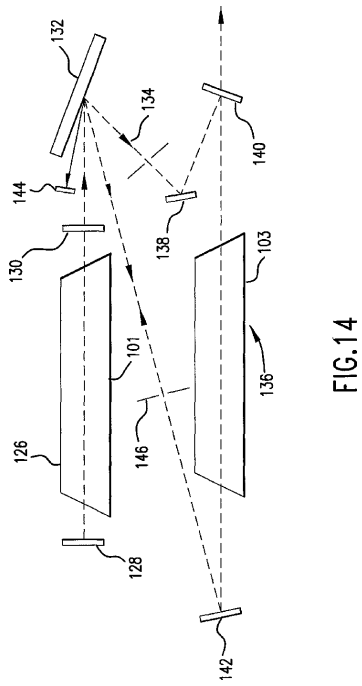


FIG. 14

【図 15】

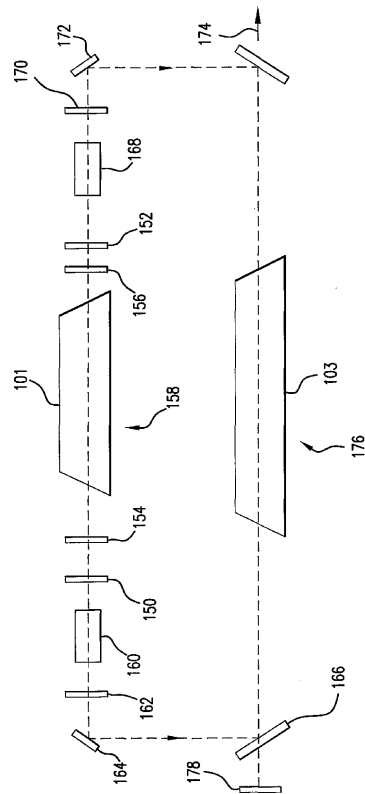


FIG. 15

【図 16】

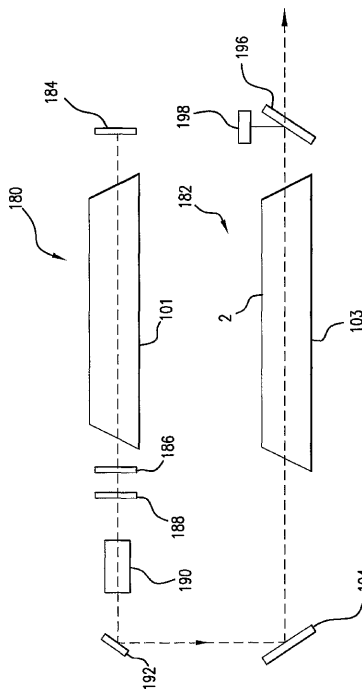


FIG. 16

【図 17】

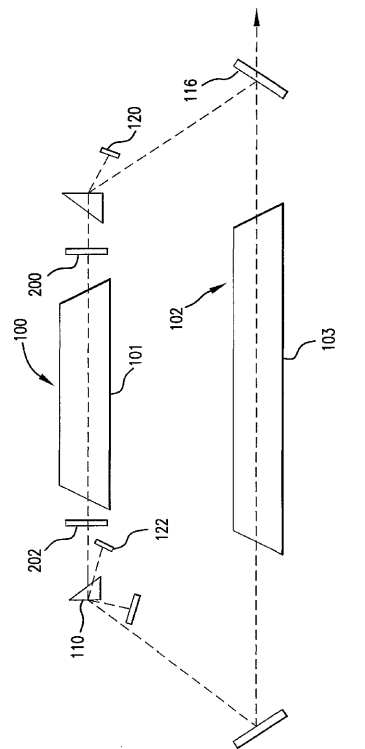


FIG. 17

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
H 0 1 S 3/23 (2006.01) H 0 1 S 3/23

- (31)優先権主張番号 09/855,310
 (32)優先日 平成13年5月14日(2001.5.14)
 (33)優先権主張国 米国(US)
 (31)優先権主張番号 09/879,311
 (32)優先日 平成13年6月12日(2001.6.12)
 (33)優先権主張国 米国(US)

前置審査

- (74)代理人 100086771
 弁理士 西島 孝喜
 (72)発明者 オンケルス エクハート ディ
 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 カミニト リヨン 1 2 0 0
 8
 (72)発明者 サンドストロム リチャード エル
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 2 0 2 4 エンシニタス ブライドーン テラス 4 1 0
 (72)発明者 ネス リチャード エム
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 2 1 2 6 サン ディエゴ シトラス ビュー コート
 9 2 4 8
 (72)発明者 パートロ ウィリアム エヌ
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 2 0 6 4 ボウエイ ベドリザ ドライヴ 2 6 3 4
 (72)発明者 エルショフ アレクサンダー アイ
 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 メドウ フラワー プレイス
 1 1 3 1 2
 (72)発明者 オー チョンフン
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 2 5 9 2 テマキュラ ジョンソン ドライヴ 4 4 7 0
 3

審査官 前川 慎喜

- (56)参考文献 特表平09-500759(JP,A)
 特開2001-024265(JP,A)
 特開2000-340869(JP,A)
 特開2001-077453(JP,A)
 特開2002-094160(JP,A)
 特開平02-103978(JP,A)
 特開平08-037329(JP,A)
 特開2000-058944(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
 H01S 3/00 - 4/00