

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6498693号

(P6498693)

(45) 発行日 平成31年4月10日(2019.4.10)

(24) 登録日 平成31年3月22日(2019.3.22)

(51) Int.Cl.		F I			
G03F	7/20	(2006.01)	G03F	7/20	503
H05H	13/04	(2006.01)	G03F	7/20	521
H05G	2/00	(2006.01)	H05H	13/04	F
			H05G	2/00	L

請求項の数 22 (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2016-559360 (P2016-559360)	(73) 特許権者	503263355
(86) (22) 出願日	平成27年2月27日(2015.2.27)		カール・ツァイス・エスエムティー・ゲー
(65) 公表番号	特表2017-513059 (P2017-513059A)		エムペーハー
(43) 公表日	平成29年5月25日(2017.5.25)		ドイツ連邦共和国、73447 オーバー
(86) 国際出願番号	PCT/EP2015/054175		コッヘン、ルドルフ・エーバー・シュトラ
(87) 国際公開番号	W02015/144386		ーセ 2
(87) 国際公開日	平成27年10月1日(2015.10.1)	(74) 代理人	100086771
審査請求日	平成30年2月26日(2018.2.26)		弁理士 西島 孝喜
(31) 優先権主張番号	102014205579.2	(74) 代理人	100088694
(32) 優先日	平成26年3月26日(2014.3.26)		弁理士 弟子丸 健
(33) 優先権主張国	ドイツ(DE)	(74) 代理人	100094569
			弁理士 田中 伸一郎
		(74) 代理人	100067013
			弁理士 大塚 文昭

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 マイクロリソグラフィ投影露光装置の照明デバイスのためのEUV光源

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

マイクロリソグラフィ投影露光装置の照明デバイスのためのEUV光源であって、
電子ビームを生成するための電子源(110)と、
前記電子ビームを加速するための加速器ユニット(120)と、
前記電子ビームを偏向することによってEUV光を生成するためのアンジュレーター配
置(100)と、

を含み、

前記アンジュレーター配置(100)は、

第1の偏光状態を有するEUV光を生成するための第1のアンジュレーター(101) 10
と、

前記第1の偏光状態とは異なる第2の偏光状態を有するEUV光を生成するための少な
くとも1つの第2のアンジュレーター(102)と、

を含み、

前記第2のアンジュレーター(102)は、前記電子ビームの伝播方向に沿って前記第
1のアンジュレーター(101)の下流に配置され、

前記アンジュレーター配置(100)は、それが、前記第1のアンジュレーター(10
1)がEUV光の前記生成に関して飽和状態にある第1の作動モードと、該第1のアンジ
ュレーター(101)がEUV光の該生成に関して飽和状態にない少なくとも1つの第2
の作動モードとを有するように構成される、

ことを特徴とするEUV光源。

【請求項2】

前記アンジュレーター配置(100)は、少なくとも1つの作動モードにおいて、前記EUV光の前記生成の少なくとも90%の比率が前記第2のアンジュレーター(102)によって達成されるように構成されることを特徴とする請求項1に記載のEUV光源。

【請求項3】

前記アンジュレーター配置(100)は、少なくとも1つの作動モードにおいて、前記EUV光の前記生成の少なくとも90%の比率が前記第1のアンジュレーター(101)によって達成されるように構成されることを特徴とする請求項1又は請求項2に記載のEUV光源。

10

【請求項4】

前記アンジュレーター配置(100)は、少なくとも1つの作動モードにおいて、前記EUV光の前記生成の少なくとも40%の比率が前記第1のアンジュレーター(101)によって達成され、かつ該生成の少なくとも40%の比率が前記第2のアンジュレーター(102)によって達成されるように構成されることを特徴とする請求項1から請求項3のいずれか1項に記載のEUV光源。

【請求項5】

前記アンジュレーター配置(100)によって生成される前記EUV光の前記偏光状態は、前記電子ビームの修正により、後者が該アンジュレーター配置(100)に入射する前に可変方式で設定可能であることを特徴とする請求項1から請求項4のいずれか1項に記載のEUV光源。

20

【請求項6】

前記アンジュレーター配置(100)によって生成される前記EUV光の前記偏光状態は、前記電子ビームの利得長さの修正により、後者が該アンジュレーター配置(100)に入射する前に可変方式で設定可能であることを特徴とする請求項1から請求項5のいずれか1項に記載のEUV光源。

【請求項7】

電流を印加することができる前記電子ビームをフォーカスするための複数の四重極磁石を含み、

前記第1の作動モードと前記第2の作動モードの間の切り換えが、前記四重極磁石のうちの少なくとも1つにおける前記電流の変動によって少なくとも部分的に達成される、

30

ことを特徴とする請求項1から請求項6のいずれか1項に記載のEUV光源。

【請求項8】

前記第1の偏光状態と前記第2の偏光状態は、互いに対して直交することを特徴とする請求項1から請求項7のいずれか1項に記載のEUV光源。

【請求項9】

前記アンジュレーター配置(100)は、前記第1のアンジュレーター(101)によって生成された第1の光ビームと前記第2のアンジュレーター(102)によって生成された第2の光ビームとを互いから空間的に分離される方式で前記照明デバイスに給送することができるように更に構成されることを特徴とする請求項1から請求項8のいずれか1項に記載のEUV光源。

40

【請求項10】

前記第1のアンジュレーター及び前記第2のアンジュレーターは、該第1のアンジュレーター(101)内の前記電子ビームの伝播の方向と該第2のアンジュレーター(102)内の該電子ビームの該伝播の方向とが互いに対して傾斜するように配置されることを特徴とする請求項1から請求項9のいずれか1項に記載のEUV光源。

【請求項11】

前記アンジュレーター配置(100)は、前記第1のアンジュレーター(101)によって生成された第1の光ビームと前記第2のアンジュレーター(102)によって生成された第2の光ビームとを前記照明デバイスに給送する途中で互いの上に重ねることができ

50

るように更に構成されることを特徴とする請求項 1 から請求項 10 のいずれか 1 項に記載の E U V 光源。

【請求項 12】

照明デバイス(503)と投影レンズ(506)とを含むマイクロリソグラフィ投影露光装置であって、

請求項 1 から請求項 11 のいずれか 1 項に記載の E U V 光源、
を含むことを特徴とする装置。

【請求項 13】

マイクロリソグラフィ投影露光装置であって、

電子ビームを生成するための電子源(110, 810)、

前記電子ビームを加速するための加速器ユニット(120, 820)、及び

前記電子ビームを偏向することによって E U V 光を生成するためのアンジュレーター配置(100, 800)、

を含む E U V 光源と、

照明デバイス(503)と、

投影レンズ(506)と、

を含み、

前記アンジュレーター配置(100, 800)は、第 1 の偏光状態を有する E U V 光を生成するための第 1 のアンジュレーター(101, 801)と、該第 1 の偏光状態とは異なる第 2 の偏光状態を有する E U V 光を生成するための少なくとも 1 つの第 2 のアンジュレーター(102, 802)とを含み、

投影露光装置の作動中に、前記第 1 のアンジュレーター(101, 801)によって生成された E U V 光及び前記第 2 のアンジュレーター(102, 802)によって生成された E U V 光が、前記照明デバイス(503)内にそれぞれ結合され、

前記電子ビームのエネルギーが前記第 1 のアンジュレーター(101, 801)によって生成された E U V 光に、かつそれぞれ前記第 2 のアンジュレーター(102, 802)によって生成された E U V 光に変換されるそれぞれの相対比率が、可変方式で設定可能である、

ことを特徴とする装置。

【請求項 14】

前記電子ビームの前記エネルギーが前記第 1 のアンジュレーター(101, 801)によって生成された E U V 光に、かつそれぞれ前記第 2 のアンジュレーター(102, 802)によって生成された E U V 光に変換される前記それぞれの相対比率の前記可変設定は、該電子ビームの修正により、後者が前記アンジュレーター配置(100, 800)に入射する前に実施することができることを特徴とする請求項 13 に記載のマイクロリソグラフィ投影露光装置。

【請求項 15】

マイクロリソグラフィ投影露光装置の照明デバイスのための E U V 光源を作動させる方法であって、

前記 E U V 光源は、電子ビームを生成するための電子源(110)と、該電子ビームを加速するための加速器ユニット(120)と、該電子ビームを偏向することによって E U V 光を生成するためのアンジュレーター配置(100)とを含み、

前記アンジュレーター配置(100)は、

第 1 の偏光状態を有する E U V 光を生成するための第 1 のアンジュレーター(101)と、

前記第 1 の偏光状態とは異なる第 2 の偏光状態を有する E U V 光を生成するための少なくとも 1 つの第 2 のアンジュレーター(102)と、

を含み、

前記第 2 のアンジュレーター(102)は、前記電子ビームの伝播の方向に沿って前記第 1 のアンジュレーター(101)の下流に配置され、

10

20

30

40

50

前記アンジュレーター配置(100)の作動中に、前記第1のアンジュレーター(101)がEUV光の前記生成に関して飽和状態にある第1の作動モードと該第1のアンジュレーター(101)がEUV光の該生成に関して飽和状態にない少なくとも1つの第2の作動モードとの間の切り換えが達成される、

ことを特徴とする方法。

【請求項16】

前記第1の作動モードと前記第2の作動モードの間の前記切り換えは、前記電子ビームの修正により、後者が前記アンジュレーター配置(100)に入射する前に達成されることを特徴とする請求項15に記載の方法。

【請求項17】

マイクロリソグラフィ投影露光装置の照明デバイスのためのEUV光源を作動させる方法であって、

前記EUV光源は、電子ビームを生成するための電子源(110)と、該電子ビームを加速するための加速器ユニット(120)と、該電子ビームを偏向することによってEUV光を生成するためのアンジュレーター配置(100)とを含み、

前記アンジュレーター配置(100, 800)は、第1の偏光状態を有するEUV光を生成するための第1のアンジュレーター(101, 801)と、該第1の偏光状態とは異なる第2の偏光状態を有するEUV光を生成するための少なくとも1つの第2のアンジュレーター(102, 802)とを含み、

前記投影露光装置の作動中に、前記第1のアンジュレーター(101, 801)によって生成されたEUV光及び前記第2のアンジュレーター(102, 802)によって生成されたEUV光が、前記照明デバイス(503)内にそれぞれ結合され、

前記電子ビームのエネルギーが前記第1のアンジュレーター(101, 801)によって生成されたEUV光に、かつそれぞれ前記第2のアンジュレーター(102, 802)によって生成されたEUV光に変換されるそれぞれの相対比率が、可変方式で設定可能である、

ことを特徴とする方法。

【請求項18】

前記電子ビームの前記エネルギーが前記第1のアンジュレーター(101, 801)によって生成されたEUV光に、かつそれぞれ前記第2のアンジュレーター(102, 802)によって生成されたEUV光に変換される前記それぞれの相対比率の前記可変設定は、該電子ビームの修正により、後者が前記アンジュレーター配置(100, 800)に入射する前に達成されることを特徴とする請求項17に記載の方法。

【請求項19】

前記EUV光源は、電流を印加することができる前記電子ビームをフォーカスするための複数の四重極磁石を含み、

前記第1の作動モードと前記第2の作動モードの間の前記切り換えは、前記四重極磁石のうちの少なくとも1つにおける前記電流の変動によって少なくとも部分的に達成される、

ことを特徴とする請求項15から請求項18のいずれか1項に記載の方法。

【請求項20】

近似タンジェンシャル偏光分布又は近似ラジアル偏光分布が、前記照明デバイスの瞳平面に少なくとも時々生成されることを特徴とする請求項15から請求項19のいずれか1項に記載の方法。

【請求項21】

非偏光光が、前記照明デバイスの瞳平面に少なくとも時々生成されることを特徴とする請求項15から請求項20のいずれか1項に記載の方法。

【請求項22】

微細構造化構成要素をマイクロリソグラフィで生成する方法であって、

感光材料から構成された層が少なくとも部分的に加えられた基板を与える段階と、

10

20

30

40

50

結像される構造を有するマスク（５０５）を与える段階と、
請求項１２から請求項１４のいずれか１項に記載のマイクロリソグラフィ投影露光装置
を与える段階と、
前記投影露光装置を用いて前記マスク（５０５）の少なくとも一部を前記層の領域上に
投影する段階と、
を含むことを特徴とする方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本出願は、２０１４年３月２６日出願のドイツ特許出願ＤＥ １０ ２０１４ ２０５ 10
５７９．２の優先権を主張するものである。このＤＥ出願の内容は、本出願の本文に引
用によって組み込まれている。

【０００２】

本発明は、マイクロリソグラフィ投影露光装置の照明デバイスのためのＥＵＶ光源に関
する。

【背景技術】

【０００３】

マイクロリソグラフィは、例えば、集積回路又はＬＣＤのような微細構造化構成要素を
生成するのに使用される。マイクロリソグラフィ処理は、照明デバイスと投影レンズとを
有するいわゆる投影露光装置内で実施される。この場合に、照明デバイスを用いて照明さ
れるマスク（レチクル）の像は、マスクの構造を基板の感光コーティングに転写するた
めに感光層（フォトリジスト）で被覆されて投影レンズの像平面に配置された基板（例
えば、シリコンウェーハ）上に投影レンズを用いて投影される。 20

【０００４】

ＥＵＶ範囲、すなわち、例えば、約１３ｎｍ又は約７ｎｍの波長に向けて設計される投
影レンズでは、適切な光透過性屈折材料の利用可能性の欠如に起因して、結像処理にはミ
ラーが使用される。

【０００５】

ＥＵＶ放射線源としては、プラズマ光源及びシンクロトロンに加えて、自由電子レーザ
の使用が公知である。このレーザは、取りわけ、生成される放射線が望ましいＥＵＶ放射
線、すなわち、望ましい波長範囲に限定され、かつプラズマ光源の場合にそこに要求さ
れるターゲット材料に起因して生じる汚染も回避されるという利点を有する。 30

【０００６】

投影露光装置の作動中に、結像コントラストを最適化する目的に対して、同じく投影露
光装置の作動中に偏光分布の変更を実施することができるよう、瞳平面及び／又はレチ
クル内の特定の偏光分布を照明デバイス内に目標を定めた方式で設定しなければならない
。

【０００７】

原理的に、自由電子レーザでは、偏光放射線は、電子ビームを偏向することによってＥ
ＵＶ光を生成するための複数の磁石を含むアンジュレーター配置の使用によって生成され
る。図７ａ及び図７ｂは、各々、電子ビーム７０５を生成するための電子源７１０と、こ
の電子ビーム７０５を加速するための加速器ユニット７２０と、電子ビーム７０５を偏向
することによってＥＵＶ光を生成するための複数の磁石を含み、この場合は２つのアン
ジュレーター７０１、７０２を含むアンジュレーター配置７００とを含む自由電子レーザの
可能な構成を示している。生成される放射線の偏光は、アンジュレーター配置７００の磁
石の具体的な配置により、図７ａ、図７ｂによる原理では２つのアンジュレーター７０１
、７０２を含むアンジュレーター配置７００の使用によって予め定められるので、互に
異なる偏光方向（例えば、水平偏光光及び垂直偏光光）を有する光ビームＳ１、Ｓ２を
生成することができ、図７ｂに示すように、例えば、アンジュレーター７０１、７０２を互
いに対して傾斜させることにより（関連のアンジュレーター内の電子ビームのそれぞれの 40
50

伝播方向に対して)、それぞれのビーム経路の空間分離を実現することも可能である。

【0008】

図7a、図7bに関して上述した原理が、異なる偏光照明設定の設定(水平偏光光と垂直偏光光の重ね合わせ時の実質的に偏光された放射線の生成を含む)を可能にする場合であっても、ここで実際には、偏光照明設定のうちの望ましいものに依存して、それぞれ望ましくない偏光状態を有するアンジュレーターの光は使用されず、又は失われ、その結果、投影露光装置の性能が損なわれるという問題が発生する。

【0009】

EUV範囲に向けて設計された投影露光装置内の偏光分布を変更することに関する従来技術に関しては、単に一例として、DE 10 2008 002 749 A1、US 2008/0192225 A1、WO 2006/111319 A2、及びUS 6,999,172 B2を参照されたい。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0010】

【特許文献1】DE 10 2008 002 749 A1

【特許文献2】US 2008/0192225 A1

【特許文献3】WO 2006/111319 A2

【特許文献4】US 6,999,172 B2

【特許文献5】US 2007/0152171 A1

【非特許文献】

【0011】

【非特許文献1】Y. Sokol、G. N. Kulipanov、A. N. Matveenko、O. A. Shevchenko、及びN. A. Vinokurov著「極紫外リソグラフィのための小型13.5nm自由電子レーザー(Compact 13.5-nm free-electron laser for extreme ultraviolet lithography)」、Phys. Rev. Spec. Top.、14:040702、2011年

【非特許文献2】P. Schmuser他著「紫外及び軟X線自由電子レーザー:物理的原理、実験結果、技術的課題の紹介(Ultraviolet and Soft X-Ray Free-Electron Lasers:Introduction to Physical Principles, Experimental Results, Technological Challenges)」、STMP 229、Springer、Berlin Heidelberg 2008、DOI 10.1007/978-3-540-79572-8

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

本発明の目的は、比較的僅かな光損失しか伴わずに偏光分布の柔軟な設定を可能にするマイクロリソグラフィ投影露光装置の照明デバイスのためのEUV光源を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0013】

この目的は、独立請求項1に記載の特徴によって達成される。

【0014】

マイクロリソグラフィ投影露光装置の照明デバイスのための本発明による光源は、電子ビームを生成するための電子源と、電子ビームを加速するための加速器ユニットと、電子ビームを偏向することによってEUV光を生成するためのアンジュレーター配置とを含み、アンジュレーター配置は、第1の偏光状態を有するEUV光を生成するための第1のアンジュレーターと、第1の偏光状態とは異なる第2の偏光状態を有するEUV光を生成す

るための少なくとも1つの第2のアンジュレーターとを含み、第2のアンジュレーターは、電子ビームの伝播方向に沿って第1のアンジュレーターの下流に配置され、アンジュレーター配置は、第1のアンジュレーターがEUV光の生成に関して飽和状態にある第1の作動モードと、第1のアンジュレーターがEUV光の生成に関して飽和状態にない少なくとも1つの第2の作動モードとを有するように構成される。

【0015】

本発明は、特に、本発明によるアンジュレーター配置に存在する2つのアンジュレーターの全体的に生成される電磁放射線に関してそれぞれの絶対値の変更を達成することにより、異なる望ましい偏光照明設定の柔軟な設定を実現し、従って、最終的に生成される偏光状態の柔軟な設定を実現するという概念に基づいている。

10

【0016】

本発明により、電子ビームの伝播方向に沿って最初にあるアンジュレーターを飽和状態又は他に非飽和状態のいずれかで選択的に作動させることにより、電子ビームの伝播方向に関してアンジュレーター配置によって全体的に放出される放射線中で第2のアンジュレーターが構成する比率を同時に変更することができる。これは、第1のアンジュレーターにおける飽和発生の場合に、使用可能エネルギー全体が、第1のアンジュレーター内の電子ビームから既に引き出され、その結果、第2のアンジュレーターを通過するときには電子のエネルギー非鮮鋭度が既に大き過ぎて、そこではレーザ作用がもはや可能ではないという考察に基づいている。それとは対照的に、飽和が第1のアンジュレーター内で発生しない場合に、第1のアンジュレーターが比較的弱い程度にしか光を生成しないか又は電子ビームからエネルギーを引き出さない場合に、相応にレーザ作用又は発光が第2のアンジュレーター内で発生する。

20

【0017】

その結果、従って、本発明によるアンジュレーター配置によって放出される放射線エネルギー全体又は放射線強度の常時使用を用いて、この全体強度に対する2つのアンジュレーターの相対寄与の変動より、有意な光損失を伴わずに偏光分布の柔軟な設定を達成することが可能である。

【0018】

この場合に、本発明の更に別の利点は、自由電子レーザにおけるコストに関する主な支出が、電子を加速するための構成要素及びこれらの構成要素の必要な冷却によってもたらされるので（アンジュレーター配置によってではなく）、2つのアンジュレーターの使用を有する本発明による概念は、コストに関する有意な支出の増加をもたらさないという点である。

30

【0019】

本発明の更に別の利点は、下記でより一層詳細に説明するように、2つのアンジュレーターの間で全体的に放出されるエネルギーの分布の有意な変動、従って、最終的に与えられる偏光状態の有意な変動をいわゆる利得長さ又は関連のパラメータの比較的小さい変更によって事前にもたらすことができるという点である。

【0020】

本発明の開示の意味の範囲では、EUV光の生成に関してアンジュレーターが飽和状態にあるということは、好ましくは、関連のアンジュレーターの出力における強度は、90%がこのアンジュレーターを通した後に得られる強度値の1.1倍よりも小さいことを意味すると理解されたい（この場合に、関連のアンジュレーターの出力におけるゼロに等しくない強度が基準として採用される）。

40

【0021】

アンジュレーター配置は、EUV光を生成するための複数の磁石を含むことができる。しかし、本発明は、これに限定されず、更に別の実施形態において、例えば、US 2007/0152171 A1から公知であるレーザの電磁場を使用することができる。

【0022】

一実施形態により、アンジュレーター配置は、少なくとも1つの作動モードにおいて、

50

EUV発光の少なくとも90%の比率が第2のアンジュレーターによって達成されるように構成される。

【0023】

一実施形態により、アンジュレーター配置は、少なくとも1つの作動モードにおいて、EUV発光の少なくとも90%の比率が第1のアンジュレーターによって達成されるように構成される。

【0024】

一実施形態により、アンジュレーター配置は、少なくとも1つの作動モードにおいて、EUV光の生成の少なくとも40%の比率が第1のアンジュレーターによって引き起こされ、生成の少なくとも40%の比率が第2のアンジュレーターによって達成されるように構成される。

10

【0025】

一実施形態により、アンジュレーター配置によって生成されるEUV光の偏光状態は、電子ビームがアンジュレーター配置に入射する前の電子ビームの修正によって可変方式で設定可能である。特に、アンジュレーター配置によって生成されるEUV光の偏光状態は、電子ビームがアンジュレーター配置に入射する前の電子ビームの利得長さの修正によって可変方式で設定可能にすることができる。偏光設定（又は2つのアンジュレーターの相対寄与の変更）が、電子ビームがアンジュレーター配置に入射する前の電子ビームの設定又は修正によって達成されるという事実により、アンジュレーター配置自体における起動は必要ではなく、従って、アンジュレーター配置のそのような起動に関する構造的な費用が回避される。

20

【0026】

一実施形態により、EUV光源は、電流を印加することができる電子ビームをフォーカスするための複数の四重極磁石を含み、第1の作動モードと第2の作動モードの間の切り換えは、四重極磁石のうちの少なくとも1つにおける電流の変動によって少なくとも部分的に達成される。

【0027】

一実施形態により、第1の偏光状態と第2の偏光状態は、互いに対して直交する。

【0028】

一実施形態により、アンジュレーター配置は、第1のアンジュレーターによって生成された第1の光ビームと第2のアンジュレーターによって生成された第2の光ビームとを照明デバイスに互いから空間的に分離された方式で給送することができるように更に構成される。

30

【0029】

一実施形態により、第1のアンジュレーター及び第2のアンジュレーターは、第1のアンジュレーター内の電子ビームの伝播方向と第2のアンジュレーター内の電子ビームの伝播方向とが互いに対して傾斜されるように配置される。

【0030】

一実施形態により、アンジュレーター配置は、第1のアンジュレーターによって生成される第1の光ビームと第2のアンジュレーターによって生成される第2の光ビームとを照明デバイスに給送する途中で互いの上に重ねることができるように更に構成される。

40

【0031】

本発明は、更に、照明デバイスと投影レンズとを含み、上述の特徴を有するEUV光源を含むマイクロリソグラフィ投影露光装置に関する。

【0032】

更に別の態様により、本発明は、電子ビームを生成するための電子源と、電子ビームを加速するための加速器ユニットと、電子ビームを偏向することによってEUV光を生成するためのアンジュレーター配置とを含むEUV光源と、照明デバイスと、投影レンズとを含むマイクロリソグラフィ投影露光装置に関し、アンジュレーター配置は、第1の偏光状態を有するEUV光を生成するための第1のアンジュレーターと、第1の偏光状態とは異

50

なる第2の偏光状態を有するEUV光を生成するための少なくとも1つの第2のアンジュレーターとを含み、投影露光装置の作動中に、第1のアンジュレーターによって生成されるEUV光、及び第2のアンジュレーターによって生成されるEUV光は、それぞれ照明デバイス内に結合され、電子ビームのエネルギーが第1のアンジュレーターによって生成されたEUV光と第2のアンジュレーターによって生成されたEUV光とにそれぞれ変換される際のそれぞれの相対比率は、可変方式で設定可能である。

【0033】

この場合に、特に、第1及び第2のアンジュレーターによってそれぞれ生成されるEUV光の光エネルギーは、相対比率を計算するために使用することができる。

【0034】

電子ビームのエネルギーが第1のアンジュレーターによって生成されるEUV光と第2のアンジュレーターによって生成されるEUV光とにそれぞれ変換される際のそれぞれの相対比率の可変設定は、電子ビームがアンジュレーター配置に入射する前の電子ビームの修正によって（例えば、利得長さの修正によって）実施することができる。

【0035】

更に別の態様により、本発明は、電子ビームを生成するための電子源と、電子ビームを加速するための加速器ユニットと、電子ビームを偏向することによってEUV光を生成するためのアンジュレーター配置とを含むマイクロリソグラフィ投影露光装置の照明デバイスのためのEUV光源を作動させる方法に関し、アンジュレーター配置は、第1の偏光状態を有するEUV光を生成するための第1のアンジュレーターと、第1の偏光状態とは異なる第2の偏光状態を有するEUV光を生成するための少なくとも1つの第2のアンジュレーターとを含み、第2のアンジュレーターは、電子ビームの伝播方向に沿って第1のアンジュレーターの下流に配置され、アンジュレーター配置の作動中に、第1のアンジュレーターがEUV光の生成に関して飽和状態にある第1の作動モードと、第1のアンジュレーターがEUV光の生成に関して飽和状態にない第2の作動モードとの間で切り換えが達成される。

【0036】

一実施形態により、第1の作動モードと第2の作動モードの間の切り換えは、電子ビームがアンジュレーター配置に入射する前の電子ビームの修正によって（例えば、利得長さの修正によって）達成される。

【0037】

更に別の態様により、本発明は、電子ビームを生成するための電子源と、電子ビームを加速するための加速器ユニットと、電子ビームを偏向することによってEUV光を生成するためのアンジュレーター配置とを含むマイクロリソグラフィ投影露光装置の照明デバイスのためのEUV光源を作動させる方法に関し、アンジュレーター配置は、第1の偏光状態を有するEUV光を生成するための第1のアンジュレーターと、第1の偏光状態とは異なる第2の偏光状態を有するEUV光を生成するための少なくとも1つの第2のアンジュレーターとを含み、投影露光装置の作動中に、第1のアンジュレーターによって生成されるEUV光、及び第2のアンジュレーターによって生成されるEUV光は、それぞれ照明デバイス内に結合され、電子ビームのエネルギーが第1のアンジュレーターによって生成されるEUV光と第2のアンジュレーターによって生成されるEUV光とにそれぞれ変換される際のそれぞれの相対比率は、可変方式で設定可能である。

【0038】

一実施形態により、電子ビームのエネルギーが第1のアンジュレーターによって生成されるEUV光と第2のアンジュレーターによって生成されるEUV光とにそれぞれ変換される際のそれぞれの相対比率の可変設定は、電子ビームがアンジュレーター配置に入射する前の電子ビームの修正によって達成される。

【0039】

一実施形態により、EUV光源は、電流を印加することができる電子ビームをフォーカスするための複数の四重極磁石を含み、第1の作動モードと第2の作動モードの間の切り

10

20

30

40

50

換えは、四重極磁石のうちの少なくとも1つにおける電流の変動によって少なくとも部分的に達成される。

【0040】

一実施形態により、近似タンジェンシャル偏光分布又は近似ラジアル偏光分布が、照明デバイスの瞳平面に少なくとも時々生成される。

【0041】

一実施形態により、非偏光光が、照明デバイスの瞳平面に少なくとも時々生成される。

【0042】

本発明は、更に、微細構造化構成要素をマイクロリソグラフィで生成する方法にも関する。

【0043】

本発明の更に別の構成は、本明細書及び従属請求項から集めることができる。

【0044】

添付図面に示す例示的实施形態に基づいて、本発明を下記でより詳細に説明する。

【図面の簡単な説明】

【0045】

【図1】本発明による自由電子レーザの可能な構成を解説するための概略図である。

【図2】本発明の根底にある原理を解説するための概略図である。

【図3】本発明の根底にある原理を解説するための概略図である。

【図4】本発明の根底にある原理を解説するための概略図である。

【図5】本発明を実現することができるマイクロリソグラフィ投影露光装置の可能な構成を解説するための概略図である。

【図6】本発明を実現することができるマイクロリソグラフィ投影露光装置の可能な構成を解説するための概略図である。

【図7】a及びbは、自由電子レーザの可能な構成を解説するための概略図である。

【図8】本発明の更に別の実施形態による自由電子レーザの可能な構成を解説するための概略図である。

【発明を実施するための形態】

【0046】

図1は、本発明によるEUV光源によって形成された自由電子レーザの可能な構成を解説するための概略図を示している。

【0047】

図1により、そのような自由電子レーザの場合に、電子源110によって生成された電子ビームは、加速器ユニット120を用いて相対論的速度まで加速される。これらの電子をそのエネルギーに基づいて双極子磁石130が第1の電子ビーム経路140又は第2の電子ビーム経路150に誘導し、この場合に、複数の二重極磁石(図1には例示的に部分的に「D」と表記している)、四重極磁石(図1には例示的に部分的に「Q」と表記している)、及び六重極(図1には例示的に部分的に「S」と表記している)が、それぞれこれらの電子ビーム経路140、150上に配置される。

【0048】

加速器ユニット120を通過すると、電子ビーム内の電子のエネルギーは、これらの電子が「130」で表記した二重極磁石によって第1の電子ビーム経路140に誘導されるようなものであり、従って、再度加速器ユニット120を通り、その結果、これらの電子は更に加速される。二重極磁石130の2回目の通過中の電子ビーム内の電子のエネルギーは、第2の電子ビーム経路150上に誘導されるようなものである。加速器ユニット2を複数回通過することは、再循環器概念とも呼ばれ、Y. Sokol、G. N. Kulipanov、A. N. Matveenko、O. A. Shevchenko、及びN. A. Vinokurov著「極紫外リソグラフィのための小型13.5nm自由電子レーザ(Compact 13.5-nm free-electron laser for extreme ultraviolet lithography)」、Phys. Re

10

20

30

40

50

v . S p e c . T o p . 、 1 4 : 0 4 0 7 0 2 、 2 0 1 1 年に詳細に記載されている。しかし、本発明は、この再循環器概念に限定されず、異なる構成（加速器ユニットを複数回数通過することのない）で実現することができる。

【 0 0 4 9 】

第2の電子ビーム経路150内に誘導された電子は、アンジュレーター配置100上に入射する。このアンジュレーター配置100は、電子ビームに正弦波周期移動を引き起こす。電子の偏向に起因して、電子は、電子の相対論的移動によって電子経路に沿ってほぼ完全に前方に誘導されるシンクロトロン放射線を放出する。アンジュレーター配置100の隣接周期内で放出される放射線は、正しい位相で重なることができる。この場合に、自由電子レーザの波長は、電子のエネルギー、アンジュレーター配置100の周期、アンジュレーター配置100の磁場を変更することによって調整することができる。

10

【 0 0 5 0 】

アンジュレーター配置100によって生成されるEUV光は、図1には概略的にしか示していない投影露光装置160の照明デバイス内に結合される。

【 0 0 5 1 】

図2及び図3は、本発明の根底にある原理を解説するための概略図を示している。

【 0 0 5 2 】

図2に全く概略的に示すように、電子ビームがアンジュレーター配置100を通過するときに、初期状態で均一に分布していた電子（セクション「A」）から波長程度の大きさの電子バンチ（いわゆる「マイクロバンチ」）が形成され（セクション「B」）、この場合に、1つの同じ電子バンチ内にある電子のみが互いにコヒーレントな放射線を放出することができる。従って、電子バンチ又は「マイクロバンチ」が十分に有意になる（セクション「C」）や否やレーザ作用が始まり、レーザ作用及びそれに関連付けられたエネルギー損失に起因する電子のエネルギー分散及び相応に強まるエネルギー非鮮鋭度が過度に大きくなり、又は電子バンチ又は「マイクロバンチ」の分解をもたらすや否やレーザ作用は終了する（セクション「D」）。

20

【 0 0 5 3 】

図3により、次に、本発明によるアンジュレーター配置100は、第1のアンジュレーター101と第2のアンジュレーター102を含み、第1及び第2のアンジュレーター101、102は、これらのアンジュレーターによってそれぞれ放出される電磁放射線が互いに異なる偏光状態を有するように、これらのアンジュレーターのそれぞれの磁石配置に関して構成される。具体的な例示的实施形態において、例えば、第1のアンジュレーター101は、それによって放出される光が水平又はx方向に偏光されるように構成することができ、第2のアンジュレーター102は、それによって放出される光が垂直又はy方向に偏光されるように構成することができる。

30

【 0 0 5 4 】

本発明によるこのアンジュレーター配置100を端緒として、下記で説明するように、この時点で、全体的に生成される電磁放射線に関して2つのアンジュレーター101、102のそれぞれの絶対値の柔軟な変更を実現することが可能であり、従って、最終的に生成される偏光状態の柔軟な設定を達成することができる。

40

【 0 0 5 5 】

原理的に、アンジュレーターでは、図4に記載の放出される光強度又はエネルギーの飽和開始前の伝播距離 z への依存性に関して、放出される光強度又はエネルギー E_{emitt} において、次式の関係を有する指数関数的増大が発生する。

$$I(z) = I_0 \cdot e^{z/L_g} \quad (1)$$

式中の L_g は、いわゆる利得長さを表し、 I_0 は、アンジュレーターの入力における光強度を表している。

【 0 0 5 6 】

50

特に、アンジュレーター 101、102 の間で全体的に放出されるエネルギーを分布させるための（すなわち、全体的に生成される電磁放射線に関してこれらのアンジュレーター 101、102 のそれぞれの絶対値を変更するための）本発明の一実施形態により、利得長さ L_g を変更することができる。この手法は、比較的短い利得長さでは使用可能エネルギー全体が、第 1 のアンジュレーター 101 内で電子ビームから既に取り出され、この場合に、電子のエネルギー非鮮鋭度はその後非常に大きいことでレーザ作用がもはや可能ではないという考察に基づいている。それとは対照的に、利得長さが比較的長いように選択される場合に、第 1 のアンジュレーター 101 内で比較的弱い程度にしか光が生成されず、又はエネルギーが電子ビームから取り出されず、その結果、レーザ作用又は発光は、第 2 のアンジュレーター 102 においてのみ発生する。

10

【0057】

図 3 に略示するように、第 1 のシナリオ「I」では、例えば、アンジュレーター配置によって放出される全体の放射線が水平に偏光されるように、レーザ作用開始と終了の両方が、第 1 のアンジュレーター 101 の側で発生することができる。第 2 のシナリオ「II」では、アンジュレーター配置によって放出される全体の放射線が垂直に偏光されるように、レーザ作用開始と終了の両方が、第 2 のアンジュレーター 102 の側で発生することができる。第 3 のシナリオ「III」では、水平偏光放射線と垂直偏光放射線の両方が生成されるように（等しい比率、又は他に異なる比率で）、第 1 のアンジュレーター 101 側と第 2 のアンジュレーター 102 側の両方でレーザ作用がそれぞれ発生することができる。第 3 のシナリオの場合に、異なって偏光された関連の光線を例えば疑似タンジェンシャル偏光照明設定のような特定の偏光照明設定を生成するために照明デバイスに空間的に分離して給送するか（下記で図 5 及び図 6 を参照して説明するように）、又は他に非偏光を生成するために互いの上に重ねるかのいずれかを行うことができる。

20

【0058】

一例示的定量的考察は、図 4 を参照して示した指数関数的プロファイルに起因して、2 つのアンジュレーター 101、102 の間に全体的に放出されるエネルギーの分布の有意な変化、従って、最終的に与えられる偏光状態の有意な変化は、比較的小さい利得長さの変更によって予め達成することができることを示している。

【0059】

この点に関して、下記では、電子ビームのノイズのみから始まる飽和を達成するための典型的なアンジュレーター長さが利得長さの値の 1.8 倍に対応すると仮定する。発光全体が第 1 のアンジュレーター 101 によって引き起こされるアンジュレーター 101、102 の構成から始める場合に、利得長さは 1.2 倍だけ長くなり、例えば、第 1 のアンジュレーター 101 の長さは、事実上 $1.8 / (1.2) = 1.5$ 利得長さしかなく、従って、第 1 のアンジュレーターは、飽和を達成するまでに 3 利得長さを欠き、その結果、第 1 のアンジュレーターによって放出されるエネルギー又は強度は、最大可能なエネルギー又は強度の約 5 % しかなく、残りの約 95 % は、第 1 のアンジュレーターの代わりに第 2 のアンジュレーター 102 によって放出される。

30

【0060】

利得長さ L_g は、電子源によって生成される電子ビームの直径と、この電子ビームが予め有するエネルギー分散との両方に依存する。従って、2 つのアンジュレーター 101、102 の間で全体的に放出されるエネルギーの分布を変更するための利得長さ L_g の変更は、原理的に異なる手法で達成することができ、異なるオプションの組合せも可能である。

40

【0061】

1 つのオプションにより、図 1 に記載の構成に示す電子ビームをフォーカスさせるための四重極磁石 Q に印加される電流は、目標を定めた方式で変更することができる。この変更は、四重極磁石 Q によって引き起こされる電子ビームの常時フォーカスが、各々特定の電子と光軸の間の大きい角度をもたらし電子ビームの電子の発散を相殺するという考察に基づいている。利得長さに対するこの角度増加の効果は、例えば、P. Schmu ser 他著「紫外及び軟 X 線自由電子レーザ：物理的原理、実験結果、技術的課題の紹介（U l

50

traviolet and Soft X-Ray Free-Electron Lasers: Introduction to Physical Principles, Experimental Results, Technological Challenges)」、STMP 229、Springer、Berlin Heidelberg 2008、DOI 10.1007/978-3-540-79572-8により詳細に記載されている次式の無次元パラメータによって表すことができる。

$$X_{\varepsilon} = \frac{L_{g0} \cdot 4\pi\varepsilon}{\beta_{av} \cdot \lambda_e} \quad (2)$$

10

【0062】

式(2)では、 ε は、電子ビームの「エミッタンス」(すなわち、占有位相空間体積)、すなわち、位置空間におけるRMSと角度空間におけるRMSとの積である。位置空間における範囲は、加速器物理学において直接指定されるのではなく、エミッタンスに対する積 $\beta_{av} \varepsilon$ として指定される。 λ_e は、放出される放射線の波長である。 λ_e は、二重ローレンツ収縮によるアンジュレーターの周期 λ_u からもたらされ、すなわち、電子の静止系では、アンジュレーターは相対論的に移動し、電子によって放出される放射線を実験室系に変換しなければならない。 L_{g0} は、第1近似の利得長さ、すなわち、位置空間、角度空間、及びエネルギー空間における相互作用効果及び/又は非鮮鋭度を無視した利得長さである。従って、 L_{g0} は、利得長さを修正することができる関連の全ての効果に対する換算係数として予想通りに機能する。

20

【0063】

言い換えれば、第1のアンジュレーター101がEUV光の生成に関して飽和状態にある第1の作動モードと、第1のアンジュレーター101がEUV光の生成に関して飽和状態にない少なくとも1つの第2の作動モードとの間の切り換え、従って、更にEUV光源によって生成される放射線の偏光状態の制御は、四重極磁石Qに印加される電流の変動によって少なくとも部分的に実現することができる。

【0064】

更に別のオプションにより、電子源110によって生成される電子のエネルギー非鮮鋭度を用いて、アンジュレーター101、102の間で全体的に放出されるエネルギーの利得長さ L_g の変更又は分布の変更を行うことができる。これらの電子エネルギー非鮮鋭度に対する関連パラメータは、第1に電極の(電子)温度であり、第2に電子を脱離させるために使用される光子のエネルギーである。更に、電子と偏向磁石内の追加の電界との間の相互作用も、エネルギー非鮮鋭度の増大をもたらす可能性がある。利得長さに対するエネルギー非鮮鋭度の効果は、次式の無次元パラメータによって表すことができる。

30

$$X_{\gamma} = \frac{L_{g0} \cdot 4\pi\sigma_{\eta}}{\lambda_u} \quad (3)$$

σ_{η} は、電子ビーム内の電子のエネルギー変化のRMSを定量化するものである。

40

【0065】

図8は、本発明による更に別の実施形態によるEUV光源によって形成される自由電子レーザの可能な構成を解説するための概略図を示しており、図1と比較して類似するか又は機能的に実質的に等しい構成要素は、「700」だけ大きくした参照番号で表記している。図8に記載の構成は、特に、アンジュレーター801、802が電子ビームの伝播方向に互いに前後に配置されず、互いに並列に配置される点で図1に記載と異なり、この場合に、電子ビームスイッチ870(例えば、駆動可能磁石の形態にある)が電子ビーム経路850に置かれ、この電子ビームスイッチを駆動することにより、電子パンチをアンジュレーター配置800のアンジュレーター801、802に選択的に誘導することができる。この場合に、第1のアンジュレーター801によって生成されるEUV光と第2のア

50

ンジュレーター 802 によって生成される E U V 光とが投影露光装置 860 (図 8 には概略的にしか示していない) 内に (すなわち、1つの同じ照明デバイス内に) 結合される。従って、図 8 に記載の構成においても、電子ビームのエネルギーが第 1 のアンジュレーターによって生成される E U V 光と第 2 のアンジュレーターによって生成される E U V 光とにそれぞれ変換される際のそれぞれの相対比率は、可変方式で設定することができる (この場合に、アンジュレーターは、この実施形態においても、例えば、互いに直交する偏光状態を生成することができる) 。ここで図 8 に記載の構成の場合にも、異なって偏光されたビームを例えば疑似タンジェンシャル偏光照明設定のような特定の偏光照明設定を生成するために投影露光装置 860 の照明デバイスに空間的に分離して給送するか (図 5 及び図 6 を参照して以下に説明するように) 、又は他に非偏光光を生成するために互いの上に重ねるかのいずれかを行うことができる。

10

【 0066 】

その結果、図 8 に示す構成の場合にも、本発明によるアンジュレーター配置 800 によって放出される放射線エネルギー又は強度全体の常時使用を用いて、この全体強度に対する 2 つのアンジュレーター 801、802 の相対寄与の変動により、光の有意な損失なく偏光分布の柔軟な設定を達成することができる。

【 0067 】

図 5 ~ 図 6 は、本発明を実現することができるマイクロリソグラフィ投影露光装置の全く概略的で簡略化した図として機能する。図 5 により、光は、ビーム偏向配置 10 (図 6 を参照して下記で説明する) を含み、かつ瞳生成のための光学ユニット 504 内の中間視野平面に置かれたミラー装置 200 を含む照明デバイス 503 内に 2 つの入力 501 a、501 b (例えば、上述のアンジュレーター 101、102 に対応する) を通じて光学ビーム案内及び拡大ユニット 502 を通じて結合される。下流の投影レンズ 506 の物体平面内には、照明デバイス 503 によって照明されるマスク (レチクル) 505 が置かれ、投影レンズ 506 は、このマスク 505 上の構造を像平面に配置されたウェーハ 507 上に結像する。

20

【 0068 】

図 6 により、ビーム偏向配置 10 は、例えば、ストリップミラーユニットとして具現化することができる。「11」及び「12」は、2つの異なるストリップミラー、又は他にストリップミラー群を表している。これらのストリップミラー又は第 1 の反射面 11、12、... は、互いに垂直な 2 つの傾斜軸 (この例示的实施形態では x 方向と y 方向に延びる) の周りに傾斜可能であり、それによってこれらのストリップミラー又は第 1 の反射面 11、12、... で反射される光を各々それぞれのストリップミラーの傾斜に依存して異なる原理的には任意に設定可能な立体角で反射することができる。第 1 の入力 501 a 又は第 2 の入力 501 b のいずれかから発してビーム偏向配置 10 の個々の反射面又はストリップミラーで反射され、関連のアンジュレーター 101、102 によって与えられた対応する偏光状態を有する光は、互いに独立して調節可能な複数のミラー要素を含む上述のミラー装置 200 (図 6 には例示していない) を通じて瞳平面に (例えば、瞳平面に置かれた瞳ファセットミラー上に) 誘導され、この瞳平面には、最初のビーム偏向配置 10 の反射面及びミラー装置のミラー要素の反射面の向きに従って望ましい偏光照明設定 P1 が生成される。例えば、図 6 に示すが本発明を限定しない望ましい偏光照明設定は、高コントラスト結像をそれ自体公知な方式で可能にする近似的にタンジェンシャルに偏光された照明設定 (疑似タンジェンシャル偏光照明設定とも呼ぶ) とすることができ、この場合に、x 方向に互いに対向して位置する照明極は、y 方向に直線偏光され、y 方向に互いに対向して位置する照明極は、x 方向に直線偏光される。生成される偏光分布は、更に、例えば、少なくとも近似ラジアル偏光分布とすることもできる。

30

40

【 0069 】

本発明を特定の実施形態に基づいて記述したが、当業者には、例えば、個々の実施形態の特徴の組合せ及び / 又は交換により、多くの変形及び代替実施形態が明らかである。従って、そのような変形及び代替実施形態が本発明によって付随的に包含され、かつ本発明

50

の範囲が特許請求の範囲及びその均等物の意味の範囲でのみ限定されることは、当業者には説明するまでもない。

【符号の説明】

【 0 0 7 0 】

1 0 1 第 1 のアンジュレーター

1 0 2 第 2 のアンジュレーター

I 水平偏発光シナリオ

I I 垂直偏発光シナリオ

I I I 水平偏と光垂直偏光の両方が生成されるシナリオ

【 図 1 】

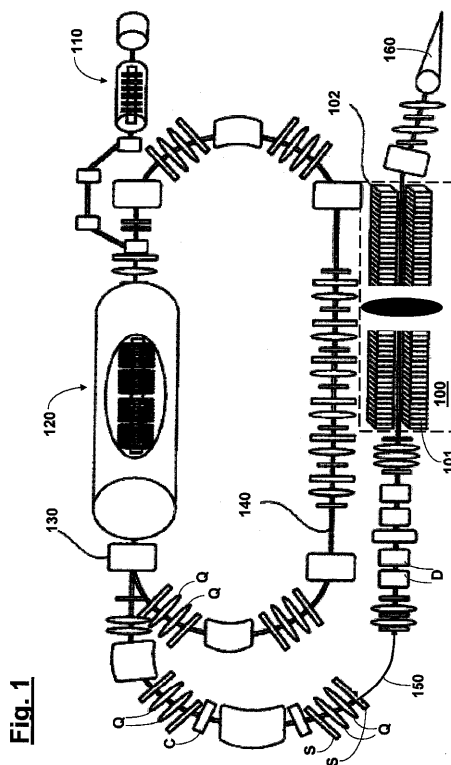


Fig. 1

【 図 2 】

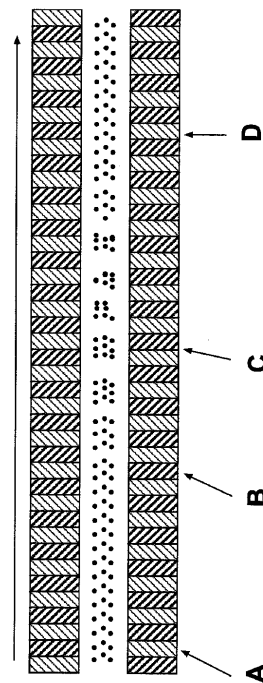


Fig. 2

【図 3】

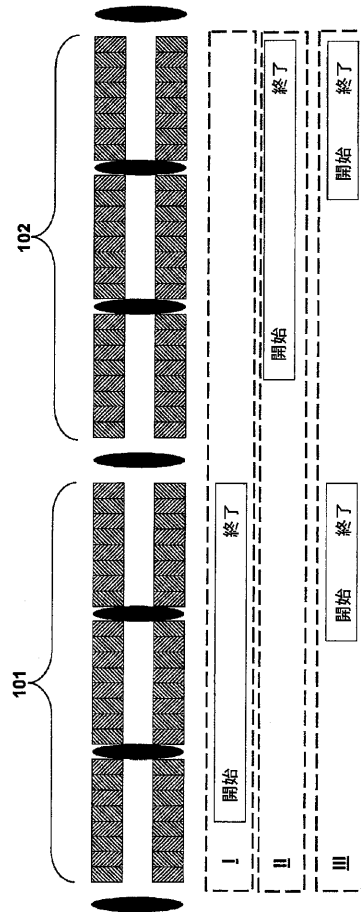


Fig. 3

【図 5】

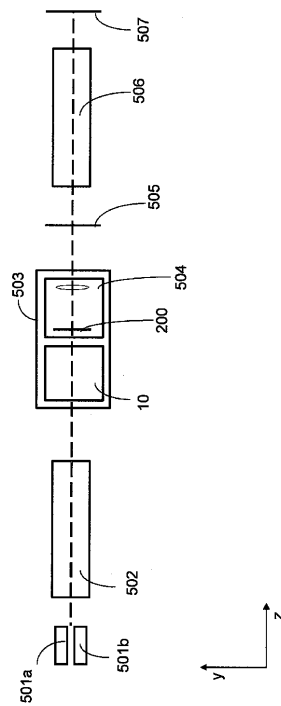
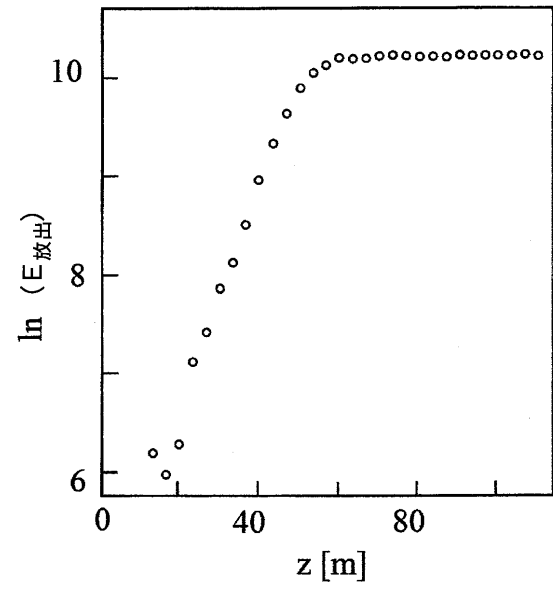


Fig. 5

【図 4】

Fig. 4



【図 6】

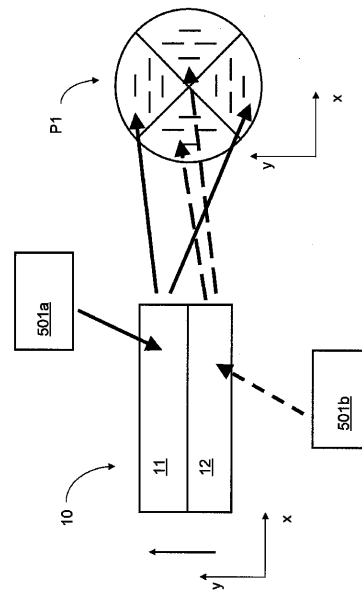
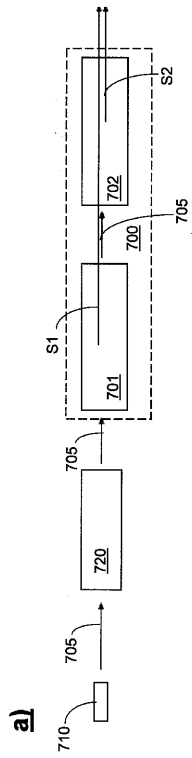
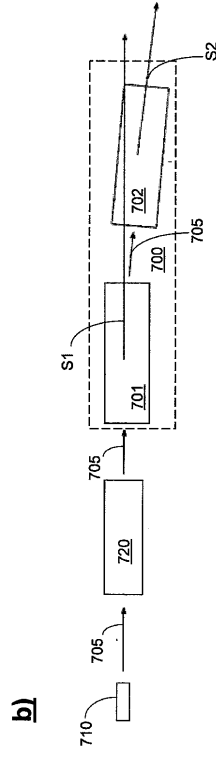


Fig. 6

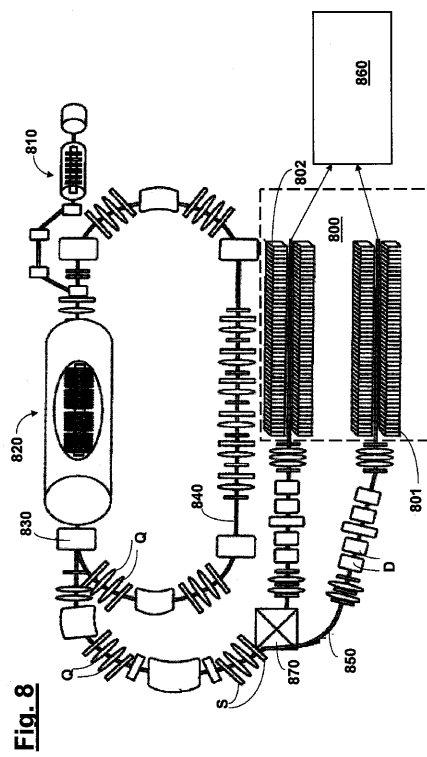
【図 7 a)】



【図 7 b)】



【図 8】



フロントページの続き

- (74)代理人 100109070
弁理士 須田 洋之
- (74)代理人 100120525
弁理士 近藤 直樹
- (74)代理人 100158469
弁理士 大浦 博司
- (72)発明者 パトラ ミヒヤエル
ドイツ連邦共和国 7 3 4 4 7 オーバーコッヘン シューバルトヴェーク 4 1

審査官 長谷 潮

- (56)参考文献 特表 2 0 1 1 - 5 2 5 6 3 7 (J P , A)
特表 2 0 0 8 - 5 3 8 4 5 2 (J P , A)
特開 2 0 0 3 - 1 3 3 2 1 2 (J P , A)
米国特許出願公開第 2 0 0 7 / 0 1 5 2 1 7 1 (U S , A 1)
H. Geng , Crossed undulator polarization control for X-ray FELs in the saturation regime , Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A , 2 0 1 0 年 7 月 , Vol. 622 , pp. 276-280
Kwang-Je Kim , Circular polarization with crossed-planar undulators in high-gain FELs , Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A , 2 0 0 0 年 , Vol. 445 , pp. 329-332
Brian E. Newnam , Extreme ultraviolet free-electron laser-based projection lithography systems , OPTICAL ENGINEERING , 1 9 9 1 年 8 月 , Vol. 30, No. 8 , pp. 1100-1108
Y. Socol , Compact 13.5-nm free-electron laser for extreme ultraviolet lithography , PHYSICAL REVIEW SPECIAL TOPICS , 2 0 1 1 年 , No. 040702 , pp. 040702-1~040702-7

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

G 0 3 F 7 / 2 0 - 7 / 2 4
H 0 5 G 2 / 0 0
H 0 5 H 1 3 / 0 4