

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5669636号
(P5669636)

(45) 発行日 平成27年2月12日(2015.2.12)

(24) 登録日 平成26年12月26日(2014.12.26)

(51) Int.Cl.

F I

H O 1 L 21/027 (2006.01)

H O 1 L 21/30 5 4 1 W

G O 3 F 7/20 (2006.01)

H O 1 L 21/30 5 4 1 B

H O 1 J 37/12 (2006.01)

G O 3 F 7/20 5 0 4

H O 1 J 37/305 (2006.01)

H O 1 J 37/12

H O 1 J 37/305 B

請求項の数 7 (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2011-56812(P2011-56812)
 (22) 出願日 平成23年3月15日(2011.3.15)
 (65) 公開番号 特開2012-195369(P2012-195369A)
 (43) 公開日 平成24年10月11日(2012.10.11)
 審査請求日 平成26年3月17日(2014.3.17)

(73) 特許権者 000001007
 キヤノン株式会社
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
 (74) 代理人 100126240
 弁理士 阿部 琢磨
 (74) 代理人 100124442
 弁理士 黒岩 創吾
 (72) 発明者 加藤 貴久
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤ
 ノン株式会社内
 (72) 発明者 ▲瀬▼戸本 豊
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤ
 ノン株式会社内

審査官 新井 重雄

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 荷電粒子線レンズおよびそれを用いた露光装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

静電型の荷電粒子線レンズであって、
 前記荷電粒子線レンズは、
 光軸方向を法線とする第1の面と、前記第1の面と反対側の第2の面とを有する第1の
 平板と、
 前記第2の面と対向する第3の面と、前記第3の面と反対側の第4の面とを有する第2
 の平板と、
 前記第4の面と対向する第5の面と、前記第5の面と反対側の第6の面とを有する第3
 の平板と、を有し、
 前記第1の平板は、前記第1の面から前記第2の面へ貫通する第1の貫通口を有し、
 前記第2の平板は、前記第3の面から前記第4の面へ貫通する第2の貫通口を有し、
 前記第3の平板は、前記第5の面から前記第6の面へ貫通する第3の貫通口を有し、
 前記第1の平板及び前記第2の平板、前記第3の平板は、前記荷電粒子線が前記第1の
 貫通口、前記第2の貫通口、前記第3の貫通口へ順次通過できるように配され、
 前記光軸に垂直な面での貫通口の開口面を開口断面とし、
 前記開口断面を挟む、中心が同一な2つの同心円のなかで、2つの同心円の半径の差が
 最小になる2つの同心円を、半径の小さい方からそれぞれ内接円、外接円とすると、
 前記第1の面及び前記第6の面における開口断面の内接円と外接円との半径の差は、
 前記第2の面及び前記第3の面、前記第4の面、前記第5の面における開口断面の内接

円と外接円との半径の差より大きいことを特徴とする荷電粒子線レンズ。

【請求項 2】

前記第 1 の面と前記第 2 の面とを第 1 の電位とし、
前記第 3 の面と前記第 4 の面とを第 2 の電位とし、
前記第 5 の面と前記第 6 の面とを第 3 の電位とし、
前記荷電粒子線の電荷の極性を負とした場合、
前記第 2 の面と前記第 3 の面のいずれか電位の低い面の開口断面の内接円と外接円の半径の差は、

前記第 2 の面と前記第 3 の面のいずれか電位の高い面の開口断面の内接円と外接円の半径の差よりも小さいことを特徴とする請求項 1 に記載の荷電粒子線レンズ。

10

【請求項 3】

前記第 1 の面と前記第 2 の面とを第 1 の電位とし、
前記第 3 の面と前記第 4 の面とを第 2 の電位とし、
前記第 5 の面と前記第 6 の面とを第 3 の電位とし、
前記荷電粒子線の電荷の極性を負とした場合、
前記第 4 の面と前記第 5 の面のいずれか電位の低い面の開口断面の内接円と外接円の半径の差は、

前記第 4 の面と前記第 5 の面のいずれか電位の高い面の開口断面の内接円と外接円の半径の差よりも小さいことを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の荷電粒子線レンズ。

20

【請求項 4】

前記第 1 の電位と前記第 3 の電位はアース電位であり、
前記第 2 の電位は負極性の電位であり、
前記第 3 の面の開口断面の内接円と外接円との半径の差は、
前記第 4 の面の開口断面の内接円と外接円との半径の差よりも小さいことを特徴とする請求項 2 又は 3 に記載の荷電粒子線レンズ。

【請求項 5】

前記第 1 の面と前記第 2 の面とを第 1 の電位とし、
前記第 3 の面と前記第 4 の面とを第 2 の電位とし、
前記第 5 の面と前記第 6 の面とを第 3 の電位とし、
前記荷電粒子線の電荷の極性を正とした場合に、
前記第 2 の面と前記第 3 の面のいずれか電位の高い面の開口断面の内接円と外接円の半径の差は、

30

前記第 2 の面と前記第 3 の面のいずれか電位の低い面の開口断面の内接円と外接円の半径の差よりも小さいことを特徴とする請求項 1 に記載の荷電粒子線レンズ。

【請求項 6】

前記第 1 の平板及び前記第 2 の平板、前記第 3 の平板のうち少なくとも一つが複数の層が接合された構造であることを特徴とする請求項 1 ~ 5 の何れか 1 項に記載の荷電粒子線レンズ。

【請求項 7】

請求項 1 に記載された荷電粒子線レンズと、
前記荷電粒子線レンズを通る電子ビームを放射する電子源と、
前記荷電粒子線レンズと前記電子源とを制御する制御手段と、を有することを特徴とする露光装置。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、電子ビーム等の荷電粒子線を用いた装置に使用される電子光学系の技術分野に属し、特に露光装置に用いられる電子光学系に関するものである。また、本発明において、光とは広義の光を意味し、可視光だけでなく、電子線等の電磁波も含む。

【背景技術】

50

【 0 0 0 2 】

半導体デバイスの生産において、電子ビーム露光技術は、 $0.1\mu\text{m}$ 以下の微細パターン露光を可能とするリソグラフィの有力候補である。これらの装置では、電子ビームの光学特性を制御するための電子光学素子が用いられる。電子レンズには、電磁型と静電型があり、静電型は電磁型に比べコイルコアを設ける必要がなく構成が容易であり小型化に有利となる。また、電子ビーム露光技術のうち、マスクを用いずに複数本の電子ビームで同時にパターンを描画するマルチビームシステムの提案がなされている。マルチビームシステムでは電子レンズを1次元または2次元のアレイ状に配列した電子レンズアレイが用いられる。電子ビーム露光技術では、微細加工の限界が電子ビームの回折限界より主に電子光学素子の光学収差で決定されるので、収差の小さい電子光学素子を実現することが重要である。

10

【 0 0 0 3 】

例えば特許文献1には、複数の電極基板を有する静電レンズ装置であって、複数の電極基板は光軸に対して垂直な面内に配置された開口を有し、各電極の開口の配置を調整して組み立てる静電レンズ装置が開示されている。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 4 】

【 特許文献1 】 特開 2 0 0 7 - 0 1 9 1 9 4

【 発明の概要 】

20

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 5 】

静電型の荷電粒子線レンズは、電磁型のレンズと比較すると相対的に構造は単純だが、レンズ貫通口の製造誤差に対する光学収差の感受度が高い。特に貫通口が円形の場合の真円度（円であるべき部分の幾何学的円からの狂いの大きさ）のような貫通口形状の対称性に対する非点収差が敏感である。非対称性を有する貫通口の形状の影響を受けて収束された電子ビームは非点収差やその他の高次項の収差を持つ。

【 0 0 0 6 】

特に、電子ビームが複数本あり、個々のビームが異なる非点収差を持つ場合、通常の非点収差補正器を用いて補正することができないため重要な課題となる。

30

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 0 7 】

本発明は、静電型の荷電粒子線レンズであって、前記荷電粒子線レンズは、光軸方向を法線とする第1の面と、前記第1の面と反対側の第2の面とを有する第1の平板と、前記第2の面と対向する第3の面と、前記第3の面と反対側の第4の面とを有する第2の平板と、前記第4の面と対向する第5の面と、前記第5の面と反対側の第6の面とを有する第3の平板とを有し、前記第1の平板は、前記第1の面から前記第2の面へ貫通する第1の貫通口を有し、前記第2の平板は、前記第3の面から前記第4の面へ貫通する第2の貫通口を有し、前記第3の平板は、前記第5の面から前記第6の面へ貫通する第3の貫通口を有し、前記第1の平板及び前記第2の平板、前記第3の平板は、前記荷電粒子線が前記第1の貫通口、前記第2の貫通口、前記第3の貫通口へ順次通過できるように配され、前記光軸に垂直な面での貫通孔の開口面を開口断面とし、前記開口断面を挟む、中心が同一な2つの同心円のなかで、2つの同心円の半径の差が最小になる2つの同心円を、半径の小さい方からそれぞれ内接円、外接円とすると、前記第1の面及び前記第6の面における開口断面の内接円と外接円との半径の差は、前記第2の面及び前記第3の面、前記第4の面、前記第5の面における開口断面の内接円と外接円との半径の差より大きいことを特徴とする。

40

【 発明の効果 】

【 0 0 0 8 】

本発明の荷電粒子線レンズは、レンズの収差に最も影響を与えにくい面に加工誤差の大

50

きい開口断面を適用できるため、高価な高精度加工の適用箇所や加工工数を減らし歩留まりを向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】(a)本発明の実施例1の荷電粒子線レンズの断面図である。(b)本発明の実施例1の荷電粒子線レンズの上面図である。

【図2】静電型の荷電粒子線レンズの集束効果を説明する概念図である。

【図3】(a)両面から貫通孔を形成する場合の貫通孔断面図である。(b)片面から貫通孔を形成する場合の貫通孔断面図である。

【図4】(a)～(f)開口断面の真円度の定義を説明する概念図である。

10

【図5】(a)本発明の実施例2の荷電粒子線レンズの断面図である。(b)～(d)本発明の実施例2の収差を示す表である。

【図6】本発明の実施例3の荷電粒子線レンズアレイの断面図である。

【図7】本発明の実施例4の露光装置を示す概念図である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

本発明において第1の面、第2の面とは、本発明の荷電粒子線レンズを構成する電極の一方の面(表面)とその反対側の面(裏面)を意味する。同様に本発明の第3の面と第4の面、第5の面と第6の面とは上記関係を有する面である。また本発明において、「対抗する面」とは、2以上の平板からなる電極を、間に所定の間隔をおいて配置した場合に、これらの電極間で互に対抗する面を意味する。本発明において、「第Xの面から第Yの面へ貫通する貫通孔(X、Yは1から6の整数)」とは、第Xの面と第Yの面とを連通するように形成された貫通孔を意味するものであって、貫通孔形成時の孔を開ける向きは問わない。即ち第Xの面側から貫通孔を形成しても良く、第Yの面側から貫通孔を形成しても良く、第Xの面側と第Yの面側の両方から貫通孔を形成しても良い。

20

【0011】

本発明において第1の電位、第2の電位、第3の電位とは、前記本発明の荷電粒子線レンズを構成する各電極に与える電位を意味している。そして第1の電位は、前記第1の面と前記第2の面とに与える電位であり、第2の電位は前記第3の面と前記第4の面とに与える電位であり、第3の電位は、前記第5の面と前記第6の面とに与える電位である。

30

【0012】

本発明は、静電型の荷電粒子線レンズであって、前記荷電粒子線レンズは光軸方向を法線とする第1の面と、前記第1の面と反対側の第2の面とを有する第1の平板と、前記第2の面と対向する第3の面と、前記第3の面と反対側の第4の面と、を有する第2の平板と、前記第4の面と対向する第5の面と、前記第5の面と反対側の第6の面と、を有する第3の平板と、を有し、前記第1の平板は、前記第1の面から前記第2の面へ貫通する第1の貫通口を有し、前記第2の平板は、前記第3の面から前記第4の面へ貫通する第2の貫通口を有し、前記第3の平板は、前記第5の面から前記第6の面へ貫通する第3の貫通口を有し、前記荷電粒子線が前記第1の貫通口、前記第2の貫通口、前記第3の貫通口へ順次通過できるように配され、前記光軸に垂直な面での前記貫通口の開口面を開口断面とし、前記開口断面を中心が同一な2つの同心円で挟み、前記2つの同心円を、前記同心円の半径の差が最小になる場合を半径の小さい方から内接円、外接円とすると、前記第1の面と、前記第6の面と、における前記開口断面の内接円と外接円と、の半径の差は、前記第2の面と、前記第3の面と、前記第4の面と、前記第5の面と、における開口断面の前記開口断面の前記内接円と前記外接円の半径の差より大きくなるように構成するものである。

40

【0013】

本発明の荷電粒子線レンズは、レンズの収差に最も影響を与えにくい面に加工誤差の大きい開口断面を適用できるため、高価な高精度加工の適用箇所や加工工数を減らし歩留まりを向上させることができる。

50

【 0 0 1 4 】

本発明の荷電粒子線レンズは、負極性の荷電粒子線に対するレンズの場合にレンズの収差に影響を与えにくい面に加工誤差の大きい開口断面とし、レンズの収差への影響が大きい箇所のみ加工誤差の小さい開口断面とすることができる。そのため、収差を低減しながら、高価な高精度加工の適用箇所や加工工数を減らし歩留まりを向上することができる。

【 0 0 1 5 】

本発明の荷電粒子線レンズは、負極性の荷電粒子線に対するレンズの場合にレンズの収差に影響を与えにくい面に加工誤差の大きい開口断面とし、レンズの収差への影響が大きい箇所のみ加工誤差の小さい開口断面とすることができる。そのため、収差を低減しながら、高価な高精度加工の適用箇所や加工工数を減らし歩留まりを向上することができる。

10

【 0 0 1 6 】

本発明の荷電粒子線レンズは、負極性の荷電粒子線に対するレンズの場合にレンズの収差に影響を与えにくい面に加工誤差の大きい開口断面とし、レンズの収差への影響が大きい箇所のみ加工誤差の小さい開口断面とすることができる。そのため、収差を低減しながら、高価な高精度加工の適用箇所や加工工数を減らし歩留まりを向上することができる。特に、本発明の電位の関係により、電界強度に対する収束効果が大きくなるため好適な構成となる。

【 0 0 1 7 】

本発明の荷電粒子線レンズは、正極性の荷電粒子線に対するレンズの場合にレンズの収差に影響を与えにくい面に加工誤差の大きい開口断面とし、レンズの収差への影響が大きい箇所のみ加工誤差の小さい開口断面とすることができる。そのため、収差を低減しながら、高価な高精度加工の適用箇所や加工工数を減らし歩留まりを向上することができる。

20

【 0 0 1 8 】

本発明の荷電粒子線レンズは、正極性の荷電粒子線に対するレンズの場合にレンズの収差に影響を与えにくい面に加工誤差の大きい開口断面とし、レンズの収差への影響が大きい箇所のみ加工誤差の小さい開口断面とすることができる。そのため、収差を低減しながら、高価な高精度加工の適用箇所や加工工数を減らし歩留まりを向上することができる。

【 0 0 1 9 】

本発明の荷電粒子線レンズは、正極性の荷電粒子線に対するレンズの場合にレンズの収差に影響を与えにくい面に加工誤差の大きい開口断面とし、レンズの収差への影響が大きい箇所のみ加工誤差の小さい開口断面とすることができる。そのため、収差を低減しながら、高価な高精度加工の適用箇所や加工工数を減らし歩留まりを向上することができる。特に、本発明の電位の関係により、電界強度に対する収束効果が大きくなるため好適な構成となる。

30

【 0 0 2 0 】

本発明の荷電粒子線レンズは、形状精度が必要な面の貫通口を形成する工程とそれ以外の面の貫通口を形成する工程を別々に行うことが好ましい。このように形成工程を分離することで、半導体製造技術により微細・高精度な貫通口を形成しエッチング条件の制御や歩留まりを向上させることができる。特に、フォトリソグラフとドライエッチングといった高精度の加工技術と平坦性の高いシリコンウエハを介したウエハ接合により微細な貫通口を有する電極を高精度に形成可能となる。数十 μm オーダの貫通口径を nm オーダの精度の真円度で静電型の荷電粒子線レンズ形成することが可能となる。また、工程が別々となるため、加工後、開口断面の形状誤差に応じた適用箇所の選別が可能となるため、高価な高精度加工の歩留まりを向上することができる。

40

【 0 0 2 1 】

本発明の荷電粒子線レンズは、電極が複数の貫通口を有する荷電粒子線レンズアレイとすることができる。レンズ収差に寄与の大小により適切な加工誤差の開口断面を配することができるので、レンズアレイの個々のレンズの開口断面の真円度のばらつきが収差に与える影響も低減することができる。個々のレンズの真円度は偶然誤差なので、個別に補正を行うことは難しい。しかし本発明により開口断面の真円度のばらつきの影響を低減でき

50

るので、大規模なレンズアレイとしても個別の補正の必要性を無くすか若しくは大きく低減することができる。そして、接合構造による電極を用いる場合は、開口断面のばらつきを十分に低減することができる。接合のアライメント精度により貫通口の位置ずれが生じるが、このずれはレンズアレイ全体で1つのずれとなるため補正することが容易である。そのため、大規模なレンズアレイに好適な形態となる。

【0022】

本発明の露光装置は、収差の少ない本発明の荷電粒子線レンズを用いることで、高精度の微細パターンが形成可能な露光装置とすることができる。

【0023】

本発明の露光装置は、収差の少ない本発明の荷電粒子線レンズを用い、複数の荷電粒子線を用いることで、高精度の微細パターンを高速に形成可能な露光装置とすることができる。

10

【実施例】

【0024】

以下実施例により本発明をさらに詳細に説明するが本発明はこれらの実施例によって何ら限定されるものではない。

【0025】

(実施例1)

図1から図4を用いて、本発明の第1の実施例を説明する。図1(a)は本発明の荷電粒子線レンズの図1(b) A-A'線における断面図、(b)は荷電粒子線レンズの上面図である。また光軸Jの方向の寸法を以下では厚さとする。

20

【0026】

図1(a)に示すように、本発明の荷電粒子線レンズは電極3A、3B、3Cの3枚の電極を有している。これらの3枚の電極は、光軸Jを法線とする平板であり、一方の面である第1の面とその反対側の面である第2の面を有しており、前記3枚の各電極は互いに電氣的に絶縁されている。第1の面は典型的には電極の表面であり、第2の面は典型的には電極の裏面である。但しここでいう、「表」、「裏」とは相対的な関係を示す便宜的な表現である。電極3A、3B、3Cはそれぞれ電位を規定することができる。また光軸Jの矢印の方向に、図示しない光源から射出された荷電粒子線が通過する。即ち光軸Jは荷電粒子線が通過する方向と一致して規定される軸である。

30

【0027】

本発明においては、前記3枚の電極3A、3B、3Cの電位をそれぞれ規定することができる。例えば、前記第1の面と前記第2の面とを第1の電位とし、前記第3の面と前記第4の面とを第2の電位とし、前記第5の面と前記第6の面とを第3の電位とすることができる。具体的には、電極3Bには、負極性の静電圧を印加し、電極3A、3Bはアース電位とすることで、いわゆるアインツェル型の静電レンズを構成することができる。本発明において、アインツェル型の静電レンズとは、複数(典型的には3つ)の電極を間に所定の間隔をおいて配置し、最外部に位置する電極をアース電位とし、間の電極を正又は負の極性の電位を印加する構成を有する静電レンズを意味する。3つの電極から構成される場合であれば荷電粒子線の入射側から1つ目と3つ目の電極がアース電位で、2つ目の電極が正又は負の極性の電位を印加する構成となる。

40

【0028】

3枚の電極は、光軸Jを法線とする以下の面を有している。電極3Aは第1の面5、第2の面6を有し、電極3Bは第3の面7、第4の面8を有し、電極3Cは第5の面9、第6の面10を有している。そして図示の通り、第2の面6と第3の面7、第4の面8と第5の面9は対向している。ここで、上記第1から第6の面とは、各電極の一方の面(典型的には表面)と当該一方の面とは反対側の他方の面(典型的には裏面)との関係を規定するために、便宜的に各面に与えた名称である。

【0029】

また、3枚の電極は、貫通口2をそれぞれ有している。貫通口は、それぞれの電極を厚

50

さ方向へ貫通する貫通孔である。そして、荷電粒子線がこの貫通口を通過することができる。

【0030】

図1(b)のように電極3Aの最上面である第1の面5での貫通口2は円形状を有している。同様に、光軸Jを法線とする平面での開口面を開口断面とすれば、貫通口2は電極の厚さ方向のどの断面でも円形状となっている。しかし、円形状の真円からの誤差が異なっている。

【0031】

ここで、図4を用いて本発明の荷電粒子線レンズの説明に必要な開口断面の真円度の定義を行う。静電型の荷電粒子線レンズのレンズ効果を生じる静電場は開口断面によって形成される。特に光軸Jを軸とした回転対称性のずれの大きさにより非点収差やより高次の収差が発生するため、真円からのずれが重要な指標となる。

10

【0032】

図4(a)は理想的な円形の開口断面4を示している。一方、(b)には楕円の開口断面4を示している。本発明の荷電粒子線レンズの非点収差やより高次の収差に影響を与える形状誤差として次のような指標を定義する。図4(b)の楕円の開口断面4を2つの同心円で挟む。内側の円を内接円11、外側の円を外接円12とする。このような同心円の組み合わせは同心円の中心を選べば様々に存在するが、その中で内接円・外接円の半径の差が最も小さい2つを選ぶ。このように選択した内接円・外接円の半径の差の1/2を真円度とする。真円度は、図4(a)のような完全に円形の開口断面4の場合、外接円と内接円が一致するため0となる。

20

【0033】

そして図4(c)のように、楕円以外の任意の形状についても同様の方法で真円度を定義することができる。

【0034】

また円形状が理想形状ではなく、図4(d)に示すように多角形(以下の説明では一例として八角形)を設計上の理想形状とした場合でも以下の方法により、真円度・代表半径・代表直径を定義(代表半径・代表直径の定義は後述)できる。即ち、上記の真円度・代表半径・代表直径を定義して理想の八角形からの対称性のずれと貫通口の大きさを比較することができる。図4(d)は理想的な正八角形の外接円11・内接円12を示している。このように八角形の場合は、理想状態でも真円度は0以上となる。しかし、図4(e)に示すように八角形に形状誤差が生じ正八角形からずれた場合、外接円11・内接円12は図示のようになる。したがって、図4(d)と(e)の真円度を比較すれば、正八角形より真円度は大きくなる。

30

【0035】

これらの真円度は、断面形状を実際に測定して定義することができる。周長に対して十分な分割数で測定し、画像処理で外接円11・内接円12を求めて算出することができる。

【0036】

また、代表直径・代表半径は以下のように定義する。図4のような様々な開口断面4は、周長に対して十分な分割数で曲線の座標を測定し、これらの測定点と理想的な円の形状へ回帰分析を用いて幾何学的なカーブフィッティングを行うことができる。このようにして得た円の直径と半径をそれぞれ開口断面の代表直径・代表半径とする。例えば、図4(f)に示すように開口断面4のほとんどの部分が円形であり、ごく一部が円周の内部又は外部に向かって突出したような形状の開口断面の場合でも、上記の方法で代表直径・代表半径を求めることができる。そして、このような円が得られれば、フィッティングで求めた円の中心と同心円を描き、外接円11・内接円12を定義することもできる。

40

【0037】

上記の定義により、任意の開口断面についての真円度・代表半径・代表直径を定義する。以下明細書では、円形状の開口断面を理想とする場合の説明とするが、開口断面の理

50

想形は、八角形やその他任意の曲線でもよい。その場合でも、真円度・代表半径・代表直径を定義して本発明を実施することが可能となる。

【 0 0 3 8 】

そして、本実施例の各面での開口断面の真円度は以下の関係を有している。

1、 6 > 2、 3、 4、 5 (式 1)

ただし、第 1 の面 5、第 2 の面 6、第 3 の面 7、第 4 の面 8、第 5 の面 9、第 6 の面 10 における貫通口 2 の真円度をそれぞれ 1、 2、 3、 4、 5、 6、とする。

【 0 0 3 9 】

また、荷電粒子線の電荷の極性と電極 3 B に対する電極 3 A、電極 3 C の電位の大小関係により以下の真円度の関係を有する形態もある。

10

【 0 0 4 0 】

荷電粒子の電荷が負極性のとき

$V_a < V_b$ ならば $2 < 3$ (式 2)

$V_a > V_b$ ならば $2 > 3$ (式 3)

$V_b > V_c$ ならば $4 > 5$ (式 4)

$V_b < V_c$ ならば $4 < 5$ (式 5)

ただし、電極 3 A、3 B、3 C の電位をそれぞれ V_a 、 V_b 、 V_c とする。

【 0 0 4 1 】

荷電粒子の電荷が正極性のとき

$V_a < V_b$ ならば $2 > 3$ (式 6)

$V_a > V_b$ ならば $2 < 3$ (式 7)

$V_b > V_c$ ならば $4 < 5$ (式 8)

$V_b < V_c$ ならば $4 > 5$ (式 9)

20

となる。ここで、電圧の高い方を陽極 (+ 極)、低い方を陰極 (- 極) とする。そして、電極 3 A、電極 3 B の組、電極 3 B、電極 3 C の組それぞれにおける陽極・陰極と荷電粒子線の電荷の極性を比較して、電荷の極性と同符号の極となる面の真円度が対向する面の真円度より良好 (つまり値が小さく真円に近い) となっている。

【 0 0 4 2 】

さらに、本実施例は、次のような電位の関係となるときの真円度の関係を有する形態もある。

30

【 0 0 4 3 】

荷電粒子の電荷が負極性のとき

$V_a = V_c = 0 V$ 、 $V_b < 0$ ならば $3 < 4$ (式 10)

荷電粒子の電荷が正極性のとき

$V_a = V_c = 0 V$ 、 $V_b > 0$ ならば $3 < 4$ (式 11)

これらの関係とすることにより、3 枚の電極に形成された貫通口の真円度が全て良好な値でなくとも収差の少ない荷電粒子線レンズとすることができる。それは、荷電粒子線レンズの収差への真円度誤差の感度 (真円度からの形状のずれの影響が収差に与える影響ともいえる) が第 1 の面 5 から第 6 の面 10 に至る各面で異なっていることによっている。

【 0 0 4 4 】

40

次に、上記式 1 から式 11 の関係が良好となる原理を図 2 を用いて説明する。これらの関係は、静電型の荷電粒子線レンズが荷電粒子線を収束させるメカニズムによって生じる。図 2 ではレンズの半径方向を R 軸、光軸方向を J 軸とし図のように原点 O とする。したがって、図 2 は図 1 (a) の荷電粒子線レンズの向きを 90 度回転させた断面図に対応している。そして、ここでは 3 枚の電極のうち、電極 3 A、3 C はアース電位とし、電極 3 B には負の電位が印加されている場合を説明する。また荷電粒子線は負の電荷を有しているとする。

【 0 0 4 5 】

上記構成における電気力線を実線の矢印 H で示した。また、J 方向で 3 枚の電極 3 A、3 B、3 C の中間面と 3 枚の電極間隔の中間面を破線で示した。さらに、図のように、破

50

線で区分される区間をそれぞれ区間Ⅰ、区間ⅠⅠ、区間ⅠⅠⅠ、区間ⅠⅣとする。そして、区間Ⅰより原点〇側の区間、区間ⅠⅣよりⅡがより大きい区間には電極２Ａ、２Ｃがアース電位となっているため、電位はないものと近似することができる。

【００４６】

$R > 0$ の領域での区間Ⅰ、区間ⅠⅠ、区間ⅠⅠⅠ、区間ⅠⅣにおけるＲ方向の電界の向きをそれぞれ f_1 、 f_2 、 f_3 、 f_4 の矢印で示した。つまり、区間Ⅰ、区間ⅠⅠ、区間ⅠⅠⅠ、区間ⅠⅣそれぞれで負、正、正、負となっている。そのため、ある像高 r_0 を通過する荷電粒子線の軌跡は矢印 E で示すようになる。つまり、区間Ⅰでは荷電粒子線は発散され、領域ⅠⅠでは収束され、領域ⅠⅠⅠでは収束され、領域ⅠⅣでは発散される。これは、 X 軸方向に光学的な凹レンズ・凸レンズ・凸レンズ・凹レンズが並んでいるのと等価である。

10

【００４７】

そして、荷電粒子線が収束される理由は以下の２つである。第１の理由は、荷電粒子線が受ける力は像高が高いほど強くなるため、区間ⅠⅠと区間ⅠⅠⅠにおける収束作用が区間Ⅰと区間ⅠⅣにおける発散作用を上回るからである。第２の理由は、区間Ⅰに比べ区間ⅠⅠが、区間ⅠⅣに比べ区間ⅠⅠⅠが荷電粒子線の走行時間が長いからである。運動量変化は力積に等しいため、走行時間は長い領域が電子ビームに与える効果が大きくなる。

【００４８】

以上の理由から収束効果をうけることとなる。このように区間Ⅰから区間ⅠⅣでは対向している第２の面６・第３の面７の組、第４の面８・第５の面９の組のそれぞれの位置における断面形状がレンズ効果の電場を形作っている。したがって、これら対向している面における断面形状の真円度が悪い（つまり値が大きい）と電場の回転対称性がくずれ非点収差やより高次の収差となってしまう。本発明の式１の関係はこのような理由から導かれた。第１の面５・第６の面１０については対向する面を有しておらず、荷電粒子線の電荷の正負や、電極３Ａ、３Ｂ、３Ｃを規定する電位によらず、レンズの収束効果へ与える影響は常に第２～第５の面よりも小さい。

20

【００４９】

さらに、対向している第２の面６・第３の面７の組、第４の面８・第５の面９の組での収差への影響は次のようである。この対向する組では凹・凸レンズが対になって現れる。前述の通り、凸レンズの効果が対になる凹レンズの効果より大きい。凸レンズの効果が表れる面はそれぞれの組における陽極・陰極と荷電粒子線の電荷の極性が同符号となる面である。つまり今説明している例では第３の面７と第４の面８が相当する。

30

【００５０】

ここで、電極３Ｂに正の電位を規定した場合でも負の電荷を有する荷電粒子線は収束される。そのとき区間Ⅰ、区間ⅠⅠ、区間ⅠⅠⅠ、区間ⅠⅣはそれぞれ凸・凹・凹・凸レンズがなっているのと等価となる。この場合、第２の面６と第５の面９が第３の面７と第４の面８よりも断面形状が収差に与える影響が大きくなる。

【００５１】

荷電粒子線の電荷が正の場合は、上記の関係が反対となるが原理は同じである。つまり、電極３Ｂに負の電位を規定した場合は、第２の面６と第５の面９の断面形状が収差に与える影響が大きく、電極３Ｂに正の電位を規定した場合は、第３の面７と第４の面８である。上記電位を規定するとは、所定の極性を有する電位を与える（印加する）ことを意味する。

40

【００５２】

したがって、上記のような原理により式２～式９まで述べた全ての関係を満たす構成とすれば、真円度が悪い開口断面が表面にある電極を用いても収差を低減することができる。

【００５３】

次に式１０、式１１の関係について説明する。荷電粒子線の電荷の極性と電極３Ｂが同一の場合は、区間Ⅰ～区間ⅠⅣの外側の領域より平均速度が遅いレンズとなる。したがっ

50

て、電界強度に対するレンズ効果が大きいいため同じ耐電圧性能で大きな収束効果を得ることができる。式 10、式 11 の電位の関係では、凹・凸・凸・凹レンズの順番の組み合わせとなる。ここで、区間ⅠⅠと区間ⅠⅠⅠを比べると区間ⅠⅠは直前の凹レンズの効果を受けて荷電粒子線が通過する像高が高くなっているのに対し、区間ⅠⅠⅠでは直前の区間ⅠⅠの効果を受けて像高が低い。像高が高いほど荷電粒子線が受ける力が大きくなるので収束効果は区間ⅠⅠの方が大きく生じることとなる。そのため、第3の面7と第4の面8を比べれば、第3の面7の真円度が第4の面8の真円度より良好であれば、その逆の場合と比べ収差を低くすることができる。

【0054】

以上の理由から、式1から式11までの関係によって、3枚の電極に形成された貫通口の真円度が全て良好な値でなくとも収差の少ない荷電粒子線レンズとすることができる。

【0055】

次に本実施例の開口断面の加工誤差が表裏で異なってしまう課題について説明する。電極3A、3B、3Cは単結晶シリコンで形成される。貫通口2の直径は30 μ m、電極の厚さは100 μ mである。また、本実施例では、例えば荷電粒子線を電子として、電極3A、3Cにアース電位を規定し、電極3Bに-3~-4kVを規定して電子線を収束することができる。図3(a)(b)は、図1(a)で示した断面の電極の貫通口2付近の拡大した断面図である。第1~第6の面の真円度(1~6)はそれぞれ次の通りである。1=150nm、2=30nm、3=20nm、4=25nm、5=30nm、6=150nmである。そして、以下に示すように半導体製造工程とシリコンの深堀エッチングによって、数十 μ m直径の貫通口をこのような数十nm~数百nmオーダの真円度で加工できる。

【0056】

図3(b)には矢印Nの方向に単結晶シリコン基板を貫通する深堀ドライエッチングを施した断面形状を示している。深堀ドライエッチングでは、エッチングと保護のガスを交互に切り替えながらエッチングが進行する。そのため、側壁にはスキャロップと呼ばれる小さな凹凸が図示のように形成される。これらの凹凸はエッチングが進行するにつれてエッチング・保護のガスの供給や排気、化学反応に伴う発熱の度合い等の誤差因子が増加する。そのため、凹凸のピッチや深さが場所により変化したりして真円度が悪化してしまう。また貫通する間際になると貫通する先の界面の影響でエッチングガスの進路が曲げられ破線Lで囲んだ領域のようにノッチングとよばれる孔が広がる現象が生じることが知られている。これらの効果により、このような貫通口では矢印Nに進むにつれて真円度が悪化することとなる。したがって破線Lで囲まれた領域が最も真円度が悪い。このような貫通口を電極として用いると特に破線Lで囲まれた領域の開口断面の真円度の悪さがレンズの収差を増加させる場合がある。

【0057】

このように、エッチング加工により貫通孔のいかなる断面形状の真円度もコントロールしようとするとは非常に厳密で範囲の狭い加工条件制御を行う必要がある。また、達成する真円度目標値によっては加工できない場合もありえる。

【0058】

一方、図3(a)は、基板の両面を露光しエッチングマスクを2面に形成してエッチングする例である。この例だと表裏の真円度はほぼ等しくできるが、リソグラフィの工程が2回となる。図3(b)のように貫通口をエッチングまたは切削等除去する作製工程では、一方向に貫通口を形成するのが貫通孔形成の工数の最小単位であるので、表裏の真円度を等しくしようとするれば、図3(a)に示したように工数が増える。表裏の真円度を等しくできる別の例として例えば図3(b)のエッチング後に真円度の悪い裏面の貫通口のみ追加加工を施して真円度を向上するなどできる。このように図3(b)の最小単位の貫通孔加工より工数を増やせば最表面の表裏の真円度をいずれも改善することができる。

【0059】

しかし、図3(b)の方法で片面の真円度は悪くても利用可能となれば、工数が少ない

10

20

30

40

50

ので、歩留まりが向上し、安価に製造可能となる。したがって、図3(b)のような簡単な方法で形成される電極の数を増やすことができれば、静電型の荷電粒子線レンズのコストを低減することができる。

【0060】

図1(a)に示す本実施例の荷電粒子線レンズは、電極3A、3B、3Cについて電極3Bのみが図3(a)に示すように2方向からエッチングされた電極が用いられている。また電極3Aは図3(a)の貫通口2が矢印N方向を図1(a)の第2の面6から第3の面5に向かう向きに配されている。そして、電極3Cは図3(a)の貫通口2が矢印N方向を図1(a)の第5の面9から第6の面10へ向かう向きに配されている。

【0061】

このようにして、式1の関係を適用することで、図3(a)の電極を1枚のみとしても電極3枚を図3(a)の貫通口とした場合と同等の収差を実現することが可能となる。

【0062】

更に、式2～式9までの関係を適用して、対応する電極の面の真円度のみを高くすることで最も精度の高い加工箇所を低減しても収差の増加を抑えることが可能となる。高い加工精度とするためには、エッチングマスクのリソグラフィ装置をより高精細の装置を用いたり、検査を行って選別したりする方法が考えられるが、工数が増えるため適用箇所を少なくできればレンズを低コストとすることが可能となる。

【0063】

また式10の関係を適用して収差を低減することが可能となる。実施例では、電極3Bとなるシリコン基板の表裏の真円度を測定し、真円度が良好な方を第3の面7とすることで逆の場合と比べ収差を低減することができる。

【0064】

また、本実施例は、図6に示すように貫通口を複数形成したレンズアレイを形成することもできる。図6は、図1(a)と同じ機能を有する個所には、同じ記号を付した。レンズアレイではアレイ形成エリアの面積が大きくなるため、面内の貫通口毎の真円度ばらつきも影響する。特に半導体製造工程で作製する場合は、高精度でばらつきの少ない加工を大面積で行う場合コストが非常に高くなる。したがって、収差への影響度に応じて式1～10の関係で電極の貫通口を配することにより、高価で工数の多い加工を減じながら収差の増加を抑えることが可能となる。

【0065】

(実施例2)

図5、図6を用いて本発明の実施例2を説明する。実施例1と同じ機能・効果を有する個所には、同じ記号を付し説明を省略する。本実施例では、電極3A、3B、3Cが接合を用いた構造となっている点が異なっている。

【0066】

電極3A、3B、3Cにはハンドル層13と酸化膜14、第1のデバイス層15、第2のデバイス層16へ厚さ方向に分割されている。電極3A・3Cは厚さ90 μ mのハンドル層13と厚さ6 μ mの第1のデバイス層15が酸化膜14を介して接合されている。電極3Aでは第1のデバイス層15が第2の面6となるように配される。一方電極3Cでは、第1のデバイス層15が第5の面9となるように配される。また、電極3Bは、厚さ6 μ mの第1のデバイス層15と厚さ90 μ mのハンドル層13と厚さ6 μ mの第2のデバイス層16が酸化膜14を介して接合されている。そして、第1のデバイス層15が第3の面7、第2のデバイス層16が第4の面8となるように構成される。材質はいずれも単結晶シリコンで形成される。また、ハンドル層13の貫通口2の直径は36 μ m、第1のデバイス層15、第2のデバイス層16の直径は30 μ mである。

【0067】

第1～第6の面の真円度(1～6)は次のとおりである。1=90nm、2=9nm、3=9nm、4=9nm、5=9nm、6=90nmである。そして、以下に示すように本実施例では接合構造とすることにより、実施例1より高精度の真円の

10

20

30

40

50

円形断面を形成することが可能となる。したがって、本実施例のように、数十 μm 直径の貫通口をこのような数 nm オーダの真円度で加工できる。

【0068】

給電パッド1はシリコンと密着性がよく通電性が高く酸化しにくい金属膜で形成される。例えば、チタン・白金・金の多層膜を用いることができる。界面9A、9Bにはシリコン酸化膜が形成されている。電極3A、3B、3Cの第1～第6の面5～10や貫通口2の内壁面はすべて金属膜で覆ってもよい。この場合、酸化しにくい白金族の金属や酸化物に導電性がみられるモリブデンのような金属を用いることができる。電極3A、3B、3Cはそれぞれ400 μm 離間して光軸Jを法線とする平面に平行に設置される。それぞれの電極は電氣的に絶縁されている。電極3A、3Cにはアース電位を印加し、電極3Bには-3.7kVの電位を印加してアインツェル型のレンズとして機能する。

10

【0069】

次に、本実施例の製造方法を説明する。第1のデバイス層15、ハンドル層13、第2のデバイス層16を酸化膜14で接合して形成する。電極3A、3Cは第1のデバイス層15となる厚さ6 μm のデバイス層を有するSOI（シリコンオンインシュレータ）基板を用意する。次に貫通口2をこのSOI基板のデバイス層に高精度のフォトリソグラフとシリコンのドライエッチングにより形成する。その後全体を熱酸化する。次にハンドル層13と同じ厚さ90 μm のシリコン基板にフォトリソグラフとシリコンの深堀ドライエッチングにより貫通口2を形成する。そして、先のSOI基板のデバイス層を貫通口2が形成されたシリコン基板に酸化膜14を介して直接接合する。その後、SOIウエハのハンドル層と埋め込み酸化膜層、貫通口2の接合界面以外の熱酸化膜を順次除去することで、電極3A、3Cを形成することができる。また電極2Bについては、電極2A、2CのSOI基板を2枚利用することで同様に作製することができる。第1のデバイス層15、第2のデバイス層16となる厚さ6 μm のデバイス層を有するSOI（シリコンオンインシュレータ）基板をそれぞれ用意する。次に、貫通口2を2枚のデバイス層に高精度のフォトリソグラフとシリコンのドライエッチングにより形成する。その後全体を熱酸化する。次にハンドル層13と同じ厚さ90 μm のシリコン基板にフォトリソグラフとシリコンの深堀ドライエッチングにより貫通口2を形成する。そして、2枚のSOI基板のデバイス層を貫通口2が形成されたシリコン基板の表裏面に酸化膜14を介して直接接合する。その後、SOI基板のハンドル層と埋め込み酸化膜層、貫通口2の接合界面以外の熱酸化膜を順次除去することで、電極3Bを形成することができる。

20

30

【0070】

以上のようにして3枚の電極を作成することができる。そして、荷電粒子線は電子であり、加速電圧を5keVとしたとき本実施例の電極の非点収差は、図5(b)(c)(d)となる。

【0071】

表に示すように、電極3A、3B、3Cのそれぞれの非点収差は、0.88nm、4.03nm、0.07nmとなる。したがって、レンズ全体の収差は、これらの自乗和平均で表現できるので、4.13nmとなる。一方、従来技術に相当する第1の面5～第6の面10の全ての断面形状の真円度が9nmの場合の収差は、0.77nm、4.09nm、0.06nmである。したがって、この場合のレンズ全体の収差は、4.16nmである。このように、式1の関係によって、片面の開口断面の真円度が90nmとなっている電極を3A、3Cに配置しても全ての真円度を9nmとした場合とほぼ同じ収差とすることが可能となる。

40

【0072】

また、式2～式9の関係を適用することもできる。例えば、2が9nmから20nmとなってもレンズ全体の収差は4.36nmとなるのみである。一方、3が9nmから20nmとなると、全体の収差は5.31nmとなってしまう。また、5が9nmから20nmとなってもレンズ全体の収差は、4.11nmとなるのみである。そして、4が9nmから20nmとなると、全体の収差は5.31nmとなってしまう。

50

【0073】

S O I 基板のデバイス層に高精度のエッチング加工を施した後、貫通口の真円度を測定する。そして、 $2 > 3$ 、 $4 < 5$ となるようにS O I 基板の貼り合わせの対象を電極3 A、3 B、3 Cそれぞれ選別することでレンズ全体の歩留まりを向上することが可能となる。上記の設計例では許容値が4 . 5 nmであれば、S O I 基板のデバイス層にエッチング加工した開口断面が2 0 nmとなるものが生じて、電極3 A、3 Cへは適用することが可能となる。

【0074】

更に、より収差が小さくなるように電極2 Bの両面に接合するデバイス層の真円度も式1 0の関係となるように電極3 Bの設置向きを規定することができる。

10

【0075】

本実施例は、薄い領域のエッチング加工は開口断面の加工精度が向上できることを利用して接合構造としている。電極表面の厚さ6 μ mと薄い領域について、9 nmのような高精度の真円貫通口を形成することが可能となる。そして、この高精度の真円度加工は高精度の加工装置（例えばエキシマレーザを用いたステッパ等）を用いるため加工コストが高い。そのため、式1 ~ 式1 1の関係を利用して、適用箇所を減らし、歩留まりを向上することで収差の小さいレンズを安価に製造可能となる。

【0076】

特に、高精度加工を施す領域を接合構造とすることで上記のような加工後の実際の形状誤差にあわせた選別が可能となる。そのため、歩留まりが向上する。

20

【0077】

（実施例3）

図6を用いて本発明の実施例3を説明する。実施例1と同じ機能・効果を有する個所には、同じ記号を付し説明を省略する。本実施例では、電極3 A、3 B、3 Cが開口を複数有するレンズアレイである点が異なっている。

【0078】

開口が複数存在し、形成エリアが増えると製造工程における歩留まりの管理が厳しくなる。本発明の荷電粒子線レンズでは、電極の貫通孔加工の工数が少なくすむため、大規模なレンズアレイを形成する場合も歩留まりの低下を抑えることができる。そのため、収差の少ないレンズアレイを安価に製造可能となる。

30

【0079】

また、実施例2で示した接合構造の電極の開口を複数形成したレンズアレイとすることもできる。この場合接合構造によって、開口断面を高精度加工できるので、レンズアレイの個々のレンズの開口断面の断面形状の真円度のばらつきを低減することができる。レンズアレイの個々のレンズの真円度は偶然誤差なので、個別に補正を行うことが非常に難しくなる。したがって、開口断面の断面形状の真円度のばらつきを低減できることにより、大規模なレンズアレイを低収差で形成することが可能となる。

【0080】

特に、接合構造の場合、接合のアライメント精度により貫通口2の位置ずれが生じるが、このずれはレンズアレイ全体で1つのずれとなるため補正することが容易である。そのため、大規模なレンズアレイに好適な形態となる。

40

【0081】

（実施例4）

図7は本発明の荷電粒子線レンズを用いたマルチ荷電粒子ビーム露光装置の構成を示す図である。本実施形態は個別に投影系をもついわゆるマルチカラム式である。

【0082】

電子源1 0 8からアノード電極1 1 0によって引き出された放射電子ビームは、いわゆるクロスオーバー調整光学系1 1 1によって照射光学系クロスオーバー1 1 2を形成する。

【0083】

50

ここで電子源 108 としては LaB6 や BaO/W (ディスペンサーカソード) などのいわゆる熱電子型の電子源が用いられる。

【0084】

クロスオーバー調整光学系 111 は 2 段の静電レンズで構成されており、1 段目・2 段目共に静電レンズは 3 枚の電極からなり、中間電極に負の電圧を印加し上下電極は接地する、いわゆるアインツェル型の静電レンズである。

【0085】

照射光学系クロスオーバー 112 から広域に放射された電子ビームは、コリメータレンズ 115 によって平行ビームとなり、アパーチャアレイ 117 へと照射される。アパーチャアレイ 117 によって分割されたマルチ電子ビーム 118 は、集束レンズアレイ 119 によって個別に集束され、ブランカーアレイ 122 上に結像される。

10

【0086】

ここで集束レンズアレイ 119 は 3 枚の多孔電極からなる静電レンズで、3 枚の電極のうち中間の電極のみ負の電圧を印加し上下電極は接地する、アインツェル型の静電レンズアレイである。

【0087】

またアパーチャアレイ 117 は NA (集束半角) を規定する役割も持たせるため、集束レンズアレイ 119 の瞳面位置 (集束レンズアレイの前側焦点面位置) に置かれている。

【0088】

ブランカーアレイ 122 は個別の偏向電極を持ったデバイスで、描画パターン発生回路 102、ビットマップ変換回路 103、ブランキング指令回路 107 によって生成されるブランキング信号に基づき、描画パターンに応じて個別にビームの ON/OFF を行う。

20

【0089】

ビームが ON の状態のときには、ブランカーアレイ 122 の偏向電極には電圧を印加せず、ビームが OFF の状態のときには、ブランカーアレイ 122 の偏向電極に電圧を印加してマルチ電子ビームを偏向する。ブランカーアレイ 122 によって偏向されたマルチ電子ビーム 125 は後段にあるストップアパーチャアレイ 123 によって遮断され、ビームが OFF の状態となる。

【0090】

本実施例においてブランカーアレイは 2 段で構成されており、ブランカーアレイ 122 及びストップアパーチャアレイ 123 と同じ構造の、第 2 ブランカーアレイ 127 および第 2 ストップアパーチャアレイ 128 が後段に配置されている。

30

【0091】

ブランカーアレイ 122 を通ったマルチ電子ビームは第 2 集束レンズアレイ 126 によって第 2 ブランカーアレイ 127 上に結像される。さらにマルチ電子ビームは第 3・第 4 集束レンズによって集束されてウエハ 133 上に結像される。ここで、第 2 集束レンズアレイ 126・第 3 集束レンズアレイ 130・第 4 集束レンズアレイ 132 は集束レンズアレイ 119 同様に、アインツェル型の静電レンズアレイである。

【0092】

特に第 4 集束レンズアレイ 132 は対物レンズとなっており、その縮小率は 100 倍程度に設定される。これにより、ブランカーアレイ 122 の中間結像面上の電子ビーム 121 (スポット径が FWHM で 2 μm) が、ウエハ 133 面上で 100 分の 1 に縮小され、FWHM で 20 nm 程度のマルチ電子ビームがウエハ上に結像される。そして、この第 4 集束レンズアレイ 132 が本発明の実施例 2 に示す荷電粒子線レンズアレイとなっている。

40

【0093】

ウエハ上のマルチ電子ビームのスキャンは偏向器 131 で行うことができる。偏向器 131 は対向電極によって形成されており、x、y 方向について 2 段の偏向を行うために 4 段の対向電極で構成される (図中では簡単のため 2 段偏向器を 1 ユニットとして表記している)。偏向器 131 は偏向信号発生回路 104 の信号に従って駆動される。

50

【 0 0 9 4 】

パターン描画中はウエハ 1 3 3 は X 方向にステージ 1 3 4 によって連続的に移動する。そして、レーザー測長機による実時間での測長結果を基準としてウエハ面上の電子ビーム 1 3 5 が偏向器 1 3 1 によって Y 方向に偏向される。そして、ブランカーアレイ 1 2 2 及び第 2 ブランカーアレイ 1 2 7 によって描画パターンに応じてビームの on / off が個別になされる。これにより、ウエハ 1 3 3 面上に所望のパターンを高速に描画することができる。

【 0 0 9 5 】

本発明の荷電粒子線レンズアレイを用いることによって収差の少ない結像が実現できる。そのため微細なパターンを形成するマルチ荷電粒子ビーム露光装置を実現することができる。また、マルチビームが通過する開口形成エリアを大きくしても電極の厚さを厚くできるためマルチビームの本数を多く構成することができる。そのためパターンを高速に描画する荷電粒子ビーム露光装置を実現することができる。

10

【 0 0 9 6 】

また安価なレンズを用いることができるため露光装置を安価に提供可能となる。

【 0 0 9 7 】

更にレンズアレイのアレイ数が増大し、開口形成面積が大きくなってもレンズアレイの歩留まりの低下を抑え安価に露光装置を製造可能となる。

【 0 0 9 8 】

また、本発明の荷電粒子線レンズアレイは、集束レンズアレイ 1 1 9 ・第 2 集束レンズアレイ 1 2 6 ・第 3 集束レンズアレイ 1 3 0 といったいずれの集束レンズアレイとしても用いることができる。

20

【 0 0 9 9 】

なお、本発明の荷電粒子線レンズは、図 7 の複数のビームが 1 本となった場合の荷電粒子線描画装置にも適用することができる。その場合でも、安価で収差の少ないレンズを用いることによって微細なパターンを形成する荷電粒子ビーム露光装置を安価に実現することができる。

【 符号の説明 】

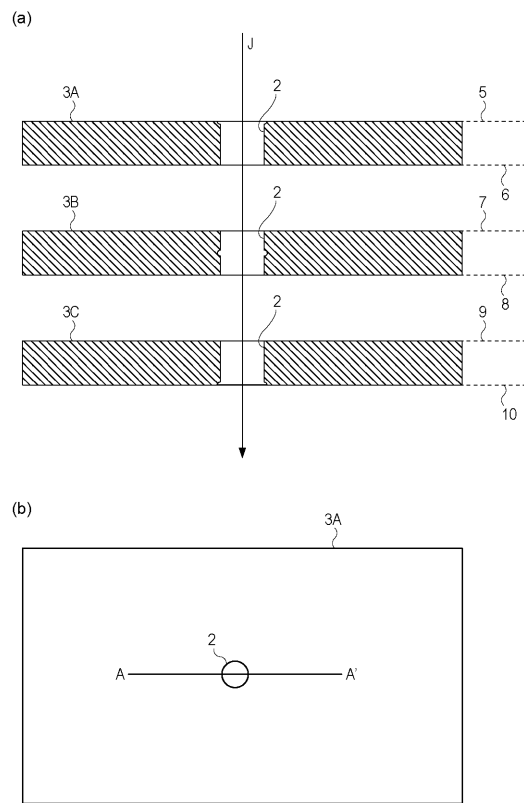
【 0 1 0 0 】

- 1 給電パッド
- 2 貫通口
- 3 A , 3 B , 3 C 電極
- 4 開口断面
- 5 第 1 の面
- 6 第 2 の面
- 7 第 3 の面
- 8 第 4 の面
- 9 第 5 の面
- 1 0 第 6 の面
- 1 1 内接円
- 1 2 外接円
- 1 3 ハンドル層
- 1 4 酸化膜
- 1 5 第 1 のデバイス層
- 1 6 第 2 のデバイス層

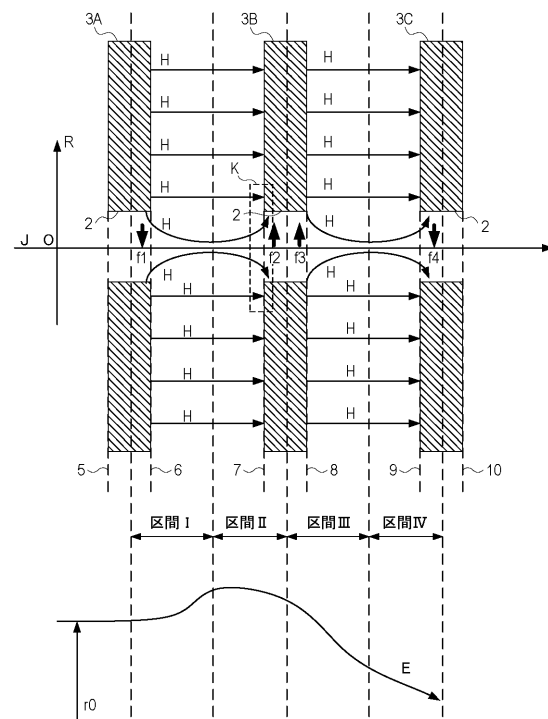
30

40

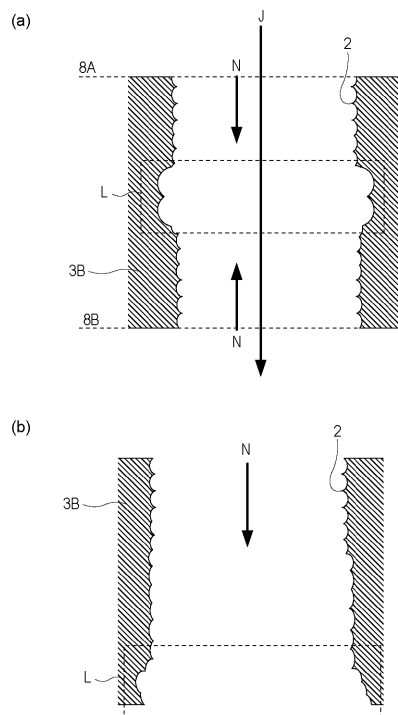
【図 1】



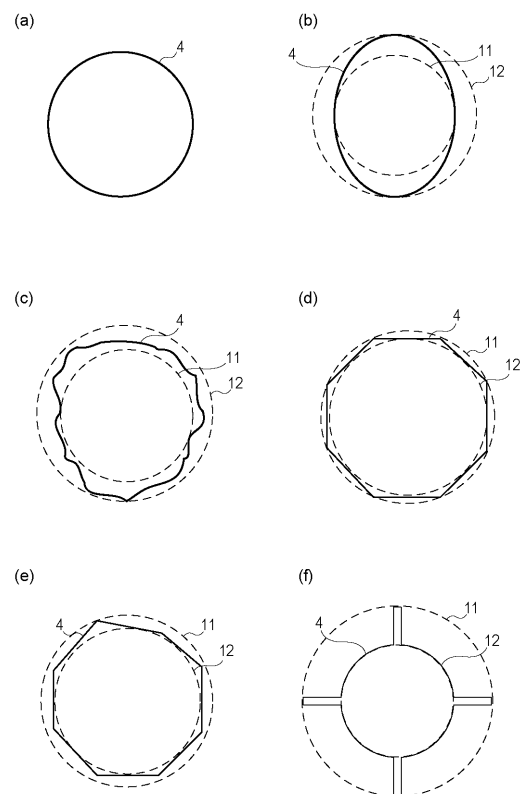
【図 2】



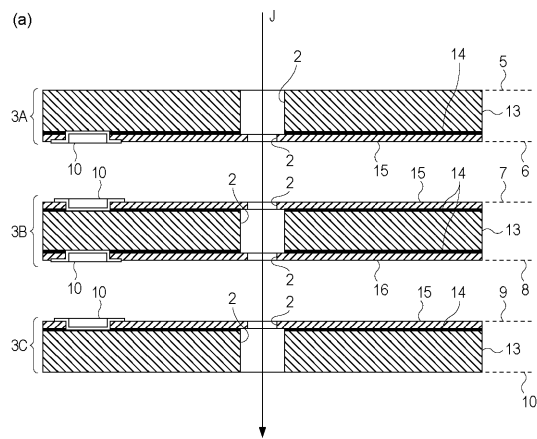
【図 3】



【図 4】



【図 5】



(b)

電極3A		第一の面	第二の面	単位
真円度	誤差	90	9	nm
非点収差	内訳	0.54	0.71	nm
	トータル	0.88		nm

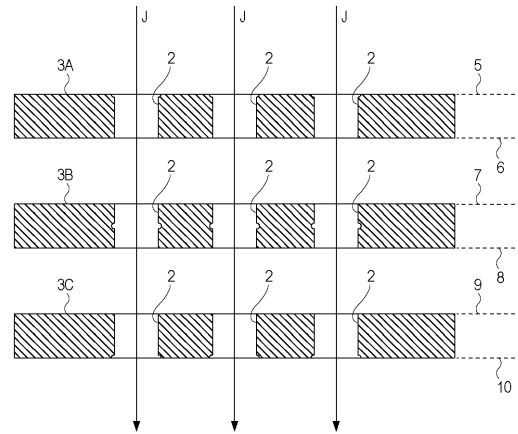
(c)

電極3B		第三の面	第四の面	単位
真円度	誤差	9	9	nm
非点収差	内訳	2.14	1.74	nm
	トータル	4.03		nm

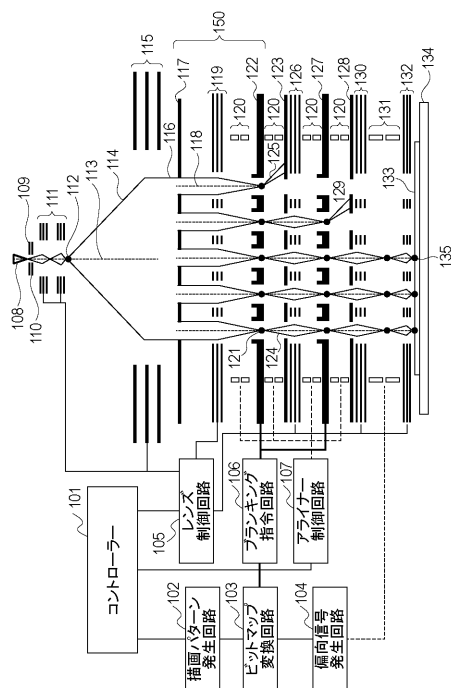
(d)

電極3C		第五の面	第六の面	単位
真円度	誤差	9	90	nm
非点収差	内訳	0.06	0.04	nm
	トータル	0.07		nm

【図 6】



【図 7】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2005-268788(JP,A)
特開2006-049702(JP,A)
特開2006-049703(JP,A)
特開2004-235435(JP,A)
米国特許第4419182(US,A)
米国特許第3899711(US,A)
特開2004-055166(JP,A)
特開2005-057110(JP,A)
特開2001-118491(JP,A)
特表2011-513905(JP,A)
特開平9-245708(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L	21/027
G03F	7/20
H01J	37/12
H01J	37/305