

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5117652号  
(P5117652)

(45) 発行日 平成25年1月16日(2013.1.16)

(24) 登録日 平成24年10月26日(2012.10.26)

(51) Int.Cl.	F 1
H01L 21/027	(2006.01)
G03F 7/20	(2006.01)
H01J 37/09	(2006.01)
H01J 37/141	(2006.01)
H01J 37/305	(2006.01)
	HO1L 21/30 HO1L 21/30 HO1L 21/30 GO3F 7/20 HO1J 37/09
	541S 541R 541Z 504 A

請求項の数 13 (全 14 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2001-208849 (P2001-208849)  
 (22) 出願日 平成13年7月10日 (2001.7.10)  
 (65) 公開番号 特開2002-93698 (P2002-93698A)  
 (43) 公開日 平成14年3月29日 (2002.3.29)  
 審査請求日 平成20年7月4日 (2008.7.4)  
 (31) 優先権主張番号 10034412.7  
 (32) 優先日 平成12年7月14日 (2000.7.14)  
 (33) 優先権主張国 ドイツ(DE)

(73) 特許権者 504020452  
 カール・ツァイス・エヌティーエス・ゲー  
 エムベーハー  
 C a r l Z e i s s N T S G m b H  
 ドイツ連邦共和国、73447 オベルコ  
 ッヘン、カールツァイスシュトラーゼ  
 56  
 (74) 代理人 100064621  
 弁理士 山川 政樹  
 (72) 発明者 ゲルト・ペナー  
 ドイツ連邦共和国・ディー73434・ア  
 ーレン・ミランヴェク・95  
 審査官 赤尾 隼人

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】電子線リソグラフィー方法および電子光学的リソグラフィーシステム

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

電子源(1)と、  
 コンデンサシステム(2a, 2b, 7)と、  
 コンデンサシステムの次に設けられるマスク面(8)と、  
 マスク面(8)の次に設けられ、マスク面(8)が縮小されて基板面(16)に結像されるように励起可能な投射システム(12, 15)とを有する電子光学的リソグラフィー<sub>10</sub>  
 システムであって、

前記コンデンサシステムの励起状態および/またはコンデンサ偏向システム(6)を制御部を介して投射モードと書き込みモード間で切換え可能であり、

投射モードにおいて、前記制御部は、電子源(1)のクロスオーバーが最後のコンデンサレンズ(7)の電子源側焦点面(5)内に結像されるように、前記コンデンサシステム(2a, 2b, 7)を励起し、

書き込みモードにおいて、前記制御部は、電子源(1)の前記クロスオーバーがマスク面(8)に結像されるように前記コンデンサシステムを励起し、

そして、また、前記電子光学的リソグラフィーシステムは、投射システム(12, 15)内またはその前方に設けられた偏向システム(14)を含み、

書き込みモードにおいて、前記偏向システム(14)は、合焦された、または整形された電子線が基板面(16)内を記憶された軌道または算出された軌道に沿って移動可能であるように、パターン発生器(25)によって励起され、

10

20

前記電子光学的リソグラフィーシステムは、さらに、電子線を排除するためのビームプランカー(4)を含み、このビームプランカー(4)は前記前記パターン発生器によって制御され、

マスク面(8)が、ブリッジ(10)により互いに仕切られたサブフィールド(9, 9a, 9b, 9c, 9d)を有し、コンデンサシステム(2a, 2b, 7)内に設けられた偏向システムにより電子線を偏向させることにより個々のサブフィールド(9, 9a, 9b, 9c, 9d)を順次照射し、且つ互いに空間的に接続するように順次投射するようにし、

ブリッジ(10)が穴を有し、

穴の径が、コンデンサによりフォーカシングした電子線の径よりも大きい、電子光学的リソグラフィーシステム。 10

【請求項2】

電子源(1)と、

コンデンサシステム(2a, 2b, 7)と、

コンデンサシステムの次に設けられるマスク面(8)と、

前記マスク面(8)の次に設けられ、マスク面(8)が縮小されて基板面(16)に結像されるように励起可能な投射システム(12, 15)とを有する電子光学的リソグラフィーシステムであって、

前記コンデンサシステムの励起状態および/またはコンデンサ偏向システム(6)を制御部を介して投射モードと書き込みモード間で切換え可能であり、 20

投射モードにおいて、前記制御部は、電子源(1)のクロスオーバーが最後のコンデンサレンズ(7)の電子源側焦点面(5)内に結像されるように、前記コンデンサシステム(2a, 2b, 7)を励起し、

書き込みモードにおいて、前記制御部は、電子源(1)の前記クロスオーバーがマスク面(8)に結像されるように前記コンデンサシステムを励起し、

そして、また、前記電子光学的リソグラフィーシステムは、投射システム(12, 15)内またはその前方に設けられた偏向システム(14)を含み、

書き込みモードにおいて、前記偏向システム(14)は、合焦された、または整形された電子線が基板面(16)内を記憶された軌道または算出された軌道に沿って移動可能であるように、パターン発生器(25)によって励起され、 30

前記電子光学的リソグラフィーシステムは、さらに、電子線を排除するためのビームプランカー(4)を含み、このビームプランカー(4)は前記前記パターン発生器によって制御され、

マスク面(8)が、ブリッジ(10)により互いに仕切られたサブフィールド(9, 9a, 9b, 9c, 9d)を有し、コンデンサシステム(2a, 2b, 7)内に設けられた偏向システムにより電子線を偏向させることにより個々のサブフィールド(9, 9a, 9b, 9c, 9d)を順次照射し、且つ互いに空間的に接続するように順次投射するようにし、

ブリッジ(10)が穴を有し、

穴の径が、マスク面(8)の面内における電子線の電子線プロファイルの最大サイズよりも大きい、電子光学的リソグラフィーシステム。 40

【請求項3】

コンデンサ開口絞り(5)が、電子源とは反対側の最後のコンデンサレンズ(7)の電子源側焦点面内に配置されている請求項1または2に記載の電子光学的リソグラフィーシステム。

【請求項4】

コンデンサが偏向システム(6)を有している請求項1～3までのいずれか1つに記載の電子光学的リソグラフィーシステム。

【請求項5】

照射フィールドアパーチャ(3)が、マスク面(8)に共役の面内に設けられている請 50

求項 1 ~ 4までのいずれか 1 つに記載の電子光学的リソグラフィーシステム。

**【請求項 6】**

最後のコンデンサレンズ(7)と最初の投射レンズ(12)とがコンデンサ対物レンズ・シングルフィールドレンズにより形成され、マスク面がこのコンデンサ対物レンズ・シングルフィールドレンズの隙間中心にある請求項 1 ~ 5までのいずれか 1 つに記載の電子光学的リソグラフィーシステム。

**【請求項 7】**

第 2 のコンデンサ対物レンズ・シングルフィールドレンズが設けられ、該コンデンサ対物レンズ・シングルフィールドレンズが最後の投射レンズを形成する請求項 1 ~ 6までのいずれか 1 つに記載の電子光学的リソグラフィーシステム。 10

**【請求項 8】**

投射システム(12, 15)がテレセントリックシステムとして作動し、その電子源側の焦点面がマスク面と一致し、電子源とは逆の側の焦点面がプレパラート面(16)と一致する請求項 1 ~ 7までのいずれか 1 つに記載の電子光学的リソグラフィーシステム。

**【請求項 9】**

コンデンサ励起状態を切換える際に、最後のコンデンサレンズ(7)と投射システム(12, 15)の励起状態が不变である請求項 1 ~ 8までのいずれか 1 つに記載の電子光学的リソグラフィーシステム。

**【請求項 10】**

電子線をマスク面(8)にフォーカシングする際、またはマスク面前方で整形する際、電子線の偏向をプロジェクタ偏向システム(14)だけを介して行い、コンデンサ偏向システム(6)は固定励起されている請求項 1 ~ 9までのいずれか 1 つに記載の電子光学的リソグラフィーシステム。 20

**【請求項 11】**

照射フィールドアーチャ(3)が、電子線の電子線プロフィールを整形するため、電子を透過させる種々の形状の軸線外の領域を有している請求項 5 ~ 10までのいずれか 1 つに記載の電子光学的リソグラフィーシステム。

**【請求項 12】**

電子線リソグラフィー方法であって、

第 1 ステップで、マスク(8)は投射システム(12, 15)を介して電子光学的に被露光基板(16)に結像され、 30

第 2 ステップで、合焦された電子線、または整形された電子線プロフィールを持った電子線は、電子線をマスク(8)の面内に合焦し、または電子線の電子線プロフィールをマスク(8)の面前方で整形し、そして、偏向システムにより合焦された電子線または整形された電子線を偏向させることによって基板(16)上へ案内され、

前記偏向システムは、パターン発生器によって制御され、マスク(8)上にない構造を基板上に生じさせ、

マスク(8)が、ブリッジ(10)により互いに仕切られたサブフィールド(9, 9a, 9b, 9c, 9d)を有し、コンデンサシステム(2a, 2b, 7)内に設けられた偏向システムにより電子線を偏向させることにより個々のサブフィールド(9, 9a, 9b, 9c, 9d)を順次照射し、且つ互いに空間的に接続するように順次投射するようにし、 40  
ブリッジ(10)が穴を有し、

穴の径が、コンデンサによりフォーカシングした電子線の径よりも大きい、前記電子線リソグラフィー方法。

**【請求項 13】**

電子線リソグラフィー方法であって、

第 1 ステップで、マスク(8)は投射システム(12, 15)を介して電子光学的に被露光基板(16)に結像され、

第 2 ステップで、合焦された電子線、または整形された電子線プロフィールを持った電子線は、電子線をマスク(8)の面内に合焦し、または電子線の電子線プロフィールをマ 50

スク(8)の面前方で整形し、そして、偏向システムにより合焦された電子線または整形された電子線を偏向させることによって基板(16)上へ案内され、

前記偏向システムは、パターン発生器によって制御され、マスク(8)上にない構造を基板上に生じさせ、

マスク(8)が、ブリッジ(10)により互いに仕切られたサブフィールド(9, 9a, 9b, 9c, 9d)を有し、コンデンサシステム(2a, 2b, 7)内に設けられた偏向システムにより電子線を偏向させることにより個々のサブフィールド(9, 9a, 9b, 9c, 9d)を順次照射し、且つ互いに空間的に接続するように順次投射するようにし、ブリッジ(10)が穴を有し、

穴の径が、マスク(8)の面内における電子線の電子線プロフィールの最大サイズよりも大きい、前記電子線リソグラフィー方法。 10

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、電子線リソグラフィー方法および電子光学的リソグラフィーシステムに関する。

【0002】

【従来の技術】

電子線リソグラフィーには2つの異なる方法が適用され、すなわち電子線書き込み方法と、電子線投射リソグラフィーとが適用される。 20

【0003】

電子線書き込み方法においては、フォーカシングされた電子線を用いて基板が逐次露光される。その際電子線はプレパラート全体の行を走査し、電子線を適宜絞ることにより所望の構造を対象物に書き込むか、或いは、ベコール(Vekor)・スキャン方法の場合のように、フォーカシングされた電子線を被露光領域の範囲にのみ案内するかのいずれかが行なわれる。電子線書き込み方法は、回路形状がコンピュータに記憶されており、任意に変更できるので、順応性が高いのが特徴である。さらに、電子線書き込み方法により非常に高い解像度を達成できる。これは、簡単な電子光学的結像システムを用いて、100nm以下の径の電子線フォーカスを達成できるからである。しかしながら、この方法は逐次点状書き込みであるので非常に時間がかかるのが欠点である。それゆえ、今日では電子線書き込み方法は主に、投射リソグラフィーに必要なマスクの製造に使用されている。 30

【0004】

装置技術的には、電子線書込装置は、透過型電子顕微鏡に比べて非常に簡潔な走査型顕微鏡に設置されるのが通常である。走査型顕微鏡に慣用されている構成要素に加えて、いわゆるビームプランカーだけが必要である。ビームプランカーにより電子線を絞りへ偏向させて、電子線を露光されるべきでない個所から「排除」することができる。

【0005】

電子線投射リソグラフィーにおいては、光学的リソグラフィーと同様に、1つのマスクの大部分が同時に照射され、投射光学系により縮小されてウェーハー上に結像される。電子線投射リソグラフィーの場合、1つのフィールド全体が同時に結像せしめられるので、電子線書き込み方法に比べて、得られるスループットは明らかに高い。しかしながら、補正されていない電子光学システムにはレンズエラーがあるので、ほぼ1mm×1mmのオーダーのマスクの個々のサブフィールドだけが同時に縮小されてウェーハー上に結像せられる。回路全体を露光するには、これらのサブフィールドを電子光学的なシフトまたは機械的なシフト或いは両シフト方法の組み合わせにより互いに接するように設定しなければならない。 40

【0006】

これに対応する電子線投射リソグラフィーは、米国特許第3,876,883号公報から知られている。この公報には、すでに、マスクとウェーハーを相対的に位置調整するため、コンデンサの励起状態をマスクの前方で変化させて、電子線をマスク上に合焦させるこ 50

とが記載されている。合焦後、次の投射システムがマスク面内に生じた電子フォーカスをウェーハー上に結像させる。

#### 【0007】

他の同様の電子線投射リソグラフィーは、たとえば米国特許第4,140,913号公報および欧州特許第0367496号公報に記載されている。

#### 【0008】

電子線投射リソグラフィーの欠点は、各被露光構造のそれぞれに対し、対応するマスクが必要なことである。マスクの製造には高いコストがかかるので、顧客特有の回路を少量製造することは、経済的に見て有意義なことではない。

#### 【0009】

電子線書き込み方法と電子線投射リソグラフィーとの公知の混合形は、整形された電子線で書き込みを行なうことである。電子線を合焦させる代わりに、絞りを用いて電子線のプロフィールを整形し、絞りを被露光基板に投射させる。この場合、絞りの開口部は標準的な幾何学的形状を有しており、基板上に生じさせるべき全パターンはこの標準的な幾何学的形状から組み立てられる。したがってこの変形例は特殊なマスクを必要とせずに行なえるが、電子線を合焦させる書き込み方法に比べてわずかに高速であるにすぎず、電子線投射リソグラフィーよりも著しく緩速である。

#### 【0010】

##### 【発明が解決しようとする課題】

そこで、本発明の課題は、顧客特有の回路を少量でも経済的に製造することのできる方法および電子線投射リソグラフィーシステムを提供することである。

10

#### 【0011】

##### 【課題を解決するための手段】

本発明は、電子源と、コンデンサシステムと、コンデンサシステムの背後に設けられるマスク面と、マスク面の次に設けられ、マスク面が縮小されて基板面に結像可能であるように励起可能な投射システムとを有し、マスク面内に小さな合焦された、または整形された電子線プロフィールが生じるようにコンデンサ励起状態および／または偏向要素を制御部を介して切換え可能であり、小さな電子線プロフィールを持った合焦された、または整形された電子線が基板面内を記憶された軌道または算出された軌道に沿って移動可能であるように、投射システム内またはその前方に設けた偏向システムを制御できる電子光学的リソグラフィーシステムである。

20

#### 【0012】

また、本発明による方法は、第1ステップで、マスクを投射システムを介して電子光学的に被露光基板へ誘導し、第2ステップで、電子線をマスクの面内にフォーカシングし、または電子線の電子線プロフィールをマスクの面前方で整形し、偏向システムにより電子フォーカスを偏向させ、または整形された電子線を偏向させることにより、フォーカシングした電子線を、または電子線プロフィールを整形した電子線を基板面内に配置された基板を介して案内するようにしたことを特徴とする。

30

#### 【0013】

本発明は、1つの装置内に電子線投射リソグラフィーと電子線書き込み方法とを組み合わせたことに依拠している。本発明による方法では、まず第1ステップで、マスクを投射システムを介して電子光学的に被露光基板へ結像させる。このためマスクは、生じさせるべき、より粗い構造、および／または、普遍的に必要な構造を有している。次に第2ステップで、電子線をマスクの面にフォーカシングされることにより、または、絞りによってマスク面の前方で電子線を整形することにより、マスク面内に生じるフォーカスを、またはマスク面前方に配置される電子線整形絞りの像を、被露光基板上に結像させ、電子フォーカスまたは整形した電子線を偏向システムにより基板面内で所定どおりに偏向させ、マスク内にはないが、必要な微細構造、および／または、マスク内にはないが、顧客の要望に応じた導電バス、およびその他の構造を基板上に書き込む。

40

#### 【0014】

50

本発明の第1実施態様では、電子線書き込みは、基板面にフォーカシングされる電子線によって行なわれる。第2実施態様では、電子線書き込みは、絞りにより整形された電子線を用いて行なわれる。その絞りは、電子線を透過させ、標準形状を有している領域を含んでいる。

#### 【0015】

本発明による組み合わせの両ステップは、もちろん基板上でより大きなフィールドを露光するために反復的に何度も連続して実施してもよい。両ステップが同じ装置を用いて何度も連続して行なわれるので、両ステップの間では、装置の光軸に対する基板の新規調整は必要ない。

#### 【0016】

本発明による電子光学的リソグラフィーシステムは、電子源と、有利には多段のコンデンサと、コンデンサの背後に設けられるマスク面と、マスク面の次に設けられる投射システムとを有している。投射システムは、マスク面が縮小されて被露光基板に結像できるように励起される。制御部を介して、コンデンサ励起状態は、電子線がマスク面を比較的広いフィールドにわたって均一に照射するか、或いは、マスク面にフォーカシングされるか、或いは、マスク面内に小さな整形された電子線横断面が生じるように切換え可能であり、或いは、他の絞りへ転向させることができる。さらに、偏向システムは投射システム内に設けられるか、投射システムの前方に設けられ、フォーカシングされた、または整形された電子線が基板を介して、記憶された軌道または算出した軌道に沿って移動するように制御可能である。

10

#### 【0017】

本発明によるリソグラフィーの場合、米国特許第3,876,883号公報から知られているリソグラフィーと異なるのは、電子線をマスク面に合焦させた状態で電子線が投射スキャナによりスキャンされることである。このため投射スキャナは、書き込まれるべき構造を生じさせるパターン発生器と連結されている。この書き込みモードにおいては、コンデンサ偏向システムは、電子線がマスク内の穴を通過するようにコンスタントに制御される。

20

#### 【0018】

多段コンデンサを備えた本発明による有利な実施形態では、コンデンサ開口絞りが設けられている。コンデンサ開口絞りは、放射方向に見て、焦点面前方の最後のコンデンサレンズの前に配置される。この場合、このコンデンサ開口絞りが配置されている面は、投射モードにおいて、すなわちマスク面が均一に照射されるモードにおいて、電子源の像が生じる面と一致している必要がある。このコンデンサ開口絞りは投射モードにおいては不要であり、書き込みモードにおいては、照射アパーチャーの定義に用いられるとともに、ブランкиング絞りとしても用いられる。このため、コンデンサ偏向システムを介して電子線は露光されるべきでない個所においてこの絞りへ誘導される。

30

#### 【0019】

さらに、コンデンサレンズの間に他の絞り、すなわち投射モードにおけるフィールドアパーチャーを設けるのが有利である。このフィールドアパーチャーは、最後のコンデンサレンズの電子源側の対象物面に対応する面、したがって最後のコンデンサレンズによってマスク面に結像される面に配置される。

40

#### 【0020】

なお、ここで指摘しておくと、書き込みモードと投射モードの切換えは、電子源側の最初のコンデンサレンズの励起状態を変化させることにより行なわれるか、或いは、電子線を所望どおりに絞りへ偏向させることにより行なわれ、マスク面の上流側に配置される最後のコンデンサレンズは両モードにおいて一定に励起されており、よって最後のコンデンサレンズの焦点面と入口側および出口側の像面は両モードにおいて固定されている。

#### 【0021】

さらに有利な実施形態では、最後のコンデンサレンズと最初の投射レンズとは、ただ1つのいわゆるコンデンサ対物レンズ・シングルフィールドレンズによって形成され、この場

50

合マスク面はコンデンサ対物レンズ・シングルフィールドレンズの隙間中心にある。これにより、コンデンサ対物レンズ・シングルフィールドレンズに対し知られている、軸線方向の小さな誤差係数、特に色収差係数を知ることができる。

#### 【0022】

本発明によるシステムでは、書き込みモードと投射モードの切換え時に、投射システムもその励起状態に関し不变であるので、投射システムの最後のレンズもコンデンサ対物レンズ・シングルフィールドレンズとして構成してよい。この場合、このレンズの入口側のフィールドの作用だけが電子線の結像のために利用される。この第2のコンデンサ対物レンズ・シングルフィールドレンズのうち入口側の部分フィールドだけが利用されるので、これは一見するとオーバーに思えるかもしれないが、いくつかの利点が生じる。システム全体は、順応性が高いにもかかわらず、2つのコンデンサレンズと2つのコンデンサ対物レンズ・シングルフィールドレンズだけを有していればよく、この場合両コンデンサ対物レンズ・シングルフィールドレンズは実質的に同一の構成を有していてよく、しかもマスク面と基板面の間の結像倍率に対応する線形スカラーファクタだけが異なっていればよいので、まず、製造上の利点が生じる。さらに、両コンデンサ対物レンズ・シングルフィールドレンズの構成が幾何学的形状の点で類似していれば、両投射レンズの磁場にも対応する幾何学的形状の類似性が生じ、これにより、両投射レンズの軸線外エラー、たとえば等方性および異方性のひずみを相互に保証することができる。このエラー補償のためには、両コンデンサ対物レンズ・シングルフィールドレンズを、合焦磁場の分極が互いに逆になるように作動させねばならない。

10

20

#### 【0023】

第2のコンデンサ対物レンズ・シングルフィールドレンズの他の利点は、被露光対象である基板から出る二次電子の検出能力に優れていることである。基板はコンデンサ対物レンズ・シングルフィールドレンズの合焦磁場に配置されており、二次電子は公知のようにこの磁場によって集められるからである。

#### 【0024】

本発明による方法、およびこれに関連した本発明によるシステムでは、ブリッジにより互いに仕切られたサブフィールドを有するマスクを使用するのが有利である。コンデンサ内に設けられる偏向システムを用いて電子線を偏向させることにより、異なるサブフィールドを順次一様に照射することができ、且つ投射システム内の偏向システムにより電子線を順次戻すことにより、これらサブフィールドを互いに空間的に接するように投射することができる。

30

#### 【0025】

さらに、マスクは有利にはブリッジ内に穴を有す。その穴の径は、コンデンサによりフォーカシングされた電子線の径よりも大きい。これらの穴に、書き込みモードにおいて電子線が誘導されるので、電子線はマスクを支障なく通過することができる。また、これらの穴を適宜配置することにより、電子線に対するマスクの少なくとも粗調整が可能になる。

#### 【0026】

マスク面にフォーカシングされた電子線、またはマスク面前方で整形された電子線は、微細構造または顧客特有の構造の逐次露光に用いるのに加えて、冒頭で取り上げた米国特許第3,876,883号公報に記載されているとおり、もちろん、被露光対象である基板に対しマスクのサブフィールドを位置調整するために用いてもよい。さらに、マスク面にフォーカシングされた電子線、またはマスク面前方で整形された電子線は、エラーのあるマスク構造を再露光するため、或いは、電子線を刺激する金属析出によりマスクの穴を除去するために使用することができ、よってマスクの修復にも使用できる。総じて、本発明によるシステムは適用に関し非常に順応性があることを特徴としている。

40

#### 【0027】

#### 【発明の実施の形態】

次に、本発明の詳細を、図面に図示した実施形態に関し説明する。

#### 【0028】

50

図1に図示したリソグラフィーシステムの実施形態は電子源(1)、例えばLaB<sub>6</sub>カソードのようなサーマルエミッターの形態の電子源(1)と、電子源の下流側に接続されている多段のコンデンサシステムとを有している。電子源は、理想的には、(プロジェクションモードのために)高電流の比較的広い面積の放射による第1の作動モードと、(書き込みモードのために)高指向性ビーム値による第2のモードとの間で切換え可能である。多段のコンデンサシステムは、電子源側の2つの磁気レンズ(2a, 2b)と、これら磁気レンズの下流側に接続された、コンデンサ対物レンズ・シングルフィールドレンズ(7, 12)の電子源側の前置フィールド(7)とを有している。コンデンサ対物レンズ・シングルフィールドレンズの電子源側の前置フィールド(7)の電子源側対象物面内にはフィールドアパーチャ(3)が配置され、コンデンサ対物レンズ・シングルフィールドレンズ(7, 12)の電子源側の焦点面内には開口絞り(5)が配置されている。両アパーチャの間には高速静電偏向システム(4)、いわゆるビームプランカーが設けられている。この偏向システム(4)は、電子線をカットするため、開口絞り(5)の電子不透過領域へ電子線を偏向させるために用いる。コンデンサ対物レンズ・シングルフィールドレンズ(7, 12)の電子源側の焦点面内には、更にコンデンサ偏向システム(6)が設けられている。コンデンサ偏向システム(6)は、目的に応じて電子線を光軸から偏向させることにより、電子線が光軸に対し平行に延び、これにより電子線がマスク面(8)内で該マスクの種々のサブフィールド(9)を照射するようにするために用いる。マスク面自体は中央部にあり、すなわちコンデンサ対物レンズ・シングルフィールドレンズ(7, 12)の磁極片隙間にある。このマスク面内には、図1には図示していないがマスクステージが配置されており、マスクステージはその上に配置されているマスクを、電子光学システムの光軸に対し垂直な、互いに垂直な2つの方向へシフトさせることができる。

#### 【0029】

コンデンサ偏向システム(6)は、図1においては簡単な偏向システムとして図示されている。この偏向システムは、実際には二重偏向システムとして構成してもよく、すなわちコンデンサ対物レンズ・シングルフィールドレンズ(7, 12)の電子源側の焦点と一致する仮想の傾動点により、電子線を互いに垂直な2つの方向へ偏向させる二重偏向システムとして構成してもよい。

#### 【0030】

投射側には、コンデンサ対物レンズ・シングルフィールドレンズ(7, 12)後置フィールド(12)の電子源(1)とは逆の側にプロジェクタ偏向システム(14)が設けられている。このプロジェクタ偏向システム(14)も同様に、電子線を光軸から互いに垂直な2つの方向へ偏向させる。さらに最後の投射段(15)が設けられている。この最後の投射段(15)は、第2のコンデンサ対物レンズ・シングルフィールドレンズの前置フィールドであってもよい。第2のコンデンサ対物レンズ・シングルフィールドレンズは、第1のコンデンサ対物レンズ・シングルフィールドレンズ(7, 12)と同様の幾何学的形状を有しているが、両コンデンサ対物レンズ・シングルフィールドレンズにおける電子線束の結像倍率に応じた線形スカラーファクタだけ小さく構成されている。第2のコンデンサ対物レンズ・シングルフィールドレンズ(15)の前置フィールドにおける磁場方向は、第1のコンデンサ対物レンズ・シングルフィールドレンズ後置フィールド(12)における磁場方向とは逆方向であり、その結果両レンズのオファクシスエラー係数の一部が補償される。

#### 【0031】

図1に図示した光線経路は、電子光学システムの2つの異なる作動モードにおける結像状況を示唆している。

#### 【0032】

投射モードにおいては、電子源側の両コンデンサレンズ(2a, 2b)はともに励起されて、電子源の像が、より厳密に言えば電子源のクロスオーバーの像が、最後のコンデンサレンズ(7)の電子源側の焦点面に結像される。すなわち、第1のコンデンサ対物レンズ・シングルフィールドレンズ(7, 12)の電子源側の焦点面に結像される。これにより

、マスク面(8)においては実質的に平行な照射が達成される。この作動モードにおいては、マスク面(8)は、第1のコンデンサ対物レンズ・シングルフィールドレンズの後置フィールド(12)により、第2のコンデンサ対物レンズ・シングルフィールドレンズの前置フィールド(15)とともに縮小されて基板面(16)に結像される。この基板面(16)には、照射の対象であるウェーハーが設けられ、ウェーハーは公知の態様で図示していないウェーハーステージ上に位置決めされている。この場合ウェーハーステージは、ウェーハーを電子光学システムの光軸に対し機械的に垂直に移動させて、これによってより大きなフィールドの照射を可能にする。投射システムを形成している、コンデンサ対物レンズ・シングルフィールドレンズの両部分フィールド(12, 15)は、テレセントリックシステムを形成し、その前部焦点面はマスク面(8)と一致し、後部焦点面は基板面(16)と一致する。

10

#### 【0033】

この場合、マスク面(8)で照射されるフィールドの大きさは、フィールドアパーチャー(3)の開口部の大きさによって決定されている。この作動モードにおいては、照射アパーチャーは、協働してズームシステムを形成している第1の両コンデンサレンズ(2a, 2b)の個々の励起状態を変化させることにより調整可能である。したがって、照射アパーチャーが変化すると、前記個々の励起状態が変化して、両コンデンサレンズ(2a, 2b)はともに光源(1)の像を、或いはそのクロスオーバーの像を、常にコンデンサ対物レンズ・シングルフィールドレンズ(7, 12)の前置フィールド(7)の電子源側焦点面に結像させるよう保証する。

20

#### 【0034】

書き込みモードに切換わると、電子源側の両コンデンサレンズ(2a, 2b)の励起状態だけが変化し、より厳密には、両コンデンサレンズがともに光源(1)の像をフィールドアパーチャー(3)の面に生じさせるように変化する。この切換えの際、次のコンデンサレンズ(7)と投射システムの結像段とは不变である。これにより、コンデンサ対物レンズ・シングルフィールドレンズ(7, 12)の前置フィールド(7)がフィールドアパーチャー面(3)に生じる電子フォーカスをマスク面(8)に結像させ、且つ次の投射システムがこの電子フォーカスを縮小して基板面に結像させることが保証されている。

#### 【0035】

電子光学システム用の制御システムは図1の右側に概略的に図示されている。電子光学要素と付属のコントロールユニットの制御は、ホストコンピュータ(20)によって行なわれる。このホストコンピュータ(20)は、電子源側のコンデンサレンズ(2a, 2b)用のコントロールシステム(21)を制御する。さらにホストコンピュータ(20)は、コンデンサ偏向システム(6)用のコントロールシステム(22)と、図示していないレチクルステージ用のコントロールシステム(24)と、投射偏向システム(14)用のコントロールシステム(26)と、第1のコンデンサ対物レンズ・シングルフィールドレンズの前置フィールド(7)によって形成される最後のコンデンサレンズをも含む投射システム(12, 15)用のコントロールシステム(27)と、図示していないウェーハーステージ用のコントロールシステム(28)を制御する。さらにホストコンピュータは、2つの作動モード間の切換えを行なう切換え装置(23)と、パターン発生器(25)をも制御する。

30

#### 【0036】

投射モードにおいては、パターン発生器(25)は作動しない。この場合、個々の電子光学要素用のコントロールユニットは、個別に電流電圧を供給するための制御・調整信号を発生させる。これらの制御・調整信号は、レンズ、偏向器のような電子光学要素に対し適当な電流および電圧を生じさせる。マスク用のステージとウェーハー用のステージの移動およびその位置コントロールは、それぞれのステージコントロールユニット(24, 28)によって制御される。

#### 【0037】

本発明による方法では、ウェハの露光は2つのステップで行なわれる。まず、マスクと

40

50

ウェハの位置決めを行なった後、平行投射によりマスクの1つ又はいくつかのサブフィールドをウェハに結像させ、ウェハを露光する。この場合、電子源側の両コンデンサレンズ(2a, 2b)用の適当な制御信号により、マスク面(8)での軸線平行な照射が保証されている。マスク露光の終了後、ホストコンピュータ(20)の制御信号により、電子源側の両コンデンサレンズ(2a, 2b)用のコントロールユニット(21)と、コンデンサ偏向システム(6)用のコントロールユニット(22)とを調整して、マスクの自由開口部内に電子源(1)の像が生じるようにする。同時に、パターン発生器(25)とモードスイッチ(23)とを作動させる。この場合、モードスイッチ(23)の作動により、この作動モード、すなわち書き込みモードにおいて、コンデンサ内での高速偏向システム(4)の制御、すなわちビームプランカーの制御と、投射偏向システム(14)用のコントロールユニット(26)の制御とが、パターン発生器(25)を介して行なわれる。10 投射偏向システムにより、合焦した電子線がいまやシリアルに基板の露光位置に案内され、ビームプランカー(4)は露光のために短時間停止させる。露光が終了すると、マスクとウェハを互いに相対的に離間させ、次の露光又はマスクの次のサブフィールドの結像を行なう。

#### 【0038】

マスクの一例を上から見た図が図2に図示されている。このマスクは多数の正方形のサブフィールド(9)、図示した実施形態では $6 \times 6$ 個のサブフィールド(9)を有し、これらのサブフィールド(9)はその間にあるブリッジ(10)により互いに仕切られている。個々のサブフィールド(9)は夫々被露光構造の該当する部分を有している。仕切りブリッジ(10)は夫々4個のサブフィールド(9)の間に貫通穴(11)を有している。貫通穴(11)の径は、電子線が合焦した場合のマスク面(8)内における電子フォーカスの径よりも大きいように選定されている。電子線投射リソグラフィーに対しては、電子源側の両コンデンサレンズ(2a, 2b)が最後のコンデンサレンズ(7)の前部焦点面内に電子源(1)のクロスオーバーの像を生じさせ、その結果、夫々1つの正方形のサブフィールドにおいてマスク(8)が軸線平行に照射されるよう保証されている。この場合、照射偏向システム(6)を用いると、照射フィールドアパーチャ(3)の像を夫々の被露光サブフィールド(9)へ誘導させることができる。投射レンズシステム(12, 15)は連続的に照射されるサブフィールド(9)を縮小してマスク面(16)へ結像させてウェハ上へ結像させる。この場合、投射偏向システム(14)により、個々のサブフィールドは基板面内において継ぎ目なしに接して設定される。基板面内でのこのような結果を図3に図示した。20

#### 【0039】

これに対して、書き込みモードにおいて電子源(1)のクロスオーバーを電子源側の両コンデンサレンズ(2a, 2b)の励起状態を変化させることによりマスク面(8)に結像させる場合には、投射光学系(12, 15)が合焦した電子線を基板面(16)に生じさせ、この合焦した電子線は、サブフィールド(9)の所定位置で微細構造を逐次露光するためのコンデンサ偏向システム(14)により案内することができる。このため電子線はコンデンサ偏向システム(6)により偏向されて、マスク面内で貫通穴(11)の1つを通過する。マスク面(8)内の貫通穴(11)の径が合焦した電子線の径よりもあまり大きくなれば、或いは、貫通穴がたとえばバーコードのように穴コードとして適宜配置されていれば、貫通穴を通過した信号を、たとえば穴縁を走査することにより、マスクを電子線の光軸に対し相対的に位置決めするためにも使用することができる。30

#### 【0040】

図2と図3においては、互いに隣接しているそれぞれ4個のサブフィールド(その中心にそれぞれ1個の貫通穴(11)が設けられている)にはそれぞれハッチングが付されている。同じハッチングを付したそれぞれ4個のサブフィールドは、両偏向システム(6, 14)を用いて純粋に電子光学的に相対移動させることにより順次結像せしめられ、その間マスクとウェーハーは機械的に変位させない。同じハッチングを付したそれぞれ4個のサブフィールド(9a - 9d)を投射した後、電子線を4個のサブフィールドの間にある貫40

通穴（11）にフォーカシングさせることにより、電子線書き込みによって微細構造を生じさせる。その後、ウェーハーとマスクを変位させることにより、次の4個のサブフィールドを逐次投射させることができる。

#### 【0041】

図4に図示した実施形態は、実質的に図1の実施形態と非常に類似した構成を有している。したがって、図4に図示した構成要素のうち図1の実施形態に対応しているものには同じ符号を付した。両実施形態の主な相違は、全体で4段のコンデンサが設けられ、この4段のコンデンサは、図1の実施形態において電子源側の両コンデンサレンズ（2a, 2b）と最後のコンデンサレンズ（7）（コンデンサ対物レンズ・シングルフィールドレンズ7, 12によって形成される）の間にさらに他のコンデンサレンズ（2c）を設けることによって得られる。この他のコンデンサレンズ（2c）の正面内には修正フィールドアパー チャー（3）が配置され、この修正フィールドアパー チャー（3）は、マスク投射のために被照射サブフィールド（9）の領域を決定する中心の開口部に加えて、他の分散構造（17a, 17b, 17c, 19）を有している。適当な前置絞り（20）により、照射フィールドアパー チャー（3）での照射は、この照射フィールドアパー チャー（3）の中心領域（18）よりもあまり大きくない領域だけが照射されるように限定される。10

#### 【0042】

補助的なコンデンサレンズ（2c）は、電子光学システムの光軸に沿って位置決めするため、その正面が最後のコンデンサレンズ（7）の電子源側の対象物面と一致するように、或いは、コンデンサ対物レンズ・シングルフィールドレンズ（7, 12）の前置フィールドと一致するように配置されている。これによりフィールドアパー チャー（3）は投射モードにおいてマスク面（8）に結像される。また、図1の実施形態と異なるのは、投射モードにおいて電子源側の両コンデンサレンズ（2a, 2b）が励起されて、静電的偏向システム（4）の面内に電子源の像が生じることである。この電子源の像は、その後、結像倍率がほぼ1:1の、有利には0.5:1と2:1の間の補助的なコンデンサレンズ（2c）により最後のコンデンサレンズ（7）の電子源側焦点面に結像せしめられる。20

#### 【0043】

この実施形態では、投射露光が終了した後、高速静電偏向システム（4）により電子線をフィールドアパー チャー（3）の軸線外の開口部に誘導させることができる。二重偏向システム（6a, 6b）とコンデンサレンズ（2c）の屈折力とにより、軸線外の開口部を通過した電子線は再び光軸および光軸方向に戻される。次に、軸線外の開口部（17a, 17b, 17c）により所望どおりに整形された電子線を、マスク（8）の貫通穴（11）の1つを支障なく通過させることができる。投射露光の場合の処置に対応して、このように整形された電子線は、図4には図示していない次の投射システムにより基板面に結像せしめられ、投射偏向システムにより被露光位置へ案内される。30

#### 【0044】

この実施形態の場合、図1の実施形態と異なるのは、投射モードから書き込みモードへ切換える際にすべてのレンズの励起状態が不变なこと、すなわち電子源側の最初の2つのコンデンサレンズ（2a, 2b）の励起状態も不变なことである。書き込みモードの場合、電子線の横断面は、フィールドアパー チャー（3）の選定された軸線外穴（17a, 17b, 17c）によって決定される。マスク面内の軸線外の穴（17a, 17b, 17c）の像は十分に小さいので、これら軸線外の穴の1つによって整形された電子線は支障なくマスク（8）の貫通穴（11）を通過することができる。40

#### 【0045】

照射フィールドアパー チャー（3）には、開口部のないポジション（19）を設けてよい。このポジション（19）には、電子線のプランギングが望ましい場合に静電偏向システム（4）が接近する。

#### 【0046】

以上説明した個々の実施形態を用いて、最後のコンデンサレンズ（7）が最初の投射レンズ（12）とともにコンデンサ対物レンズ・シングルフィールドレンズとして構成されて50

いるケースを例にして本発明を説明したが、これは1つの有利な実施形態である。この実施形態の代わりに、投射システム(12)の最後のコンデンサレンズ(7)と最初のレンズをそれぞれ互いに独立に調整可能な単一レンズとして構成してもよい。しかしこの実施形態は、両レンズを互いに独立に調整することは不要であるので、不必要的補助コストを要し、しかも結像性能をより悪化させる。

【図面の簡単な説明】

【図1】電子光学的リソグラフィーシステムの第1実施形態の概略図である。

【図2】図1のリソグラフィーシステムに関連してマスク面に取り付けられるマスクの実施形態を示す図である。

【図3】図2のマスクを逐次投射した後に基板面に生じる合成像を示す図である。

10

【図4】本発明によるリソグラフィーシステムの第2実施形態の照射側部分の概略図である。

【図5】図4のリソグラフィーシステムにおいて使用されるフィールドアーバーチャーを上から見た図である。

【符号の説明】

1 電子源

2 a 電子源側の磁気レンズ

2 b 電子源側の磁気レンズ

3 フィールドアーバーチャー

5 開口絞り

20

7 コンデンサ対物レンズ・シングルフィールドレンズの前置フィールド

8 マスク面

9 , 9 a , 9 b , 9 c , 9 d サブフィールド

10 ブリッジ

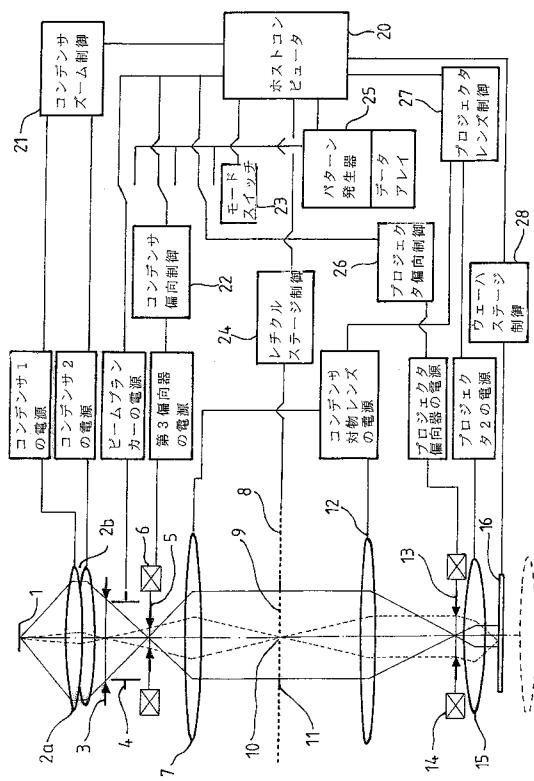
12 コンデンサ対物レンズ・シングルフィールドレンズの後置フィールド

14 投射偏向システム

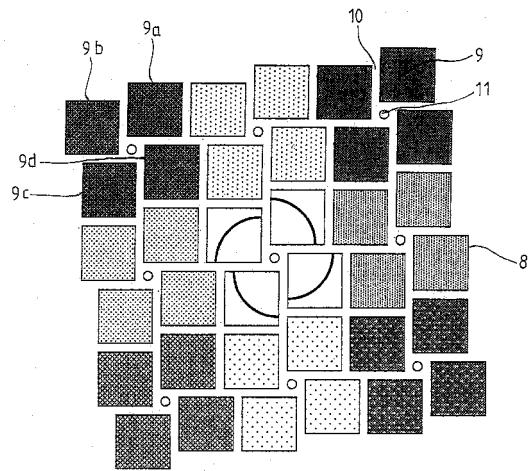
15 最後の投射段

16 基板面

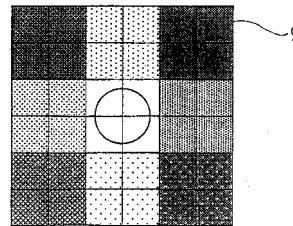
【図1】



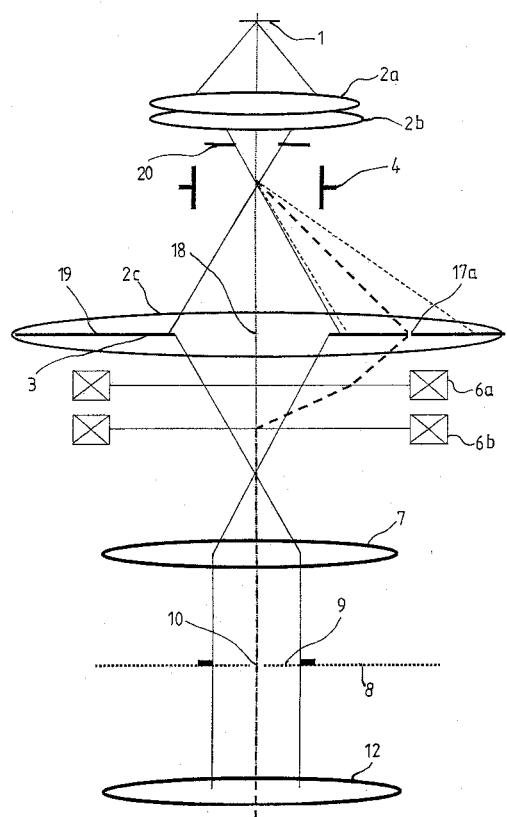
【図2】



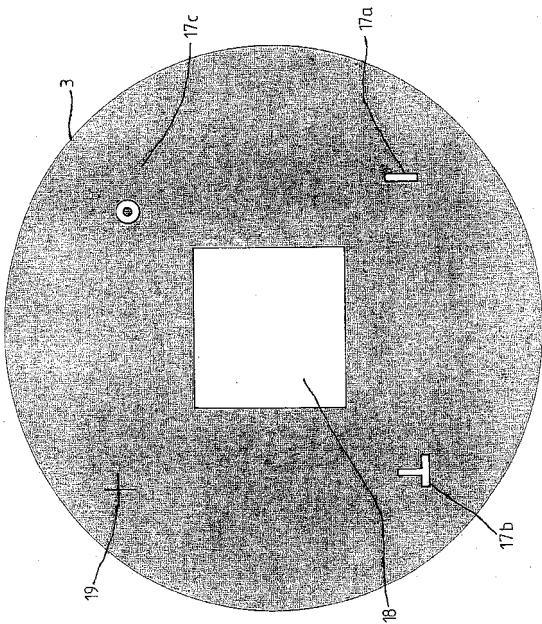
【図3】



【図4】



【図5】



---

フロントページの続き

(51)Int.Cl.

F I

H 0 1 J 37/141  
H 0 1 J 37/305

Z  
B

(56)参考文献 特開昭55-043809(JP,A)

特開平10-106470(JP,A)

特開昭61-214342(JP,A)

特開平05-175113(JP,A)

特開2000-003847(JP,A)

特開平11-040475(JP,A)

特開平07-321004(JP,A)

特開2000-100715(JP,A)

特開昭49-064097(JP,A)

特開平11-040485(JP,A)

特開2000-173919(JP,A)

特開2001-126652(JP,A)

特開平02-122518(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/027

G03F 1/00-1/86