

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-135218

(P2017-135218A)

(43) 公開日 平成29年8月3日(2017.8.3)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 21/027 (2006.01)	HO 1 L 21/30 5 4 1 A	5 C 0 3 4
GO 3 F 7/20 (2006.01)	GO 3 F 7/20 5 0 4	5 F 0 5 6
HO 1 J 37/141 (2006.01)	HO 1 J 37/141 B	
HO 1 J 37/305 (2006.01)	HO 1 J 37/305 B	

審査請求 未請求 請求項の数 14 O L (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2016-12798 (P2016-12798)
 (22) 出願日 平成28年1月26日 (2016.1.26)

(71) 出願人 390005175
 株式会社アドバンテスト
 東京都練馬区旭町1丁目32番1号
 (74) 代理人 110000877
 龍華国際特許業務法人
 (72) 発明者 阿部 智彦
 東京都練馬区旭町1丁目32番1号 株式会社アドバンテスト内
 (72) 発明者 小島 真一
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95
 134 サンノゼ ザンカーロード・30
 61 アドバンテスト・アメリカ・インコーポレイテッド内
 Fターム(参考) 5C034 BB02
 5F056 CB40 EA05

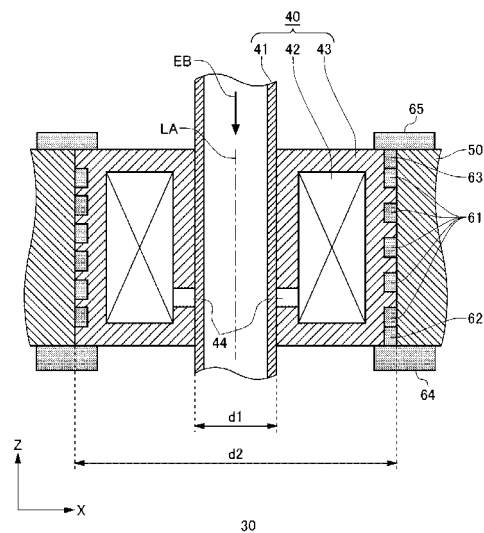
(54) 【発明の名称】 荷電粒子ビームレンズ装置、荷電粒子ビームカラム、および荷電粒子ビーム露光装置

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 小型で解像度の高い荷電粒子ビームレンズ装置、ならびに荷電粒子ビームカラムおよび荷電粒子ビーム露光装置を提供する。

【解決手段】 荷電粒子ビームを通過させる貫通孔の周囲に形成され、荷電粒子ビームを収束または拡散させるレンズ部40と、レンズ部40の外周を囲む支持部50と、を備え、レンズ部40における支持部50と接する外周部分および支持部50におけるレンズ部40と接する内周部分の少なくとも一方は、レンズ部の外周に沿って冷却用流体を流すための溝部61を有する荷電粒子ビームレンズ装置を提供する。これによって、小型で解像度の高い荷電粒子ビームレンズ装置を提供することが可能となる。

【選択図】 図2B



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

荷電粒子ビームを通過させる貫通孔の周囲に形成され、前記荷電粒子ビームを収束または拡散させるレンズ部と、

前記レンズ部の外周を囲む支持部と、
を備え、

前記レンズ部における前記支持部と接する外周部分および前記支持部における前記レンズ部と接する内周部分の少なくとも一方は、前記レンズ部の外周に沿って冷却用流体を流すための溝部を有する

荷電粒子ビームレンズ装置。

10

【請求項 2】

荷電粒子ビームを通過させる貫通孔の周囲に形成され、前記荷電粒子ビームを収束または拡散させるレンズ部と、

前記レンズ部の外周を囲む支持部と、
を備え、

前記レンズ部は、

前記貫通孔の周囲に形成される第 1 部材と、

前記第 1 部材の外周を囲む第 2 部材と、

を有し、

前記第 1 部材における前記第 2 部材と接する外周部分および前記第 2 部材における前記第 1 部材と接する内周部分の少なくとも一方は、前記第 1 部材の外周に沿って冷却用流体を流すための溝部を有する

荷電粒子ビームレンズ装置。

20

【請求項 3】

前記外周部分および前記内周部分は、前記貫通孔の延伸方向と平行な面の少なくとも一部である請求項 1 または 2 に記載の荷電粒子ビームレンズ装置。

【請求項 4】

前記溝部は、前記貫通孔の中心軸を通る面に対して対称に形成される請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載の荷電粒子ビームレンズ装置。

【請求項 5】

前記溝部の一端と接続する流入部と、

前記溝部の他端と接続する排出部と、

を備え、

前記溝部は、前記流入部から流入する冷却用流体を前記排出部から排出する請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載の荷電粒子ビームレンズ装置。

30

【請求項 6】

前記流入部は、前記レンズ部の、前記荷電粒子ビームが出射する側に形成され、

前記排出部は、前記レンズ部の、前記荷電粒子ビームが入射する側に形成される請求項 5 に記載の荷電粒子ビームレンズ装置。

【請求項 7】

前記流入部に接続され、前記流入部から冷却用流体を供給する流入側流体槽と、

前記排出部に接続され、前記排出部から前記溝部を通過した冷却用流体を排出する排出側流体槽と、を備える請求項 5 または 6 に記載の荷電粒子ビームレンズ装置。

40

【請求項 8】

複数の前記溝部と、複数の前記溝部のそれぞれに対応する複数の前記流入部および複数の前記排出部を備える請求項 5 から 7 のいずれか一項に記載の荷電粒子ビームレンズ装置。

【請求項 9】

前記レンズ部は、前記貫通孔の延伸方向と平行な中心軸を有する円柱形状に形成され、外径が 22 mm 以上 30 mm 以内である請求項 1 から 8 のいずれか一項に記載の荷電粒子

50

ビームレンズ装置。

【請求項 10】

前記溝部は、水を主成分とする冷却水を前記冷却用流体として流す請求項 1 から 9 のいずれか一項に記載の荷電粒子ビームレンズ装置。

【請求項 11】

前記溝部は、断面積が 0.5 mm^2 以上 1 mm^2 以下であり、長さが 0.7 m 以上 1.5 m 以下である、請求項 10 に記載の荷電粒子ビームレンズ装置。

【請求項 12】

前記レンズ部は、

前記貫通孔を形成する障壁部と、

前記貫通孔の延伸方向の磁場を発生させる励磁部と、

前記励磁部が発生させた磁場の方向を調節する磁性体部と、

を有し、

前記第 1 部材および前記第 2 部材は、前記障壁部、前記励磁部、および前記磁性体部のうち、少なくとも 1 つを形成する請求項 2 に記載の荷電粒子ビームレンズ装置。

【請求項 13】

荷電粒子ビームを放出する粒子源と、

請求項 1 から 12 のいずれか一項に記載の荷電粒子ビームレンズ装置と、

を有する荷電粒子ビームカラム。

【請求項 14】

請求項 13 に記載の荷電粒子ビームカラムを 1 または複数備える荷電粒子ビーム露光装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、荷電粒子ビームレンズ装置、荷電粒子ビームカラム、および荷電粒子ビーム露光装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、光露光技術で形成したラインパターンを、電子ビーム等の荷電粒子ビームを用いて加工するコンプリメンタリ・リソグラフィが知られている（例えば、特許文献 1 参照）。また、荷電粒子ビームレンズを有する荷電粒子ビームカラムを複数個並べた荷電粒子ビーム露光装置が知られている（例えば、非特許文献 1 参照）。また、荷電粒子ビームレンズの排熱手段も知られている（例えば、特許文献 2、3 参照）。

特許文献 1 特開 2013 - 16744 号公報

特許文献 2 特開昭 61 - 227356 号公報

特許文献 3 特開 2014 - 120545 号公報

非特許文献 1 Proc. SPIE 7637, Alternative Lithographic Technologies II, 76370 C (March 10, 2010).

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

このような露光装置は、荷電粒子ビームカラムを複数並べるので、レンズの大きさに制限があり、ビーム電流値を維持しながら高い解像性を得ることが困難であった。荷電粒子ビームレンズの励磁電流を増加して強く励磁すると、高い解像度が得られるが、荷電粒子ビームレンズの発熱が大きくなってしまい、当該発熱の対策として荷電粒子ビームレンズに排熱等の機構を設けると、荷電粒子ビームレンズが大型化してしまうからである。このため、小型で解像度の高い荷電粒子ビームレンズが望まれていた。

【0004】

例えば、荷電粒子ビームレンズの排熱手段として、二重構造を有する部材を導入し、そ

10

20

30

40

50

の間隙に冷却用液体を流す手段（例えば、特許文献2参照）、および励磁部を封じ込めた容器を設け、その内部に冷却用液体を流す手段（例えば、特許文献3参照）などが提案されている。しかし、これらの手段は、荷電粒子ビームレンズに新たな部材を追加して冷却水流路を形成するため、荷電粒子ビームレンズの大きさは、その部材の幅の分だけ大きく変化していた。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明の第1の態様においては、荷電粒子ビームを通過させる貫通孔の周囲に形成され、荷電粒子ビームを収束または拡散させるレンズ部と、レンズ部の外周を囲む支持部と、を備え、レンズ部における支持部と接する外周部分および支持部におけるレンズ部と接する内周部分の少なくとも一方は、レンズ部の外周に沿って冷却用流体を流すための溝部を有する荷電粒子ビームレンズ装置を提供する。

10

【0006】

本発明の第2の態様においては、荷電粒子ビームを通過させる貫通孔の周囲に形成され、荷電粒子ビームを収束または拡散させるレンズ部と、レンズ部の外周を囲む支持部と、を備え、レンズ部は、貫通孔の周囲に形成される第1部材と、第1部材の外周を囲む第2部材と、を有し、第1部材における第2部材と接する外周部分および第2部材における第1部材と接する内周部分の少なくとも一方は、第1部材の外周に沿って冷却用流体を流すための溝部を有する荷電粒子ビームレンズ装置を提供する。

20

【0007】

本発明の第3の態様においては、荷電粒子ビームを放出する粒子源と、第1の態様および第2の態様のいずれかの荷電粒子ビームレンズ装置と、を有する荷電粒子ビームカラムを提供する。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】本実施形態に係る電子ビーム露光装置100の構成例を示す。

【図2A】本実施形態に係る電子ビームレンズ装置30の構成例を示す斜視図である。

【図2B】本実施形態に係る電子ビームレンズ装置30の構成例を示す断面図である。

【図3】本実施形態に係るレンズ部40の第1の変形例を示す斜視図である。

【図4】本実施形態に係るレンズ部40の第2の変形例を示す斜視図である。

30

【図5】本実施形態に係るレンズ部40の第3の変形例を示す斜視図である。

【図6】本実施形態に係るレンズ部40の第4の変形例を示す斜視図である。

【図7】冷却水の流量と、溝部61の両端の圧力差および排水温度との関係を示すグラフである。

【図8】本実施形態に係る電子ビーム露光装置100の変形例を示す。

【図9】電子ビーム露光装置100の変形例におけるレンズ部40の構成を示す断面図である。

【図10】本実施形態に係るレンズ部40の第5の変形例を示す斜視図である。

【図11A】電子ビームレンズおよび排熱手段の第1の例を示す断面図である。

【図11B】電子ビームレンズおよび排熱手段の第2の例を示す断面図である。

40

【図11C】電子ビームレンズおよび排熱手段の第3の例を示す断面図である。

【図12】電子ビームレンズの球面収差係数 C_s と、電子ビームレンズの発熱量 Q_c との関係を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0009】

以下、発明の実施の形態を通じて本発明を説明するが、以下の実施形態は特許請求の範囲にかかる発明を限定するものではない。また、実施形態の中で説明されている特徴の組み合わせの全てが発明の解決手段に必須であるとは限らない。

【0010】

まず、電子ビームレンズのレンズ特性とレンズの発熱との関係、および電子ビームレン

50

ズの排熱手段、について説明する。

【 0 0 1 1 】

図 1 1 A は、電子ビームレンズおよび排熱手段の第 1 の例を示す断面図である。図 1 1 B は、電子ビームレンズおよび排熱手段の第 2 の例を示す断面図である。図 1 1 C は、電子ビームレンズおよび排熱手段の第 3 の例を示す断面図である。それぞれの図において、電子ビームレンズを構成する部材は、Z 軸に平行な一点鎖線で示された軸 L A のまわりに軸対称に配置される。電子ビームレンズは、励磁部 4 2 と、磁性体部 4 3 と、ギャップ部 4 4 と、を備える。電子ビームは、一例として、対称軸 L A に沿って、電子ビームレンズを通過する。励磁部 4 2 は、軸 L A を巻線の中心軸とするコイルである。励磁部 4 2 は、軸 L A のまわりに電流を流すことにより、軸 L A 上に軸 L A の延伸方向の磁場を発生する。

10

【 0 0 1 2 】

磁性体部 4 3 は、励磁部 4 2 が励磁した磁場を、ギャップ部 4 4 付近に集中させる。これにより図 1 1 A、図 1 1 B、および図 1 1 C はそれぞれ、軸 L A をレンズ軸とする電子ビームレンズを構成する。幅 d 1 は、レンズ軸 L A に沿って電子ビームを通過させる電子ビームレンズの貫通孔の内径を示す。また、幅 d 2 は、レンズ軸 L A を中心軸として円柱形状を有す電子ビームレンズの外径を示す。

【 0 0 1 3 】

このような電子ビームレンズを対物レンズとする電子ビームカラムにおいて、レンズの解像性を決める基本的なパラメータである球面収差係数 C_s と、励磁部 4 2 のコイルに流す電流によって発生する発熱量 Q_c との関係を検討した。なお、球面収差係数 C_s は、電子ビームレンズの収束半角を θ とすると、 $C_s \times \theta^3$ が当該電子ビームレンズの収差となる係数である。図 1 2 は、電子ビームレンズの球面収差係数 C_s と、電子ビームレンズの発熱量 Q_c との関係を示すグラフである。図 1 2 は、横軸を球面収差係数 C_s 、縦軸を電子ビームレンズの発熱量 Q_c とする。図 1 2 は、励磁部 4 2、磁性体部 4 3、およびギャップ部 4 4 の形状および大きさを、より少ない発熱量 Q_c で、より小さい収差係数 C_s を得るように最適化して得られた、球面収差係数 C_s と発熱量 Q_c との関係を示すグラフである。

20

【 0 0 1 4 】

図 1 2 のグラフは、電子ビームの加速電圧が 50 K V、磁性体部 4 3 の内径 d 1 が 8 mm、および磁性体部 4 3 の外径 d 2 が 28 mm の条件で求めた例を示す。また、励磁部 4 2 のコイル巻線断面の動径方向の幅（一例として、図 1 1 A における d 3）は 4 mm 以内、磁性体部 4 3 の断面の動径方向の幅は、内側（レンズ軸 L A に近い側、一例として、図 1 1 A における d 4）および外側（レンズ軸 L A から遠い側一例として、図 1 1 A における d 5）ともに 3 mm 以内という条件で求めた例を示す。

30

【 0 0 1 5 】

図 1 2 は、電子ビームレンズのパラメータ毎に、発熱量 Q_c と球面収差係数 C_s とをシミュレーションにより算出して、プロットした例である。電子ビームレンズのパラメータは、励磁部 4 2 の巻線部分の断面形状および Z 軸方向の長さ、励磁部 4 2 を囲む磁性体部 4 3 の断面形状および Z 軸方向の長さ、ギャップ部 4 4 の位置および間隔、ならびにビームが出射する側のレンズの下面と試料上の結像面との間の間隔などである。なお、図 1 2 のグラフは、パラメータ毎のプロットの結果から、より少ない発熱量 Q_c で、より小さい収差係数 C_s が得られている点、即ち、縦軸および横軸により近い点、を繋いで作成した例を示す。

40

【 0 0 1 6 】

図 1 2 のグラフから、球面収差係数 C_s が 5 mm 以下の電子ビームレンズの発熱量 Q_c は、100 W 以上であることが分かる。ここで、球面収差係数 C_s が 5 mm 以下の条件は、電子ビームレンズによって、収束半角 θ が例えば 10 mrad の範囲の電子ビームを収束した場合に、 $C_s \times \theta^3$ で計算される収差が、例えば 5 nm 以下となる条件を示す。

【 0 0 1 7 】

50

即ち、収束半角として 10 mrad の電子ビームを収束することにより、十分なビーム電流値を得ながら、所定の解像性を実現できる電子ビームレンズの条件を検討した一例を示す。即ち、以上のシミュレーション結果は、球面収差係数 C_s が 5 mm 以下で、かつ、電子ビームレンズの温度を、例えば 50 以下に保つためには、電子ビームレンズから少なくとも 100 W の熱を排熱する必要があることを示している。

【0018】

図11A、図11B、および図11Cは、電子ビームレンズの排熱手段の例を示している。図11Aの排熱手段は、磁性体部43の外周に管81をコイル状に巻きつけて設置した例である。図11Aの手段は、磁性体部43の外壁と管81とを接触させ、管81の内部を通して循環する冷却用流体により、電子ビームレンズが発生する熱を排熱する。図11Aの手段は、図11Bおよび図11Cで説明する排熱手段と比較して排熱能力が低く、 100 W 以上発熱する電子ビームレンズの温度を、所定の範囲内に保つことが困難であることが分かった。また、図11Aは、電子ビームレンズの大きさが、管81の分だけ大きくなってしまふ。

10

【0019】

図11Bの排熱手段は、磁性体部43に貫通孔82を設けた例である。図11Bの手段は、貫通孔82を通して循環する冷却用流体と磁性体部43とを、貫通孔82の壁面を通して直接接触させることにより、電子ビームレンズが発生する熱を排熱する。図11Bの手段は、 100 W 以上発熱する電子ビームレンズの温度を所定の範囲内に保つ目的で、貫通孔82の径および貫通孔82の数を調節すると、磁性体部43の大きさ、特に磁性体部43の断面の動径方向の幅 d_5 を大きくしなければ当該電子ビームレンズを形成することが困難であることが分かった。

20

【0020】

図11Cの排熱手段は、磁性体部43の内部空間に励磁部42を収める容器83を設けた例である。図11Cの手段は、容器83の内部を通して循環する冷却用流体に励磁部42を浸すことにより、電子ビームレンズが発生する熱を排熱する。図11Cの手段は、電流が流れている励磁部42と冷却用流体とが直接接触するので、励磁部42から冷却用流体への漏電、および励磁部42と冷却用流体との接触による励磁部42の腐食などにより、レンズ動作に不安定性を引き起こす場合が生じてしまふ。また、冷却用流体を循環させながら、励磁部42に安定に電流を流すことは困難である。

30

【0021】

以上のように、小型の電子ビームレンズで、 100 W 以上発熱する電子ビームレンズの温度を所定の範囲内に保つことは困難であった。そこで、小型かつ 100 W 以上発熱する電子ビームレンズの温度を所定の範囲内に保つ本実施形態に係る荷電粒子ビームレンズ装置について、次に説明する。

【0022】

図1は、本実施形態に係る電子ビーム露光装置100の構成例を示す。電子ビーム露光装置100は、一例として、所定のピッチで形成された試料上のラインパターンに応じた位置に荷電粒子ビームを照射して、当該ラインパターン上にカットパターンやピアパターンを露光する。電子ビーム露光装置100は、ステージ部110と、カラム部120と、露光制御部140とを備える。ステージ部110は、真空容器112内に設置される。

40

【0023】

ステージ部110は、試料10を載置する。ここで、試料10は、半導体、ガラス、および/またはセラミック等で形成された基板でよく、一例として、シリコン等で形成された半導体ウエハである。試料10は、金属等の導電体でラインパターンが表面に形成された基板である。本実施形態の電子ビーム露光装置100は、例えば、当該ラインパターンを切断して微細な加工(電極、配線、および/またはピア等の形成)をすべく、当該ラインパターン上に形成されたレジストを露光する。

【0024】

ステージ部110は、試料10を図1に示したXY平面上で移動させる。ステージ部1

50

10は、XYステージであってよく、また、XYステージに加えて、Zステージ、回転ステージ、およびチルトステージのうちの一つ以上と組み合わせられてもよい。

【0025】

コラム部120は、ステージ部110に載置された試料10に、電子およびイオンを有する荷電粒子ビームを照射する荷電粒子ビームコラムである。コラム部120は、電子およびイオンを有する荷電粒子ビームを、ステージ部110によって可動な範囲にある試料10の表面上に照射する。本実施形態において、コラム部120が、電子ビームを照射する例を説明する。本実施形態のコラム部120は、例えば、試料10に形成されたラインパターンを切断して微細な加工を行う電子ビームを発生する。

【0026】

コラム部120は、電子源20および電子ビームレンズ装置30を有する。電子ビームレンズ装置30は、レンズ部40および支持部50を有する。さらに、レンズ部40は、障壁部41、励磁部42、および磁性体部43を含む。

【0027】

電子源20は、荷電粒子ビームを放出する粒子源の一例である。電子源20は、電子を電界または熱によって放出させ、当該放出した電子に予め定められた電界を印加して、図1の-Z方向となる試料10の方向に加速して電子ビームEBとして出力する。電子源20は、予め定められた加速電圧(一例として、50KV)を印加して、電子ビームEBを出力してよい。電子源20は、XY平面と平行な試料10の表面からZ軸と平行な垂線上に設けられてよい。電子源20は、真空容器22内に設置される。

【0028】

電子ビームレンズ装置30は、電子源20と試料10との間に設けられ、電子源20から放出された電子ビームEBを収束し、試料10の表面上に照射する。レンズ部40および支持部50は、一例として、電子ビームEBが通過する軸に関して軸対称に配置される。

【0029】

レンズ部40は、電子ビームを通過させる貫通孔の周囲に形成され、電子ビームを収束または拡散させる。レンズ部40は、電子ビームEBが通過する軸に近い側に障壁部41を有する。障壁部41は、例えば、Z軸方向に長い円筒状の形状を有し、電子ビームEBがその内側を通過する貫通孔を形成する。障壁部41は、その端部において、電子源20が内部に設置されている真空容器22、およびステージ部110が内部に設置されている真空容器112と接してよい。

【0030】

障壁部41が真空容器22および真空容器112と接触する接触面は、真空シール面を形成し、真空容器22の内側の空間、円筒状の障壁部41の内側の空間、および真空容器112の内側の空間を真空状態に保持してよい。図1に示すように、電子源20から放出された電子ビームEBは、障壁部41の内側の真空状態に保たれた空間を通過し、試料10上に到達する。

【0031】

励磁部42は、障壁部41によって真空状態に保たれた上記貫通孔の内部に、貫通孔の延伸方向の磁場を発生させる。磁性体部43は、励磁部42が発生させた磁場の強度と方向とを調整する。これにより、励磁部42および磁性体部43は、レンズ部40の対称の中心軸であるレンズ軸上に、レンズ軸方向の磁場を発生し、電子ビームEBを収束する電子ビームレンズを形成する。

【0032】

図1は、電子源20と試料10との間に一段のレンズ部40が設けられている場合を示したが、これに限らず、複数段のレンズ部40が設けられていてよい。また、図1は、一段で電子ビームEBを収束するレンズを示したが、これに限らず、電子ビームEBを収束または拡散させるレンズ部40が組み合わせられて設けられていてよい。この場合、図11A、図11B、図11C、および図12で説明した電子ビームレンズのレンズ特性と発熱

10

20

30

40

50

との関係は、例えば、試料 10 にもっとも近い電子ビームレンズ（対物レンズ）に対して適用される。

【0033】

支持部 50 は、コラム部 120 の外周を囲み、レンズ部 40 を構造的に支持する。支持部 50 は、電子源 20 を設置した真空容器 22 と嵌め合うことにより、電子源 20 から放出された電子ビーム EB のビーム軌道と、レンズ部 40 の中心軸であるレンズ軸との、軸ずれ量の大きさを規定する。支持部 50 は、電子ビームレンズのレンズ軸とビーム軌道との軸ずれ量の大きさが、アライメント手段（図示せず）により電磁的に電子ビーム EB の軸合わせができる程度の範囲内に収まるように、電子源 20 とレンズ部 40 とを軸合わせして保持する。

10

【0034】

露光制御部 140 は、ステージ部 110 およびコラム部 120 に接続され、ステージ部 110 およびコラム部 120 を制御して試料 10 の露光動作を実行する。露光制御部 140 は、例えば、試料 10 の露光すべき位置と、コラム部 120 の電子ビーム照射位置とを一致させるようにステージ部 110 を移動させ、コラム部 120 から電子ビームを当該照射位置に照射させる。

【0035】

電子ビームレンズ装置 30 の構成例について更に説明する。図 2 A は、本実施形態に係る電子ビームレンズ装置 30 の構成例を示す斜視図である。図 2 B は、本実施形態に係る電子ビームレンズ装置 30 の構成例を示す断面図である。図 2 B は、図 2 A に示す電子ビームレンズ装置 30 を、レンズ軸 LA を含み、XZ 面に平行な平面で切断した断面図を示す。以下、図 2 A の斜視図と図 2 B の断面図とを区別しないで、電子ビームレンズ装置 30 の構成例を示す場合は、図 2 と呼ぶことにする。図 2 は、電子ビームレンズ装置 30 が、レンズ部 40 に溝部 61、流入部 62、および排出部 63 を有する例を説明する。また、電子ビームレンズ装置 30 は、流入側流体槽 64、排出側流体槽 65、および温度調整器 160 を有する例を説明する。

20

【0036】

図 2 において、一点鎖線で示す貫通孔の中心軸は、レンズ軸 LA に相当する。電子ビーム EB は、レンズ軸 LA に沿って貫通孔を通過する。障壁部 41 は、レンズ軸 LA を中心軸とする円筒形状を有する。障壁部 41 は、真空状態に保持され、電子ビーム EB を通過させる円筒の内側部分、即ち貫通孔部分と、大気中にある円筒の外側部分とを隔てる障壁である。

30

【0037】

励磁部 42 は、例えば、レンズ軸 LA のまわりに電流を流すことにより磁場を発生させるコイルである。励磁部 42 は、長期にわたって磁場を発生し続ける永久磁石であってもよい。また、励磁部 42 は、コイルと永久磁石とを組み合わせ、永久磁石の磁場をコイルが発生する磁場で調整するようなものであってもよい。

【0038】

磁性体部 43 は、レンズ軸 LA を中心軸として、障壁部 41 より外側であって励磁部 42 より内側にある円筒形状部分、および励磁部 42 より外側であって支持部 50 より内側にある円筒形状部分、ならびに、これら円筒形状部分を励磁部 42 の +Z 側、および励磁部 42 の -Z 側において接続する部分を含む。

40

【0039】

即ち、磁性体部 43 は、励磁部 42 を囲むように形成される。磁性体部 43 は、鉄、鉄とニッケルとの合金、または鉄とコバルトとの合金、など透磁率が大きく、飽和磁束密度が高い磁性材料から製作されてよい。磁性体部 43 は、レンズ軸 LA に近い側で幅 d1 の内径、レンズ軸 LA から遠い側で幅 d2 の外径を有する（図 2 B 参照）。

【0040】

磁性体部 43 は、レンズ軸 LA に近い側にギャップ部 44 を有する。ギャップ部 44 は、磁性体部 43 の一部に設けられた、レンズ軸 LA に関して軸対称の間隙である。励磁部

50

42を励磁すると、ギャップ部44をはさんで対向した磁性体部43の両端は、N極およびS極に分極し、ギャップ部44近傍に局所的な磁場を発生する。この局所的な磁場は、レンズ軸LAに関して対称に分布する。

【0041】

即ち、レンズ軸LA上では、レンズ部40が発生させる磁場の方向はレンズ軸LAの延伸方向を向く。レンズ軸LA上の磁場の強度は、ギャップ部44の近傍で極大値をとり、Z軸方向にギャップ部44から離れるに従って急激にその強度が低下する。このような分布を持つ局所的な磁場は、レンズ軸LAに沿って通過する電子ビームEBに対して、凸レンズに相当するレンズ作用を及ぼす。

【0042】

支持部50は、レンズ部40の外周を囲み、レンズ部40を位置合わせして支持する。レンズ部40の外周部分の一部は、支持部50と接し、支持部50の内周部分の一部は、レンズ部40と接する。

【0043】

ここで、レンズ部40における支持部50と接する外周部分および支持部50におけるレンズ部40と接する内周部分の少なくとも一方に、レンズ部40の外周に沿って冷却用流体を流すための溝部61を形成する。図2は、レンズ部40における支持部50と接する外周部分に、レンズ部40の外周に沿って、冷却用流体を流すためのらせん状の溝部61が形成された例を示す。

【0044】

溝部61を形成するレンズ部40の外周部分は、貫通孔の延伸方向であるレンズ軸LAの方向と平行であってよく、貫通孔の中心軸から略等しい距離にあってよい。溝部61は、レンズ部40の外周にそって、外周に巻きつくようにならせん状に形成されており、貫通孔の中心軸に関して軸対称に形成されてよい。レンズ部40の外周方向において、溝部61は、支持部50の内周部分が蓋状に覆われるので、溝部61および支持部50の組み合わせは、冷却用流体を流す流路が形成される。

【0045】

これにより、電子ビームレンズ装置30は、レンズ部40および支持部50に対して新たな部材を追加することなく、排熱手段として、冷却用流体を流す流路を形成できる。新たな部材を追加しないため、レンズ部40の内径d1および外径d2の大きさは、電子ビームレンズの排熱手段がない場合と略同一の値にすることができる。即ち、レンズ部40の外径d2が例えば30mm以内という制限条件のもとでも、電子ビームレンズ装置30に冷却用流体を流す流路を設置することができる。

【0046】

流入部62は、溝部61の一端と接続される。また、排出部63は、溝部61の他端と接続される。溝部61は、流入部62から流入する冷却用流体を、排出部63から排出する。流入部62は、電子ビームレンズ装置30の電子ビームEBが出射する側に設置されてよい。排出部63は、電子ビームレンズ装置30の電子ビームEBが入射する側に設置されてよい。

【0047】

流入側流体槽64は、流入部62に接続され、流入部62に冷却用流体を供給する。排出側流体槽65は、排出部63に接続され、排出部63から溝部61を通過した冷却用流体を排出する。温度調整器160は、冷却用流体の温度を調節する。温度調整器160は、電子ビームレンズ装置30の外部に設けられ、流入側流体槽64および排出側流体槽65と接続されてよい。温度調整器160は、冷却用流体を、流入側流体槽64から排出側流体槽65に循環させてよい。

【0048】

温度調整器160は、一例として、冷却用流体を、流入側流体槽64および流入部62を経由して溝部61に送り出す。溝部61を通過中にレンズ部40と熱的に接触することにより温度が上昇した冷却用流体は、排出部63および排出側流体槽65を経由して温度

10

20

30

40

50

調整器 160 に戻る。温度調整器 160 は、温度が上昇した冷却用流体を冷却して、温度調整する。

【0049】

温度調整器 160 は、温度調整された冷却用流体を供給する。温度調整された冷却用流体は、ビーム出射側に設置された流入部 62 から、ビーム出射側の溝部 61 に流入し、レンズ部 40 のビーム出射側を冷却する。電子ビームレンズが対物レンズの場合、温度調整された冷却用流体は、試料 10 に面した出射側のレンズ部材の温度を入射側と比較して速やかに制御できる。これにより、電子ビームレンズ装置 30 は、レンズ部 40 から試料 10 への熱の輻射を抑え、試料 10 の熱膨張を抑制することができる。

【0050】

次に、電子ビームレンズ装置 30 の変形例を説明する。電子ビームレンズ装置 30 は、電子ビームを通過させる貫通孔の周囲に形成され、電子ビームを収束または拡散させるレンズ部 40 と、レンズ部 40 の外周を囲む支持部 50 とを備える。本実施形態に係る変形例は、障壁部 41、励磁部 42 および磁性体部 43 を有するレンズ部 40 が、電子ビームレンズが発生する熱を排熱する手段を備える例を説明する。

【0051】

図 3 は、本実施形態に係るレンズ部 40 の第 1 の変形例を示す斜視図である。図 4 は、本実施形態に係るレンズ部 40 の第 2 の変形例を示す斜視図である。図 5 は、本実施形態に係るレンズ部 40 の第 3 の変形例を示す斜視図である。および、図 6 は、本実施形態に係るレンズ部 40 の第 4 の変形例を示す斜視図である。図 3 から図 6 において、図 2 に記載の部材と略同一の機能を有す部材には、同一の符号を付して、説明を省略する。図 3 から図 6 において、レンズ部 40 は、レンズ軸 LA を中心軸とする貫通孔の周囲に形成される第 1 部材 71 と、第 1 部材 71 の外周を囲む第 2 部材とを有する。

【0052】

図 3 から図 6 に示すレンズ部 40 の変形例は、第 1 部材 71 における第 2 部材 72 と接する外周部分および第 2 部材 72 における第 1 部材 71 と接する内周部分の少なくとも一方は、第 1 部材 71 の外周に沿って冷却用流体を流すための溝部 61 を有する。第 1 部材 71 の外周部分および第 2 部材 72 の内周部分は、貫通孔の延伸方向と平行な面の少なくとも一部であってよい。溝部 61 は、貫通孔の中心軸を通る面に対して対称に形成されてよい。

【0053】

図 3 に示すレンズ部 40 の第 1 の変形例は、第 1 部材 71 における第 2 部材 72 と接する外周部分に、第 1 部材 71 の外周に沿って、冷却用流体を流すらせん状の溝部 61 を有する例を示す。図 3 に示す点線の矢印は、冷却用流体の流れる方向を表す。冷却用流体は、レンズ部 40 の電子ビーム EB の出射側に設けられた流入部 62 から流入し、らせん状の溝部 61 に沿って、電子ビーム EB の出射側から入射側に流れる。冷却用流体は、らせん状の溝部 61 を通過中にレンズ部 40 の熱を受け取り、温度が上昇する。冷却用流体は、電子ビーム EB の入射側に設けられた排出部 63 から排出される。

【0054】

なお、冷却用流体は、レンズ部 40 の電子ビーム EB の出射側に設けられた流入側流体槽 64 から流入部 62 へと流入し、排出部 63 からレンズ部 40 の電子ビーム EB の入射側に設けられた排出側流体槽 65 へと排出されてよい。この場合、冷却用流体は、レンズ部 40 の外部に設けられた温度調整器 160 に達し、レンズ部 40 から受け取った熱を排熱する。ここで、流入側流体槽 64、排出側流体槽 65、および温度調整器 160 は、図 2A で示したので、図 3 においては記載を省略している。

【0055】

図 3 において、第 1 部材 71 は、冷却用流体を流す一続きのらせん状の溝部 61 を一本有する例を示したが、これに代えて、第 1 部材 71 は、複数のらせん状の溝部 61 を有してもよい。この場合、レンズ部 40 は、複数のらせん状の溝部 61 に対応して、複数の流入部 62 および複数の排出部 63 を有してよい。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 6 】

図 4 に示すレンズ部 4 0 の第 2 の変形例は、第 2 部材 7 2 における第 1 部材 7 1 と接する内周部分に、第 2 部材 7 2 の内周に沿って、冷却用流体を流すらせん状の溝部 6 1 を有する例を示す。図 4 に示す点線の矢印は、冷却用流体の流れる方向を表す。冷却用流体は、レンズ部 4 0 の電子ビーム E B の出射側に設けられた流入部 6 2 から流入し、らせん状の溝部 6 1 に沿って、電子ビーム E B の出射側から入射側に流れる。冷却用流体は、らせん状の溝部 6 1 を通過中にレンズ部 4 0 の熱を受け取り、温度が上昇する。冷却用流体は、電子ビーム E B の入射側に設けられた排出部 6 3 から排出される。冷却用流体は、図 3 で説明した例と同様に、レンズ部 4 0 の外部に設置された温度調整器 1 6 0 に達し、レンズ部 4 0 から受け取った熱を排熱する。また、図 4 の例においても、第 2 部材 7 2 は、複

10

【 0 0 5 7 】

図 3 および図 4 に示すレンズ部 4 0 の例では、一本または複数本の一続きのらせん状の溝部 6 1 が、第 1 部材 7 1 の外周部分または第 2 部材 7 2 の内周部分を覆う。流入部 6 2 および排出部 6 3 は、一続きのらせん状の溝部 6 1 の両端に、それぞれ対応して設けられてよく、この場合、レンズ部 4 0 は、一または複数の流入部 6 2 および排出部 6 3 を有する。なお、例えば 5 個未満の少ない数の流入部 6 2 および排出部 6 3 がレンズ部 4 0 に設けられる場合、当該流入部 6 2 および排出部 6 3 は、流入側流体槽 6 4 および排出側流体槽 6 5 を経由せず、直接、温度調整器 1 6 0 と接続してもよい。

【 0 0 5 8 】

図 5 に示すレンズ部 4 0 の第 3 の変形例は、第 1 部材 7 1 における第 2 部材 7 2 と接する外周部分に、第 1 部材 7 1 の外周に沿って、冷却用流体を流すための複数の直線状の溝部 6 1 を有する例を示す。図 5 に示す点線の矢印は、冷却用流体の流れる方向を表す。冷却用流体は、レンズ部 4 0 の電子ビーム E B の出射側に設置した複数の流入部 6 2 から並列に、流入部 6 2 のそれぞれと対応する溝部 6 1 に流入し、複数の溝部 6 1 に沿って、電子ビーム E B の出射側から入射側に流れる。冷却用流体は、直線状の溝部 6 1 を通過中にレンズ部 4 0 の熱を受け取り、温度が上昇する。冷却用流体は、電子ビーム E B の入射側に設けられた複数の排出部 6 3 からそれぞれ排出される。冷却用流体は、図 3 で説明した例と同様に、レンズ部 4 0 の外部に設置された温度調整器 1 6 0 に達し、レンズ部 4 0 から受け取った熱を排熱する。

20

30

【 0 0 5 9 】

図 6 に示すレンズ部 4 0 の第 4 の変形例は、第 1 部材 7 1 における第 2 部材 7 2 と接する外周部分に、第 1 部材 7 1 の外周に沿って、冷却用流体を流すための、複数の折り返された経路を持つ直線状の溝部 6 1 を有する例を示す。図 6 に示す点線の矢印は、冷却用流体の流れる方向を表す。冷却用流体は、レンズ部 4 0 の電子ビーム E B 出射側に設置した複数の流入部 6 2 から並列に、流入部 6 2 のそれぞれと対応する溝部 6 1 に流入し、複数の溝部 6 1 に沿って、電子ビーム E B 出射側から入射側に流れる。冷却用流体は、折り返された経路を持つ直線状の溝部 6 1 を通過中にレンズ部 4 0 の熱を受け取り、温度が上昇する。冷却用流体は、電子ビーム E B の入射側に設けられた複数の排出部 6 3 からそれぞれ排出される。冷却用流体は、図 3 で説明した例と同様に、レンズ部 4 0 の外部に設置された温度調整器 1 6 0 に達し、レンズ部 4 0 から受け取った熱を排熱する。

40

【 0 0 6 0 】

図 5 および図 6 に示す例では、レンズ部 4 0 は、複数の溝部 6 1 と、複数の溝部 6 1 のそれぞれに対応する複数の流入部 6 2 および複数の排出部 6 3 とを備える。複数の流入部 6 2 のそれぞれは、一つの流入側流体槽 6 4 と接続されてよい。複数の排出部 6 3 のそれぞれは、一つの排出側流体槽 6 5 と接続されてよい。流入側流体槽 6 4 は、温度調整器 1 6 0 から送りだされた冷却用流体を保持し、複数の流入部 6 2 に、冷却用流体を並列に供給する。また、排出側流体槽 6 5 は、複数の排出部 6 3 が並列に排出した冷却用流体を保持し、温度調整器 1 6 0 に戻す。

【 0 0 6 1 】

50

図3、図4、図5、および図6で示したレンズ部40の変形例において、第1部材71は、レンズ部40を貫通する貫通孔の周囲に形成された部材であり、第2部材72は、第1部材71の外周を囲む部材である。第1部材71および第2部材72は、レンズ部40を構成する障壁部41、励磁部42、および磁性体部43のうち、少なくとも1つを形成する。

【0062】

例えば、第1部材71は、障壁部41の一部でよく、第2部材72は、磁性体部43の一部または全部である。また、第1部材71は、磁性体部43の一部または全部でよく、この場合、第2部材72は、励磁部42の一部または全部であってよい。また、第1部材71は、励磁部42の一部または全部でよく、この場合、第2部材72は、磁性体部43

10

【0063】

これらに代えて、障壁部41、励磁部42、または磁性体部43のうち少なくとも1つが分割され、分割された一方および他方を、第1部材71および第2部材72としてもよい。この場合、分割された一方および他方のうち、レンズ軸LAに近い内側の円筒部分およびレンズ軸LAから遠い外側の円筒部分を、それぞれ、第1部材71および第2部材72に対応させてもよい。

【0064】

図3、図4、図5、および図6で示したレンズ部40の変形例において、溝部61は、第1部材71における第2部材72と接する外周部分および第2部材72における第1部材71と接する内周部分の少なくとも一方に形成され、他方の部分によって蓋状に覆われる。溝部61および、溝部61を覆う第1部材71の外周部分または第2部材72の内周部分の組み合わせは、冷却用流体を流す流路を形成する。

20

【0065】

これにより、電子ビームレンズ装置30は、レンズ部40に対して新たな部材を追加することなく、冷却用流体を流す流路を形成することができ、当該レンズ部40の熱を排熱できる。このように、電子ビームレンズ装置30は、新たな部材を追加しないため、レンズ部40の内径d1および外径d2の大きさは、冷却用流体を流す流路がない場合の大きさと略同一の値にすることができる。即ち、例えば、レンズ部40の外径d2が略30mm以内で設計された電子ビームレンズに対して、外径d2の大きさを変えずに、冷却用流体を流す流路を更に設けたレンズ部40を提供することができる。

30

【0066】

本実施形態に係る電子ビームレンズ装置30の排熱手段と、図11A、図11B、および図11Cに記載した電子ビームレンズの排熱手段とを比較する。本実施形態に係る排熱手段は、同じ流量の冷却用流体を流した場合に、図11Aに示す手段と比較して排熱能力が高い。図11Aに示す手段は、冷却用流体が、管81を介してレンズ構成部材と間接的に接触するのに対して、本実施形態に係る排熱手段は、冷却用流体が、電子ビームレンズ装置30の構成部材に形成された溝部61を流れることにより、電子ビームレンズ装置30の構成部材と直接接触するからである。

【0067】

図11Aの管81を磁性体部43の外周に設けた場合と、略同一形状のレンズ部40に本実施形態の溝部61を磁性体部43の外周部分に設けた場合と、のそれぞれについて、排熱能力を調査した。レンズ部40の発熱を100Wにそれぞれ設定し、同じ流量の冷却用流体で排熱する場合の電子ビームレンズ装置30の所定位置の温度を比較した。図11Aの手段では、電子ビームレンズ装置30の所定位置の温度が70以上上昇したのに対して、本実施形態の排熱手段では、同じ位置の温度は50以下に抑えることが可能であった。

40

【0068】

本実施形態に係る電子ビームレンズ装置30の排熱手段と、図11Bに示す排熱手段とを比較する。図11Bの冷却用流体は、磁性体部43を貫通する直線状の貫通孔82を流

50

れる。本実施形態の冷却用流体は、例えば、磁性体部 4 3 の外周部分に設けた溝部 6 1 に沿って流れる。溝部 6 1 の形状は、溝部 6 1 の長手方向（冷却用流体が流れる方向）、および断面方向（冷却用流体が流れる方向と直交する方向）ともに、さまざまな形状に形成できる。

【0069】

図 1 1 B の直線状の貫通孔 8 2 の場合と比較して、本実施形態の排熱手段は、冷却用流体が溝部 6 1 を循環する間に、冷却用流体とレンズ構成部材との間の接触面積を大きくすることができる。即ち、本実施形態に係る排熱手段は、図 1 1 B の手段と比較して、高い排熱能力を実現できる。

【0070】

本実施形態に係る電子ビームレンズ装置 3 0 の排熱手段と、図 1 1 C に示す排熱手段とを比較する。図 1 1 C の励磁部 4 2 は、容器 8 3 内部の冷却用流体に浸っている。一方、本実施形態の励磁部 4 2 は、冷却用流体とは完全に分離できる。本実施形態の冷却用流体は、励磁部 4 2 とは直接に接触しないで、レンズ内を循環する。本実施形態に係る排熱手段は、冷却用流体を循環させながら、励磁部 4 2 に安定に電流を流すことが可能である。即ち、本実施形態に係る電子ビームレンズ装置 3 0 は、外径等の大きさの変更なしに、冷却用流体を流す流路を形成し、排熱能力を向上させることができる。

【0071】

本実施形態に係る溝部 6 1 の製造方法について説明する。溝部 6 1 は、電子ビームレンズ装置 3 0 を組立てる前に、レンズ構成部材の内周部分または外周部分の表面を、あらかじめ加工することによって設けられてよい。溝部 6 1 は、一例として、当該部材の表面を切削することによって設けられる。この場合、溝部 6 1 は、当該溝部 6 1 の長手方向（冷却用流体が流れる方向）、および断面方向（冷却用流体が流れる方向と直交する方向）の形状が、所定の形状になるように、切削工具を当該部材に対して相対的に移動して切削することで設けられてよい。

【0072】

これに代えて、溝部 6 1 は、電子ビームレンズ装置 3 0 の構成部材と共に設けられてもよい。例えば、3 D プリンター等により、材料を積層して当該構成部材を製作する場合、溝部 6 1 となるべき部分には材料を積層せずに製作することで、所定の溝部 6 1 を有する構成部材を形成することができる。

【0073】

本実施形態に係る冷却用流体の循環について次に説明する。冷却用流体は、微量の防錆成分を混入した冷却水であってよい。ここでは、水を主成分とする冷却水を冷却用流体として、図 2 に示すらせん状の溝部 6 1 に流す場合について説明する。

【0074】

冷却水の流量を U とし、溝部 6 1 が形成される冷却水流路の管径を D とした場合に、冷却水の流れが層流となる条件を検討する。ここで、冷却水の流れが層流となる条件は、冷却水の流れによって、電子ビームレンズが振動することを防止する条件と考えられる。なお、冷却水流路の管径 D は、流路と同じ断面積を有する円管を考慮した場合の、当該円管の直径とした。

【0075】

冷却水の流速 V は、冷却水の流量 U と管径 D とから、以下の（数 1）により計算される。ここで、冷却水の密度 ρ は 1 g/cm^3 、粘度 μ は $1 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ （ミリパスカル・秒）である。この場合、溝部 6 1 の冷却水流路を流れる冷却水のレイノルズ数 Re は、以下の（数 2）により計算される。

（数 1）

$$V = 4 \times U / (\pi \times D^2)$$

（数 2）

$$Re = V \times D / (\mu / \rho)$$

【0076】

10

20

30

40

50

レイノルズ数 Re が、例えば 2000 以下の値の場合に、冷却水の流れは層流となる。レンズ構成部材の大きさの条件、およびレイノルズ数 Re が 2000 以下の条件から、冷却水の流量 U と溝部 61 の断面積または管径 D との関係を見積もる。

【0077】

レンズ部 40 の外周部分に溝部 61 を形成する場合において、流量 U が $1 \text{ mL/s} \sim 2 \text{ mL/s}$ (ミリリットル毎秒) の冷却水を層流で流すためには、溝部 61 の断面積は 0.5 mm^2 以上 1 mm^2 以下であり、流入部 62 側と排出部 63 側との間に少なくとも 2 本の並列な溝部 61 が設けられることが望ましい。レンズ部 40 の外径を 2.2 mm 以上 3.0 mm 以下とした場合、溝部 61 を形成するレンズ部 40 の外周部分の大きさから、形成できる溝部 61 の長さ L は 0.7 m 以上 1.5 m 以下である。

10

【0078】

図 7 は、このような溝部 61 からなる冷却水流路において、冷却水の流量 U と、溝部 61 の両端の圧力差 P および排水温度 T_o との関係をシミュレーションした結果の一例を示す。図 7 の横軸は、2 本の並列な溝部 61 に流れる冷却水の総流量 U を示す。冷却水の総流量 U は $1 \text{ mL/s} \sim 2 \text{ mL/s}$ の範囲の値である。

【0079】

グラフ (a) は、流入部 62 側と排出部 63 側との間に現れる冷却水の圧力差 P を表す。図 7 の左側の縦軸は、グラフ (a) と対応する圧力差の大きさを示す。グラフ (b) は、排出部 63 から排水される冷却水の温度 T_o を表す。温度調整器 160 を経由して 20 に温度調整された冷却水が溝部 61 に流入するものとした。図 7 の右側の縦軸が、グラフ (b) と対応する排水温度を示す。

20

【0080】

圧力差 P は、冷却水の流れに対する摩擦係数 から、次に示す (数 3) の関係式で計算される。ここで、冷却水の流れに対する摩擦係数 は、レイノルズ数 Re から (数 4) の関係式で計算される。また、冷却水の排水温度 T_o は、温度 20 で流入部 62 から流入し、電子ビームレンズの 100 W の発熱をすべて排熱するものとして計算される。

(数 3)

$$P = \lambda \cdot (L/d) \cdot (1/2) \cdot (\rho \cdot V^2)$$

(数 4)

$$\lambda = 64 / Re$$

30

【0081】

図 7 は、一例として、溝部 61 からなる冷却水流路の両端の $1.5 \times 10^3 \text{ Pa}$ 程度の圧力差 P に抗して、流量 1.5 mL/s の冷却水を溝部 61 に流せば、電子ビームレンズの 100 W の発熱を、排水温度 T_o が 40 以下となる条件で排熱できることを示す。図 7 は、図に示す範囲の冷却水流量 U と圧力差 P とを設定することにより、電子ビームレンズの発熱が 100 W 以上の場合であっても排熱可能であることを示している。

【0082】

さらに、図 7 の条件が得られる溝部 61 の断面積は、 0.5 mm^2 以上 1 mm^2 以下であり、溝部 61 の深さは 1 mm 以下である。即ち、溝部 61 を形成するレンズ部 40 の外周部分、即ち図 2 では磁性体部 43 の外周部分、の動径方向幅が、例えば 3 mm 以下であっても、排熱可能であることを示している。本実施形態に係るレンズ部 40 の外周部分は、このような溝部 61 を形成できるので、電子ビームレンズ装置 30 は、 100 W 以上の発熱に対応できることがわかる。

40

【0083】

図 8 は、本実施形態に係る電子ビーム露光装置 100 の変形例を示す。本変形例の電子ビーム露光装置 100 において、図 1 に示された電子ビーム露光装置 100 と略同一の動作をする部分には、同一の符号を付け、説明を省略する。図 8 に示す電子ビーム露光装置 100 の変形例は、試料 10 を載置して XY 平面方向に移動させる 1 つのステージ部 110 と、 XY 平面内に並ぶ複数の円柱形のカラム部 120 と、ステージ部 110 および複数のカラム部 120 を制御する露光制御部 140 とを備える。

50

【 0 0 8 4 】

複数のカラム部 1 2 0 のそれぞれは、露光制御部 1 4 0 に接続され、それぞれのカラム部 1 2 0 が、ステージ部 1 1 0 によって可動とされる試料 1 0 の範囲を露光する。複数本のカラム部 1 2 0 は、並列して露光を進めることができるため、露光のスループットを大幅に向上できる。また、試料 1 0 が 3 0 0 mm 以上の大口径の半導体ウエハ等であっても、当該半導体ウエハに対応してカラム部 1 2 0 の数を増加させることで、スループットが著しく低下することを防止できる。

【 0 0 8 5 】

図 8 に示す電子ビーム露光装置 1 0 0 の変形例は、X 方向および Y 方向において、予め定められた間隔でカラム部 1 2 0 が設けられる例を示す。例えば、複数のカラム部 1 2 0 は、X 方向および Y 方向ともに、ピッチ 3 0 mm で配置される。この場合、直径 3 0 0 mm の試料 1 0 上に、8 8 本のカラム部 1 2 0 を配列することができる。また、この場合、カラム部 1 2 0 を構成するそれぞれのレンズ部 4 0 の外径 d 2 は、3 0 mm 以下となる。また、例えば、複数のカラム部 1 2 0 は、X 方向および Y 方向ともに、ピッチ 2 2 mm で配置される。この場合、カラム部 1 2 0 を構成するそれぞれのレンズ部 4 0 の外径 d 2 は 2 2 mm 以下となる。これにより、直径 3 0 0 mm の試料 1 0 のウエハ上に 1 5 7 本のカラム部 1 2 0 を並べることができる。

10

【 0 0 8 6 】

図 9 は、図 8 の電子ビーム露光装置 1 0 0 の変形例と対応する電子ビームレンズの構成を示す断面図である。図 9 は、図 8 に示す複数本のカラム部 1 2 0 を X Y 平面に平行な平面 P Q R S で切断した断面図の一部を示す。図 9 は、以上の本実施形態に係る電子ビームレンズ装置 3 0 の構成部材と略同一の機能を有する部材には、同一の符号を付して、説明を省略する。図 9 は、複数のカラム部 1 2 0 が、X 方向および Y 方向ともにピッチ 3 0 mm で配置された例を示す。また、図 9 は、レンズ部 4 0 の外径 d 2 がそれぞれ 3 0 mm である例を示す。

20

【 0 0 8 7 】

それぞれのカラム部 1 2 0 の中心を通り、X Y 断面と垂直な複数の直線は、複数のカラム部 1 2 0 を構成するレンズ部 4 0 にそれぞれ対応するレンズ軸 L A に相当する。複数のレンズ部 4 0 は、レンズ軸 L A を中心に断面が同心円状の、障壁部 4 1、励磁部 4 2、および磁性体部 4 3 をそれぞれ有する。

30

【 0 0 8 8 】

また、一のカラム部 1 2 0 が有するレンズ部 4 0 と、一のカラム部 1 2 0 に隣接するカラム部 1 2 0 が有するレンズ部 4 0 との間には、支持部 5 0 が設けられる。即ち、複数のカラム部 1 2 0 がそれぞれ有するレンズ部 4 0 は、外周部分の一部において、支持部 5 0 の対応する部分と接する。カラム部 1 2 0 が配列されるピッチが略同一のまま、レンズ部 4 0 の外径が小さくなると、隣接するカラム部 1 2 0 の間の隙間は増加し、支持部 5 0 は、増加した隙間の領域に対応して設けられてよい。これにより、支持部 5 0 のそれぞれは、隣接するカラム部 1 2 0 間の X Y 面内方向の間隔を規定する。

【 0 0 8 9 】

このように、支持部 5 0 およびレンズ部 4 0 は、接して設けられるので、レンズ部 4 0 における支持部 5 0 と接する外周部分、および支持部 5 0 におけるレンズ部 4 0 と接する部分の少なくとも一方に、レンズ部 4 0 の外周に沿って冷却用流体を流す溝部 6 1 を設けてよい。このようなレンズ部 4 0 について図 1 0 を用いて説明する。図 1 0 は、本実施形態に係るレンズ部 4 0 の第 5 の変形例を示す斜視図である。図 1 0 は、レンズ部 4 0 が、支持部 5 0 と接する外周部分に、冷却用流体を流す溝部 6 1 を有する例を示す。

40

【 0 0 9 0 】

図 1 0 は、図示されていない支持部 5 0 の側から、レンズ部 4 0 の外周を構成する磁性体部 4 3 と溝部 6 1 を示した斜視図である。なお、図 1 0 は、支持部 5 0 を省略し、レンズ部 4 0 の直径を 3 0 mm 未満として、溝部 6 1 の配置を確認できるようにした図である。図 1 0 は、支持部 5 0 と接する磁性体部 4 3 の外周部分に、4 本の溝部 6 1 が、それぞ

50

れの磁性体部 43 を取り囲んで対称に配置された例を示す。レンズ部 40 のそれぞれに設けられた 4 本の溝部 61 を流れる冷却用流体は、レンズ部 40 がそれぞれ発生する熱を排熱する。

【0091】

一例として、88本のコラム部 120 を有する電子ビーム露光装置 100 のコラム部全体が発生する 8.8 kW (= 100 W × 88) 以上の熱は、複数の(88の)レンズ部 40 にそれぞれ設けられた、複数の溝部 61 を循環する冷却用流体によって排熱される。例えば、溝部 61 のすべてを循環する冷却用流体の総流量は、略 530 mL/s (= 1.5 mL/s × 4 × 88) である。これは、略 32 L/m (リットル毎分) の流量に相当する。温度調整器 160 は、流入側と排出側との略 15×10^3 Pa の圧力差に抗して、略 40 に上昇した排水温度 T_o を 20 に温度調整しながら、全体として略 32 L/m の冷却水を循環させる。

10

【0092】

これにより、複数のコラム部 120 を備える電子ビーム露光装置 100 においても、複数のコラム部 120 の外径等の大きさの変更なしに、冷却用流体を流す流路を形成し、排熱能力を向上させることができる。なお、図 10 において、複数のレンズ部 40 が、支持部 50 と接する磁性体部 43 の外周部分に、溝部 61 を形成する例を説明した。これに代えて、複数のレンズ部 40 は、図 3、図 4、図 5、および図 6 で示したように、レンズ部 40 を構成する第 1 部材 71 および第 2 部材 72 の少なくとも一方に形成されてよい。

20

【0093】

以上、本発明を実施の形態を用いて説明したが、本発明の技術的範囲は上記実施の形態に記載の範囲には限定されない。上記実施の形態に、多様な変更または改良を加えることが可能であることが当業者に明らかである。その様な変更または改良を加えた形態も本発明の技術的範囲に含まれ得ることが、特許請求の範囲の記載から明らかである。

【0094】

特許請求の範囲、明細書、および図面中において示した装置、システム、プログラム、および方法における動作、手順、ステップ、および段階等の各処理の実行順序は、特段「より前に」、「先立って」等と明示しておらず、また、前の処理の出力を後の処理で用いるのでない限り、任意の順序で実現しうることに留意すべきである。特許請求の範囲、明細書、および図面中の動作フローに関して、便宜上「まず、」、「次に、」等を用いて説明したとしても、この順で実施することが必須であることを意味するものではない。

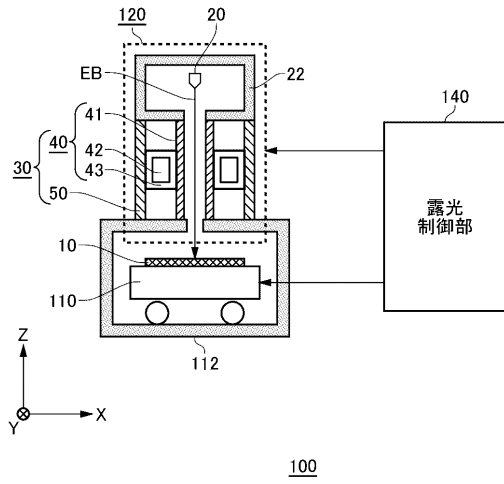
30

【符号の説明】

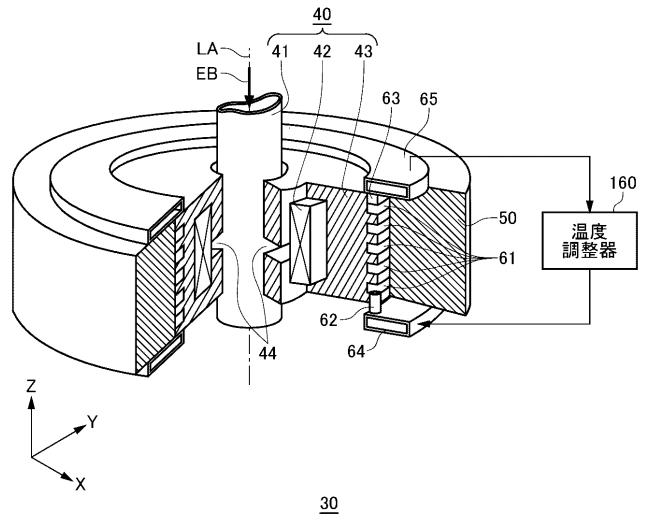
【0095】

10 試料、20 電子源、22 真空容器、30 電子ビームレンズ装置、40 レンズ部、41 障壁部、42 励磁部、43 磁性体部、44 ギャップ部、50 支持部、61 溝部、62 流入部、63 排出部、64 流入側流体槽、65 排出側流体槽、71 第 1 部材、72 第 2 部材、81 管、82 貫通孔、83 容器、100 電子ビーム露光装置、110 ステージ部、112 真空容器、120 コラム部、140 露光制御部、160 温度調整器

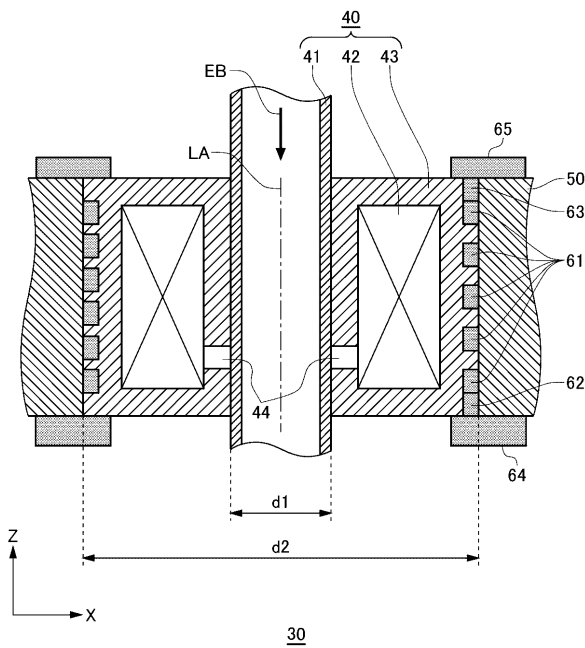
【 図 1 】



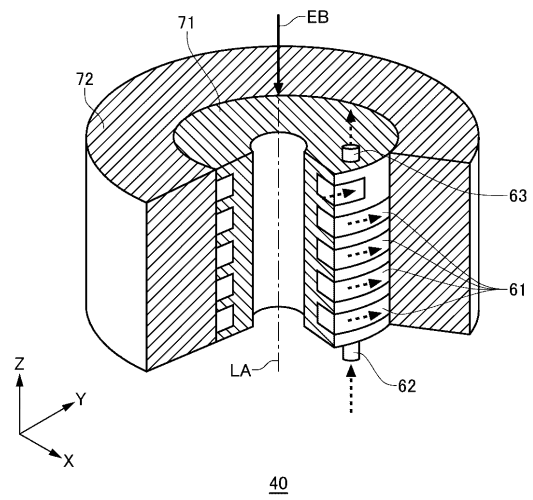
【 図 2 A 】



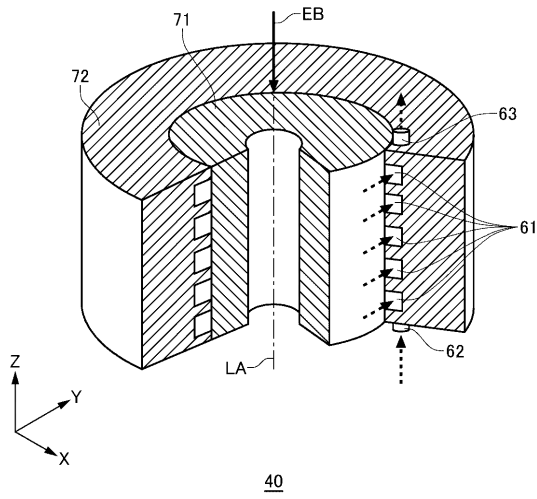
【 図 2 B 】



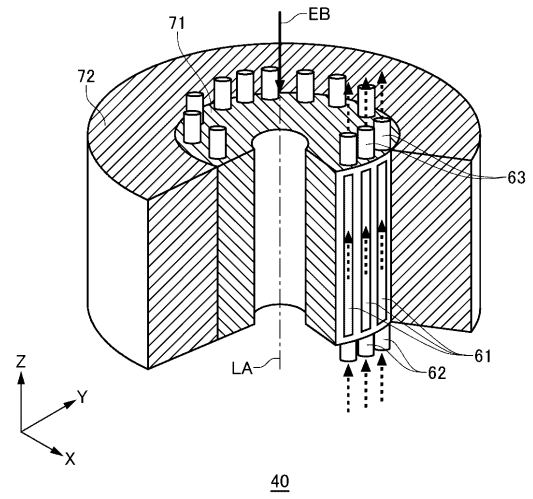
【 図 3 】



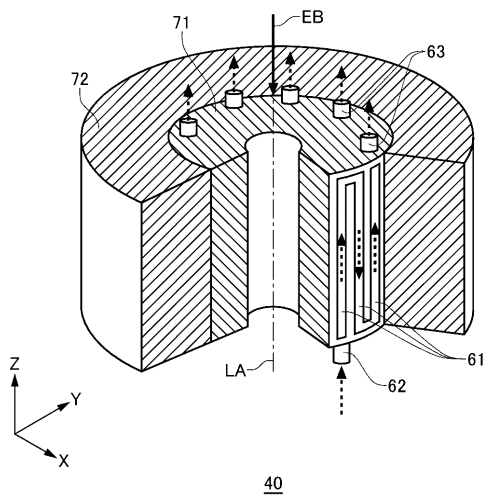
【 図 4 】



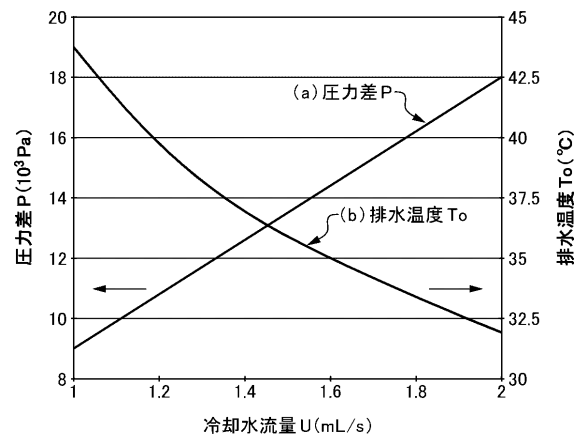
【 図 5 】



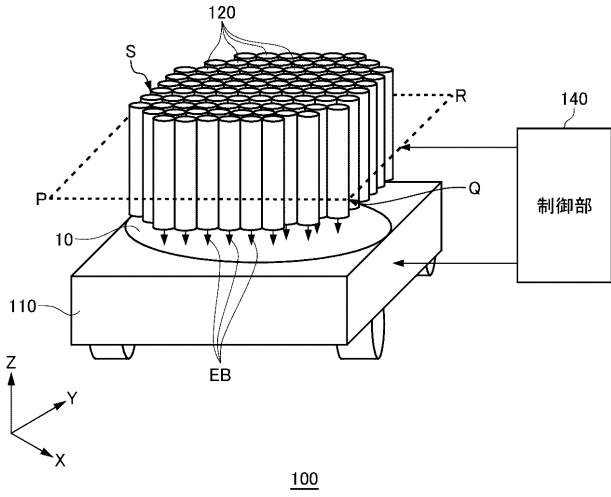
【 図 6 】



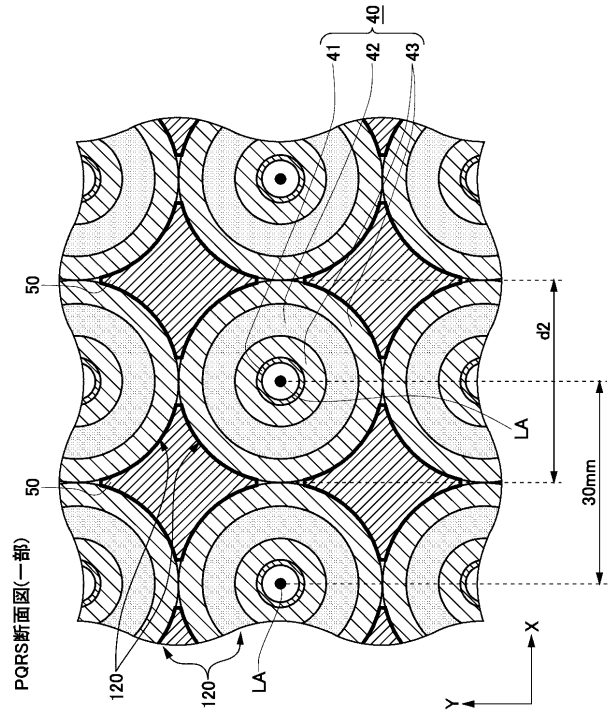
【 図 7 】



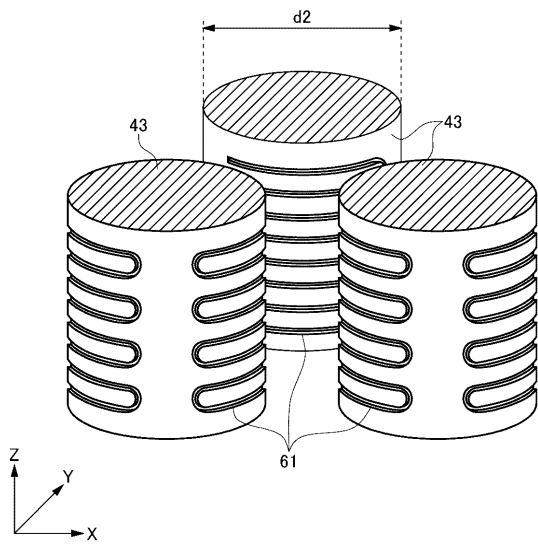
【 図 8 】



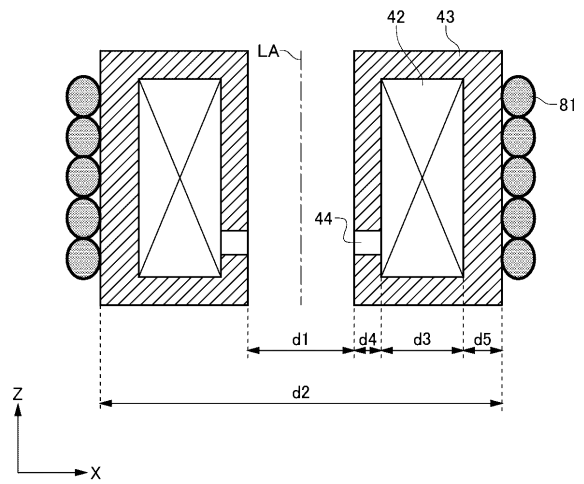
【 図 9 】



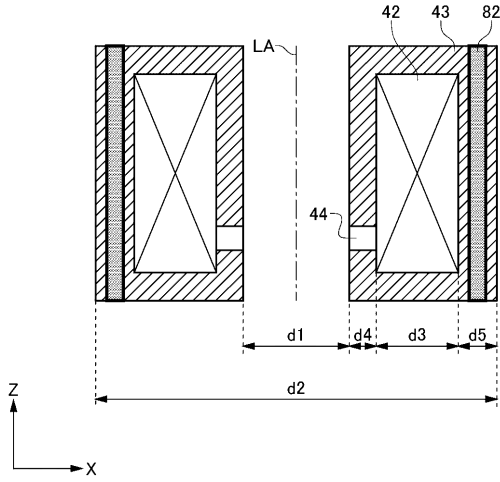
【 図 10 】



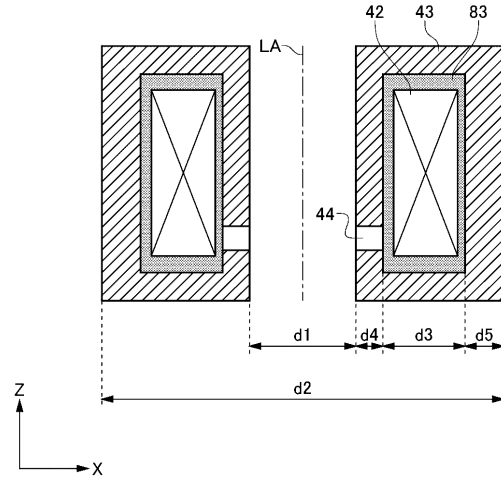
【 図 11 A 】



【 図 1 1 B 】



【 図 1 1 C 】



【 図 1 2 】

