(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第5154232号
(P5154232)

(45)発行日　平成25年2月27日(2013.2.27)　(24)登録日　平成24年12月14日(2012.12.14)

(51)Int.Cl.		F I		
H01L 21/027	(2006.01)	H01L	21/30	541B
H01J 37/305	(2006.01)	H01J	37/305	B
H01J 37/16	(2006.01)	H01J	37/16	
H01J 37/18	(2006.01)	H01J	37/18	
H01J 37/09	(2006.01)	H01J	37/09	A

請求項の数 11　(全 13 頁)　最終頁に続く

(21)出願番号　特願2007-555419 (P2007-555419)
(86)(22)出願日　平成18年2月16日 (2006.2.16)
(65)公表番号　特表2008-530803 (P2008-530803A)
(43)公表日　平成20年8月7日 (2008.8.7)
(86)国際出願番号　PCT/AT2006/000060
(87)国際公開番号　WO2006/086815
(87)国際公開日　平成18年8月24日 (2006.8.24)
審査請求日　平成21年2月12日 (2009.2.12)
(31)優先権主張番号　A273/2005
(32)優先日　平成17年2月18日 (2005.2.18)
(33)優先権主張国　オーストリア(AT)

(73)特許権者　507201441
アイエムエス　ナノファブリケーション　エージー
オーストリア国　エー－１０２０　ウィーン，シュレイガッセ　３
(74)代理人　100091683
弁理士　▲吉▼川　俊雄
(72)発明者　プラッツグマー，エルマー
オーストリア国　エー－１０９０　ウィーン，ヴァサガッセ　３１／９
(72)発明者　セルヌスカ，ステファン
オーストリア国　エー－１１５０　ウィーン，ゼックスハウザー　シュトラーセ　１７／１／６

最終頁に続く

(54)【発明の名称】荷電粒子暴露装置

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
エネルギー荷電粒子ビームにより標的（４１）を照射する粒子ビーム投影加工装置（１００，２００，３００）で、
－実質的にテレセントリック／共心な照射ビーム（１ｂ）に該エネルギー粒子を発生形成する照射システム（１０１）、
－ビーム方向沿いに見られる照射システム以後に配置のパターン規定手段（１０２）で、該パターン規定手段を用いて照射ビーム路のエネルギー粒子を通す開口部からなる開口パターン（２１）を位置決めし、開口パターンから現れたパターン化ビーム（ｐｂ）を形成するパターン規定手段（１０２）、且つ
－パターン規定手段（１０２）以後に位置し、パターン化ビーム（ｐｂ）を投影システム以後に位置する標的（４１）に投影する投影システム（１０３）、からなり、前記投影システムは、少なくとも二つの連続プロジェクター段階、即ち前記開口パターン（２１）の中間画像（ｉ１）を形成する少なくとも一つの最終でないプロジェクター段階（３１）と、最終画像（ｉ０）を形成する一つの最終プロジェクター段階（３２）からなり、
更に、パターン化ビーム路を横切って配置され、且つ前記パターン規定手段（１０２）と前記標的（４１）位置との間に設けられる、少なくとも一つのホイル（３５，３５’，３４’）からなり、前記ホイル（３５，３５’）が、前記最終でないプロジェクター段階により形成した中間画像（ｉ１）の位置近くに配置されることからなる
粒子ビーム投影加工装置。

【請求項２】
更に、ビーム方向沿いに見えるホイル（３５、Ｆ）以後に配置した開口絞り（３７，Ｄ）からなり、該絞りがビームの横広がりを制限する開口部（Ａ）を有する請求項１に記載の装置。
【請求項３】
前記パターン化ビーム路を横切って配置され、且つ前記最終画像（ｉ０）の位置近くに配置される、少なくとも一つのホイル（３４，３４’）を更に有する、請求項１または２に記載の粒子ビーム投影加工装置。
【請求項４】
前記ホイル（３４，３４’）がビーム方向沿いに見られる標的（４１）位置の前方に配置される請求項３に記載の装置。
【請求項５】
前記ホイル（３４，３４’，３５，３５’）のうち少なくとも一つが電位で保たれるように適応し、前記投影システム（１０３）の各々の前記プロジェクタ段階の最終電極を形成する請求項１乃至３のいずれか一つに記載の装置。
【請求項６】
前記ホイル（３４、３５）が照射ビームの一部が妨害なしにホイルを通して伝播できるに十分薄い請求項１乃至５のいずれか一つに記載の装置。
【請求項７】
前記ホイル（３４、３５）が異なるガス圧に保たれた二つの隣接受け手（Ｓ１、Ｓ２、Ｓ３）を分離する請求項１乃至６のいずれか一つに記載の装置。
【請求項８】
前記ホイル（３４、３５）が開口パターンの各画像領域全体で連続である請求項１乃至７のいずれか一つに記載の装置。
【請求項９】
前記ホイルが導電性材料からできた請求項１乃至８のいずれか一つに記載の装置。
【請求項１０】
前記ホイルがシリコンまたはダイアモンド状炭素を含む半導体材料でできた請求項１乃至８のいずれか一つに記載の装置。
【請求項１１】
前記ホイルの保全性の監視に用いられるセンサー手段（７８）と、前記装置内の前記パターン化ビーム用の開口部の近くに配置された機械シャッター手段（７９）とを有し、前記機械シャッター手段が、前記センサー手段により前記ホイルの損傷が検出されると、前記開口部を閉じるために用いられる、請求項１乃至１０のいずれか一つに記載の装置。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
該発明はエネルギー荷電粒子ビームにより標的を照射する粒子ビーム投影加工装置の改良に関し、パターン規定（ＰＤ）手段でパターン化したビームを投影システム以後に位置する標的に投影するための照射システム、ＰＤ手段及び投影システムからなる。この照射システムはＰＤ手段位置で実質的にテレセントリック／共心な広域照射ビームで、その直径が照射ビームのテレセントリック領域／共心領域長さより少なくとも一桁大きい広域照射ビームにエネルギー粒子を発生形成する役目をする。このＰＤ手段はビーム方向沿いに見られる照射システム以後に位置し、照射ビーム路のエネルギー粒子を通さない開口部からなる開口パターンを位置決めし、開口パターンから現れるパターン化ビームを形成する。投影システムはパターン規定手段以後に位置し、記載のようにパターン化ビームを投影する。
【背景技術】
【０００２】
この種加工装置の重要な応用の一つは、リソグラフィ装置として半導体技術で用いる粒

子ビームリソグラフィ分野であり、基質表面での所望パターンを規定するためにウエハーを放射線感受性フォトレジスト層で覆い、所望構造をリソグラフィによりこのフォトレジスト上に描画し、次いで以前の暴露段階で規定パターンにより部分的に除去してパターン化し、エッチングのよう更なる構造化工程のためのマスクとして使用する。この種加工装置の他の重要な応用は、特に１００ｎｍ以下の形状を有するナノ規模装置の製作又は機能化に用いる直接イオンビームによる材料修正、又はイオンビーム誘導エッチング及び／又は蒸着によるナノ規模のパターン化分野がある。

【０００３】

米国特許６，７６８，１２５に記載のＩＭＳ社コンセプトのＰＬＭ２（“投影マスクなしリソグラフィ”（Projection Mask-Less Lithography）の簡単化）では、マルチビーム直接描画コンセプトは単一電子源から抽出した電子線構造化のＰＤ装置としてプログラム可能な開口プレートシステム（ＡＰＳ）を用いて実現する。ＡＰＳの電子運動エネルギーは５KeVである。ＡＰＳ以後に電子を１００keVに加速し、ＡＰＳ画像を２００分の一以下に減少し基質上に投影する。

【０００４】

電子光学系ではレンズとＡＰＳからの散乱電子は低エネルギー電子やイオンを生ずる。又このビームや大きい静電界によりイオン化残留ガス原子が生じうる。これら粒子はウエハーを照射し、画像コントラストを低下する背景線量を生ずる。又電子光学系の成分（例えばレンズやＡＰＳ）はこれら粒子や、又はウエハーからの有機レジストガス放出によるリソグラフ使用で不可避なもので汚染されやすい。この粒子は鏡筒内に加速される一方、ＰＤシステムシステム主として汚染に敏感であり、その結果局部帯電効果により影響されるかもしれない。ＡＰＳ系は実際には高真空又は超高真空条件でのみ使用でき、さもなければ有機材料のビーム誘導蒸着により開口が増大するであろう。しかし必要な高真空段階はＰＭＬ２のような全リソグラフィシステムの主な技術課題であり且つコスト因子でもある。ＰＭＬ２コンセプトがこのＡＰＳでの高真空又は超高真空条件を維持でき、且つ基質で１ミリバール以上の圧力範囲で在来の空気ベアリング段階（例えばメーカーエアラス社（AeroLas）の）が適用できれば非常に有利である。更に半導体製造環境でのＰＭＬ２装置使用に関する主な懸念は、開口プレート又は電子源部品の故障によるかもしれないシステム障害の危険と関連する。そのような出来事によりウエハー、ウエハー段階及びウエハー処理システムで深刻な汚染をもたらすであろう。半導体製造ライン用装置が受け入れられる可能性は、粒子純度に関するシステムの信頼性と操作時の故障の危険性に強く依存する。

【０００５】

電子光学系の他様態は大画像分野での描画収差の補正である。先行技術で良く知られているように、環状電極の組み合わせで生ずる電界レンズはレンズ（プラスの屈折力）の焦点を合わし、且つ例外なく電極形状ではわずかにしか影響されない大きな三次収差を有する。発散レンズ（マイナスの屈折力）を用いて、焦点レンズと発散レンズの三次収差への寄与を相殺でき、更に他の収差係数を大いに減ずることもできる。しかし環状電極だけではマイナス屈折力のレンズを得ることはできない。反対にビームが通過するプレート電極又は制御グリッド電極の使用が必要である。

【０００６】

該出願者／譲受人の米国特許６、３２６，６３２では、リソグラフィ装置のマスクをマスク前後にそれぞれ配置の環状電極と組み合わして用いて発散レンズを形成することを提案している。しかししばしばマスク又はＰＤ装置以後に位置する発散レンズを後者を含むことなしに（特に静電ポテンシャルが満足な程度に制御できない場合）有することが望まれる。マスク又はＰＤ装置以後に位置するこの発散レンズではプレート電極は望まれない効果、最も顕著にはビーム照射の吸収と散乱を起こす。最小形状が益々より小さな値に押し進められる最新の構造化目的については、散乱がパターン特性のぼけをもたらすので最も憂慮される影響である。

【発明の開示】

【０００７】
上述の問題を解決するＰＤシステム以後のビーム領域に、以後“透過ホイル”と呼ぶ追加ホイルを用いる粒子ビームシステムを提供することが本発明の目的である。ホイル措置とは異なるガス及び／又はガス圧含有空間を分離することを意味する。これにより電気光学装置内で通常受け入れられるより遙かに高い残圧で運転できる機械走査システムが使用でき、その結果通常１－１０ミリバールで操作の既存空気ベアリングが使用できる。更に光学鏡筒とＡＰＳでの粒子純度が非常に改良でき、半導体製造ラインに用いた場合深刻な汚染及び関連の危険を避ける手段が提供される。

【０００８】
更にパターン化ビーム路を横切って配置の少なくとも一つの透過ホイルからなる上記の種類の粒子ビーム投影加工装置によりこの目的が満足され、一つ又は複数の該ホイルはパターン規定手段と投影システムが形成する開口パターンの各画像近くの標的位置間に位置する。この透過ホイルは導電材料から作られても良く、明確な電位で保持され、その結果荷電粒子ビームはホイル表面又は内部での局部帯電によっても、ホイルの浮遊電位による浮遊電場によっても影響されない。この透過ホイルは上記効果（帯電浮遊電位）が透過ビーム自身によるか（例えば電子・ホール対等の発生）、又は紫外光ビームか原子ビームのその場での照射のようなホイルに沿う電荷輸送又は電荷バランスを改善する他の補助手段により直接又は間接的に補償できるならば、絶縁材でも半導体材料で作ってもよい。

【０００９】
これに関連してこのホイルはホイルと画像間距離が、ホイルの直前又は直後の隣接レンズ焦点距離より大きくはなく、好ましくはこの焦点距離の１／５より大きくない場合の画像に近いと考えられる。

【００１０】
該発明の根本概念は、両方向の粒子流を濾過する透過ホイルとして、且つ／又は光学描画物性を改良する画像近くの電極として導電薄膜を用いることである。この画像が最終画像の場合、その位置は標的に用いた基質表面と一致し、その結果対応ホイルは標的近くに位置する。この位置選択により透過ビーム粒子方向のずれはシステムの描画物性に全く影響しないかわずかな影響のみである。更にこのホイルはホイル破壊を起こす機械的故障や電気故障に際し、迅速に安全弁を始動できる安全装置を表す連動センサーとして用いることができる。

【００１１】
ここに記載のタイプの装置では、ビームは広い断面を持つのでこのホイルの設置が可能となる。ＴＥＭやガウスビームライターのような他のシステムでは、その描画光学により狭い、殆ど点状の画像位に焦点が合ったビームが提供される。後者では照射に曝されるだけでなく吸収による発熱により、比較的短時間内にホイルを破壊するか汚染するであろう。それに引き替え該発明のビームは、ホイル端からの熱放射と伝導性冷却で、ホイルを十分に冷却できる比較的広い領域に分配される。該出願者に計算によると、０．２μｍのホイルがＰＭＬ２装置で電子線に連続的に暴露さると、伝導性冷却のみを考慮した場合約１７０Ｋだけ温度上昇することが示される。本発明のホイル上の電流密度は約10^{-07}Ａ／cm^2（ここで面積１mm^2当たり電流１０μＡ）であり、通常の集束ビーム系での電流密度の約一千万分の一より低い。

【００１２】
該発明の一つの具現化では、この透過ホイルはビーム方向沿いに見られる標的位置前方に配置する。標的とホイル間距離は小さく、ホイル通過中に散乱する粒子に対してさえ粒子は標的の衝突位置にほんのわずかしか影響しない。ホイルは電位を受け、その結果幾つかの他の最終前（環状）電極と組み合わせして発散レンズを得るのに適した投影システムの最終電極を形成する。

【００１３】
画像は又他の位置にあっても良く、特に投影システムが少なくとも二つの連続プロジェクター段階、即ち少なくとも非最終プロジェクター段階と一つの最終プロジェクター段階

からなる場合、中間画像が生ずる。この場合該発明による透過ホイルは、非最終段階の投影システムにより開口パターンで形成した中間画像位置（又は近く）に位置する。描画の性質により放射線は任意方向（一定の開口角度以内にもかかわらず）の画像点から出現でき、これがホイルでのビーム粒子散乱がほんのわずかではないが光学系の描画物性への影響が小さい理由である。

【００１４】

電子光学系で処理するには高すぎる角度に散乱したビーム成分を処理するために、開口絞りをビーム方向沿いに見られる透過ホイル後方に配置しても良く、該隔膜はこのビームの横広がりを制限する開口部を有する。本法により又描画の高次係数で起こりうる問題も除外される。

【００１５】

好ましくは透過ホイルは照射ビームの一部が低角度でホイルを通して伝播できるに十分なほど薄い。典型的な厚さは１００－２００ｎｍ程度である。

【００１６】

このホイルをプレート電極として使用する可能性以外に、ホイルはガス粒子の障壁であり、異なる真空物性（ガス充填、圧）を持つ異なる区域に電気光学鏡筒を分離し、且つその結果生じた区域間での汚染を防ぐ。高速粒子、即ち粒子ビームの粒子（例えば電子）のみがこの機械的障壁に打ち勝てる。従って透過ホイルは異なるガス圧に保った二つの隣接受け手を分離できる。透過ホイルは好ましくは画像各部の均一で透明な挙動が保証されるように、開口パターンの各画像範囲全体で続いている。次いで最小運動エネルギーを有する粒子のみがホイルを通過できるように、厚みを適切に（最小厚み）選ぶ。

【００１７】

該発明の他様態では透過ホイルの材料に関する。必要ならば適切な不活性覆いを有する銅ホイルのような金属ホイルのような導電材は別にして、ホイルはシリコンやダイヤモンド状炭素のような半導体で作っても良い。

【００１８】

ホイルは、透過ホイルの整合性をモニターするのに用いるセンサー手段と、又シャッター手段がセンサー手段による該ホイルの損傷が検出されたとき開口部を閉じるように装置内のパターン化ビーム用開口部近くに位置する機械的シャッター手段と一緒に追加の安全装置として使用しても良い。

【発明を実施するための最良の形態】

【００１９】

以下に検討の該発明の好ましい実施形態は、該出願者（譲受け人）の米国特許６，７６８，１２５（＝英国特許２３８９４５４Ａ）に開示したように、パターン規定（ＰＤ）システムを有するＰＭＬ２型粒子ビーム暴露装置に基づく。以下に先ず該発明に関連する限り該装置の技術的背景を検討し、次いで該発明の実施形態を詳細に検討する。該発明は以下の実施形態にもＰＤシステムにも制限されず、該発明実施の可能性の一つを表すだけであると理解する必要がある。むしろ該発明は同様に粒子ビームを用いる他の形の加工システムにも適する。

ＰＭＬ２システム

該発明の好ましい第一実施形態を用いるマスクなし粒子ビーム暴露装置ＰＭＬ２の概観を図１に示す。以下には該発明開示に必要なだけの詳細が与えられる。図１ではその構成材は明確化のために大きさのとおりには示されず、特に粒子ビームの横幅は誇張されている。

【００２０】

既に記載のようにＰＭＬ２システムでは照射系発生の電子線を用いる。電子線は標的表面に投影されるビームパターンを規定するために規則的配列の開口部を有するＰＤ手段を照射する。各開口部で小ビームが規定され、開口部を通る各ビーム通過が各開口部を通る

ビーム粒子通過を可能にするか（“スイッチを入れる“）、又は有効に不活性化（”スイッチを切る“）ように制御できる。開口部配列（又はより正確にはこの配列のスイッチを入れた開口部）を通り抜けるビームにより、装置の空間配置により表されるパターン情報を有するパターン化粒子ベームを形成する。次いでパターン化ビームは粒子光学投影システムにより標的（例えば半導体基質）上に投影され、開口部の画像が照射部標的を修正するように形成される。このビームで形成した画像は各ダイ領域上の直線路に沿って連続的に移動する。走査方向に垂直な方向ビームの更なる走査は不必要である（走査段階の横方向への走行エラー補償が必要な場合を除いて）。

【００２１】

図１のこの実施例では垂直下方向に進むリソグラフィービーム１ｂの方向ｐｂに対応する装置１００の主部品は、照射システム１０１、ＰＤシステム１０２、投影システム１０３及び基質４１を有する標的ステーション１０４である。電界レンズ又は磁界レンズを用いて粒子光学系１０１、１０３が得られる。装置１００の電気光学部品１０１、１０２、１０３は、装置光軸ｃｘに沿うビーム１ｂ、ｐｂの伝播が妨げられないことを保証するように、高真空の真空筐体１０５に収容される。

【００２２】

照射システム１０１は例えば、電子源１１と集光レンズシステム１３からなる。しかし電子の変わりに通常他の荷電粒子も同様に使用できることを特記する必要がある。電子（電子銃から放射の）以外に、これらのモノとしては例えば水素イオン又は重イオンがある。本開示との関連では、重イオンは酸素、窒素のような炭素より重たい元素のイオンや希ガスのネオン、アルゴン、クリプトン、キセノンのイオンが挙げられる。

【００２３】

電子源１１（原理的には又イオンも可能である）はエネルギー電子、即ち比較的小さいエネルギー広がり、例えばΔＥ＝６eVを持つ通常数ｋeV（例えばＰＤシステム１０２で５ｋeV）の規定（運動）エネルギーを有するエネルギー電子を放射する。このビーム源１１からの放射イオンは、電気光学集光レンズ系１３によりリソグラフィービーム１ｂの働きをする広範囲の実質的にテレセントリック電子線を生ずる。

【００２４】

次いでリソグラフィービーム１ｂはＰＤ装置２０を照射し、その位置保持に必要な装置と一緒にＰＤシステム１０２を形成する。ＰＤ装置２０は複数の開口部で形成した開口パターン２１を照射するリソグラフィービーム１ｂ路の特定位置に保持する。既に述べたように開口部のあるモノは入射ビームが通れるように“スイッチを入れる”か、又は“開ける”する。他の開口部では“スイッチを切る”か、又は“閉じる”、即ちビームに対して通さない（不透明）である。スイッチが入った開口部パターンは、これら開口部がビーム１ｂを通るＰＤ装置の唯一の部分であるので、基質に暴露したパターンに従って選択し、その結果開口部（即ち図１の装置２０の下）から出るパターン化ビームｐｂになる。ＰＤ装置のアーキテクチャーと操作、特にめくら板のアーキテクチャーの詳細に関しては、読者は米国特許６，７６８、１２５が参照できる。

次いでパターン化ビームｐｂで表されるパターンは、電気光学投影システム１０３により基質４１上に投影し、スイッチが入ったマスク開口部２１の画像を形成する。投影システム１０３により例えば２００ｘの縮小を実施する。基質４１は例えば、フォトレジスト層で覆ったシリコンウエハーである。ウエハー４１は標的ステーション１０４のウエハー段階４０に位置保持される。

【００２５】

図１に示した該発明の実施形態では、投影システム１０３は交差部ｃ１、ｃ２をそれぞれ有する二つの連続した電気光学プロジェクター段階３１、３２からなる。静電描画システムの技術的な具現化は、例えば該出願者の米国特許４，９８５、６３４（＝ＥＰ０３４４６４６）のような先行技術で良く知られている。プロジェクター３１、３２を得るのに用いる電界レンズは、図１に象徴的な形でのみ示す。第一プロジェクター段階３１では装

置２０の開口部面を中間画像ｉ１に描画し、次いで第二プロジェクター段階３２により基質表面に描画する。両段階３１，３２は交差部ｃ１、ｃ２により縮小描画する。従って中間画像ｉ１は逆になるが、基質上に生ずる最終画像ｉ０は直立（逆でない）となる。縮小因子は両段階で約１４ｘであり、全体での縮小は２００ｘとなる。この程度の縮小はＰＤ装置の小型化の問題を向上するために特にリソグラフィー設定に適する。
第一段階３１後、ビーム幅は例えば中間画像で、PD場初期幅L=６０ｍｍから４ｍｍに十分減少する。その結果第二段階３２での電気光学部品の大きさをビーム幅と同じ大きさに減ずる必要がないので、レンズ素子はビームに対して大きくでき、レンズ不良や結像収差の処理が容易になる。例えばビーム源－基質間全距離が約２ｍでは、第二段階交差部ｃ２以後の最終レンズの焦点距離は約２０ｍｍまで小さくできる。これにより空間電荷相関の影響が殆どないので、処理可能な高電流、例えば４乃至１０μA程度が可能になる。

【００２６】

両プロジェクター段階で各レンズ系は色収差と幾何収差に対して十分に補正される。更に第一段階３１の残留色収差は第二段階３２の電極電位の適切な微修正により補正できる。色補正によりビーム源１１から放射されるイオン（又は一般に荷電粒子）エネルギーは、ΔE=６eVまでの比較的高エネルギー広がりが持つことができる。これにより品質に関する必要性がより厳しくないビーム源が使用でき、より高電流を放射できる。

【００２７】

更に主として交差部ｃ1、ｃ2での粒子相互作用による確率誤差は、第一段階の確率誤差が第二段階で縮小するので減少し、第二段階での確率誤差は第二交差部ｃ２の基質面との距離が短いため殆ど影響しない。

【００２８】

画像を横方向、即ち光軸ｃｘに垂直な方向に沿って移動する手段として、変位手段（図示していない）が一つ又は両プロジェクター段階で提供される。この変位変更手段は例えば、米国特許６，７６８，１２５で検討したように多重極電極システムとして得られる。更に磁気コイルを用いて必要とする基質面内でパターン回転を起こしても良い。電気光学レンズは主に静電電極からなるが、磁気レンズも又使用できる。

【００２９】

該発明により薄膜が画像形成位置に近いパターン化ビームｐｂ路に透過ホイルとして配置される。本PML2システムでは二つの画像、即ち中間画像ｉ１と最終画像ｉ０（後者は標的基質表面に形成される）が形成される。その結果この場合該発明によるホイル配置で二つの領域が可能になる。

実施例１：最終画像近くのホイル

図１に示す第一実施形態では、透過薄膜３４はこのホイルが最終画像位近くになるように最終レンズと基質間に配置する。好ましくはこのホイル３４と基質４１間距離は２００－５００μｍ範囲と非常に小さい。このホイルでの一部電子の弾性散乱及び／又は非弾性散乱は避けられず、画像ぼけ（散乱ぼけ）への更なる寄与が起こるが、ホイルと基質間距離が小さいことによる散乱ぼけの寄与は非常に小さい。散乱についての詳細は更に以下で検討する。非弾性散乱電子の運動エネルギーは低下するが、鏡筒末端ではレンズ領域はゼロであり、それ故電子軌道は変化しない（余分な色ぼけはない）。

【００３０】

ホイルと基質間ギャップが$\underline{\Delta}$Ｉ＝２００μｍでは、許容な余分ぼけは約１０ｎｍであり、非弾性散乱角は$\underline{\theta}_i$＝５０マイクロラジアンとなる。弾性散乱電子による余分ぼけを減少するには、そのギャップは遙かに小さい、例えば$\underline{\Delta}$１＝０．５μｍでなければならず、その結果許容の余分ぼけは１０ｎｍで弾性散乱角は$\underline{\theta}_e$＝19．6ミリラジアンとなる。それ故以下に検討するように、弾性散乱電子の強度を減少することが非常に重要になる。

【００３１】

ホイル３４により標的４１に対し筐体１０５が有効に閉鎖され、レジストや標的汚染物の他の起源からの放出ガス産物が装置の電気光学系１０１－１０３に入るのを防ぐ。その

結果全光学鏡筒の汚染が防げる。一方ホイル３４と基質４１間距離が小さいため、ホイルはホイル表面に吸収された放出ガス産物で汚染されやすい。加熱によりホイルをきれいにするために加熱システム１０７が備えられ、汚染物は標的側面に向かって蒸発（脱着）し、そこから排気する（排気システムは図示していない）。しかし加熱システムは標的の反対側のホイル側面に位置する。加熱システムは例えば、赤外（IR）レーザービームを生ずるレーザー７１と筐体内に取りつけた可動鏡７２からなる。鏡７２を用いてレーザービームをホイル３４領域を走査する。レーザービームはホイルの照らされた領域を温め、引き続いてきれいにする。

【００３２】

このホイルは最終静電電極と協力して発散静電レンズとして使用できる。発散静電レンズの使用により描画システム１０３の光学特性を強化する。例えば描画収差ぼけが約１５％減少できる。

【００３３】

ホイル３４はシリコンディスクを厚さ約１００μmにエッチングして作る。シリコン箔やダイヤモンド状炭素からのホイル作成用プロセスは先行技術で周知である。

【００３４】

導電ダイアモンド状炭素（DLC）薄膜合成に適する一方法は、プラズマ化学蒸着（MPCVD）の使用である。薄膜は、例えばアールエル、ミルズ（R.L. Mills）、ジェイ、サンカー（J. Sankar）、ピー、レイ（P. Ray）、エイ、ボイト（Voigt J.）、ジェイ、ヘー（J. He）、ビー、ダンダパニ（B. Dhandapani）、ジャーナルオブマテリアルサイエンス（Journal of Material Science）、（２００４）、３９、３３０９、“固体炭素を用いるHDLC薄膜の合成（Synthesis of HDLC films form solid carbon）”に記載のように、９０－７０％ヘリウムと１０－３０％水素混合物の超低出力（６０W）MPCVD反応により固体炭素からシリコン基質上に合成する。

実施例２：中間画像でのホイル

図２に透過ホイル３５が中間画像i１位置に配置された該発明の第二実施形態を示す。装置２００の下部分のみを示す。以下に記載しない装置２００の構成要素は図１の装置１００のものと同じである。同一参照番号が全体を通して対応構成要素に適応される。

【００３５】

ホイル３５が中間画像i１位置に配置するという事実ゆえに、その初期ビーム路で散乱する電子はそれでもなおゼロ損失ピークに対する最終画像面i０に焦点が合される。１．１ミリラジアンより大きい角度で散乱した電子は増加した球面収差を有し、これら電子はホイル３５後方に配置の遮蔽隔膜３７により適切に遮蔽する。

【００３６】

ホイル３５により装置２００を連続区域に分割する。第一区域S3はビーム源１１、照射システム１０１、PD装置１０２及び中間画像i１までの投影系の一部からなる低圧分離室であり、その圧力ｐ３は例えば10^{-9}ミリバール範囲である。ホイルの高圧側は隔膜３７により更に二つの区域S2、S1（それぞれ圧力ｐ２、ｐ１で）に分割される。ビームｂｐが伝播する隔膜開口が又排気口として働く。この区域は標的４１周りの場所での圧力ｐ０で差動排気される。例えばｐ１は約ｐ０／１０００でｐ２は約ｐ１／１０００。（記号は‘ほぼ等しい‘を意味する。排気配置は図には示していない。）この設定によりホイル下流側（標的に面する）圧力は基質（圧力ｐ０）よりかなり低く、本例では約10^{6}倍だけ低い。本配置により電子の平均自由行路が全光学系で妨害なし通れるように十分に大きいことを保証するように、区域S1のガス圧ｐ１が十分に低い、即ち10^{-2}ミリバール以下程度である必要があるという他の必要条件を満される。その一方基質での圧力ｐ０は数十ミリバール程度、例えば５６ミリバールである。

【００３７】

本実施形態の一つの重要様態は汚染の命題である電流密度と圧力によるホイル汚染の低

減である。中間画像の直径は１．６ｍｍ範囲である。中間画像は基質での画像より１０倍大きく、その電流密度は１００分の１以下である。ホイルの高圧側圧力ｐ２は基質圧力ｐ０の約１０００００００分の１以下である。

【００３８】

ホイル３５と基質間の電気光学鏡筒は区域Ｓ１及び／又はＳ２に配置するヒーター７３で加熱できる。更に上に検討したように可動鏡で反射するレーザービームからなるホイル加熱用加熱システム２０７が提供される。図示の実施形態では加熱システム２０７は区域Ｓ２のホイル３５の後方に位置する。一変形ではホイル３５の前方（第一実施形態の加熱システム１０７のように）位置しても良い。

【００３９】

更にホイルは発散電界レンズとしても用いられ、光学特性を強化する。

膜での散乱

図３に膜Ｆ（図１と図２のホイル３４と３５にそれぞれ対応する）での粒子ビームの詳細を示し、そのビーム粒子の散乱を示す。（図３では光軸ｃｘは水平になるように回転することに注目する必要がある。）散乱は高速電子（又は粒子）が固体を通過する時の異なる物理的相互作用に基づく。図３に示すように一次ビーム１の形で膜Ｆ上に照射された電子は弾性散乱（飛行方向は変化するが運動エネルギーは不変）できるか、又は非弾性散乱（電子はその運動エネルギーをわずか失いホイルは加熱される）できる。両者の影響で一次電子の飛行方向に変化をもたらす。

【００４０】

ホイルが結晶構造を有すると弾性散乱が起こり、ブラッグ反射が基質で生じる。ブラッグ反射は図３ではミラー記号［１００］と［２００］で示す。弾性散乱角θ_eは関係式$\theta_e = \lambda/(2d)$に従い、ここでｄはミラー指数で定義されるホイル格子面間距離であり、λは電子の波長である。角度は別に明確に示さない場合は全てラジアンである。例えばシリコン（格子定数、５．４３ｘ１０$^{-10}$ｍ）を通過する１００ｋｅＶの電子（$\lambda_{100\,keV}$＝３．７ｘ１０$^{-12}$ｍ）のブラッグ反射では、最小弾性散乱角は$\theta_{e,min}$＝３．４ミリラジアンである。

【００４１】

従ってブラッグ反射と直接ビーム間のギャップはホイルと基質間距離の一次関数である。散乱角は数ミリラジアンの範囲である。

【００４２】

非弾性散乱はフォノン刺激（エネルギー損失ΔE＜１ｅＶ）、プラズモン刺激（ΔE＝５－３０ｅＶ）及び内殻準位のイオン化（ΔE～ｋｅＶ）により起る。非弾性散乱角はエネルギー損失と$\theta_i = \Delta E/(2E_{kin})$で関連する。プラズモンは非弾性散乱の最も重要な原因である。プラズモン関連の非弾性散乱では、運動エネルギー１００ｋｅＶを持つ電子のエネルギー損失はおおよそ５０マイクロラジアンの範囲の散乱角を生じる。

【００４３】

通常大部分の電子は弾性散乱される。一次電子の数パーセントだけが非弾性散乱である。これは電子エネルギーが大きい、即ち＞１ｋｅＶでは、非弾性平均自由行路が弾性平均自由行路より一桁大きいという事実の結果である。

【００４４】

シリコン箔を照射した電子の一部（材料と厚さに依存して１／４以下）だけが、基質で所謂ゼロ損失ピークを生ずるように弾性散乱又は非弾性散乱なしで箔を横切ることは良く知られている。他電子（材料と厚さに依存して３／４以上）が弾性か非弾性散乱される。これらの電子はゼロ損失ピーク外側の基質を照射できる。非弾性散乱電子はぼけスポットを生ずるが、弾性散乱電子は基質にブラッグ反射を生ずる。後者プロセスが支配的でありブラッグ角が大きいので、ホイルがビーム路にある場合、電子ビームの効率を向上するためには弾性散乱電子の数を減ずることが非常に重要である。

【００４５】
球面収差の減少を保証するためには大散乱角を有するビームの一部を遮蔽隔膜D（図２の隔膜３７に相当）で遮蔽し、小散乱角を有する電子を画像面の一スポットに焦点を合わす。開口数が増加し、その結果最終交差部で課される空間を減ずる。小角でのみ散乱される（非弾性散乱、耳たぶ状物１ｂ印付き）か、又は非散乱のままである（矢印１u）ビームの主要部は、隔膜Dの開口Aを妨げなしに伝播する。
【００４６】
図２の装置２００ではホイル３５と隔膜３７間距離は約９０ｍｍである。隔膜開口部Aの直径は約２００μｍであり、１．１ミリラジアンの開口角θ_A（図３）を生ずる。（勿論ここに示した値の全ては模範的なものに過ぎず、特定の実装により変わる。）開口角θ_Aより大きい角度で散乱する電子全部が遮蔽され、より小さな散乱角を有する電子全てが再度画像面の一スポットに焦点を合わす。開口数は１００マイクロラジアンに増加する。その結果最終交差部は広がり、次いでクーロン相互作用、確率ぼけ及び空間電荷ぼけが減ずる。
【００４７】
高角度に散乱したビーム部分を遮る以外、ブラッグ反射、特に第一ブラッグ反射[１００]強度を極小化するためにホイル／膜厚さを変え、基質上の電子バックグランドを減少均一化できる他法が適する。その結果ホイル厚さを適切に選択して主要ブラッグスポットが減少できる。更に他法では単結晶でないホイルの原子構造を提供しても良い。結晶方向がランダム配列を有する場合、基質上の電子はブラッグ反射に焦点を合わさない。ゼロ損失ピークを越える電子密度はリングであり、強度は円周に沿って分布する。
【００４８】
一プラズモンにより約１５eVのエネルギー損失を生じ、その結果１０ｎｍの色ぼけを生ずる。大運動エネルギー（１００ｋeV）ではシリコンの非弾性平均自由行路λ_iは約１１０ｎｍである。シリコン薄膜（例えば厚さ２００ｎｍ）では数電子だけが一つより多いプラズモンを励起し（大運動エネルギーを有する電子の非弾性散乱の平均自由行路は約１１０ｎｍであるので）、非弾性散乱電子の殆ど全てが５－１５eV範囲のエネルギー損失を有する。一方弾性散乱が主要プロセスであり、一次電子の数パーセントだけが非弾性散乱する。
中間画像での開口数は４９マイクロラジアンの範囲（ホイルなしで）であり、球面ぼけは５ｎｍの範囲である。非弾性散乱電子の開口数は９８マイクロラジアンに増加し、その結果球面ぼけは１０ｎｍに増加する。しかし電子の５％だけが非弾性散乱し、これら電子はウエハーで余分のバックグランド線量を生ずる。

ホイルの汚染

ホイルの汚染は基本的には二つの起源、標的からのガス放出産物と装置中の残留ガスからの照射誘導汚染で起こる。前者の寄与は既に上で検討した。以下では後者を扱う。照射誘導汚染は照射電流密度と圧力に比例する。例えばTEMは単一集束電子ビームを用いて１０ｎｍの単一スポットを照射し、電流密度は３０A／ｃｍ^{2}の範囲である。PML2装置では数十万のマルチビームを用い、約８μAの鏡筒通過の全電流に加わる。基質での画像サイズは約１６０μｍであり、電流密度は３１mA/ｃｍ^{2}である。この電流密度は単一集束ビームの１０００分の一より小さい。ホイルを鏡筒末端に配置すると（実施例１）、ホイルでの圧力は基質圧力に等しい。それ故PML2装置のホイル寿命は標準的単一集束ビーム設備（例えばTEM）より遙かに長い。

【００４９】
ホイルが中間画像に位置する場合（実施例２）、圧力が非常に低くなる事実のゆえに汚染は更に減少する。

実施例３：二つのホイル

図４に該発明の他実施形態、即ち二つのホイル３４‘、３５’が中間画像と標的前方に含まれる装置３００を示す。従ってホイルの有益な特性を組み合わすことができる。特に中間画像でのホイル３５‘は最終交差部でのクーロン相互作用を減じ、このクーロンを通る全電流は増加する（クーロン相互作用ぼけは主要ぼけである）一方、最終ホイル３４’は区域S1が標的４１の圧力ｐ０と分離した真空ではないのでガス放出に耐え、第二段階３２の光学部品の汚染を防ぐ。

連動センサーと安全弁

図５aと図５ｂに示すように、このホイルは又安全弁と共に安全装置を得るために連結センサーとして用いても良い。この安全装置を用いてホイル破壊を起こす機械的故障又は電気故障の場合に安全弁を素早く始動する。図５aを参考にすると、加熱用レーザーとして用いたようなレーザービームのような照射７７がホイル３５に向けられ、反射光がセンサー７８で検出される。センサーは安全装置回路７８１と連結し、遮蔽隔膜３７のような適当な開口部近くにある機械的安全弁７９を制御する。図５ｂに示すように、ホイルが損傷するか別に弱くなる（例えば熱負荷又は損傷APSからの粒子により）場合、レーザービーム７７は最早センサーに反射されず、安全装置回路を用いて安全弁７９は好ましくは１ミリ秒以内に閉じる。機械シャッターは光学鏡筒からの粒子よるウエハー汚染、又はその逆による汚染を防ぐ安全装置である。又このシャッターはホイルが崩壊した場合PASシステムと電子源の超高圧ｐ３を保護する。

【図面の簡単な説明】

【００５０】

以下に本発明を図面を参照してより詳細に記載する。

【図１】図１は標的の直前に透過ホイルを有する該発明の第一実施形態を示す。

【図２】図２は透過ホイルが中間画像に位置する該発明の第二実施形態を示す。

【図３】図３は粒子ビームのホイルでの散乱を示す。

【図４】図４は二つの透過ホイルを有する更なる実施形態を示す。

【図５】図５はホイルを安全弁と一緒に連動センサーとして用いる原理を示す。

【図１】

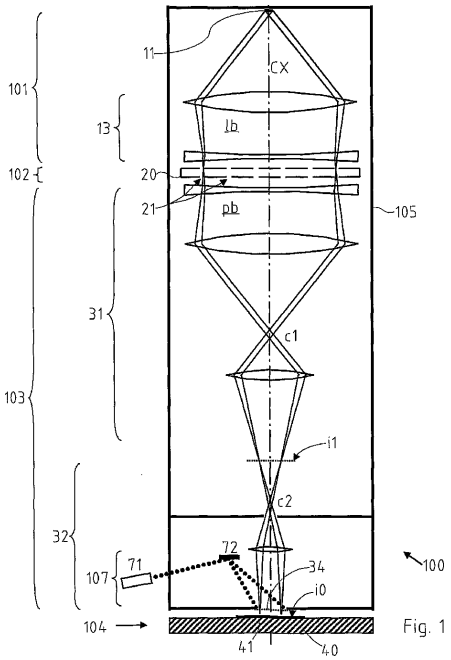


Fig. 1

【図２】

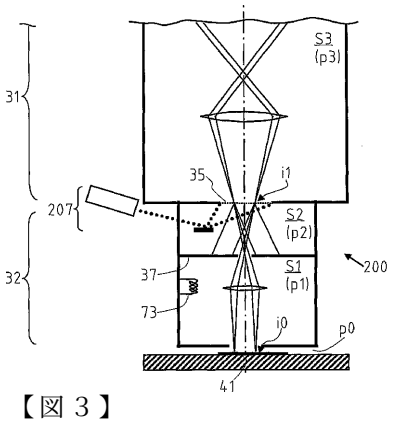


Fig. 2

【図３】

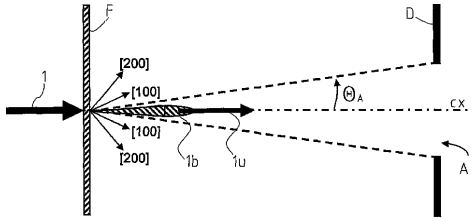


Fig. 3

【図４】

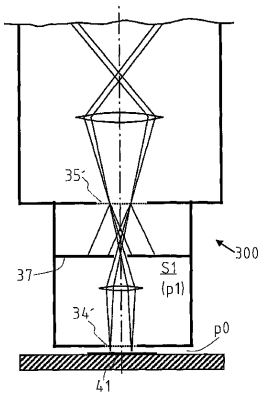


Fig. 4

【図５ａ】

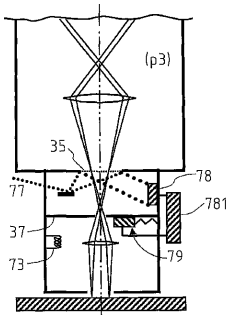


Fig. 5a

【図５ｂ】

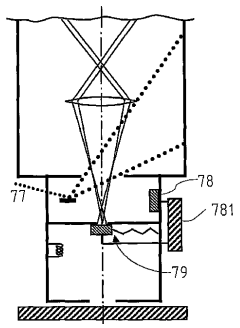


Fig. 5b

フロントページの続き

(51)Int.Cl.			ＦＩ		
Ｈ０１Ｊ	***37/12***	***(2006.01)***	Ｈ０１Ｊ	37/12	
Ｈ０１Ｊ	***37/153***	***(2006.01)***	Ｈ０１Ｊ	37/153	Ｂ

(72)発明者　ステングル，ゲルハルト
オーストリア国　エー－９２４１　ヴェルンベルグ，アウスシッヒツヴェーグ　２０

審査官　新井　重雄

(56)参考文献　特開２００４－０４００７６（ＪＰ，Ａ）
特開平１１－２８８５２９（ＪＰ，Ａ）
特開平１１－３２８７５０（ＪＰ，Ａ）
特開平０６－０２８９９３（ＪＰ，Ａ）
特開平０９－２４５７１６（ＪＰ，Ａ）
実開昭６２－００２１５１（ＪＰ，Ｕ）
特開２００１－２３６９１０（ＪＰ，Ａ）
特開２００３－３４６６９８（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
H01L　21/027
H01J　37/09
H01J　37/12
H01J　37/153
H01J　37/16
H01J　37/18
H01J　37/305