

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2009-500858

(P2009-500858A)

(43) 公表日 平成21年1月8日(2009.1.8)

(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 5 1	5 C 0 3 4
HO 1 J 37/305 (2006.01)	HO 1 J 37/305 B	5 F 0 5 6

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 75 頁)

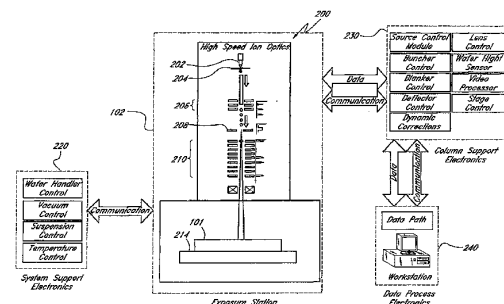
(21) 出願番号 特願2008-520442 (P2008-520442) (86) (22) 出願日 平成18年7月10日 (2006.7.10) (85) 翻訳文提出日 平成20年3月6日 (2008.3.6) (86) 国際出願番号 PCT/US2006/026725 (87) 国際公開番号 W02007/008792 (87) 国際公開日 平成19年1月18日 (2007.1.18) (31) 優先権主張番号 60/697,780 (32) 優先日 平成17年7月8日 (2005.7.8) (33) 優先権主張国 米国 (US)	(71) 出願人 508006414 ネクスジェン・セミ・ホールディング・インコーポレーテッド アメリカ合衆国・カリフォルニア・92677-5993・ラグナ・ニゲル・ゴールデン・ランタン・30251・スイート・E522 (74) 代理人 100064908 弁理士 志賀 正武 (74) 代理人 100089037 弁理士 渡邊 隆 (74) 代理人 100108453 弁理士 村山 靖彦 (74) 代理人 100110364 弁理士 実広 信哉
--	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 制御された粒子ビームを生成するための装置及び方法

(57) 【要約】

ワークピースを荷電粒子に露光するためのチャンバは、荷電粒子流を発生させるための荷電粒子源と、荷電粒子源から或る軸に沿って荷電粒子流をコリメート及び方向決めするように構成されているコリメータと、軸に沿った荷電粒子間の縦方向の間隔を調節することによって少なくとも一つの荷電粒子を含むデジタルビームを生成するように構成されているコリメータの下流のビームデジタルタイザと、荷電粒子の集団を偏向させるために軸に沿って縦方向に配置された一続きの偏向ステージを備えるビームデジタルタイザの下流の偏向器と、ワークピースを保持するように構成されている偏向器の下流のワークピースステージとを備える。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ワークピースを荷電粒子に露光するためのチャンバであり、
荷電粒子流を発生させるための荷電粒子源と、
前記荷電粒子流を前記荷電粒子源から或る軸に沿ってコリメートして方向決めするように構成されたコリメータと、

少なくとも一つの荷電粒子を含む時間的且つ空間的に分解されたデジタルフラッシュを、伝播軸に沿った前記荷電粒子間の縦方向の間隔を調節することによって、生成するように構成された、前記コリメータの下流の、ビームデジタイザと、

前記デジタルフラッシュを偏向させて、該デジタルフラッシュを伝播方向に対して横方向及び縦方向に分布させて、これによって、前記ワークピースの選択された部分を露光するための仮想デジタルステンシルを備えた空間パターンを形成するために、前記軸に沿って縦方向に配置された一続きの偏向電極ステージを備える、前記ビームデジタイザの下流の、偏向器と、

前記デジタルフラッシュまたは前記デジタルフラッシュの一つ以上の集団を縮小し、前記ワークピースの表面上に前記仮想デジタルステンシルを集束させるための、前記偏向器の下流の、対物レンズアセンブリと、

前記ワークピースを保持するように構成された、前記偏向器の下流の、ワークピースステージと、を備えるチャンバ。

【請求項 2】

略 5 から 5 0 0 k e V までの間の電位で加速する前記荷電粒子流を方向決めするように構成された、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 3】

前記荷電粒子はイオンを含む、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 4】

前記イオンは正に帯電している、請求項 3 に記載のチャンバ。

【請求項 5】

前記イオンは負に帯電している、請求項 3 に記載のチャンバ。

【請求項 6】

前記イオンは一価である、請求項 3 に記載のチャンバ。

【請求項 7】

前記イオンは二価である、請求項 3 に記載のチャンバ。

【請求項 8】

前記荷電粒子は電子を含む、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 9】

前記荷電粒子は陽子を含む、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 10】

前記荷電粒子源は液体金属イオン源 (L M I S) を備える、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 11】

前記荷電粒子源はプラズマイオン源 (P I S) を備える、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 12】

前記荷電粒子源はボリウムプラズマイオン源 (V P I S) を備える、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 13】

前記荷電粒子源は気体電界イオン化源 (G F I S) を備える、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 14】

前記荷電粒子源はカーボンナノチューブ電界エミッタを備える、請求項 1 に記載のチャンバ。

10

20

30

40

50

【請求項 15】

前記荷電粒子源は自由電子レーザを備える、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 16】

前記荷電粒子源はパルスアブレーションイオン源を備える、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 17】

前記荷電粒子源は磁気閉じ込めプラズマアノード源 (MAP) を備える、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 18】

前記荷電粒子源は、熱電界放出電子源 (TFE) を備える、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 19】

前記荷電粒子源が複数の荷電粒子種を発生させるように構成されている、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 20】

前記荷電粒子源が、略 5 から 30 keV までの間の加速電位で前記荷電粒子流を引き出すように構成されている、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 21】

前記荷電粒子源が、前記ワークピースにおいて測定される 10 nm のスポットサイズに対して、 $1 \times 10^{-5} \text{ A/cm}^2$ の電流を提供するように構成されている、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 22】

前記コリメータがレンズを備える、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 23】

前記コリメータが反射光学素子を備える、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 24】

前記コリメータがレンズ及び反射光学素子を備える、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 25】

前記コリメータが二つの反射光学素子を備える、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 26】

前記コリメータが多重レンズを備える、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 27】

前記コリメータが前記荷電粒子流をコリメートするように構成されている、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 28】

前記コリメータが、1 μm 未満の半値全幅の直径のスポットサイズを有するガウス型ビームに、前記荷電粒子流を縮小するように構成されている、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 29】

前記コリメータが、100 nm 未満の半値全幅の直径のスポットサイズを有するガウス型ビームに、前記荷電粒子流を縮小するように構成されている、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 30】

前記コリメータが、10 nm 未満の半値全幅の直径のスポットサイズを有するガウス型ビームに、前記荷電粒子流を縮小するように構成されている、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 31】

質量分離器開口プレートを含む質量分離器を更に備え、

前記質量分離器が、前記コリメータと前記ビームデジタイザとの間に配置され、選択された荷電粒子種を前記質量分離器開口プレート内に偏向させるように構成されている、請求項 1 に記載のチャンバ。

- 【請求項 3 2】
質量分離器が反射光学素子を備える、請求項 2 7 に記載のチャンバ。
- 【請求項 3 3】
質量分離器が E × B レンズを備える、請求項 2 7 に記載のチャンバ。
- 【請求項 3 4】
質量分離器がウィーンフィルタを備える、請求項 2 7 に記載のチャンバ。
- 【請求項 3 5】
前記ビームデジタイザが前記コリメータと前記偏向器との間に配置されている、請求項 1 に記載のチャンバ。
- 【請求項 3 6】
前記ビームデジタイザがビームブランカーと前記偏向器との間に配置されていて、該ビームブランカーが前記荷電粒子流をブランキング及び / 又は圧縮するように構成されている、請求項 1 に記載のチャンバ。 10
- 【請求項 3 7】
前記ビームデジタイザがビームバンチャーを備える、請求項 1 に記載のチャンバ。
- 【請求項 3 8】
前記ビームバンチャーが、略 1 M H z から 1 0 0 G H z までの周波数を有する電磁放射を与える、請求項 3 7 に記載のチャンバ。
- 【請求項 3 9】
前記ビームバンチャーが、略 1 M H z と 2 5 G H z との間の二つ以上の共鳴周波数を有する電磁放射を与える、請求項 3 7 に記載のチャンバ。 20
- 【請求項 4 0】
前記ビームバンチャーが、振幅を変更するように構成された電磁放射を与える、請求項 3 7 に記載のチャンバ。
- 【請求項 4 1】
前記ビームバンチャーが、周波数を変更するように構成された電磁放射を与える、請求項 3 7 に記載のチャンバ。
- 【請求項 4 2】
前記ビームバンチャーが、無線周波数 (R F) の電圧で変更されるように構成された一続きの電極を備える、請求項 3 7 に記載のチャンバ。 30
- 【請求項 4 3】
前記ビームバンチャーが前記荷電粒子流の平均速度に適合する方法で電磁放射を与える、請求項 3 7 に記載のチャンバ。
- 【請求項 4 4】
前記ビームデジタイザが、前記荷電粒子流をブランキングするように構成されたブランカーを備える、請求項 1 に記載のチャンバ。
- 【請求項 4 5】
前記ビームデジタイザが、前記荷電粒子源のオン / オフ状態を変更して、前記荷電粒子流をブランキングするように構成されている、請求項 1 に記載のチャンバ。
- 【請求項 4 6】
前記ビームデジタイザが、前記荷電粒子源のオン / オフ状態を変更して、前記荷電粒子流をブランキングするように構成されている、請求項 1 に記載のチャンバ。 40
- 【請求項 4 7】
前記ビームデジタイザが、前記荷電粒子流をブランキングするように構成された電磁放射を加えるように構成されている、請求項 1 に記載のチャンバ。
- 【請求項 4 8】
前記ビームデジタイザが、前記荷電粒子流ブランキングするように構成されたプラズマビート波モジュレータを備える、請求項 1 に記載のチャンバ。
- 【請求項 4 9】
前記ビームデジタイザが、前記荷電粒子流をブランキングするように構成された空間電 50

荷航跡場モジュレータを備える、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 5 0】

前記ビームデジタイザが、前記荷電粒子流をブランキングするように構成された共鳴吸収空間電荷航跡場モジュレータを備える、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 5 1】

前記ビームデジタイザが、前記荷電粒子流をブランキングするように構成された一般化位相コントラストモジュレータを備える、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 5 2】

前記ビームデジタイザが、前記荷電粒子流をブランキングするように構成されたパルス入射中和ビームモジュレータを備える、請求項 1 に記載のチャンバ。

10

【請求項 5 3】

前記ビームデジタイザが、前記荷電粒子流をブランキングするように構成されたパルスレーザビームモジュレータを備える、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 5 4】

前記ビームバンチャーが、無線周波数の電圧で調節されるように構成された螺旋コイルを備える、請求項 3 7 に記載のチャンバ。

【請求項 5 5】

前記ビームバンチャーが、前記荷電粒子の相対的な速度を変更して、圧縮集団を形成するように構成されていて、該集団が、デジタルビームを形成する前記時間的且つ空間的に分解されたデジタルフラッシュを形成する、請求項 3 7 に記載のチャンバ。

20

【請求項 5 6】

前記ビームバンチャーが、デジタルビームを形成する前記時間的且つ空間的に分解されたデジタルフラッシュへと前記荷電粒子を縦方向に圧縮または収束させるための電場を印加するように構成されている、請求項 3 7 に記載のチャンバ。

【請求項 5 7】

前記ビームデジタイザが、前記デジタルフラッシュ毎に略 1 個から 7 0 0 0 0 0 0 個までの間の荷電粒子を備えたデジタルビームを生成するように構成されている、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 5 8】

前記ビームデジタイザが、前記デジタルフラッシュ毎に略 1 個から 1 0 0 0 0 0 0 個までの間の荷電粒子を備えたデジタルビームを生成するように構成されている、請求項 1 に記載のチャンバ。

30

【請求項 5 9】

前記ビームデジタイザが、前記デジタルフラッシュ毎に略 1 個から 1 0 0 0 0 個までの間の荷電粒子を備えたデジタルビームを生成するように構成されている、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 6 0】

前記ビームデジタイザが、前記デジタルフラッシュ毎に略 1 個から 5 0 0 0 個までの間の荷電粒子を備えたデジタルビームを生成するように構成されている、請求項 1 に記載のチャンバ。

40

【請求項 6 1】

デジタルビームの平均速度が略 1×10^4 メートル / 秒から 3×10^8 メートル / 秒までの間である、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 6 2】

前記ビームデジタイザが、デジタルビームの進行の略 1 nm から 9 . 9 9 メートルまでの間のデジタルビームの近接する前記デジタルフラッシュ間の周期を生成するように構成されている、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 6 3】

前記ビームデジタイザが、デジタルビームの進行の略 1 nm から 1 メートルまでの間のデジタルビームの近接する前記デジタルフラッシュ間の周期を生成するように構成されて

50

いる、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 6 4】

前記ビームデジタイザが、デジタルビームの進行の略 1 n m から 1 0 c m までの間のデジタルビームの近接する前記デジタルフラッシュ間の周期を生成するように構成されている、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 6 5】

前記ビームデジタイザが、デジタルビームの進行の略 1 n m から 1 c m までの間のデジタルビームの近接する前記デジタルフラッシュ間の周期を生成するように構成されている、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 6 6】

前記ビームデジタイザが、デジタルビームの進行の略 1 n m から 1 0 0 μ m までの間のデジタルビームの近接する前記デジタルフラッシュ間の周期を生成するように構成されている、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 6 7】

前記ビームデジタイザが、デジタルビームの進行の略 1 n m から 1 0 μ m までの間のデジタルビームの近接する前記デジタルフラッシュ間の周期を生成するように構成されている、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 6 8】

前記ビームデジタイザが、デジタルビームの進行の略 1 n m から 1 0 0 μ m までの間のデジタルビームの近接する前記デジタルフラッシュ間の周期を生成するように構成されている、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 6 9】

前記ビームデジタイザが、デジタルビームの近接する前記デジタルフラッシュ間のビームの進行の 1 n m から 1 0 メートルまでの間の間隔を生成するように構成されている、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 7 0】

前記ビームデジタイザが、デジタルビームの近接する前記デジタルフラッシュ間のビームの進行の略 1 0 メートル未満の間隔を生成するように構成されている、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 7 1】

前記ビームデジタイザが、デジタルビームの近接する前記デジタルフラッシュ間のビームの進行の略 1 メートル未満の間隔を生成するように構成されている、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 7 2】

前記ビームデジタイザが、デジタルビームの近接する前記デジタルフラッシュ間のビームの進行の略 1 c m 未満の間隔を生成するように構成されている、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 7 3】

前記ビームデジタイザが、デジタルビームの近接する前記デジタルフラッシュ間のビームの進行の略 1 m m 未満の間隔を生成するように構成されている、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 7 4】

前記ビームデジタイザが、デジタルビームの近接する前記デジタルフラッシュ間のビームの進行の略 1 0 0 n m 未満の間隔を生成するように構成されている、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 7 5】

前記ビームデジタイザが、デジタルビームの近接する前記デジタルフラッシュ間のビームの進行の略 1 0 n m 未満の間隔を生成するように構成されている、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 7 6】

10

20

30

40

50

前記ビームデジタイザが、デジタルビームの近接する前記デジタルフラッシュ間のビームの進行の略 1 nm 未満の間隔を生成するように構成されている、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 77】

前記ビームデジタイザが、略 2 nm から 12 mm までの間の前記デジタルフラッシュ間の間隔を生成するように構成されている、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 78】

前記ビームデジタイザが、前記デジタルフラッシュ間の可変間隔を生成するように構成されている、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 79】

近接する前記デジタルフラッシュ間の間隔が実質的に等しい、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 80】

近接する前記デジタルフラッシュ間の間隔が調波的である、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 81】

近接する前記デジタルフラッシュ間の間隔がランダムである、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 82】

複数の前記デジタルフラッシュが、前記伝播軸に対して縦方向の荷電粒子圧縮波から成るデジタルビームを形成する、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 83】

前記デジタルフラッシュが、前記ワークピースステージにおいて三次元のガウス型の幾何学的形状を有する、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 84】

前記デジタルフラッシュが、前記軸に沿って台形の断面を有する、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 85】

前記デジタルフラッシュが、三次元的であり、矩形、三角形、円形または正方形の幾何学的断面を有する、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 86】

前記デジタルフラッシュの電流密度が調節可能である、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 87】

前記デジタルフラッシュの周期が調節可能である、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 88】

前記デジタルフラッシュ間の間隔が調節可能である、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 89】

前記デジタルフラッシュのアドレス配置が調節可能である、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 90】

前記デジタルフラッシュのそれぞれのエネルギーが調節可能である、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 91】

前記デジタルフラッシュのそれぞれのサイズが調節可能である、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 92】

前記偏向器が、デジタルビームの伝播の光軸に沿ったコリメートされた偏向電極のレイから成る、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 93】

前記偏向器が、前記軸に対して実質的に垂直なデジタルビームの前記デジタルフラッシ

10

20

30

40

50

ユを偏向させるように構成されている、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 9 4】

前記偏向電極ステージのそれぞれが一つ以上の電極を備える、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 9 5】

前記偏向電極ステージのそれぞれが二つ以上の電極を備える、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 9 6】

前記偏向電極ステージのそれぞれが三つ以上の電極を備える、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 9 7】

前記偏向電極ステージのそれぞれが四つ以上の電極を備える、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 9 8】

前記偏向電極ステージの縦方向の位置が調節可能である、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 9 9】

前記偏向器が、前記デジタルフラッシュのそれぞれ、または、デジタルビームの前記デジタルフラッシュの集団を、三次元時空間に配置するように構成されている、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 10 0】

前記偏向電極ステージが、デジタルビームの前記デジタルフラッシュの偏向を同調させて、前記デジタルフラッシュのそれぞれ、デジタルビームの前記デジタルフラッシュの集団、または調節可能な前記仮想デジタルステンシルの分布パターンを生成するように、構成させている、請求項 9 2 に記載のチャンバ。

【請求項 10 1】

前記偏向電極ステージのそれぞれの電位が、デジタルビームの平均速度に同調されるように構成されている、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 10 2】

前記偏向電極ステージのそれぞれの電位が、デジタルビームの速度に調波的に同調されるように構成させている、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 10 3】

一つおきの前記偏向電極ステージが、前記デジタルフラッシュのそれぞれ、またはデジタルビームの前記デジタルフラッシュの集団を、意図した軌跡に向けて移動させるように構成されている、請求項 9 2 に記載のチャンバ。

【請求項 10 4】

三回毎の前記偏向電極ステージが、前記デジタルフラッシュのそれぞれ、またはデジタルビームの前記デジタルフラッシュの集団を、意図した軌跡に向けて移動させるように構成されている、請求項 9 2 に記載のチャンバ。

【請求項 10 5】

前記偏向器が N セットの前記偏向電極ステージを備え、N 番目毎の前記偏向電極ステージが、デジタルビームの前記デジタルフラッシュの集団、または前記デジタルフラッシュのそれぞれのセットの一つを、意図した軌跡に向けて移動させるように構成されている、請求項 9 2 に記載のチャンバ。

【請求項 10 6】

前記偏向電極ステージのそれぞれの電位が、前記デジタルフラッシュのそれぞれ、またはデジタルビームの前記デジタルフラッシュの集団の速度にランダムに同調されるように構成されている、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 10 7】

前記偏向電極ステージのそれぞれの電位が、前記デジタルフラッシュのそれぞれ、またはデジタルビームの前記デジタルフラッシュの集団を、意図した軌跡に向けて部分的に移

10

20

30

40

50

動させるように構成されている、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 1 0 8】

前記偏向電極ステージの一つの電位が、前記デジタルフラッシュのそれぞれ、またはデジタルビームの前記デジタルフラッシュの集団を、意図した軌跡に向けて実質的に完全に移動させるように構成されている、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 1 0 9】

複数の前記偏向電極ステージの電位が、前記デジタルフラッシュのそれぞれ、またはデジタルビームの前記デジタルフラッシュの集団を、意図した軌跡に向けて実質的に完全に移動させるように構成されている、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 1 1 0】

前記軸に対して縦方向のデジタルビームの近接する前記デジタルフラッシュの位相が実質的に等しいように構成されていて、前記偏向電極ステージ間の間隔が前記位相と同調されるように構成されている、請求項 9 2 に記載のチャンバ。

【請求項 1 1 1】

前記軸に対して縦方向のデジタルビームの近接する前記デジタルフラッシュの位相が単調波であるように構成されていて、前記偏向電極ステージ間の間隔が前記位相と同調されるように構成されている、請求項 9 2 に記載のチャンバ。

【請求項 1 1 2】

前記軸に対して縦方向のデジタルビームの近接する前記デジタルフラッシュの位相が多重調波であるように構成されていて、前記偏向電極ステージ間の間隔が前記位相と同調されるように構成されている、請求項 9 2 に記載のチャンバ。

【請求項 1 1 3】

前記軸に対して縦方向のデジタルビームの近接する前記デジタルフラッシュの位相がランダムであるように構成されていて、前記偏向電極ステージ間の間隔が前記位相と同調されるように構成されている、請求項 9 2 に記載のチャンバ。

【請求項 1 1 4】

前記偏向電極ステージがデジタルフィードバックシステムを更に備える、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 1 1 5】

前記偏向電極ステージのフィールドの周囲が、マイナー偏向フィールドとして定義され、可変のデジタルビームのエネルギーにサイズが依存する、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 1 1 6】

前記偏向電極ステージのフィールドの周囲が、マイナー偏向フィールドとして定義され、光軸の中心から x または y 方向の 4 mm 未満の位置ずれである、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 1 1 7】

前記偏向電極ステージのフィールドの周囲が、マイナー偏向フィールドとして定義され、光軸の中心から x または y 方向の 2 mm 未満の位置ずれである、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 1 1 8】

前記偏向電極ステージのフィールドの周囲が、マイナー偏向フィールドとして定義され、光軸の中心から x または y 方向の 1 mm 未満の位置ずれである、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 1 1 9】

前記偏向電極ステージのフィールドの周囲が、マイナー偏向フィールドとして定義され、光軸の中心から x または y 方向の 100 μ m 未満の位置ずれである、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 1 2 0】

前記偏向器と前記ワークピースステージとの間に配置された対物レンズアセンブリを更に備える、請求項 1 に記載のチャンバ。

10

20

30

40

50

【請求項 1 2 1】

前記対物レンズアセンブリが、前記デジタルフラッシュのそれぞれ、またはデジタルビームの前記デジタルフラッシュの集団または、調節可能な前記仮想デジタルステンシルを前記ワークピースの表面上へと、縮小、集束及び偏向させるように構成されている、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 1 2 2】

前記対物レンズアセンブリが電磁レンズを更に備える、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 1 2 3】

前記対物レンズアセンブリが多重偏向プレートを備える、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 1 2 4】

前記対物レンズアセンブリが反射光学素子を備える、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 1 2 5】

前記対物レンズアセンブリが反射光学素子と屈折レンズとの組み合わせを備える、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 1 2 6】

前記対物レンズアセンブリが反射光学素子と偏向電極との組み合わせを備える、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 1 2 7】

前記対物レンズアセンブリが偏向電極と屈折レンズとの組み合わせを備える、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 1 2 8】

前記対物レンズアセンブリが一つ以上の偏向電極ステージを備える、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 1 2 9】

前記対物レンズアセンブリの偏向電極ステージのそれぞれが、少なくとも一つの電極を備える、請求項 1 2 8 に記載のチャンバ。

【請求項 1 3 0】

前記対物レンズアセンブリが、単一の前記デジタルフラッシュ、またはデジタルビームの前記デジタルフラッシュの集団を、 $1/1000$ よりも小さく縮小及び集束させるように構成されている、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 1 3 1】

前記対物レンズアセンブリが、単一の前記デジタルフラッシュ、またはデジタルビームの前記デジタルフラッシュの集団を、 $1/100$ よりも小さく縮小及び集束させるように構成されている、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 1 3 2】

前記対物レンズアセンブリが、単一の前記デジタルフラッシュ、またはデジタルビームの前記デジタルフラッシュの集団を、 $1/10$ よりも小さく縮小及び集束させるように構成されている、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 1 3 3】

前記対物レンズアセンブリの偏向のフィールドの周囲がメジャー偏向フィールドとして定義されて、可変のデジタルビームのエネルギーにサイズが依存する、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 1 3 4】

前記対物レンズアセンブリの偏向のフィールドの周囲がメジャー偏向フィールドとして定義されて、光軸の中心から x または y 方向の 10 mm 未満の位置ずれである、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 1 3 5】

前記対物レンズアセンブリの偏向のフィールドの周囲がメジャー偏向フィールドとして定義されて、光軸の中心から x または y 方向の 4 mm 未満の位置ずれである、請求項 1 に記載のチャンバ。

10

20

30

40

50

【請求項 136】

前記対物レンズアセンブリの偏向のフィールドの周囲がメジャー偏向フィールドとして定義されて、光軸の中心から x または y 方向の 2 mm 未満の位置ずれである、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 137】

前記対物レンズアセンブリの偏向のフィールドの周囲がメジャー偏向フィールドとして定義されて、光軸の中心から x または y 方向の 1 mm 未満の位置ずれである、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 138】

前記対物レンズアセンブリの偏向のフィールドの周囲がメジャー偏向フィールドとして定義されて、光軸の中心から x または y 方向の 100 μ m 未満の位置ずれである、請求項 1 に記載のチャンバ。

10

【請求項 139】

前記ワークピースステージが、X、Y 及び Z 軸の次元に対して連続的に移動するように構成されている、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 140】

前記ワークピースステージが、デジタルビームの光軸に対して垂直な方向のそれぞれにおいて、600 mm までの寸法にわたって連続的に移動するように構成されている、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 141】

前記ワークピースステージが、デジタルビームの光軸に沿って 60 mm までの寸法にわたって連続的に移動するように構成されている、請求項 1 に記載のチャンバ。

20

【請求項 142】

前記ワークピースステージがリニアドライブワークピースステージを備える、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 143】

前記ワークピースステージが空気ベアリングワークピースステージを備える、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 144】

前記ワークピースステージが干渉計を備え、該干渉計が水平面内における前記ワークピースステージの位置を決定するように構成されている、請求項 1 に記載のチャンバ。

30

【請求項 145】

前記ワークピースステージが干渉計を備え、該干渉計が、水平面及び垂直軸内における前記ワークピースステージの位置を決定するように構成されている、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 146】

前記ワークピースステージの x、y 及び z 方向の位置、ヨー、ピッチ、及びロールを測定及び調節するように構成されたワークピースステージ制御システムを更に備える、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 147】

前記ワークピースステージ制御システムが、前記ワークピースステージの動きを制限するように構成されている、請求項 146 に記載のワークピースステージ制御システム。

40

【請求項 148】

前記ワークピースステージ制御システムが、前記ワークピースステージの速度を制限するように構成されている、請求項 146 に記載のワークピースステージ制御システム。

【請求項 149】

前記ワークピースステージ制御システムが、前記ワークピースステージの位置を制限するように構成されている、請求項 146 に記載のワークピースステージ制御システム。

【請求項 150】

前記ワークピースステージ制御システムが、前記ワークピースステージの離脱力を制限

50

するように構成されている、請求項 1 4 6 に記載のワークピースステージ制御システム。

【請求項 1 5 1】

前記ワークピースステージ制御システムが、前記ワークピースステージの高さを制限するように構成されている、請求項 1 4 6 に記載のワークピースステージ制御システム。

【請求項 1 5 2】

前記ワークピースステージ制御システムが、前記ワークピースステージのドラッグを制限するように構成されている、請求項 1 4 6 に記載のワークピースステージ制御システム。

【請求項 1 5 3】

前記ワークピースステージが、露光中に連続的に移動するために、フルモーション書き込み (FMW) を実行するように構成されている、請求項 1 に記載のチャンバ。

10

【請求項 1 5 4】

前記ワークピースステージが、0.5 秒の露光中に 5 ナノ秒よりも長く停止することなく移動するように構成されている、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 1 5 5】

前記ワークピースステージが、前記デジタルフラッシュのそれぞれ、デジタルビームの前記デジタルフラッシュの集団、または適応可能な前記仮想デジタルステンシルの水平方向の位置を補償するように構成されている、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 1 5 6】

前記ワークピースステージが、露光中に 40000 rpm までの回転数で前記ワークピースを回転させるように構成されている、請求項 1 に記載のチャンバ。

20

【請求項 1 5 7】

前記ワークピースステージが、前記ワークピースを静電クランピングするように構成されている、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 1 5 8】

前記ワークピースステージが熱制御補正用に構成されている、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 1 5 9】

ワークピース位置合わせシステムを更に備える、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 1 6 0】

デジタルビームの飛行時間を検出するように構成された検出システムを更に備える、請求項 1 に記載のチャンバ。

30

【請求項 1 6 1】

登録センサを更に備える、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 1 6 2】

前記登録センサが、前記ワークピースステージまたは前記ワークピース上の登録マークから入射する放出を検出するように構成されている、請求項 1 6 1 に記載のチャンバ。

【請求項 1 6 3】

前記放出が電子を含む、請求項 1 6 2 に記載のチャンバ。

【請求項 1 6 4】

前記放出が二次イオンを含む、請求項 1 6 2 に記載のチャンバ。

40

【請求項 1 6 5】

前記登録センサが、前記ワークピース上の複数の登録マークから放出を検出するように構成されている、請求項 1 6 1 に記載のチャンバ。

【請求項 1 6 6】

前記登録センサが、多重登録センサからの異なる信号を検出及び処理するように構成されている、請求項 1 6 1 に記載のチャンバ。

【請求項 1 6 7】

前記登録センサが前記ワークピースにわたる放出をグローバルに検出するように構成されている、請求項 1 6 1 に記載のチャンバ。

50

【請求項 168】

前記登録センサが前記ワークピースの一部にわたる放出を局所的に検出するように構成されている、請求項 161 に記載のチャンバ。

【請求項 169】

前記登録センサが前記ワークピースの背面からの放出を検出するように構成されている、請求項 161 に記載のチャンバ。

【請求項 170】

前記登録センサが前記ワークピースのエッジからの放出を検出するように構成されている、請求項 161 に記載のチャンバ。

【請求項 171】

前記ワークピース上の登録マークがモアレパターンを含む、請求項 161 に記載のチャンバ。

【請求項 172】

前記ワークピースステージの高さを測定するように構成された高さ制御システムを更に備える、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 173】

前記高さ制御システムがレーザ及び検出器を備え、該検出器が該レーザから放出され前記ワークピースによって反射された光を受光するように構成されている、請求項 172 に記載のチャンバ。

【請求項 174】

前記高さ制御システムがレーザ及び複数の検出器を備え、該複数の検出器が該レーザから放出され前記ワークピースによって反射された光を受光するように構成されている、請求項 172 に記載のチャンバ。

【請求項 175】

前記高さ制御システムが、前記ワークピースステージの上昇を調節することによって前記ワークピースステージの測定された高さの変化を補償するように構成されている、請求項 172 に記載のチャンバ。

【請求項 176】

前記高さ制御システムが、1 マイクロメートル未満の高さの変化を補償するように構成されている、請求項 175 に記載のチャンバ。

【請求項 177】

前記高さ制御システムが静電クランプ及び圧電素子を備える、請求項 175 に記載のチャンバ。

【請求項 178】

前記ワークピースが半導体ウェーハを含む、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 179】

前記ワークピースが半導体装置を含む、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 180】

前記ワークピースがフォトマスクを含む、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 181】

前記ワークピースがデジタルメディアディスクを含む、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 182】

ロードロックチャンバと、
請求項 1 に記載のチャンバと、
堆積チャンバ、エッチングチャンバ、熱調節チャンバから選択された処理チャンバと、
を備える、ワークピース処理装置。

【請求項 183】

前記処理チャンバが堆積チャンバ、エッチングチャンバ、急速熱アニールチャンバから選択されている、請求項 182 に記載の装置。

【請求項 184】

10

20

30

40

50

複数の処理チャンバを備える、請求項 182 に記載の装置。

【請求項 185】

ワークピースステージ制御システムを更に備える、請求項 182 に記載の装置。

【請求項 186】

検出される位置及びパターン精度の情報に基づいて、前記デジタルフラッシュを調節するように構成されたフィードバックシステムを更に備える、請求項 182 に記載の装置。

【請求項 187】

前記フィードバックシステムが、コマ収差、デジタルビームの非点収差、デジタルビームの歪曲収差、色収差、球面収差、像面歪曲の少なくとも一つを補正するように構成されている、請求項 186 に記載の装置。

【請求項 188】

集積パターンデータ及びビーム偏向補正システムを更に備える、請求項 182 に記載の装置。

【請求項 189】

書き込まれるパターンを受信し、デジタルビームを発生及び偏向させるために使用可能なフォーマットを生成するように構成されたパターンデータ転送システムを更に備える、請求項 182 に記載の装置。

【請求項 190】

書き込まれるパターンを第一フォーマットから第二フォーマットへと変換し、露光及び書き込み方法操作のデータを操作し、デジタルビームを発生及び偏向させるために使用可能な第三フォーマットを生成するように構成されたパターンデータ転送システムを更に備える、請求項 182 に記載の装置。

【請求項 191】

パターン作成ソフトウェア、パターン書き込みソフトウェア、自動処理ソフトウェア、パターン校正ソフトウェア、パターン登録ソフトウェア、自動位置合わせソフトウェア、自動処理進行ソフトウェア、自動計測ソフトウェアの少なくとも一つを含むソフトウェアを更に備える、請求項 182 に記載の装置。

【請求項 192】

前記装置内で前記ワークピースを移動させるように構成された輸送モジュールを更に備える、請求項 182 に記載の装置。

【請求項 193】

ワークピースプレアライナを更に備える、請求項 182 に記載の装置。

【請求項 194】

前記ワークピースプレアライナが、ワークピースの位置合わせ特徴部のオーバーレイパラメータを決定するように構成されている、請求項 193 に記載の装置。

【請求項 195】

前記オーバーレイパラメータが x 及び y 方向のオフセットを含む、請求項 194 に記載の装置。

【請求項 196】

前記オーバーレイパラメータが回転を含む、請求項 194 に記載の装置。

【請求項 197】

粒子検出器を更に備える、請求項 182 に記載の装置。

【請求項 198】

温度消光ステーションを更に備える、請求項 182 に記載の装置。

【請求項 199】

前記ワークピースをインデックス付けし識別するためのシステムを更に備える、請求項 182 に記載の装置。

【請求項 200】

計測ステーションを更に備える、請求項 182 に記載の装置。

【請求項 201】

10

20

30

40

50

前記計測ステーションが二次イオン質量分析器（SIMS）を備える、請求項200に記載の装置。

【請求項202】

前記計測ステーションが走査型電子顕微鏡（SEM）を備える、請求項200に記載の装置。

【請求項203】

前記計測ステーションが二次元レーザ走査型イメージング素子を備える、請求項200に記載の装置。

【請求項204】

前記計測ステーションが三次元イメージングレーザレーダ（LADAR）を備える、請求項200に記載の装置。

【請求項205】

前記計測ステーションが熱イメージング素子を備える、請求項200に記載の装置。

【請求項206】

前記計測ステーションがミリメートル波イメージング素子を備える、請求項200に記載の装置。

【請求項207】

前記計測ステーションがワークピースイメージング素子を備える、請求項200に記載の装置。

【請求項208】

前記計測ステーションがカメラを備える、請求項200に記載の装置。

【請求項209】

前記計測ステーションがエネルギー分散分析器（EDS）を備える、請求項200に記載の装置。

【請求項210】

前記計測ステーションが波長分散分析器（WDS）を備える、請求項200に記載の装置。

【請求項211】

前記処理チャンバが、自動制御ハードウェア及びソフトウェアを含む温度制御システムを備える、請求項182に記載の装置。

【請求項212】

前記処理チャンバが、自動制御ハードウェア及びソフトウェアを含む圧力制御システムを備える、請求項182に記載の装置。

【請求項213】

前記圧力制御システムが、前記処理チャンバ内のガス種の分圧を制御するように構成されている、請求項212に記載の装置。

【請求項214】

前記ロードロックチャンバがFOUPに対応するように構成されている、請求項182に記載の装置。

【請求項215】

前記ロードロックチャンバが複数のワークピースを取り扱うように構成されている、請求項182に記載の装置。

【請求項216】

前記チャンバが振動絶縁システム上に固定されている、請求項182に記載の装置。

【請求項217】

前記振動絶縁システムはアクティブダンピングを含む、請求項216に記載の装置。

【請求項218】

前記振動絶縁システムはパッシブダンピングを含む、請求項216に記載の装置。

【請求項219】

前記振動絶縁システムはアクティブダンピング及びパッシブダンピングを含む、請求項

10

20

30

40

50

2 1 6 に記載の装置。

【請求項 2 2 0】

前記ワークピースが、該ワークピースが前記装置から取り外されることなく、初期状態から実質的な完成状態へと処理される、請求項 1 8 2 に記載の装置。

【請求項 2 2 1】

前記初期状態が生の基板を含む、請求項 2 2 0 に記載の装置。

【請求項 2 2 2】

前記初期状態が、堆積させた酸化層を有する基板を含む、請求項 2 2 0 に記載の装置。

【請求項 2 2 3】

前記初期状態が、表面上のレジスト物質を有する基板を含む、請求項 2 2 0 に記載の装置。 10

【請求項 2 2 4】

前記初期状態が、表面上のレジスト物質と、堆積させた酸化層の組み合わせを有する基板を含む、請求項 2 2 0 に記載の装置。

【請求項 2 2 5】

前記初期状態が、前記ワークピースの表面に相互作用的なコーティングが施された基板を含む、請求項 2 2 0 に記載の装置。

【請求項 2 2 6】

前記初期状態が、前記ワークピースの表面に非相互作用的なコーティングが施された基板を含む、請求項 2 2 0 に記載の装置。 20

【請求項 2 2 7】

前記実質的な完成状態が一つ以上のプロセス層を含む、請求項 2 2 0 に記載の装置。

【請求項 2 2 8】

前記実質的な完成状態が一つ以上の臨界層を含む、請求項 2 2 0 に記載の装置。

【請求項 2 2 9】

前記実質的な完成状態が、デジタルビームへの基板ウェーハの部分的な露光を含む、請求項 2 2 0 に記載の装置。

【請求項 2 3 0】

前記実質的な完成状態が一つ以上の装置を含む、請求項 2 2 0 に記載の装置。

【請求項 2 3 1】

前記実質的な完成状態が、パッシベーションの準備の整った一つ以上の装置を含む、請求項 2 2 0 に記載の装置。 30

【請求項 2 3 2】

前記実質的な完成状態が、更なるプロセス層を必要としない完全に完成したワークピースを含む、請求項 2 2 0 に記載の装置。

【請求項 2 3 3】

ワークピースを処理する方法であり、

露光チャンパ内で、前記ワークピースの一部を荷電粒子に露光する段階を備え、

前記露光する段階が、

荷電粒子流を形成する段階と、 40

或る軸に沿って前記荷電粒子流をコリメートし伝播させる段階と、

デジタルフラッシュ毎に少なくとも一つの荷電粒子を備える時間的且つ空間的に分解されたデジタルフラッシュのデジタルビームへと、前記荷電粒子流をデジタル化する段階と、

前記デジタルフラッシュまたは前記デジタルフラッシュの集団が、三次元の適応可能な仮想デジタルステンシルを有するパターン化された分布を形成するように、前記軸に沿って縦方向に配置された一続きの偏向電極ステージを用いて、マイナー偏向フィールドの周囲内で前記デジタルビームを偏向させる段階と、

前記デジタルビームによって形成されたパターンを縮小及び集束させる段階と、

前記デジタルフラッシュまたは前記デジタルフラッシュの集団のパターン化された分 50

布、または前記適応可能な仮想デジタルステンスルを、前記ワークピースの表面上へと、メジャー偏向フィールドの周囲内で偏向させる段階と、を備える方法。

【請求項 2 3 4】

前記露光する段階の後に、前記ワークピースを装置の処理チャンバへと輸送する段階と、

前記処理チャンバ内で前記ワークピースの露光された部分を処理する段階と、を更に備える、請求項 2 3 3 に記載の方法。

【請求項 2 3 5】

前記露光する段階の後に、前記ワークピースを装置の別のチャンバへと輸送する段階と、

処理チャンバ内で前記ワークピースの露光された部分を処理する段階と、を更に備える、請求項 2 3 3 に記載の方法。

【請求項 2 3 6】

前記露光する段階の後に、前記ワークピースを装置の外部の処理チャンバへと輸送する段階を更に備える、請求項 2 3 3 に記載の方法。

【請求項 2 3 7】

前記露光する段階の後に、前記ワークピースを装置の外部の処理チャンバへと輸送する段階と、

前記ワークピースの露光された部分を処理する段階と、
更なる露光のために前記ワークピースを戻す段階と、を更に備える、請求項 2 3 3 に記載の方法。

【請求項 2 3 8】

前記露光する段階の後に、前記ワークピースを装置の処理チャンバへと輸送する段階と、

前記処理チャンバ内で前記ワークピースの露光されていない部分を処理する段階と、を更に備える、請求項 2 3 3 に記載の方法。

【請求項 2 3 9】

前記露光する段階の後に、前記ワークピースを装置の別のチャンバへと輸送する段階と、

処理チャンバ内で前記ワークピースの露光されていない部分を処理する段階と、を更に備える、請求項 2 3 3 に記載の方法。

【請求項 2 4 0】

前記露光する段階の後に、前記ワークピースを装置の外部の処理チャンバへと輸送する段階と、

前記ワークピースの露光されていない部分を処理する段階と、
更なる露光のために前記ワークピースを戻す段階と、を更に備える、請求項 2 3 3 に記載の方法。

【請求項 2 4 1】

前記ワークピースが半導体ウェーハを含む、請求項 2 3 3 に記載の方法。

【請求項 2 4 2】

前記ワークピースが半導体装置を含む、請求項 2 3 3 に記載の方法。

【請求項 2 4 3】

前記ワークピースがフォトマスクを含む、請求項 2 3 3 に記載の方法。

【請求項 2 4 4】

前記ワークピースがデジタルメディアディスクを含む、請求項 2 3 3 に記載の方法。

【請求項 2 4 5】

前記デジタル化する段階がビームバンチング段階を備える、請求項 2 3 3 に記載の方法。

【請求項 2 4 6】

前記デジタル化する段階が無線周波数 (R F) で一続きの電極に電圧を印加する段階を

10

20

30

40

50

備える、請求項 2 3 3 に記載の方法。

【請求項 2 4 7】

前記無線周波数が、前記荷電粒子流の平均速度に適合するように構成されている、請求項 2 4 6 に記載の方法。

【請求項 2 4 8】

前記デジタル化する段階がブランキング段階を備える、請求項 2 3 3 に記載の方法。

【請求項 2 4 9】

前記偏向させる段階が前記偏向電極ステージにわたって電圧を選択的に印加する段階を備える、請求項 2 3 3 に記載の方法。

【請求項 2 5 0】

前記電圧を選択的に印加する段階が、一番目の前記偏向電極ステージに大きな電圧を印加し、他の前記偏向電極ステージにより小さな電圧を印加する段階を備える、請求項 2 4 9 に記載の方法。

【請求項 2 5 1】

前記電圧を選択的に印加する段階が、一番目の前記偏向電極ステージに小さな電圧を印加し、他の前記偏向電極ステージにより大きな電圧を印加する段階を備える、請求項 2 4 9 に記載の方法。

【請求項 2 5 2】

前記電圧を選択的に印加する段階が、前記偏向電極ステージのそれぞれに略等しい電圧を印加する段階を備える、請求項 2 4 9 に記載の方法。

【請求項 2 5 3】

前記ブランキング段階が、ビームブランキングの前縁のために、前記デジタルビームの前記デジタルフラッシュのそれぞれの立ち上がり時間を使用する段階を備える、請求項 2 4 8 に記載の方法。

【請求項 2 5 4】

前記ブランキング段階が、ビームブランキングの後縁のために、前記デジタルビームの前記デジタルフラッシュのそれぞれの立ち下がり時間を使用する段階を備える、請求項 2 4 8 に記載の方法。

【請求項 2 5 5】

前記偏向させる段階が、前記デジタルビームの前記デジタルフラッシュのそれぞれの間の腹の周期を、偏向の周期に同調させる段階を備える、請求項 2 4 8 に記載の方法。

【請求項 2 5 6】

登録グリッド上で測定される偏向の位置ずれでステージ位置の差を測定することによって、前記ワークピースを保持するワークピースステージを移動させるためのフィードバックを使用する段階を更に備える、請求項 2 4 8 に記載の方法。

【請求項 2 5 7】

1 秒間の期間に対して略 5 0 センチメートルの寸法にわたって前記ワークピースを動かす段階を更に備える、請求項 2 4 8 に記載の方法。

【請求項 2 5 8】

前記ワークピースが、0 . 5 秒毎に 5 ナノ秒よりも長く停止することなく移動させられる、請求項 2 4 8 に記載の方法。

【請求項 2 5 9】

前記縮小させる段階は、前記デジタルフラッシュの幅を略 2 0 0 n m よりも小さく縮小及び集束させる段階を備える、請求項 2 4 8 に記載の方法。

【請求項 2 6 0】

前記縮小させる段階は、前記デジタルフラッシュの幅を略 5 0 n m よりも小さく縮小及び集束させる段階を備える、請求項 2 4 8 に記載の方法。

【請求項 2 6 1】

前記縮小させる段階は、前記デジタルフラッシュの幅を略 1 0 n m よりも小さく縮小及び集束させる段階を備える、請求項 2 4 8 に記載の方法。

10

20

30

40

50

【請求項 2 6 2】

前記縮小させる段階は、前記デジタルフラッシュの幅を略 5 nm よりも小さく縮小及び集束させる段階を備える、請求項 2 4 8 に記載の方法。

【請求項 2 6 3】

前記縮小させる段階は、前記デジタルフラッシュの幅を略 1 nm よりも小さく縮小及び集束させる段階を備える、請求項 2 4 8 に記載の方法。

【請求項 2 6 4】

デジタルビームが、前記デジタルフラッシュの集団の中の、または適応可能な前記仮想デジタルステンシルの中の、露光のドーズ量、種、パターンの質及びデジタルフラッシュ毎のビームエネルギーを最適化するための多重パターン露光方法に対応可能である、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 2 6 5】

前記デジタルビームが、一つ書き込み方法内において、露光のドーズ量、種、露光時間及びデジタルフラッシュ毎のビームエネルギーを離散的に変更することができる、請求項 2 6 4 に記載の装置。

【請求項 2 6 6】

メジャーフィールド内ではベクトル走査し、マイナーフィールド内ではベクトル走査し、露光される特徴部内では一回のパスでラスタ走査することを備えるデジタルビームパターン露光方法を使用する段階を更に備え、露光座標を含むピクセルは、前記デジタルビームのスポットサイズの一部である、請求項 2 4 8 に記載の方法。

【請求項 2 6 7】

メジャーフィールド内ではベクトル走査し、マイナーフィールド内ではベクトル走査し、露光される特徴部内では一回のパスでラスタ走査することを備えるデジタルビームパターン露光方法を使用する段階を更に備え、露光座標を含むピクセルは、前記デジタルビームのスポットサイズに等しい、請求項 2 4 8 に記載の方法。

【請求項 2 6 8】

メジャーフィールド内ではベクトル走査し、マイナーフィールド内ではベクトル走査し、露光される特徴部内では一回のパスで横方向の X 軸及び Y 軸の両方の交互のピクセルをラスタ走査することを備えるデジタルビームパターン露光方法を使用する段階を更に備え、露光座標を含む前記ピクセルは、前記デジタルビームのスポットサイズの一部である、請求項 2 4 8 に記載の方法。

【請求項 2 6 9】

メジャーフィールド内ではベクトル走査し、マイナーフィールド内ではベクトル走査し、一続きのパス内の交互配置のピクセルを含む特徴部内ではラスタ走査することを備えるデジタルビームパターン露光方法を使用する段階を更に備え、コンボジットピクセルアレイを達成するために、前記パスのそれぞれは、書き込みアドレスの一部によって X 及び Y 軸の両方において他のパスからオフセットされている、請求項 2 4 8 に記載の方法。

【請求項 2 7 0】

メジャーフィールド内ではベクトル走査し、マイナーフィールド内ではベクトル走査し、一続きのパス内の交互配置のピクセルを含む特徴部内ではラスタ走査することを備えるデジタルビームパターン露光方法を使用する段階を更に備え、コンボジットピクセルアレイを達成するために、前記パスのそれぞれは、ピクセルアドレスの一部によって X 及び Y 軸の両方において他のパスからオフセットされていて、前記デジタルビームのスポットサイズは前記ピクセルアドレスよりも大きい、請求項 2 4 8 に記載の方法。

【請求項 2 7 1】

メジャーフィールド内ではベクトル走査し、マイナーフィールド内ではベクトル走査し、複数のオフセットコンボジット特徴パターンを生成するモードで特徴部内ではラスタ走査することを備えるデジタルビームパターン露光方法を使用する段階を更に備え、それぞれがコンボジットピクセルアレイを達成するために、前記モードは、X 及び Y 軸の両方においてピクセルを相互配置することと、オフセットを有する複数のオフセットパターンの

10

20

30

40

50

それぞれに対してラスト走査を繰り返すこととを含み、前記オフセットはピクセルアドレスの一部であり、前記デジタルビームのスポットサイズは前記ピクセルアドレスよりも大きい、請求項 2 4 8 に記載の方法。

【請求項 2 7 2】

メジャーフィールド内ではベクトル走査し、マイナーフィールド内ではベクトル走査し、複数のオフセットコンポジット特徴パターンを生成するモードで特徴部内ではラスト走査することを備えるデジタルビームパターン露光方法を使用する段階を更に備え、それぞれがコンポジットピクセルアレイを達成するために、前記モードは、X 及び Y 軸の両方においてピクセルを相互配置することと、オフセットを有する複数のオフセットパターンのそれぞれに対してラスト走査を繰り返すこととを含み、前記オフセットはピクセルアドレスの一部であり、前記デジタルビームのスポットサイズは前記ピクセルアドレスよりも大きく、

10

また、0 % から 1 0 0 % までのピクセル強度の多重レベルを生成するために変更される前記デジタルビームに対するビームドーズ量を使用する段階を更に備える、請求項 2 4 8 に記載の方法。

【請求項 2 7 3】

ワークピースから物質をエッチングするための処理の方法であり、

荷電粒子を含むデジタルビームを第一チャンバにおいて或るパターンで前記ワークピース上へと方向決めする段階と、

前記ワークピースを第二チャンバへと輸送する段階と、

20

前記ワークピースの表面上の前記デジタルビームに露光された領域をエッチングするために反応性ガスを加える段階と、を備える方法。

【請求項 2 7 4】

ワークピース上へと物質を堆積させるための処理の方法であり、

荷電粒子を含むデジタルビームを第一チャンバにおいて或るパターンで前記ワークピース上へと方向決めする段階と、

前記ワークピースを第二チャンバへと輸送する段階と、

前記ワークピースの表面上の前記デジタルビームによって露光された領域上へと物質を堆積させるために反応性ガスを加える段階と、を備える方法。

30

【請求項 2 7 5】

ワークピース内へと物質を注入するための処理の方法であり、

荷電粒子を含むデジタルビームを第一チャンバにおいて或るパターンで前記ワークピース上へと方向決めする段階を備える方法。

【請求項 2 7 6】

露光する前記デジタルビームのドーズ量が略 5×10^{17} 荷電粒子 / cm^2 未満である、請求項 2 7 3 に記載の方法。

【請求項 2 7 7】

露光する前記デジタルビームのドーズ量が略 5×10^{16} 荷電粒子 / cm^2 未満である、請求項 2 7 3 に記載の方法。

【請求項 2 7 8】

露光する前記デジタルビームのドーズ量が略 5×10^{14} 荷電粒子 / cm^2 未満である、請求項 2 7 3 に記載の方法。

40

【請求項 2 7 9】

露光する前記デジタルビームのドーズ量が略 5×10^{13} 荷電粒子 / cm^2 未満である、請求項 2 7 3 に記載の方法。

【請求項 2 8 0】

露光する前記デジタルビームのドーズ量が略 5×10^{12} 荷電粒子 / cm^2 未満である、請求項 2 7 3 に記載の方法。

【請求項 2 8 1】

露光する前記デジタルビームのドーズ量が略 5×10^{11} 荷電粒子 / cm^2 未満である

50

、請求項 273 に記載の方法。

【請求項 282】

露光する前記デジタルビームのドーズ量が略 5×10^{10} 荷電粒子 / cm^2 未満である

、請求項 273 に記載の方法。

【請求項 283】

露光する前記デジタルビームのドーズ量が略 5×10^{17} 荷電粒子 / cm^2 未満である

、請求項 274 に記載の方法。

【請求項 284】

露光する前記デジタルビームのドーズ量が略 5×10^{16} 荷電粒子 / cm^2 未満である

、請求項 274 に記載の方法。

【請求項 285】

露光する前記デジタルビームのドーズ量が略 5×10^{14} 荷電粒子 / cm^2 未満である

、請求項 274 に記載の方法。

【請求項 286】

露光する前記デジタルビームのドーズ量が略 5×10^{13} 荷電粒子 / cm^2 未満である

、請求項 274 に記載の方法。

【請求項 287】

露光する前記デジタルビームのドーズ量が略 5×10^{12} 荷電粒子 / cm^2 未満である

、請求項 274 に記載の方法。

【請求項 288】

露光する前記デジタルビームのドーズ量が略 5×10^{11} 荷電粒子 / cm^2 未満である

、請求項 274 に記載の方法。

【請求項 289】

露光する前記デジタルビームのドーズ量が略 5×10^{10} 荷電粒子 / cm^2 未満である

、請求項 274 に記載の方法。

【請求項 290】

露光する前記デジタルビームのドーズ量が略 5×10^{17} 荷電粒子 / cm^2 未満である

、請求項 275 に記載の方法。

【請求項 291】

露光する前記デジタルビームのドーズ量が略 5×10^{16} 荷電粒子 / cm^2 未満である

、請求項 275 に記載の方法。

【請求項 292】

露光する前記デジタルビームのドーズ量が略 5×10^{14} 荷電粒子 / cm^2 未満である

、請求項 275 に記載の方法。

【請求項 293】

露光する前記デジタルビームのドーズ量が略 5×10^{13} 荷電粒子 / cm^2 未満である

、請求項 275 に記載の方法。

【請求項 294】

露光する前記デジタルビームのドーズ量が略 5×10^{12} 荷電粒子 / cm^2 未満である

、請求項 275 に記載の方法。

【請求項 295】

露光する前記デジタルビームのドーズ量が略 5×10^{11} 荷電粒子 / cm^2 未満である

、請求項 275 に記載の方法。

【請求項 296】

露光する前記デジタルビームのドーズ量が略 5×10^{10} 荷電粒子 / cm^2 未満である

、請求項 275 に記載の方法。

【請求項 297】

前記ワークピースから物質をエッチングすることが、ガス、化学レジストまたはリソグラフィパターン化レチクルマスクを使用せずに、露光チャンバ内のみで行われる、請求項 273 に記載の方法。

10

20

30

40

50

【請求項 298】

前記ワークピースから物質をエッチングすることが、多重反応物質としてガスを使用して、露光チャンバ内のみで行われる、請求項 273 に記載の方法。

【請求項 299】

前記エッチングが、デジタルビーム、温度及び反応性ガスに晒された領域の前記ワークピースからの物質のパターン化エッチングを含む、請求項 273 に記載の方法。

【請求項 300】

前記処理が、レジストへの前記デジタルビームの露光を含む、請求項 273 に記載の方法。

【請求項 301】

前記処理が、露光チャンバ内での前記ワークピースの露光された領域上における、前記ワークピース上への物質の堆積を含む、請求項 274 に記載の方法。

【請求項 302】

前記処理が、化学レジストまたはリソグラフィパターン化レチクル（マスク）を使用しない、前記ワークピースの前記デジタルビームに露光された領域上における、前記ワークピース上への物質のパターン化堆積を含む、請求項 274 に記載の方法。

【請求項 303】

前記処理が、前記ワークピースの前記デジタルビームに露光された領域における物質成長の多重核生成活性化堆積プロセス、温度及び前駆体ガスの補助による、前記ワークピース上への物質のパターン化堆積を含む、請求項 274 に記載の方法。

【請求項 304】

前記処理が、高温及び多重前駆体ガスの補助を用いて前記デジタルビームに露光された領域における物質成長の多重核生成活性化堆積プロセスによる、前記ワークピース上への物質のパターン化堆積を含む、請求項 274 に記載の方法。

【請求項 305】

前記処理が、前記ワークピースの前記デジタルビームに露光された領域における物質成長の多重原子層堆積、高温及び前駆体ガスの補助による、前記ワークピース上への物質のパターン化堆積を含む、請求項 274 に記載の方法。

【請求項 306】

前記処理が、前記ワークピースの前記デジタルビームに露光された領域における物質成長の多重原子層堆積活性化堆積プロセス、温度及び多重前駆体ガスの補助による、前記ワークピース上への物質のパターン化堆積を含む、請求項 274 に記載の方法。

【請求項 307】

前記処理が、化学レジストまたはリソグラフィパターン化レチクル（マスク）を使用しない、露光された領域における前記ワークピース上への前記デジタルビームの物質のパターン化堆積を含む、請求項 275 に記載の方法。

【請求項 308】

前記処理が、化学レジストまたはリソグラフィパターン化レチクル（マスク）を使用しない、前記ワークピースの露光された領域における、前記ワークピース上への前記デジタルビームの物質のパターン化注入を含む、請求項 275 に記載の方法。

【請求項 309】

前記処理が、前記ワークピースの表面での化学ガスの活性化に補助されながら、前記ワークピースの露光された領域における、前記ワークピース上への前記デジタルビームの物質のパターン化注入を含む、請求項 275 に記載の方法。

【請求項 310】

前記処理が、前記ワークピースの露光された領域の分子のアニールリングを含む、請求項 275 に記載の方法。

【請求項 311】

前記露光する段階が前記ワークピース上のレジストの一部を露光する段階を更に備え、前記処理する段階が前記レジストの露光されたまたは露光されていない部分を除去する段

10

20

30

40

50

階を備える、請求項 2 3 4 に記載の方法。

【請求項 3 1 2】

前記ワークピース上にデジタルメディアディスクのレイアウトを露光する段階を更に備える、請求項 2 3 3 に記載の方法。

【請求項 3 1 3】

前記ワークピース上に集積回路のレイアウトをデザインする段階を更に備える、請求項 2 3 3 に記載の方法。

【請求項 3 1 4】

露光、輸送及び処理のシーケンスが、集積回路を実質的に製造するように構成されている、請求項 2 3 3 に記載の方法。

10

【請求項 3 1 5】

前記露光する段階及び前記シーケンスが略 1 ヶ月間未満で実施される、請求項 3 1 4 に記載の方法。

【請求項 3 1 6】

前記露光する段階及び前記シーケンスが略 1 週間未満で実施される、請求項 3 1 4 に記載の方法。

【請求項 3 1 7】

前記露光する段階及び前記シーケンスが略 2 日間未満で実施される、請求項 3 1 4 に記載の方法。

【請求項 3 1 8】

前記露光する段階及び前記シーケンスが略 1 日間未満で実施される、請求項 3 1 4 に記載の方法。

20

【請求項 3 1 9】

前記露光する段階及び前記シーケンスが略 1 時間未満で実施される、請求項 3 1 4 に記載の方法。

【請求項 3 2 0】

前記露光する段階及び前記シーケンスが略 1 0 分間未満で実施される、請求項 3 1 4 に記載の方法。

【請求項 3 2 1】

前記露光する段階及び前記シーケンスが略 1 分間未満で実施される、請求項 3 1 4 に記載の方法。

30

【請求項 3 2 2】

前記露光する段階及び前記シーケンスが略 1 0 秒間未満で実施される、請求項 3 1 4 に記載の方法。

【請求項 3 2 3】

前記露光する段階及び前記シーケンスが略 1 秒間未満で実施される、請求項 3 1 4 に記載の方法。

【請求項 3 2 4】

露光、輸送及び処理のシーケンスが、集積回路を部分的に製造するように構成されている、請求項 2 3 4 に記載の方法。

40

【請求項 3 2 5】

前記露光する段階が、前記ワークピースのパラメータをテストする段階を更に備える、請求項 2 3 4 に記載の方法。

【請求項 3 2 6】

前記露光する段階中に前記ワークピースに近接させてガスを注入する段階を更に備える、請求項 2 3 3 に記載の方法。

【請求項 3 2 7】

ワークピースを処理する方法であり、
デジタルビームで、露光中にはレジストの無い前記ワークピースの露光をする段階と、
前記露光をする段階の後に、堆積、エッチング、急速熱アニーリングから選択された処

50

理で前記ワークピースの処理をする段階と、

前記処理をする段階の後に、デジタルビームで、二回目の露光中にはレジストの無い前記ワークピースの二回目の露光をする段階と、

前記二回目の露光をする段階の後に、堆積、エッチング、急速熱アニーリングから選択された処理で前記ワークピースの二回目の処理をする段階と、を備える方法。

【請求項 3 2 8】

前記露光をする段階及び前記二回目の露光をする段階が、荷電粒子のデジタル化ビームで露光をする段階を備える、請求項 3 2 7 に記載の方法。

【請求項 3 2 9】

前記露光をする段階、前記処理をする段階、前記二回目の露光をする段階及び前記二回目の処理をする段階が、装置から離れることなく実施される、請求項 3 2 7 に記載の方法。

10

【請求項 3 3 0】

前記露光をする段階と、前記二回目の露光をする段階とが異なる、請求項 3 2 7 に記載の方法。

【請求項 3 3 1】

複数の露光をする段階及び処理をする段階が、実質的に完成したプロセス層を生成する、請求項 3 2 7 に記載の方法。

【請求項 3 3 2】

複数の露光をする段階及び処理をする段階が、実質的に完成したワークピースを生成する、請求項 3 2 7 に記載の方法。

20

【請求項 3 3 3】

実質的に完成したワークピースを生成する前記複数の露光をする段階及び処理をする段階が、略 1 週間未満で実施される、請求項 3 3 2 に記載の方法。

【請求項 3 3 4】

実質的に完成したワークピースを生成する前記複数の露光をする段階及び処理をする段階が、略 2 日間未満で実施される、請求項 3 3 2 に記載の方法。

【請求項 3 3 5】

実質的に完成したワークピースを生成する前記複数の露光をする段階及び処理をする段階が、略 1 日間未満で実施される、請求項 3 3 2 に記載の方法。

30

【請求項 3 3 6】

実質的に完成したワークピースを生成する前記複数の露光をする段階及び処理をする段階が、略 1 時間未満で実施される、請求項 3 3 2 に記載の方法。

【請求項 3 3 7】

ワークピース内に少なくとも一つのドーパントを注入する方法であり、

前記ワークピース上へと少なくとも一つのイオン種を含むデジタルビームを方向決めする段階と、

前記方向決めする段階中に、前記デジタルビームの少なくとも一つのパラメータを変更する段階と、を備える方法。

【請求項 3 3 8】

前記パラメータがイオン種である、請求項 3 3 7 に記載の方法。

40

【請求項 3 3 9】

前記パラメータがビームエネルギーである、請求項 3 3 7 に記載の方法。

【請求項 3 4 0】

前記ビームエネルギーを変更する段階が、略 5 から 5 0 0 k e V までの間で前記ビームエネルギーを変更する段階を備える、請求項 3 3 9 に記載の方法。

【請求項 3 4 1】

前記ビームエネルギーを変更する段階が、略 5 から 2 0 0 k e V までの間で前記ビームエネルギーを変更する段階を備える、請求項 3 3 9 に記載の方法。

【請求項 3 4 2】

50

前記ビームエネルギーを変更する段階が、前記ワークピース上の略20nmの領域内で実施される、請求項339に記載の方法。

【請求項343】

前記パラメータが前記デジタルビーム中の荷電粒子密度である、請求項337に記載の方法。

【請求項344】

前記変更する段階が前記ワークピース上のトランジスタ内で実施される、請求項337に記載の方法。

【請求項345】

前記変更する段階が前記ワークピース上のダイ内で実施される、請求項337に記載の方法。

10

【請求項346】

ロードロックチャンバに前記ワークピースを輸送する段階を更に備える、請求項327に記載の方法。

【請求項347】

複数の処理チャンバを備える装置を使用する段階を更に備える、請求項327に記載の方法。

【請求項348】

堆積チャンバ、エッチングチャンバ、急速熱アニールチャンバから選択された処理チャンバを使用する段階を更に備える、請求項327に記載の方法。

20

【請求項349】

ソース及びドレインを備える放射耐性トランジスタを製造する方法であり、デジタルフラッシュ毎に少なくとも一つの荷電粒子を含む時間的且つ空間的に分解されたデジタルフラッシュであり注入を生じさせるデジタルフラッシュのデジタルビームに、ワークピースの一部を露光する段階と、

単一の層プロセス段階内で、ソースドレイン領域表面の水平方向の間隔に対して、前記デジタルフラッシュの電位エネルギーを変更して、これによって低不純物濃度ドレインを具現化する段階と、を備える方法。

【請求項350】

前記トランジスタがシリコントランジスタを含む、請求項349に記載の方法。

30

【請求項351】

前記デジタルフラッシュの注入エネルギーが5から200keVまでの間で変更される、請求項349に記載の方法。

【請求項352】

ソース及びドレインを備える放射耐性トランジスタを製造する方法であり、デジタルフラッシュ毎に少なくとも一つの荷電粒子を含む時間的且つ空間的に分解されたデジタルフラッシュであり注入を生じさせるデジタルフラッシュのデジタルビームに、ワークピースの一部を露光する段階を備え、

前記デジタルフラッシュの注入は、単一の層プロセス段階において、ソースドレイン領域表面に注入される単一種または多重種を含み、これによって低不純物濃度ドレインが具現化される方法。

40

【請求項353】

前記デジタルフラッシュの注入が単一の層プロセス段階において単一種を含む、請求項352に記載の方法。

【請求項354】

前記デジタルフラッシュの注入が単一の層プロセス段階において多重種を含む、請求項352に記載の方法。

【請求項355】

前記トランジスタがシリコントランジスタを含む、請求項352に記載の方法。

【請求項356】

50

ドレインを備える放射耐性トランジスタを製造する方法であり、

デジタルフラッシュ毎に少なくとも一つの荷電粒子を含む時間的且つ空間的に分解されたデジタルフラッシュであり注入を生じさせるデジタルフラッシュのデジタルビームに、ワークピースの一部を露光する段階と、

単一の層プロセス段階内で、ドレインのみの領域表面の水平方向の間隔に対して、前記デジタルフラッシュの電位エネルギーを変更する段階と、を備える方法。

【請求項 3 5 7】

前記デジタルフラッシュの注入がチャネルエッジに浅い接合を生じさせる一方で、深い接合がコンタクトの下には提供される、請求項 3 5 6 に記載の方法。

【請求項 3 5 8】

前記トランジスタがシリコントランジスタを含む、請求項 3 5 6 に記載の方法。

【請求項 3 5 9】

前記デジタルフラッシュの注入エネルギーが 5 から 2 0 0 k e V までの間で変更される、請求項 3 5 6 に記載の方法。

【請求項 3 6 0】

前記デジタルフラッシュの注入が低不純物濃度ドレインを生じさせる、請求項 3 5 9 に記載の方法。

【請求項 3 6 1】

ドレインを備える放射耐性トランジスタを製造する方法であり、

デジタルフラッシュ毎に少なくとも一つの荷電粒子を含む時間的且つ空間的に分解されたデジタルフラッシュであり注入を生じさせるデジタルフラッシュのデジタルビームに、ワークピースの一部を露光する段階と、

単一の層プロセス段階内で、ドレインのみの領域表面の水平方向の間隔に対して、前記デジタルフラッシュのドーズ量を変更する段階とを、備える方法。

【請求項 3 6 2】

前記トランジスタがシリコントランジスタを備える、請求項 3 6 1 に記載の方法。

【請求項 3 6 3】

前記デジタルフラッシュの注入エネルギーが 5 から 2 0 0 k e V までの間で変更される、請求項 3 6 1 に記載の方法。

【請求項 3 6 4】

前記デジタルフラッシュの注入がチャネルエッジに浅い接合を生じさせる一方で、深い接合がコンタクトの下に提供される、請求項 3 6 1 に記載の方法。

【請求項 3 6 5】

前記デジタルフラッシュの注入が低不純物濃度ドレインを生じさせる、請求項 3 6 1 に記載の方法。

【請求項 3 6 6】

周囲の酸化物を有する接合を備える放射耐性装置を製造する方法であり、

デジタルフラッシュ毎に少なくとも一つの荷電粒子を含む時間的且つ空間的に分解されたデジタルフラッシュであり注入を生じさせるデジタルフラッシュのデジタルビームに、ワークピースの一部を露光する段階と、

単一の層プロセス段階内で、より厚い酸化物の下のドーズ量を増加させて、前記接合の前記周囲の酸化物の半径まわりの水平方向の間隔に対して、前記デジタルフラッシュのドーズ量を変更し、これによって、ガードリングバリアを具現化する段階と、を備える方法。

【請求項 3 6 7】

周囲の酸化物を有する接合を備える放射耐性装置を製造する方法であり、

デジタルフラッシュ毎に少なくとも一つの荷電粒子を含む時間的且つ空間的に分解されたデジタルフラッシュであり注入を生じさせるデジタルフラッシュのデジタルビームに、ワークピースの一部を露光する段階を備え、

前記デジタルフラッシュの注入が、単一の層プロセス段階において、前記接合の前記周

10

20

30

40

50

囲の酸化物の半径まわりに注入される単一種または多重種を含み、これによってガードリングバリアが具現化される方法。

【請求項 3 6 8】

前記デジタルフラッシュの注入が単一の層プロセス段階において単一種を含む、請求項 3 6 7 に記載の方法。

【請求項 3 6 9】

前記デジタルフラッシュの注入が単一の層プロセス段階において多重種を含む、請求項 3 6 7 に記載の方法。

【請求項 3 7 0】

周囲の酸化物を有する接合を備える放射耐性装置を製造する方法であり、

デジタルフラッシュ毎に少なくとも一つの荷電粒子を含む時間的且つ空間的に分解されたデジタルフラッシュであり注入を生じさせるデジタルフラッシュのデジタルビームに、ワークピースの一部を露光する段階と、

単一の層プロセス段階内で、より厚い酸化物の下のエネルギーを増加させて、前記接合の前記周囲の酸化物の半径まわりの水平方向の間隔に対して、前記デジタルフラッシュの電位エネルギーを変更し、これによって、ガードリングバリアを具現化する段階と、を備える方法。

【請求項 3 7 1】

周囲の酸化物を有する接合を備える放射耐性装置を製造する方法であり、

デジタルフラッシュ毎に少なくとも一つの荷電粒子を含む時間的且つ空間的に分解されたデジタルフラッシュであり注入を生じさせるデジタルフラッシュのデジタルビームに、ワークピースの一部を露光する段階と、

単一の層プロセス段階内で、トランジスタ間の前記デジタルフラッシュのドーズ量を変更し、これによって、アモルファス絶縁バリアを具現化する段階と、を備える方法。

【請求項 3 7 2】

前記トランジスタが p 型トランジスタを含む、請求項 3 7 1 に記載の方法。

【請求項 3 7 3】

前記ビームデジタイザが、前記荷電粒子流をブランキングするように構成されたブラッドバリー ニールセンゲート (B N G) 粒子ビーム調節装置を備える、請求項 1 に記載のチャンバ。

【請求項 3 7 4】

前記初期状態が、特定の装置の一部である層が形成される前の半導体ウェーハを含む、請求項 2 2 0 に記載の装置。

【請求項 3 7 5】

最終的な状態が、前記特定の装置が形成された後の前記半導体ウェーハを含む、請求項 3 7 4 に記載の装置。

【請求項 3 7 6】

ワークピースを荷電粒子に露光するためのチャンバであり、

荷電粒子流を発生させるための荷電粒子源と、

前記荷電粒子流を前記荷電粒子源から或る軸に沿ってコリメートして方向決めするように構成されたコリメータと、

少なくとも一つの荷電粒子の集団を含むデジタルビームを、前記軸に沿った前記荷電粒子間の縦方向の間隔を調節することによって、生成するように構成された、前記コリメータの下流の、ビームデジタイザと、

前記荷電粒子の集団を偏向させるために、前記軸に沿って縦方向に配置された一続きの偏向ステージを備える、前記ビームデジタイザの下流の、偏向器と、

前記ワークピースを保持するように構成された、前記偏向器の下流の、ワークピースステージと、を備える、チャンバ。

【請求項 3 7 7】

ワークピースを装置から取り外すことなく初期状態から実質的な完成状態へと処理する

10

20

30

40

50

ための装置であり、
ロードロックチャンバと、
露光チャンバと、
処理チャンバと、を備える装置。

【請求項 378】

装置内でワークピースを処理する方法であり、
前記ワークピースの一部を露光チャンバ内で荷電粒子に露光する段階を備え、
前記露光する段階が、
荷電粒子流を形成する段階と、
或る軸に沿って前記荷電粒子流をコリメート及び伝播させる段階と、
前記荷電粒子流を少なくとも一つの荷電粒子を含むデジタルビームへとデジタル化する段階と、
前記軸に沿って縦方向に配置された一続きの偏向ステージを用いて、前記デジタルビームを偏向させる段階と、
前記デジタルビームを縮小する段階と、
縮小された前記デジタルビームを前記ワークピース上へと位置決めする段階と、を備える方法。

10

【請求項 379】

ワークピースを処理する方法であり、
露光中にはレジストの無い前記ワークピースの露光をする段階と、
前記露光をする段階の後に、堆積、エッチング、急速熱アニーリングから選択された処理で前記ワークピースの処理をする段階と、
前記処理をする段階の後に、二回目の露光中にはレジストの無い前記ワークピースの二回目の露光をする段階と、
前記二回目の露光をする段階の後に、堆積、エッチング、急速熱アニーリングから選択された処理で前記ワークピースの二回目の処理をする段階と、を備える方法。

20

【請求項 380】

ワークピース内へと少なくとも一つのドーパントを注入する方法であり、
前記ワークピース上へと少なくとも一つのイオン種を含むビームを方向決めする段階と、
前記方向決めする段階中に、前記ビームの少なくとも一つのパラメータを変更する段階と、を備える方法。

30

【請求項 381】

ワークピースから物質をエッチングする方法であり、
荷電粒子を含むビームを第一チャンバにおいて或るパターンで前記ワークピースの表面上へと方向決めして、前記表面の一部を化学的に変更する段階と、
前記ワークピースを第二チャンバに輸送する段階と、
前記ワークピースにエッチング剤を与える段階と、を備え、前記エッチング剤が前記化学的に変更された一部と反応して、物質を除去する方法。

【請求項 382】

ワークピース上へと物質を堆積させる方法であり、
荷電粒子を含むビームを第一チャンバにおいて或るパターンで前記ワークピースの表面上へと方向決めして、前記表面の一部を化学的に変更する段階と、
前記ワークピースを第二チャンバに輸送する段階と、
前記ワークピースに反応物質を与える段階と、を備え、前記反応物質が前記化学的に変更された一部と反応して、物質を堆積させる方法。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体製造に係り、特に直接書き込み型半導体製造用の方法及び装置に関する

50

る。

【背景技術】

【0002】

フォトリソグラフィは、大抵の集積回路製造工程において、主要なパターンニング段階である。レジスト（感光性プラスチック）がワークピース上に回転成形され、焼成され、レチクルを介してパターン内で、通常は紫外線（UV）に露光される。現像及び第二焼成の後、ワークピースが晒される様々な処理に耐性のある不活性な有機膜によって、表面が部分的に覆われる。このような処理には、湿式化学エッチングまたは気体プラズマエッチングによる物質の除去、イオン注入によるドーピング（例えば広域ビーム注入）、物質の追加（例えばリフトオフ）が含まれる。レジストの準備、露光、現像、洗浄、手入れ及び除去は、製造段階を十倍に増加させ得るものであり、安定して質が良く歩留まりの高い製造を容易にするための高価な設備及び施設を必要とする。

10

【0003】

フォトリソグラフィは、45ナノメートル（nm）にまで下がったレジストパターンを処理するための主なリソグラフィ手段である。しかしながら、現在及び将来のマイクロエレクトロニクスにおいては、45nm未満の最小フィーチャサイズが必要とされる。多数のリソグラフィ法（例えば、紫外線（UV）、極紫外線（EUV）露光、マスク無しの露光、レーザ、位相シフト、射出イオン、電子ビームリソグラフィ（EBL））の利点によって、これらの寸法における大規模製造が可能になる。しかしながら、これらの方法は、波長、オーバーレイの精度及び／又はコストに関して、その理論的な限界に近づいている。限界に達すると、それぞれのプロセスの欠点が困難な問題を呈し、結果としてのパターンニングの欠陥により、歩留まりの重大な損失が生じ得る。

20

【発明の開示】

【課題を解決するための手段】

【0004】

特定の実施形態では、ワークピースを荷電粒子に露光するためのチャンバは、荷電粒子流を発生させるための荷電粒子源と、荷電粒子源から或る軸に沿って荷電粒子流をコリメート及び方向決めするように構成されているコリメータと、軸に沿った荷電粒子間の縦方向の間隔を調節することによって少なくとも一つの荷電粒子を含むデジタルビームを生成するように構成されているコリメータの下流のビームデジタイザと、荷電粒子の集団を偏向させるために軸に沿って縦方向に配置された一続きの偏向ステージを備えるビームデジタイザの下流の偏向器と、ワークピースを保持するように構成されている偏向器の下流のワークピースステージとを備える。一部の実施形態では、ワークピース処理装置は、このチャンバと、ロードロックチャンバと、堆積チャンバ、エッチングチャンバ、熱調節チャンバから選択された処理チャンバとを備える。

30

【0005】

特定の実施形態では、装置からワークピースを取り外すことなくワークピースを初期状態から実質的な完成状態へと処理するための装置は、ロードロックチャンバと、露光チャンバと、処理チャンバとを備える。

【0006】

特定の実施形態では、装置内でワークピースを処理する方法は、露光チャンバ内でワークピースを荷電粒子に露光する段階を備える。この露光する段階は、荷電粒子流を形成する段階と、或る軸にそって荷電粒子流をコリメート及び伝播させる段階と、荷電粒子流を少なくとも一つの荷電粒子を含むデジタルビームへとデジタル化する段階と、軸に沿って縦方向に配置された一続きの偏向ステージを用いて荷電粒子の集団を偏向させる段階と、この集団を縮小する段階と、縮小された集団をワークピース上へと方向決めする段階とを備える。

40

【0007】

特定の実施形態では、ワークピースを処理する方法は、ワークピースの露光をする段階と（露光中において、ワークピースにはレジストが無い）、露光後に、堆積、エッチング

50

、急速熱アニーリングから選択された処理でワークピースの処理をする段階と、処理後に、ワークピースの二回目の露光をする段階と（二回目の露光中において、ワークピースにはレジストが無い）、二回目の露光後に、堆積、エッチング、急速熱アニーリングから選択された処理でワークピースの二回目の処理をする段階とを備える。

【0008】

特定の実施形態では、ワークピース内へと少なくとも一つのドーパントを注入する方法は、ワークピース上へと少なくとも一つのイオン種を含むビームを方向決めする段階と、この方向決め段階中に、ビームの少なくとも一つのパラメータを変更する段階とを備える。

【0009】

特定の実施形態では、ワークピースから物質をエッチングする方法は、第一チャンバにおいて或るパターンでワークピースの表面上へと荷電粒子を含むビームを方向決めして、この表面の一部を化学的に変更する段階と、ワークピースを第二チャンバに輸送する段階と、ワークピースにエッチング剤を与える段階とを備えるが、このエッチング剤が化学的に変更された部分と反応して、物質を除去する。

【0010】

特定の実施形態では、ワークピース上へと物質を堆積させる方法は、第一チャンバにおいて或るパターンでワークピースの表面上へと荷電粒子を含むビームを方向決めして、この表面の一部を化学的に変更する段階と、ワークピースを第二チャンバに輸送する段階と、ワークピースに反応物質を与える段階とを備えるが、この反応物質が化学的に変更された部分と反応して、物質を堆積させる。

【0011】

本発明と従来技術に対して成されるその利点をまとめるために、本発明の特定の対象及び利点について上述した。勿論、必ずしも全てのこうした対象及び利点が、本発明のいずれかの特定の実施形態に従って、達成されるものでないということは理解されたい。従って、例えば、当業者であれば、本願で開示・示唆される利点の一つまたは利点の組を達成または最適化する方法で、本願で開示・示唆される得る他の対象または利点を必ずしも達成することなく、本発明を具現化または実行してもよいということを認識されたい。

【0012】

これら全ての実施形態は、本願で開示される発明の範囲内にあるものである。これらの及び他の実施形態は、添付図面を参照して好ましい実施形態の下記の詳細な説明から、当業者にとっては容易に想到し得るものであるが、本発明は、開示される特定の好ましい実施形態に限定されるものではない。

【発明を実施するための最良の形態】

【0013】

本願で開示される発明の上述の及び他の特徴、側面及び利点について、本発明を例示するものであり限定するものではない好ましい実施形態の図面を参照して下記に開示する。

【0014】

特定の好ましい実施形態について以下に開示するが、本発明は開示される特定の実施形態、及び/又は、本発明、自明な改良及びその均等物の使用を超えて拡大するものであることを、当業者は理解されたい。従って、本願で開示される本発明の範囲は、以下で開示される特定の実施形態に限定されることを意図したものではない。

【0015】

より小型の装置の幾何学的形状は、荷電粒子のビームを用いた直接書き込みによって得ることができる。集束イオンビーム（Focused Ion Beam, FIB）システムは一般的に、処理性能の高い製造に対応するのに十分なイオン露光を有さない。更には、既存のイオン光学/偏向のエレクトロニクスの方法論を用いたのでは、比較的低速の偏向しか利用できず、半導体層用にパターン化された層の十分な直接書き込みが妨げられる。このように、FIB技術は、マスク（例えばレチクル）及び半導体修復に限定されてきた。FIB技術が進展したことによって、レジストを用いずに、ワークピース上に直接

10

20

30

40

50

、同時に堆積、エッチング及びパターン注入の性能に対応した。しかしながら、残る問題として、低エネルギーシステムが備えるような、ウェーハ書き込みソフトウェアがほとんど存在しないこと、計測システムが存在しないこと、また、大きな製造規模のリソグラフィに対応するのに必要とされる偏向速度、最小ビーム電流密度の問題が挙げられる。本願で開示される実施形態によるFIBシステムへの変更及び改良によって、半導体ワークピース及び他のメディア（例えば、フォトマスク、コンパクトディスク（CD）、デジタル多用途ディスク（DVD）、HD DVD、ブルーレイ等）のレジスト処理及びレジスト無しの両方の製造における、適切な製造処理性能を達成することができる。

【0016】

或る軸に沿って伝わりこの軸に対して横方向の分布を有する荷電粒子のビームの物理的性質を変更して、高速でデジタル（つまり“パルス化”）分布の書き込みビームを提供することができる。多様な方法を用いて、加速粒子の縦方向の経路内を進行する、時間的且つ空間的に定められた高密度の荷電粒子の節と低密度（または密度なし）の腹の波を生成することができる（本願において“デジタルビーム”と称する）。例えば、ビームバンチャーを用いて、荷電粒子の局所的な集団（または“フラッシュ”または“パケット”）を生成することができる。こうした荷電粒子の集団は、一つ以上の荷電粒子を含み得る。その後、デジタルビームは偏向器を通過するが、この偏向器上で、電圧の変化により、荷電粒子の集団は、伝播方向に対して位置を変化させる。電圧の変化は、粒子の節を有する位相において、時間調節可能であり、十分な偏向が生じる。腹の鋭いエッジの存在によって、直接書き込み用の高速ビームブランキングが効果的に提供される。デジタルビームをワークピースの表面に当てることによって、ワークピース表面への物質の堆積、エッチング及び/又は注入を含むレジスト無しのパターン処理、及び/又は高解像度レジスト露光が可能になる。

【0017】

図1Aは、本願で開示される特定の実施形態による装置100の例の斜視図である。図1Bは、図1Aの装置100の概略的な上面図である。装置100は、露光チャンバ102、ロードロックチャンバ104、輸送モジュール106、複数の処理チャンバ108を備える。図示されてはいないが、装置100が、下記で詳述される自動プロセスコントローラ及びガスマニホールドシステムを備えることは理解されたい。

【0018】

ロードロックチャンバ104は、例えば装置100内で処理される前後の現在の処理中ではないワークピース101を収容し得る。特定の実施形態では、ロードロックチャンバ104は、真空が得られるように構成されており、ロードロックチャンバ104と通信する輸送モジュール106の自動物質処理システム（Automated Material Handling System, AMHS）110が、移動毎に真空を上げたり下げたりする必要無く、ワークピース101を挿入及び/又は取出し得る。特定の実施形態では、ロードロックチャンバ104は、FOUP（Front Opening Unified Pod）に対応するように構成されている。

【0019】

輸送モジュール106は、装置100内部でワークピース101を移動させるように構成されている。輸送モジュール106は、少なくとも一つのワークピース101を操作するように構成されたAMHS110を備える。露光チャンバ102、ロードロックチャンバ104、輸送モジュール106及び/又は処理チャンバ108の構成に基づいて、適切なAMHS110が選択される。特定の実施形態では、AMHS110は、複数の輸送アームを備え、複数のワークピース101を同時に（または並行して）操作することができる。

【0020】

一部の実施形態では、輸送モジュール106がワークピースブレイライナを含み、輸送アーム110から取り外され続いて露光チャンバ102または処理チャンバ108内に配置されたワークピース101が、露光チャンバ102または処理チャンバ108内で処理

される準備が整った位置に存在するようになる。例えば、プレアライナは、ワークピース 101 の平端部、刻み目または他の識別可能な特徴部を位置決めするために、電荷結合素子 (Charge Coupled Device, CCD) や他のイメージング素子を用い得る。一部の実施形態では、プレアライナは、ワークピース 101 上の位置合わせ特徴部のオーバーレイパラメータを決定するように構成されている。オーバーレイパラメータには、x または y 方向のオフセットや回転等が含まれ得る。

【0021】

ワークピース 101 の種類及びサイズに応じて、様々な真空及び取扱システムを装置 100 において使用することができる。様々なワークピースを処理可能なシステムは、高速ワークピース取扱システムを使用することが好ましい。ワークピースの真空内での処理性能は、真空システムの外部の代わりに、真空下でワークピースステージ上にワークピースを位置合わせすることによって、増大可能である。標準的なワークピースホルダ (例えばウェーハマガジン) は、数分内に高真空にひかれる。真空下でのワークピース 101 の位置合わせは、ウェーハの真空内での処理性能を増大させ得る。

【0022】

一部の実施形態では、輸送モジュール 106 は、一つ以上の処理サブステーションを備える。例えば、処理段階の間にワークピース 101 を保持する一つ以上のバッファ領域、粒子汚染検出器、温度消光ステーション、及び / または、計測ステーションを備える。計測ステーションは、ワークピースの種類に対して適切な装置のいずれかから選択することができ、エネルギー分散分析器 (EDS)、波長分散分析器 (WDS)、二次イオン質量分析器 (Secondary Ion Mass Spectrometer, SIMS)、走査型電子顕微鏡 (Scanning Electron Microscope, SEM)、二次元レーザ走査型イメージング素子、三次元イメージングレーザレーダ (LADAR)、熱イメージング素子、ミリメートル波イメージング素子、ワークピースイメージング素子、カメラが挙げられるが、これらに限定されるものではない。

【0023】

露光チャンバ 102 は、ワークピース 101 を荷電粒子のデジタルビームに露光するように構成されている。図 2 に示されるように、露光チャンバ 102 は、ビームコラム 200 を備えるが、これについては図 3A に更なる詳細が示されている。ビームコラム 200 は、荷電粒子流を生成するための荷電粒子源 202 を備える。本願においては、イオンの場合の特定の実施形態のシステム及び方法について開示するが、同様のシステム及び方法において、電子、陽子を含む荷電粒子を利用することができることは理解されたい。荷電粒子は、一種以上の、正または負に帯電したイオン、並びに一価、二価、三価等のイオンを含み得る。一部の実施形態では、荷電粒子源 202 は複数のイオン種を生成するようにされている。一部の実施形態では、荷電粒子源 202 は、ターゲット上で測定した場合に 10 nm のスポットに集束された 1000 アンペア / cm^2 (A / cm^2) の電流を提供する。

【0024】

液体金属イオン源 (Liquid Metal Ion Source, LMIS) 技術によって、高電流密度荷電粒子ビームを生成することが可能になる。LMIS を生成する技術の例は、そこから針が下方に突出した液体金属の加熱された容器である。金属は毛管現象によって針の下方に流れる。引き出し電極からの電場は、針の先端の液体を、そこからイオンが放出される尖った先端部 (“テイラーコーン”) 内へと引き込む。点源は非常に明るく (例えば、略 $10^9 \text{ A} / \text{ステラジアン} / \text{cm}^2$)、2 nm という小さなビーム直径を可能にする適切な光学系を備える。多様な合金によって、半導体製造用の一般的な複数のイオン種が提供される。

【0025】

イオンの分布エネルギーを加速及び集束させることは、イオン光学システムの電流密度効率の損失を生じさせる色収差をもたらす可能性がある。イオンビームのエネルギー分布は半値全幅 (Full Width Half Max, FWHM) として測定可能であ

10

20

30

40

50

り、12%も分布し得る。電流密度効率を改善すること及び長期及び短期の安定性の問題を解決することによって、LMISの性能を、半導体処理手段として適切なものにすることができる。本発明の多様な実施形態の一側面は、有利にまとめることが可能な高エネルギー及び低エネルギーの軌跡の分布から荷電粒子のビームが成ることの実現である。

【0026】

少なくとも二つのメカニズムが、エネルギー分布の広がりにも寄与し得る。第一に、イオン形成に関係した効果であり、第二に、イオン形成後の空間電荷力である。LMIS源からのイオン放出は、エミッタ先端部でのイオンの直接電界脱離によっても、エミッタ先端部から少し離れた脱離原子の電界イオン化によっても、形成される。先端部表面の近くに発生したイオンが、更に下方の中性原子と電荷を交換し得て、この位置でゼロエネルギーイオンにする。エミッタ領域中の電場が高いので（例えば略20から50ボルト/nm）、異なる位置に形成されるイオンは異なるエネルギーを有し得る。空間電荷効果は、特に低速において、ビームのエネルギー分布を広げる。従って、コラム200は、形成後に直接イオンをフルエネルギーに加速させるように構成されていることが好ましい。低質量種を使用することは、このような種が適切に使用された場合にはイオンの加速の役に立つ。

10

【0027】

また、空間電荷効果は、高電流によっても悪化する。LMIS源に対しては、エネルギー分布の幅は、電流の2/3乗に比例することが好ましい。このように、リソグラフィへの従来のLMIS源の実際の適用は、電子ビームの場合と同じような様相を呈す。

【0028】

LMISに基づいたシステムで得られる最大電流密度に対する制限は、上方のイオン光学システムにおける非色収差によって生じるイオンビームのエネルギー分布に起因する。しかしながら、図3Bに示されるように、伝播方向に沿って荷電粒子の時間的かつ空間的に分解された集団を生成するように荷電粒子間の縦方向の間隔を調節すべく構成されている、荷電粒子源202の下流のビームデジタイザ206の使用によって、高速移動する粒子を効果的に減速させることができ、また、低速移動する粒子を加速させることができ、均一な速度が得られ、デジタルビームのそれぞれの集団内の均一なエネルギー分布（加速電圧）が得られる。従って、荷電粒子源の色収差の作用が減少する。

20

【0029】

電子ビームのドリフトと同じ様に、LMISのテイラーコーンの放出は、略一時間の期間にわたって、図8のパターンのように、予測不可能にドリフトする。検出されないと、このドリフトは、パターンの配置エラーを生じさせ得る。源の寿命及び電流の安定性は、従来のLMIS源を用いる製造処理手段に対する実際の適用の障壁となっている。荷電粒子源202の更なる改良によって、安定性及び寿命を改善することができ、よって、頻繁に源を交換しなくてよくなる。イオン形成に関連したエネルギー分布の広がり、LMISを低温で作動させることによって減少または最小化させることが可能であり、よって、先端部近傍の中性原子密度が減少する。また、エネルギー分布は、低蒸気圧種を選択することによっても減少または最小化可能であり、例えば、低電荷交換断面積を有し、先端部の表面に形成される、狭いエネルギー分布を有することが分かっている二価のイオン種が選択され、また、小型の仮想源という追加的な利点を有する種が用いられる。他の方法を用いることもできるということは理解されたい。

30

40

【0030】

特定の実施形態では、荷電粒子源202の長寿命は、動作に先立つ源の駆動パラメータの調整によって達成可能である。このように、自動調整ルーチンを組み込むことは、荷電粒子源202の長寿命及び安定性に寄与する。更に、硬化させた先端部を備える含浸電極型の針等の連続流という方法によって、荷電粒子源202の寿命を更に長くすることが可能である。改善された寿命の二次的な効果として、放出電流及び位置安定性の改善が挙げられる。源の放出位置の安定性は、偶発的なビームの登録及び調節からの源のサーボモータへのエラーフィードバックを用いて、連続的に補正可能である。

【0031】

50

また、他の荷電粒子源 202 を、本願で開示される実施形態と共に用いてもよい。例えば、荷電粒子源 202 は、プラズマイオン源 (Plasma Ion Source, PIS)、ボリュームプラズマイオン源 (Volume Plasma Ion Source, VPIS)、気体電界イオン化源 (Gas Field Ionization Source, GFIS)、カーボンナノチューブ電界エミッタ、自由電子レーザ及びターゲット、パルスレーザアブレーションイオン源、磁気閉じ込めプラズマアノード源 (MAP)、熱電界放出 (Thermal Field Emission, TFE) を含むが、これらに限定されるものではない。

【0032】

荷電粒子源 202 から放出された荷電粒子流は、コリメータ 204 によって或る軸に沿って、コリメートされ方向が決められる。光学素子の組み合わせを有する多様なコリメータ 204 が、コラム 200 において使用されるのに適している。例えば、コリメータ 204 は、二つ以上のレンズまたはレンズ及び反射光学素子を備え得るが、これらに限定されるものではない。コリメータ 204 は更に、荷電粒子ビームを成形するように構成された開口部を備え得る。特定の実施形態では、コリメータは、略 5 から 30 キロ電子ボルト (keV) の間の加速電位で荷電粒子流の方向を決めるように構成されている。特定の実施形態では、露光チャンバ 102 は、略 5 から 500 keV の間の加速電位で荷電粒子流の方向を決めるように構成されている。一部の実施形態では、コリメータ 204 の電圧は、例えば下方のコラム出口の開口部によって印加される追加的な電圧に対して相加的なものである。

【0033】

荷電粒子源 202 が複数のイオン種を発生させるように構成されている実施形態では、個々のイオン種を、粒子フィルタ (例えばスペクトロメータフィルタ) で荷電粒子流をフィルタリングすることによって、特定の処理応用のために選択可能である。例えば、質量分離器の開口プレート内に選択されたイオン種を偏向させるように、質量分離器を構成可能である。質量分離器をコリメータ 204 とビームデジタイザ 206 との間に配置することが好ましい。一部の実施形態では、質量分離器は反射光学素子を備える。一部の実施形態では、質量分離器は E x B レンズを備える。一部の実施形態では、質量分離器はウィーン (Wein) フィルタを備える。

【0034】

ビームデジタイザ 206 は、伝播方向に沿って荷電粒子間の縦方向の間隔を調節することによって、少なくとも一つの荷電粒子の離散的な集団を含むデジタルビームを生成するように構成されている。特定の実施形態では、ビームデジタイザ 206 は、略 1 から 7000000 個までの荷電粒子、略 1 から 1000000 個までの荷電粒子、略 1 から 100000 個までの荷電粒子、または略 1 から 50000 個までの荷電粒子を有する集団を形成するように構成されている。一部の実施形態では、ビームデジタイザ 206 は、荷電粒子の集団間の縦方向の間隔 D を、ビームの進行の略 10 m 未満、ビームの進行の略 1 m 未満、ビームの進行の略 10 cm 未満、ビームの進行の略 10 mm 未満、ビームの進行の略 1 mm 未満、ビームの進行の略 500 μ m 未満、ビームの進行の略 300 μ m 未満、ビームの進行の略 100 μ m 未満、ビームの進行の略 10 μ m 未満、ビームの進行の略 100 nm 未満、ビームの進行の略 10 nm 未満、または、ビームの進行の略 1 nm 未満であるように発生させるように構成されている。一部の実施形態では、ビームデジタイザ 206 は、荷電粒子の集団間の縦方向の間隔を、ビームの進行の略 1 nm から 10 m までの間、ビームの進行の略 1 nm から 1 m までの間、ビームの進行の略 1 nm から 10 cm までの間、ビームの進行の略 1 nm から 10 mm までの間、ビームの進行の略 1 nm から 1 mm までの間、ビームの進行の略 1 nm から 500 μ m までの間、ビームの進行の略 1 nm から 300 μ m までの間、ビームの進行の略 1 nm から 100 μ m までの間、ビームの進行の略 1 nm から 10 μ m までの間、ビームの進行の略 1 nm から 100 nm までの間、または、ビームの進行の略 1 nm から 10 nm までの間であるように発生させるように構成されている。荷電粒子の集団間の縦方向の間隔としては、実質的に等しいもの、等しくない

もの、周期的なもの、調波的なもの等が挙げられる。

【0035】

特定の実施形態では、ビームデジタイザ206は、ビームバンチャーを備える。無線周波数(Radio Frequency, RF)ビームバンチャーでは、荷電粒子流はバンチャーを通過するが、荷電粒子流はここで、交流電位、RFまたは多重変調電位の波形、ビート波、調波、変数、またはこれらの組み合わせによって影響を受ける。速度調節は荷電粒子を互いに圧縮し、荷電粒子が、空間的且つ時間的に分解された荷電粒子の離散的な集団を形成するようになる。特定の実施形態では、周波数及びバンチャーのギャップ長は、荷電粒子の集団の平均速度に適合するように構成されている。荷電粒子がバンチャーのギャップを通過すると、印加電位がそれぞれの荷電粒子の縦方向の速度を調節して、荷電粒子の一部(例えば、平均速度よりも遅い速度の荷電粒子)加速させる一方で、他の荷電粒子(例えば、平均速度よりも速い速度の荷電粒子)を減速させる(例えば図3Bに示されるように)。バンチャーのギャップのギャップ長、印加電位の強さ及び周波数、コラム200を介する荷電粒子の飛行時間(Time Of Flight, TOL)は、ワークピース101表面における荷電粒子の集団及びデジタルビームの最終的な特性を決定する。

10

【0036】

図3Cは、ビームバンチャーを介して進行する荷電粒子流を概略的に示す。バンチャーギャップGによって離隔されているビームバンチャー電極302、304にわたって、電位が印加可能である。その後変化がなければ、荷電粒子がビームバンチャーを通過後にどれ位進行してきたのかに依存して、荷電粒子は長さLで間隔がDの集団を形成し始める。一部の実施形態では、ビームバンチャーは、荷電粒子を進行中に集団に圧縮するように構成されている。一部の実施形態では、ビームバンチャーは、荷電粒子の集団を縦方向に圧縮するために電場を印加するように構成されている。荷電粒子がワークピース101に到達した際に、荷電粒子が縦方向に完全に圧縮されていることが好ましい(例えば、図3Cに示されるように)。バンチャーによって印加されるエネルギーは、荷電粒子流の初期エネルギーと、時間的且つ空間的に分解された荷電粒子の集団の最終エネルギーとの間の差によって、決定可能である。

20

【0037】

特定の実施形態では、ビームバンチャーは、複数のバンチャー電極を備え、従って、複数のバンチャーギャップを備える。デジタルビームの特性を変化させるために、二つの電極にわたって電位を選択的に印加することができる。例えば、1 μ mのバンチャーギャップGを有する電極にわたって電位を印加して、荷電粒子密度の低い節を生成することができ、また、3cmのバンチャーギャップを有する電極にわたって電位を印加して、荷電粒子密度の高い節を生成することができる。

30

【0038】

ビームのエネルギー、バンチャーの電流、周波数、ギャップ長等のビームバンチャーの入力パラメータと、間隔D、長さL、密度等のバンチャーの出力特性との間の関係は周知である。ビームバンチャーを、集団毎に所定の数の荷電粒子を提供するように動作させることが好ましい。第一に、電流を調節しながら、バンチャーのギャップ、周波数及びビームのエネルギーを一定にすることが可能である。第二に、バンチャーのギャップ及び周波数を調節しながら、ビームのエネルギー及びバンチャーの電流を一定にすることが可能である。また、他の動作設定も可能である。

40

【0039】

一部の実施形態では、ビームバンチャーは、電流の周波数で調節され、磁場を生じさせる螺旋コイルを備える。コイルの巻きの間の縦方向の間隔(“ギャップ”)、印加電流の強さ及び周波数、及び、コラム200を介する荷電粒子の飛行時間(TOF)は、ワークピース101表面でのデジタルビームの最終的な特性を決定する。特定の実施形態では、周波数及びコイルの巻きの間の縦方向の間隔は、デジタルビームの平均速度に適合するように構成されている。

50

【 0 0 4 0 】

荷電粒子のパンチングによって、上述のように荷電粒子密度を変化させるビームバンチャーの周波数、振幅及び負荷サイクルを変更することによる荷電粒子レベルでのドーズ量の変更を用いる書き込み方法が、最適化される。従って、ビームバンチャーのパラメータは、書き込み方法に応じて調節されることが好ましい。

【 0 0 4 1 】

特定の実施形態では、ビームデジタイザ 2 0 6 は、ビームブランカーを備える（例えば、デジタルビームを生成するのに十分な速度で動作可能なビームブランカー）。例えば、高速ブランカーは、特定の間隔で荷電粒子ビームを吸収するように構成されている開口プレートを備え得るが、これに限定されるものではない。開口プレートは初め、開口プレート内部のエッジ近傍の開口プレートの開口部を粒子流が流れるように配置される。電極は開口プレート内への粒子流を偏向させるように構成されていて、時間的且つ空間的に分解されたデジタルビームを生成するために粒子流を遮る。図 3 D は、高速ブランカーを進行する荷電粒子流を概略的に示す。開口プレート 3 1 6 は、荷電粒子流の近傍に配置される。電極 3 1 2、3 1 4 は、時間的且つ空間的に分解されたデジタルビームの荷電粒子の集団を生成するために、荷電粒子流に電位を印加するように構成されている。その後変化がなければ、高速ブランカーを通過した後に荷電粒子がどれ位進行したかに関わらず、荷電粒子は長さ L 及び間隔 D で進行し続ける。

【 0 0 4 2 】

また、ビームデジタイザ 2 0 6 の他の実施形態も可能である。一部の実施形態では、ビームデジタイザ 2 0 6 は、荷電粒子源 2 0 2 をオン / オフ状態に調節するように構成されている。一部の実施形態では、ビームデジタイザ 2 0 6 は、軸に対して縦方向に荷電粒子源 2 0 2 の位置を調節するように構成されていて、荷電粒子の集団を移動させるようになっている。

【 0 0 4 3 】

一部の実施形態では、ビームデジタイザ 2 0 6 は、例えば略 1 メガヘルツ (M H z) から 1 0 0 ギガヘルツ (G H z) までの周波数または、略 1 M H z から 2 5 G H z までの周波数を有する電磁放射を与えるように構成されている。このような実施形態では、ビームデジタイザ 2 0 6 を、電磁放射の振幅、電磁放射の周波数、及びこれらの組み合わせ等を調節するように構成可能である。一部の実施形態では、ビームデジタイザ 2 0 6 は、荷電粒子を含むプラズマにビート波を与えるように構成されている。一部の実施形態では、ビームデジタイザ 2 0 6 は、航跡場に空間電荷を与えるように構成されている。一部の実施形態では、ビームデジタイザ 2 0 6、空間電荷を共鳴吸収するように構成されている。一部の実施形態では、ビームデジタイザ 2 0 6 は、吸収用の開口部を介したビームをブランキングするように構成されている。一部の実施形態では、ビームデジタイザ 2 0 6 は、荷電粒子源 2 0 2 にパルス入射中和ビームを与えるように構成されている。一部の実施形態では、ビームデジタイザ 2 0 6 は、荷電粒子源 2 0 2 にパルスレーザビームを与えるように構成されている。

【 0 0 4 4 】

特定の実施形態では、本願で開示される構成要素が有利に組み合わせられる。一実施形態では、コラム 2 0 0 は、コリメータ 2 0 4 の下流にビームブランカーを備え、ビームブランカーの下流にビームバンチャーを備える。ビームブランカーからビームバンチャーへ向かうデジタルビームを用いて、デジタルビームの個々の集団を更に時間的且つ空間的に分解することができる。他の実施形態では、コラム 2 0 0 は、コリメータ 2 0 4 の下流にビームバンチャーを備え、ビームバンチャーの下流にビームブランカーを備える。また、他の構成も可能である。

【 0 0 4 5 】

コラム 2 0 0 は、ビームデジタイザ 2 0 6 の下流に偏向器 2 1 0 を更に備える。偏向器 2 1 0 は、デジタルビームの軸に沿って縦方向に配置された一続きの偏向ステージ（例えば、電極ステージ、磁気ステージ）を備える。偏向器 2 1 0 は、デジタルビーム中の荷電

粒子の個々の集団を偏向させる。ここで、“マイナーフィールド偏向”という用語は、偏向器 210 による荷電粒子の個々の集団の一つの偏向のことを称する。一部の実施形態では、偏向器 210 は、デジタルビーム中の集団を、伝播軸に実質的に垂直に偏向させる。特定の実施形態では、偏向器は、略 1 から 1000 個の、または四つの偏向ステージを備える。特定の実施形態では、偏向器は、少なくとも一つ、二つ、三つまたは四つの偏向ステージを備える。一部の実施形態では、それぞれの偏向ステージは二つ以上の電極を備える。一部の実施形態では、一つ以上の偏向ステージが、四つの電極を備える。また、偏向ステージ及び電極の他の量も可能である。

【0046】

特定の実施形態では、デジタルビーム中の荷電粒子の集団の平均速度は、略 1×10^4 メートル/秒 (m/s) から 3×10^8 m/s までである。一部の実施形態では、偏向電極ステージのそれぞれによる電位の印加は、偏向器を通過する荷電粒子の集団の平均速度に同調される。例えば、偏向電極ステージは、荷電粒子の集団が、一般的には、偏向器を通過する時のみに、具体的には、特定の偏向電極ステージを通過する時のみに、電圧が印加されるようになってい

一部の実施形態では、偏向電極ステージのそれぞれによる電位の印加は、偏向器を通過する荷電粒子の集団の平均速度に調波的に同調するようにされている。例えば、偏向器の少なくとも一部の偏向電極ステージのそれぞれは、荷電粒子の特定の集団が、一般的には、偏向器を通過する時のみに、具体的には、特定の偏向電極ステージを通過する時のみに、電圧が印加されるようになってい

一部の実施形態では、偏向電極ステージのそれぞれによる電位の印加は、偏向器を通過する荷電粒子の集団の平均速度にランダムに同調するようにされている。ここで、ランダムに同調するという用語は、その最も広範な意味において与えられるものであり、ランダムな間隔での荷電粒子の集団への偏向電極ステージによる電圧の印加の同調、ランダムまたは他の間隔での荷電粒子の集団へのランダムな偏向電極ステージによる電圧の印加の同調が挙げられるが、これらに限定されるものではない。

【0047】

特定の実施形態では、デジタルビームの荷電粒子の集団のそれぞれが通過すると、偏向ステージの電極が実質的に等しい電位差を印加する。荷電粒子の集団のそれぞれの偏向の量は、連続的に活性化される電極の数に依存する。一部の実施形態では、荷電粒子の集団のそれぞれが通過すると、偏向電極ステージのそれぞれに、可変電位が印加される。例えば、第一偏向電極ステージは、最小電圧を有するとともに後続の電極が漸進的により高い電圧を有し、電極が活性化されると、線形な偏向が生じるようになる。また、この逆も可能であり、第一電極が最大電圧を有するとともに後続の電極が漸進的により低い電圧を有する。活性化される偏向電極ステージの数は、デジタルビームの荷電粒子の集団のそれぞれの偏向量を決定する。偏向器に印加される公称電圧と信号のタイミングとは、個々の偏向電極ステージに対して較正可能であり、更には、それぞれの偏向電極ステージ内の個々の電極に対しても較正可能である。個々の偏向電極ステージの印加電圧の発動は、例えば、荷電粒子の速度、種及び質量、偏向ステージの位置、パターン解像度、パターンフィールドエラー、対象となる偏向フィールド内のエラー、プロセスの特定の補償、書き込み方法、これらの組み合わせ等のせいで、デジタルビームの荷電粒子の集団のそれぞれの入射をマッチングさせる必要があれば(“位相マッチング”)、遅らせることが可能である。特定の実施形態では、偏向電極ステージのフィールドの周囲は、伝播軸の中心から x または y 方向の、4 mm 未満、2 mm 未満、1 mm 未満、100 μ m 未満の位置ずれのマイナー偏向フィールドとして、定義される。

【0048】

特定の実施形態では、偏向電極ステージのそれぞれの電位は、意図した軌跡に向けて荷電粒子の集団を部分的に移動させるようになってい

それぞれの集団は、N 個の偏向電極ステージのそれぞれによって、意図した偏向距離の $1/N$ だけ部分的に偏向される。特定の実施形態では、第一偏向電極ステージ、または単一の偏向電極ステージのいずれかは、荷電粒子の集団の一つ以上(例えば全て)を、意図した軌跡に向けて実質的に完全に移

動させるようにされていて、他の偏向電極ステージは、集団の偏向を精密に調整するために用いられる。また、他の組み合わせも可能である。

【0049】

一部の実施形態では、例えば上述のように調波的に同調させた偏向器に対しては、偏向器の少なくとも一部はNセットの偏向電極ステージを有し、偏向電極ステージのそれぞれのセットはN個の偏向電極を有し、N番目毎の偏向電極ステージが、意図した軌跡に向けて荷電粒子の特定の集団を移動させるように構成されている。偏向器の少なくとも一部が二セットの偏向電極ステージを有するのであれば、この偏向電極ステージのセット中の一つおきの偏向電極ステージが、意図した軌跡に向けて荷電粒子の特定の集団を移動させるように構成され得る。偏向器の少なくとも一部が三セットの偏向電極ステージを有するのであれば、この偏向電極ステージのセット中の三番目毎の偏向電極ステージが、意図した軌跡に向けて荷電粒子の特定の集団を移動させるように構成され得る。他の変形例及び構成も可能である。

10

【0050】

図6Aは、それぞれの偏向電極ステージ中の少なくとも一つの電極を備える偏向器210の概略的な上面図を示す。荷電粒子を含むデジタルビームは、偏向器の中心の開口部602を介して流れるように構成されている。電極604、606及び608、610のセットは正または負に帯電され得て、荷電粒子の集団が、偏向器及び経路の縦方向の軸に対して垂直に偏向される。対向する電極、例えば電極604及び606は、逆符号に帯電されることが好ましい。図6Bは、偏向器210の右上の四分円の斜視切開図である。この実施形態では、電極606は絶縁体612によって分離されている。絶縁体の物質の例としては、 SiO_2 、 SiN_x 、 SiO_xN_y 、これらの組み合わせ等が挙げられる。単一の偏向器が複数の偏向電極ステージを備えると理解するよりも、偏向器210が、それぞれが一つ以上の偏向電極ステージを備える一続きの偏向器を有するものと理解されたい。例えば、偏向器210は、三セットの偏向器を有し得る。図6Bに示されるように、荷電粒子の集団は、これらが経路に沿って進行すると、偏向電極ステージのそれぞれによって偏向される。他の偏向器及び電極の構成も可能である。

20

【0051】

特定の実施形態では、偏向器210は、荷電粒子の集団を三次元時空間（“適応可能な仮想デジタルステンシル”）内へ配置するように構成されている。特定の実施形態では、偏向器210は、荷電粒子の集団の横方向に分布するパターンを生成するようにされている。一部の実施形態では、偏向器210は、パターンまたは仮想ステンシルを縮小するようにされた偏向器レンズを更に備える。偏向器レンズは、静電レンズ、電磁レンズ、反射レンズ、反射及び屈折レンズの組み合わせ、反射及び偏向レンズの組み合わせ、偏向及び屈折レンズの組み合わせ、同一なものの組み合わせ等を含み得る。図7は、偏向器210から出て来る荷電粒子の集団が仮想デジタルステンシル702内に配置されるコラム200の概略的なブロック図であり、荷電粒子の集団のそれぞれは、マイナーフィールド偏向を経ている。対物レンズアセンブリ212は、メジャーフィールド偏向で仮想ステンシルを偏向させるように構成されている。マイナーフィールド偏向、メジャーフィールド偏向、及び、ワークピース101の移動の組み合わせを用いて、ワークピース101上に荷電粒子のパターンを露光することができる。

30

40

【0052】

特定の実施形態では、軸に対して縦方向のデジタルビームの荷電粒子の集団の位相は、実質的に等しい、単調波、多重調波、ランダム、これらの組み合わせ等であるように構成されている。偏向ステージ間の間隔は、荷電粒子の集団と同調して同相となるようにされ得る。一部の実施形態では、偏向電極ステージの縦方向の位置は調節可能である。一部の実施形態では、偏向器210は、例えば偏向電極ステージ間の間隔を調節するための、デジタルフィードバックシステムを備える。圧電素子等を用いて、電極または偏向ステージの位置を合わせることができる。

【0053】

50

一部の実施形態では、コラム 200 は、偏向器 210 とワークピースステージ 214 との間に配置された対物レンズアセンブリ 212 を更に備える。対物レンズアセンブリ 212 は、レンズ、ミラー、反射光学素子、反射光学素子及び屈折レンズの組み合わせ、反射光学素子及び偏向電極の組み合わせ、偏向電極及び屈折レンズの組み合わせ、同一なもの組み合わせ等を含み得る。一部の実施形態では、対物レンズアセンブリ 212 は、荷電粒子の集団または適応仮想デジタルステンシルを縮小、集束及び / 又は偏向させるように構成された偏向電極アセンブリまたは偏向レンズアセンブリを備える。例えば、特定の実施形態では、略 200 nm の直径（または“スポットサイズ”）を有する荷電粒子の集団を 1 / 10 に減少させて、略 20 nm の直径にするが、これに限定される訳ではない。また、対物レンズアセンブリ 212 は、集団またはステンシルを 1 / 100 または 1 / 1000 に縮小させるようにされ得る。対物レンズアセンブリ 212 が仮想デジタルステンシルを偏向させる実施形態では、この偏向は、“メジャーフィールド”偏向と称される。一部の実施形態では、対物レンズアセンブリ 212 のフィールドの周囲は、伝播軸の中心から x または y 方向の、10 mm 未満、5 mm 未満、1 mm 未満、100 μ m 未満の位置ずれのメジャー偏向フィールドとして、定義される。特定の実施形態では、出射孔は一つの出射孔を有する。

10

【0054】

図 2 を参照すると、露光チャンバ 102 は、下方の対物レンズアセンブリ 212 の下流にワークピースステージ 214 を備える。ワークピースステージ 214 は、ワークピース 101 を保持するように構成されている。ワークピースステージ 214 は、干渉ステージを有することが好ましく、そこで、ステージの相対的な位置が光学干渉を用いて測定される。ワークピースステージ 214 は、オーバーレイエラーに繋がる可能性のある、ワークピース内の倍率エラーを減少させるために、熱的に制御され得る。ワークピースステージは、ワークピース 101 が荷電粒子の集団に露光されている間に、連続的に移動するように構成されていることが好ましい。例えば、ワークピースステージ 214 は、露光中の 1 秒間という期間で 25 センチメートルの寸法にわたって連続的に移動するように構成され得る。また、他の例では、ワークピースステージは、露光中の 0.5 秒毎に、5 ナノ秒よりも長く停止することなく移動するように構成され得る。ワークピースステージ 214 を停止させることなく移動させながら連続的に露光する能力によって、効率及び処理性能を増大させることが可能である。

20

30

【0055】

特定の実施形態では、ワークピースステージ 214 は、水平面におけるワークピースステージ 214 の位置を決定するように構成された干渉計を備える。ステージの x / y 方向の相対的な位置は、光学干渉計を用いて測定可能である。また、他の方法も可能であり、例えば、ワークピースステージは、二次イオン質量分析器 (SIMS)、後方散乱した電子または登録グリッドの下に配置されたファラデーカップによって検出可能な登録マーク、グリッドまたは特徴部を備えてもよい。登録マークは、ワークピースに対する登録マークの作用高さを最適化するために、コラム 200 に対して平行に移動可能なアセンブリ内に含まれることが好ましく、これによって、コラムの較正と登録のエラーが減少する。デジタルビームを、コラムの位置合わせをチェックするために、周期的またはランダムに登録マークに向けることができる。また、登録マークを用いて、ワークピースの露光の前後及び / 又はその最中に、コラム 200 を較正することができる。

40

【0056】

一部の実施形態では、チャンバ 102 は、ワークピースステージ 214 及び / 又は登録マークの高さを測定する高さ制御システムを更に備える。高さ制御システムは、例えば、レーザから放出され、ワークピース、ワークピースステージ、及び / 又はワークピースと共に移動する表面によって反射される光を受光するように構成されたレーザ及び複数の検出器を含むことができる。高さ制御システムは、例えば、静電クランプ、圧電素子等を用いることによって、ステージの上昇を調節することによって、ワークピースステージの測定された高さの変化を補償することができる。一部の実施形態では、高さ制御システムは

50

、1 μm 未満の高さの変化を補償するように構成されている。静電クランピングを用いて、ワークピースステージ214に対してワークピースを固定し、ワークピースの適切な熱的接触及び平坦性を確実にすることができる。

【0057】

フルモーション書き込み(Full Motion Writing, FMW)は、ワークピースを露光する間におけるワークピースステージの動きのオーバーヘッド時間を省くことができる。FMWにおいては、偏向器210システムは、ワークピースステージ214の動きを追跡するために、実時間で更新され、これによって、ワークピースステージが動いている間に、システムがパターンを書き込むことが可能になる。このようなプロセスでは、ワークピースステージ214の位置を追跡するために、高速光学コントローラ(例えばレーザ)が用いられることが好ましい。例えば、このコントローラ上の回路は、ドップラシフトレーザ偏向の測定結果を、ステージ位置レジスタに保存可能なレーザパルスに変換することができる。干渉法、レーザ偏向測定、または他の光学的な方法を用いて、ワークピースの位置を追跡することができる。従って、ステージを再配置してシーケンスを処理する間の非露光時間を減少または省略することによって、リソグラフィシステムの処理性能を改善することができる。

10

【0058】

ワークピースの露光中に、それぞれの偏向フィールドの中心が、WOO(Window Of Opportunity)によって決められる。ワークピースステージが動いて、偏向フィールドが非書き込みのWOOの上を通過する間に、ステージコントローラが、偏向コントローラに信号を送り、露光を初期化する。偏向されないビームの中心がWOOを通過しながら、ワークピースが露光される。WOO内では、偏向システムは、フィールドの限界まで偏向することができる。この間に、偏向システムは、ワークピースステージの実際の位置のワークピースステージ位置レジスタによって、更新される。

20

【0059】

ワークピースステージは、実時間で偏向を補正することを可能にする。WOOのサイズまたはフレームのサイズを変更することによって、または、フレーム間のパターンデータを平坦化することによって、システムを、連続書き込みのために動的に最適化することができる。典型的なフレーム/WOOの密度を図4Aに示す。

【0060】

ワークピースステージを、適切な速度性能を提供するように構成することができ、例えば、100センチメートル毎秒の速度性能が提供される。ワークピースステージは、露光中に、最大で略40000毎分回転数(rpm)までで回転するように構成され得る。例えば、ワークピースステージは可能な限り小さな慣性を有し得て、互換性のあるワークピースステージのモータのデザインを提供することができる。真空互換性のある空気ベアリングレール及びリニアモータドライブにより、振動源の適切な絶縁が提供される。追加例として、ワークピースステージのモータを真空システム内に配置可能であり、軽量物質をワークピースステージ用に使用可能であり、ワークピースをステージ上に位置合わせ可能であり、よって、ワークピースカセット及びカセットクランピングハードウェアが省略される。更に、ワークピースステージの動きを適切に制御するために、電子ハードウェアによって、ステージの位置の最初の三回の微分(速度、加速度、躍度)を、限定及び減衰させることが可能である。図4Bはワークピースステージ及び制御電子機器の一例の概略図である。

30

40

【0061】

露光チャンバ102は、例えば、ウェーハ取扱制御、真空制御、サスペンション制御、温度制御、圧力制御等を含むシステムサポート電子機器220と、源制御モジュール、デジタイザ制御、偏向制御、レンズ制御、ウェーハ高さセンサ、ビデオプロセッサ、ステージ制御、動的補正器(例えば、コラムの収差の実時間での補正用)を含むコラムサポート電子機器230といった制御電子機器と通信し得る。コラムサポート電子機器230はデータ処理電子機器240(例えばワークステーション)と通信し得る。

50

【 0 0 6 2 】

本願で開示されるシステムの応用の例は、ワークピース上への直接書き込みによるその場 (in situ) ワークピース処理またはレジスト露光を実行することである。ターゲットワークピースに対する光学系の正確な登録が達成されることが好ましいが、ツールによって誘発されるずれ (Tool Induced Shift, TIS) 及びワークピースによって誘発されるずれ (Workpiece Induced Shift, WIS) のエラーが、温度効果、ワークピース処理効果及び光学的歪みによってもたらされ得る。解決策の一例は、ワークピース上の初期パターン (例えば、一つ以上の位置合わせマーク) を測定することであり、また、測定データを利用して、例えば露光パラメータを調節することによって、新しくパターン化されたイメージをワークピース上へと正確に配置することである。

10

【 0 0 6 3 】

登録センサは、露光処理性能の質に影響を与えることなく、様々な登録及び位置合わせマークのパターン、物質及びプロファイルを自動的に検出及び認識可能であることが好ましい。このようなセンサを達成する例としては、既存のハードウェアと共に高解像度高速登録システムを使用すること、登録方法の制限及び柔軟性を決定すること (例えば、ダイからダイへの登録でワークピースをマッピングすることによって)、温度調整段階を組み込むこと、ダイからダイへの登録用に高速モアレ (回折格子) 干渉計を導入すること、またはこれらの組み合わせ等が挙げられるが、これらに限定されるものではない。また、他の方法も可能である。

20

【 0 0 6 4 】

高解像度高速登録システムは既存のハードウェアを採用することができ、また、既存の電子ビーム登録と同様ののものであってもよいが、複数のイメージングモードを用いてもよい。対象 (例えば、登録または位置合わせマーク) の表面のデジタルビームでの走査は、二次電子放出、二次イオン放出及びイオンスパッタリングを生じさせる。二軸またはシリンドリカルマイクロチャネルプレートを用いて、二次電子と (例えば、ターゲットの電圧の上にバイアスをかけることによって)、二次イオン (例えば、ターゲットの電圧の下にバイアスをかけることによって) との両方を検出可能である。また、他の構成も可能である。ビームがターゲットに衝突するそれぞれの点において、二次イオン及び二次電子の信号の収率を測定することによって、イメージを形成することができる。収率の変化は、ワークピースの組成または表面トポロジーの変化を示す。この信号の位置解像度は、登録中の測定されたビームのスポットサイズと偏向ピクセルサイズの積であり、統計的方法論によって増補される。スパッタリングされたイオンは、このようなイオンが収集可能であり、二次イオン質量分析法 (SIMS) によって質量が分析可能であるので、より高いマーク認識性能を提供する。SIMSの登録法は非常に発展していて、マーク検出用とプロセスの進展の診断用との両方に対して使用可能である。ビームのスポットサイズの空間解像度を備える原子マップにより、マーク検出のための優れた精度が提供可能である。

30

【 0 0 6 5 】

登録を最適化するため、検出器のビデオ信号の積の和を、登録または位置合わせマークのコンピュータによって発生させたイメージとともに用いて、高ノイズのバックグラウンドから、(これを用いなければ認識不可能であった) ターゲットの信号を増強または回復することが可能である。これは、初期信号の増強のためにバイアスのオフセットとビデオの増幅率を自動的に相関させることによって、実施可能である。一旦、トーンが適切に調節されれば、信号を、登録または位置合わせマークのコンピュータを用いた (CAD) イメージと相関させることができ、マークの増強されたイメージが得られる。他の信号は、デジタルビームマーク相互作用から検出可能である。二次電子及び後方散乱電子からの信号のような信号を、この目的のために使用可能である。更に、二次電子及び後方散乱電子からの信号を差別的に採用することにより、検出の制限 (例えば、信号対ノイズ比) を改善することができる。例えば、最終的な検出信号は、SIMSと他の信号との差であり得る。登録のスピードは、登録電子機器の質によって制限され得るが、最新の電子機器 (例

40

50

えば、デジタル信号処理 (Digital Signal Processing, DSP) を組み込むことによって、登録の解像度に影響を与えることなく、登録時間を桁違いに減少させることができる。

【0066】

登録の質及びスピードに関して考慮しなければならない他のことは、露光に先立ってワークピースに対して登録をするために用いられる構成である。ワークピースの予め調節された及びプロセス中の温度安定性に応じて、複数の方法が、歪み及び処理性能の問題を補償するために利用可能である。ワークピースのマッピングは一般的に、単一のダイを登録し、システムの処理性能に対する減少したまたは最小のオーバーヘッドを提供するが、露光中に温度の不安定性によって生じるパターンの歪みに対してはなんら補正を提供しない。例えば、温度歪み効果を最小化するために、ダイの露光に先立って早急に実施されるダイからダイへの登録では一般的に、レベル毎に、ダイ毎の四つの登録が用いられる。こうした方法では、蛇行モードで書き込む性能が無くなり、メモリー負荷のオーバーヘッド時間によって、システムの処理性能が劇的に制限される。しかしながら、複数のダイ上への登録を同時に実施することによって、複数のダイを含むフィールド内において蛇行モードで書き込む性能が維持され、これによって、パターンの歪みを減少または最小化させながら、処理性能を増大または最大化させることができる。

10

【0067】

オーバーレイの精度は、デバイスの幾何学的形状が縮小するにつれて、益々重要になっている。デジタルビームツールに対しては、集積回路を製造するための、単一のワークピース上への多重レベルパターンの直接露光が、正確な層内登録を含むことが望ましい。ワークピースの位置合わせ法の一例は、三つの特徴を有する。即ち、デジタルビームの表面衝撃からの適切な信号発生、検出信号を処理するための検出アルゴリズム、位置合わせ特徴部の形成方法である。

20

【0068】

ワークピース上への荷電粒子の衝撃によって、二次電子、後方散乱電子、フォトン、二次イオン等の媒体を生成させることができるが、ここで、そのそれぞれが検出効率において特定の利点を有している。しかしながら、登録目的のための特定の媒体の選択は、荷電粒子種、荷電粒子のエネルギー、ビームの電流密度に依存する。信号検出器を所定の媒体のために最適化してもよい。例えば、電子 光増倍管は一般的に二次電子に適していて、固体ダイオードは一般的に後方散乱電子に適していて、二次イオン質量検出器は一般的に、フォトン及び二次イオンに適している。

30

【0069】

デジタル信号プロセッサは、位置合わせマークの位置を決定するために、信号検出器からの情報を処理する。従来の検出方法には、デジタルビームによる一次元ライン走査が含まれる。デジタルビームは、位置合わせマークにわたって偏向により遷移するので、検出されるビデオ信号は変調されている。変調は、位置合わせマークとワークピースの輪郭との違いにより生じる。実際の位置合わせマークの位置は、デジタル信号処理モジュールを介して変調された信号の分布を処理することによって、決定可能である。他の検出法として、位置合わせマークのビデオイメージを得るためのデジタルビームのX/Y走査モードが挙げられる。エッジを正確に検出するために、デジタル信号処理アルゴリズムが適用される。位置合わせ特徴部のエッジの検出の改善は、数フレームのビデオデータを平均化し、グレイスケール信号処理によって位置合わせマークの正確な位置を決定する二次元イメージング法を介して達成される。

40

【0070】

位置合わせマークは、等間隔な二次元グリッドの形状でワークピースの作業領域全体にわたって形成されることが好ましい。構築法の一つは、シリコン、二酸化シリコン (SiO₂) 及びポリシリコンの層から成り、ウェーハのポリシリコン層の上に位置合わせマークが形成された、隆起した多層半導体構造体を形成することである。他の構成法では、位置合わせマークは、シリコンウェーハの表面内へとエッチングされ、重金属 (例えば、タ

50

ンタルまたはタングステン)の層をトレンチ内に堆積させる。重金属を含む位置合わせマークは、シリコン基板と比較して高レベルの後方散乱を示し、これによって、低エネルギーの後方散乱イオン検出に対して、輪郭の詳細が提供される。適切な位置合わせ特徴部の構築法の選択は、プロセス段階によって決められる信号媒体及び信号検出器に依存する。

【0071】

最小である三つの位置合わせマークは、並進、回転及び倍率のエラーを正確に識別するためには好ましいものである。測定されたエラーは、補正のために、ワークピースステージ制御システムにフィードバックされ、これによって、ワークピース及びツールによって誘発されるずれのエラーが減少する。グローバルな位置合わせマークの処理は、総計誤差を取り除くことによって、局所的な位置合わせマークのより高速でより正確な検出を可能にする。位置合わせプロセスを、ワークピースが露光チャンバに挿入される度、ワークピースが装置から除去される度、特定のプロセス段階の間等において、繰り返すことが可能である。また、他の方法を用いてもよい。

10

【0072】

パターンングツールは、操作可能な(例えば、デジタルからアナログに変換可能な)フォーマットの多量のマイクロエレクトロニクス回路パターンデータを、短期間で(例えば数ナノ秒で)転送する。データは典型的には、後述のように、超大規模集積(Very Large Scale Integration, VLSI)のコンピュータ支援設計(Computer Aided Design, CAD)用のフォーマットである。このデータを用いて、例えば、偏向器210、偏向器のレンズ、対物レンズ212及び/又はワークピースステージ214の移動による偏向を制御することができ、また、このデータを、光学系の収差を処理するために調節することができる。荷電粒子露光チャンバは、例えば、製造又は取り付けの不完全性、及び、光学系の物理的制約のせいで、不完全性(例えば、収差、偏向エラー)を有し得る。一例として、システムが、ワークピースステージ214に対して相対的に僅かに回転するように設置されていると、ビームの偏向が、ワークピースステージ214の動きに対して相対的に回転し得る。また、より複雑なエラーも存在し得る。例えば、ビームで巨大な正方形の外形を追跡しようとする、ピンクッション型またはバレル型のパターンが生じ得る。こうした効果の強さは、デジタルビームの偏向の強さに比例し、偏向フィールドのサイズが限定される可能性があり、また、システムの書き込みの質において非線形な歪みが生じる可能性がある。従って、デジタルビームを用いた高解像度書き込みは、偏向フィールドの歪み、ウェーハの歪んだパターン配置のエラー、ステージの位置等を補償するために、変換されたパターンデータを増補することが可能であることが好ましい。

20

30

【0073】

更に、処理中の誤差が生じ得る。パターンの歪みまたは偏向の歪みは、ワークピースをデジタルビームに露光する際の複数の要因に起因し得る。例えば、露光チャンバ102またはワークピース101の熱的ゆらぎが倍率エラーを生じさせ得る。他の例としては、ワークピースステージ214にワークピース101をしっかりとクランピングすることまたは、回転エラーを生じさせ得るものであり、また、パターンのずれをもたらす応力を誘発し得る。更に他の例としては、回復不能な非線形なパターンの歪みが、急速熱アニーリング等の後続処理によってもたらされ得る。また更に他の例としては、光学系の製造または設置が不完全であり得て(例えば、ワークピースステージに対して相対的なわずかな回転を有する)、また、光学系が特定の物理的制約を有する。更に複雑なエラーが特定のプロセスによって誘発されることもあり、例えば、巨大な正方形をデジタルビームで追跡しようとする、ピンクッション型またはバレル型のパターンが生じ得るが、これに限定されるものではない。エラーの大きさは、ビームの偏向の大きさに比例し得るものであり、エラーが偏向フィールドのサイズを制限する可能性があり、また、システムの書き込みの質において非線形な歪みを生じさせる可能性がある。適応可能な仮想デジタルステンシルは、あらゆる所定の時点においてソフトコード内にある。このようにして、ステンシルは、マイナーフィールド内で非線形なパターンのオフセット、増幅率、回転及び補正を実時間

40

50

で補正するために時間的且つ空間的に適応可能である一方で、メジャーフィールド内で偏向される。こうした補正は、特徴部、ダイ内において、またはワークピース全体に対して実施可能である。

【 0 0 7 4 】

デジタルビームリソグラフィシステムは、ワークピース上の処理中に誘発されるエラー及び光学エラー（例えば、コマ収差、非点収差、歪曲収差、色収差、球面収差、像面歪曲等）を補償するためのパターン及びビームの補正を実施することができることが好ましい。このような補正によって、書き込みの質が改善され、システムの処理性能が增強される。

【 0 0 7 5 】

パターン及び偏向の歪みの問題は、システム内にデータ操作バイアス電子機器（ハードウェア及びソフトウェア）を組み込むことによって、補正可能である。例えば、プロセス制御ソフトウェアは、デジタルビームの偏向を補正するための計測の計測結果を用いることができる。このような計測は、ワークピースを露光するのに先立って、行われることが好ましい。デジタルビームの質を、最初に最適化することができて、後続の計測からの改善されたまたは最適な測定結果が提供される。一部の実施形態（例えば図 4 C に示されるような）では、刃形のマイクロメッシュグリッドが、デジタルビームによって走査される、ダイオード検出器の上に配置される。走査位置によるビーム電流の二回微分によって、高解像度のビームのプロファイル（例えば図 4 D に示されるような）が得られる。光学系制御システムでビームプロファイルを最適化（例えば自動最適化）することによって、ビームを集束させることが可能になる。

【 0 0 7 6 】

一旦デジタルビームが小さなまたは最小の偏向角度で最適化されれば、システムは、歪んだ偏向フィールドの限界内の複数の位置にワークピースステージ 2 1 4 を移動させることによって、より大きな使用可能な偏向フィールド内でデジタルビームのプロファイルを補正することができる。その後、デジタルビームは、ビームの最適化のためにグリッドが走査された位置に偏向される。このシーケンスは、拡張されたサイズの偏向フィールドに対して繰り返される。その後、ビームの最適化データを、干渉計またはワークピースステージ 2 1 4 の他の位置モニタリングシステムと相関させることができる。特定の実施形態では、エラーの線形の寄与が独立変数として蓄えられる一方で、非線形なエラーが純粋なメモリとして蓄えられる。メジャーフィールド内のマイナーフィールドの位置に依存するビームの歪みも補正可能である。マイナーフィールド内では、偏向の歪みを校正するためのグリッドの使用を、グリッド上の走査をフィッティングするための適応可能な仮想デジタルステンシルのメジャーフィールド偏向によって、ワークピースステージを移動させることなく、実施することが可能である。結果として、ビームのプロファイルの自動最適化または改善を、拡張された偏向システム内で実施することが可能になり、よって、書き込みの質及び処理性能が改善される。

【 0 0 7 7 】

ワークピース 1 0 1 が、処理中に生じる温度または応力の効果の結果として、回転するまたは歪む可能性があるからので、最終的な測定を、ワークピース 1 0 1 の部分（例えば、個々のダイ）を露光するのに先立って行うことができる。パターンが、以前のパターンレベルを既に含むワークピース 1 0 1 上に書き込まれているならば、例えば、ダイの三つまたは四つの角を登録し、その後、それぞれのダイ内で倍率または回転の補正を適用することによって、新しいレベルを調節して、以前のレベルの上にオーバーレイすることができる。例えば、校正ソフトウェアは、露光に先立ってそれぞれのダイのエッジ上の特徴部を自動的に測定することができ、測定結果は、ワークピースを位置合わせする、処理するまたは取り扱う間に生じる何らかのパターンの回転、倍率または移動に対する補正を行うために使用される。

【 0 0 7 8 】

上述のように、露光チャンバ 1 0 2 を、ワークピース上のパターンを発生及び露光する

ための、例えばCAD形式の、集積回路(IC)デザインデータを提供することによって、作動させることが可能である。装置100の利用者は、特定の配置構成及び/又は処理パラメータに従って、書き込みたい所望のパターンを入力する。一旦、装置(例えば集積回路)用のデザインが形成されれば、デザインの多重パターン層を配置することができて、所望のようにワークピースを覆う(例えば、ワークピース全体を覆う)。ユーザインターフェイスを備える完全な露光データ作成(Exposure Data Preparation, EDP)パッケージを用いて、生のデザイン(例えばCADまたはグラフィックデータシステム(GDSII)の)を、露光システム102によって使用可能なフォーマット(例えば、露光レディフォーマット(Exposure Ready Format, ERF))に変換することができる。パターンデータをシステム上にローディングするのに先立って、フォーマットを複数回変更して(例えば、圧縮、同様のパターンの特徴部の統合、重なるルーチンの減少等)、露光チャンバの処理性能を改善または最大にすることができる。一旦パターンデータが減少サイズまたは最小サイズに圧縮されると、フィールド区分ルーチンによって、パターンデータのメジャー偏向フィールド及びマイナー偏向フィールドを定義することができ、それぞれのデータフレームにおいて、密度を正規化するための平坦化ルーチンが使用される。正規化によって、繰り返しの近接する多重密度パターンを書き込む際の急な動作が減少する。上述のような登録の後には、意図したビームパターンを実際のワークピースのパターンに対して校正するための、また、オーバーレイの精度を改善するための何らかの補償を適用するための登録データを用いて、パターンがワークピース上に配置される。

10

20

【0079】

多様な実施形態において、例えば、GDSIIやOASISや他の適切なフォーマットのパターンデータがシステム内に入力される。その後、入力データはサブフィールドへとフラクタル化され、“書き込み”用であるのか“非書き込み”用であるのかが識別される。書き込みサブフィールドのマッピングは、ラスタライズ化(例えばビットマップへの変換)用のデータ経路モジュールへと送られる。処理性能の改善は、非書き込みサブフィールドを露光しないで、ワークピースステージを動かして、ビームを一つの書き込みサブフィールドから、近接しない書き込みサブフィールドへとビームを偏向させることによって、達成される。パターンデータのない非書き込みサブフィールドを処理するのに時間が費やされない。

30

【0080】

多様な偏向技術を用いて、ワークピースを荷電粒子に露光することができる。ラスタ走査は、ビームがワークピース全体にわたって前後に移動する走査モードである。即ち、ビームは、指定された領域上ではオンにされ、次の指定された領域までの間はオフにされる。ベクトル走査は、パターンが配置されるべき選択された領域のみをデジタルビームが走査する走査モードである。即ち、選択された領域の走査が完了した後は、ビームがオフにされ、走査されるべき選択された領域へと移動される。ベクトルラスタのハイブリッド技術は、データパターンのサブフィールド間のメジャーフィールド偏向に対してはベクトル法を利用し、サブフィールド内のガウス型または成形されたデジタルビームを偏向させるためにはラスタ走査技術を利用する。処理能力の改善を、露光される位置に対するワークピースステージの移動のみの結果として得ることができる。ベクトルラスタの他の形態には、メジャーフィールド内のベクトル偏向と、マイナーフィールド内のパターンの特徴部間のベクトル偏向と、マイナーフィールド内の特徴部のラスタイメージが含まれる。ベクトルラスタシステムのベクトル性能によって、純粋なラスタ走査システムに対するより高い処理性能が提供可能であり、ベクトルラスタシステムのラスタ性能によって、短い停止(ドウェル)時間を有する大電流と、優れたパターンの忠実さとが許容される。

40

【0081】

上述のように、特定の好ましい実施形態では、デジタルビームのマイナーフィールド偏向は、偏向器を介して達成されるが、これが可能であるのは、荷電粒子の集団の縦方向の

50

空間及び時間の間隔によって、それぞれの集団の個々の偏向が可能になるからである。特定の実施形態では、それぞれの偏向電極ステージに印加される電圧は、荷電粒子のそれぞれの集団の速度に適合するように時間が決められる。

【0082】

荷電粒子の集団間の間隔は、ブランキングを効果的に提供することができる。特に、集団間のこのようなブランキングは、連続的またはほぼ連続的な荷電粒子の流れの完全な流束を効果的に使用する。集団間の時間の間隔によって、偏向エラーが補正される（エラー補正された信号の和によって、ステージの配置、偏向の収差、光学的収差、書き込みモードプロセスの調節を補償することができる）。処理性能の改善は、デジタルビームにワークピースを露光する時間を最大にすることによって達成可能である。

10

【0083】

特定の好ましい実施形態では、デジタルビームは、複数のパターン露光方法を実施することができる。このような方法は、露光のドーズ量、種、パターンの質、荷電粒子の集団毎のビームのエネルギー、集団のセットに対するビームのエネルギー、適応可能な仮想デジタルステンシルに対するビームのエネルギーを変更するように設計され得る。また、装置が、特定の書き込み方法内において、露光のドーズ量、種、パターンの質、荷電粒子の集団毎のビームのエネルギー、集団のセットに対するビームのエネルギー、適応可能な仮想デジタルステンシルに対するビームのエネルギーを離散的に変更できてもよく、特定のプロセスに対する特定の書き込み方法が最適化される。

【0084】

20

書き込み方法の一実施形態では、ビームは、ワークピースの全領域にわたって、ラスタ方式で走査される。特定の実施形態では、ビームのスポットサイズは、ラスタのグリッド間隔よりも大きい（例えば図21Aに示されるように）。特定の実施形態では、ビームのスポットサイズは、ラスタのグリッド間隔に略等しい（例えば図21Bに示されるように）。つまり、パターンはメジャーフィールド内ではベクトル走査され、マイナーフィールド内ではラスタ走査され、露光される特徴部内では一回のパス（pass）でラスタ走査される。デジタルビームでの特徴部の処理は、ピクセル毎のドーズ量の変化を活用することができ、エッチング、注入、堆積を実施する際の特徴部のエッジの質が改善される。一部の実施形態では、一よりも大きなデジタルビームのスポットサイズ対ピクセルの比によって、荷電粒子の集団の配置を平均化することができ、また、露光プロセスのエラーを減少させることができる。デジタルビームスポットサイズ対ピクセルの大きな比によって、ラインのエッジの粗さが改善され、重なるビームからの累積的な投与によってより大きなドーズ量を堆積させることができる。また、このプロセスは、レジストが有っても無くても実施することができる。

30

【0085】

書き込み方法の他の実施形態では、行と列の交互の露光が、大きなスポットサイズ及び小さなピクセルサイズの比で実施される。デジタルビームで交互のピクセルを露光することによって、選択された特徴部と同じ幅のピクセル露光の半値幅が生じ、これによって、両方の軸におけるターゲット値に対する特徴部の限界寸法が増大する（例えば、図21Cに示されるように）。つまり、パターンは、メジャーフィールド内ではベクトル走査され、マイナーフィールド内ではベクトル走査され、露光される特徴部内では一回のパスでx及びy方向の両方の交互のピクセルにおいてラスタ走査される。処理性能は、フラッシュ毎の荷電粒子の数を、限界寸法の制御を犠牲にして、有効的に減少させることによって、増大する。デジタルビームに対してこの書き込みモードを使用することには、装置の性能を改善するためにピクセル毎のドーズ量の変更または多重種露光を適用する性能、特徴部のエッジの質、レジスト無しのエッチング、注入及び堆積プロセスを実施する際の処理性能といった利点がある。システムの処理性能の改善は、有効書き込みグリッドの二乗で増加するので、劇的なものになり得る。このプロセスは、レジストが有っても無くても実施することができる。

40

【0086】

50

書き込み方法の更に他の実施形態では、ピクセル間隔のマトリクス（または“コンポジット”）を分割し、一続きのパスの交互配置されたコンポジットの組み合わせの露光をオーバーレイする。ここで、それぞれのパスは、書き込みアドレスの一部によってx及びy方向の両方において他のパスからオフセットされている。つまり、パターンはメジャーフィールド内ではベクトル走査され、マイナーフィールド内ではベクトル走査され、露光される特徴部内のピクセルを交互配置する一続きのパス内ではラスタ走査される。ビームサイズを、フラッシュを平均化して集団毎の荷電粒子の数を減少させるために、ピクセルサイズよりも25～100%大きく設定することができる（例えば図21Dに示されるように）。より大きなビームスポットサイズ対ピクセルサイズは、系統的なエラーを平均化することによって、ラインのエッジの粗さを減少させて、より高いドーズ量の堆積を可能にするのを助ける（例えば図21Eに示されるように）。デジタルビームに対してこの書き込みモードを使用することには、直接エッチング、注入及び堆積プロセスを実施する際の特徴部のエッジの質を改善するためにピクセル毎のドーズ量の変更を適用する性能といった利点があり、これによって、特徴部のエッジの質が改善される。このプロセスはレジストが有っても無くても実施することができる。特徴部の質が改善されるが、ここで、多重パスは、処理性能にほとんどまたは全く影響を与えずに達成される。

10

【0087】

書き込み方法の更に他の実施形態では、所定の入力アドレスサイズのセルのアレイを有するサンプリングマトリクスが利用される。それぞれのパスは、一回のパス内のビームの配置間の距離によって画定される書き込みグリッドを生じさせる。つまり、パターンは、メジャーフィールド内ではベクトル走査され、マイナーフィールド内ではベクトル走査され、露光される特徴部内でピクセルを交互配置する多重オフセットのコンポジットの特徴部のパターンを生成するために、x及びy方向においてオフセットされた一続きのパス内ではラスタ走査される。全てのパスのコンポジットは、有効露光グリッドを形成する（例えば、図21Fに示されるように）。また、ビームのドーズ量は、システムの動作エンベロープ内で自由に変更可能である。デジタルビームに対してこの書き込みモードを使用することには、レジスト無しのエッチング、注入、堆積プロセスを実施する際の特徴部のエッジの質を改善するためにピクセル毎のドーズ量の変更を適用する性能といった利点があり、これによって、特徴部のエッジの質が改善される。また、このプロセスは、略400MHzよりも大きなピクセルレートで、レジストが有っても無くても実施することができる。従って、特徴部の質と処理能力との間のバランスをとることができる。また、ビームのドーズ量は、システムのプロセスによって定められた動作エンベロープ内で変更可能である（例えば、図21Gに示されるように）。このことは、ビームバンチャーの負荷サイクルを調節することを含む多数の方法で行うことができる。多重レベルのピクセル強度が0%から100%までのビーム強度で提供される。部分的な強度のピクセルを、特徴部のエッジに沿って用いることで、デカルト座標系のラスタ走査グリッドのライン間のエッジが決められる。ドーズ量の調節は、パターンデータファイルを介して使用者によって指定可能である。デジタルビームの処理に対してこの書き込みモードを使用することには、レジスト無しのエッチング、注入、堆積プロセスを実施する際の特徴部のエッジの質を改善するためにピクセル毎のドーズ量の変更を適用する性能といった利点があり、これによって、特徴部のエッジの質が改善される。また、このプロセスは、レジストが有っても無くても実施することができる。従って、特徴部の質と処理性能との間のバランスをとることができる。

20

30

40

【0088】

図8は、デジタルビームを用いたベクトルラスタ書き込み方法の一例を示す。ワークピースは正方形のピクセル1から44へと分割される。ビームは一般的に、1から4まで、その後5から12まで、その後13から22までといった様に、ワークピースにわたって蛇行する動きで書き込む。それぞれのピクセルは、ストライプへと分割され、それぞれのストライプはフィールドへと分割され、フィールドはサブフィールドへと分割される。ビームは一般的に、それぞれのストライプ、フィールド、サブフィールドにわたっても蛇

50

行する動きで書き込む。それぞれのサブフィールド内では、ビームは、書き込まれる特徴部が存在する場所に対してのみ書き込むことができる。ベクトル走査と同様に、デジタルビームは、選択された領域のみを走査するが、ビームを、他の領域に移動させるためにオフにする必要が無く、少なくともビームをオフにする時間が減少する。何故ならば、荷電粒子の集団間のデッドスペースをこの目的のために使用することができるからである。

【0089】

装置の幾何学的形状が減少すると、正確なオーバーレイでのパターンニングは、最小または限界寸法よりも少なくとも一桁小さいことが好ましい。ワークピースの処理及び取り扱い、配置エラーに寄与するワークピース全体にわたるパターンエラーを誘発し得るが、このことは、幾何学的形状が0.25マイクロメートル未満になると顕著である。しかしながら、連続パターンニング設備（例えば、デジタルビームを備える露光チャンバ）は、登録及びパターンデータの増補によって、こうしたエラーを補正するための柔軟性を有する。完全自動計測プログラムは、デジタルビームを整列される命令を出し、偏向ノワークピースの位置合わせの較正を実施し、ウェーハパターンの歪みを認識及び補正するものであるが、これによって、最新レベルでのパターンの欠陥を排除することができるだけでなく、他のパターンエラーも排除することができる。

【0090】

上述のように、ビーム測定及びレーザ干渉計システムは、数オングストローム内の精度を有する。この測定を用いて、システムの較正ソフトウェアは、メジャー偏向フィールド及びマイナー偏向フィールドの両方に対して、偏向の増幅率、線形性、オフセット及び回転を収集することができる。偏向は、レーザ干渉計システムに対して較正されて、偏向フィールド内でのデジタルビームの仕様通りの偏向の動き及びプロファイルが提供される。また、ビームの偏向に関するデジタルビームのプロファイルの線形または非線形なエラーも、測定及び補正可能である。それぞれのダイは露光に先立って登録されているので、温度の補償は、パターンソフトウェアに対して補正を加えて、補正された状態でダイを露光することによって、実施可能であり、これによって、システムが、アニーリング、真空放射流出と蒸発、及び、不適切な調節によって生じるパターンの歪みを、減少させるまたは排除することが可能になる。

【0091】

電子データ作成 (Electronic Data Preparation, EDP) ソフトウェアの柔軟性によって、パターンの変更が処理の変動に適應することが可能になる。パターン編集、トーン反転、特徴部のバイアスによって、装置100の使用に対する改善された柔軟性が提供される。更に、特徴部の縁取り、サイズ指定のドーズ量 (dose by size)、種類指定のドーズ量 (dose by type) によって、小型の幾何学的形状における、デジタルビーム補助化学エッチング (Digital Beam Assisted Chemical Etching, DBACE) 及びデジタルビーム核生成堆積 (Digital Beam Nucleation Deposition, DBND) を改善することができる。

【0092】

データ操作バイアスシステムは、例えば、光学系制御システムに対するパターンデータ適用補正データを増補することによって、パターン及び偏向の歪みを補正することが好ましい。データマニピュレータシステムは、光学系の制御に先立って、最終的なパターンデータをバイアスし、従って、超高速電子機器（例えば、システム中で最も高速の電子機器）を含み得る。このシステムは、パターンデータの補正、偏向の歪みの補正及び、光学系制御システムのフロントエンドに対するワークピースステージの動きの補正を足し合わせる。光学系制御システムのフロントエンドのデジタルからアナログへの変換器は、データマニピュレータからのデジタル信号を変換する。一旦増幅されると、このアナログ信号が、コラム200を駆動させる。

【0093】

オーバーレイの精度はサブミクロンリソグラフィを制限し得る。例えば、従来のリソグ

10

20

30

40

50

ラフィシステムは、ウェーハ処理によって生じる非線形なパターンの歪みを補正することができず、このことは、ワークピースのサイズの増大及び装置の幾何学的形状の減少によって悪化する。しかしながら、本願で開示される特定のデジタルビームシステムは、こうしたエラーを有利に補正することができる。何故ならば、パターンはレチクル上に固定されてはおらず、露光中に変更可能だからである。適応可能な仮想デジタルステンシルは、あらゆる所定の時点においてソフトコードである。従って、メジャーフィールド内で偏向されながら、非線形なパターンのオフセット、増幅率、回転、及びマイナーフィールド内の補正を補正することが時間的且つ空間的に適応可能である。こうした補正は、特徴部、ダイ内部またはウェーハ全体に対して実施可能である。

【0094】

露光チャンバ102内でワークピース101を処理する方法は、荷電粒子のデジタルビームにワークピース101を露光する段階を備える。特定の実施形態では、ワークピース101を露光する段階は、荷電粒子流を形成する段階と、或る軸に沿ってこの荷電粒子流をコリメートし伝播させる段階と、少なくとも一つの荷電粒子を有する集団（またはパケットまたはフラッシュ）を備えるデジタルビームへこの荷電粒子流をデジタル化する段階と、前記軸方向に沿って縦方向に配置された一続きの偏向電極ステージを用いて荷電粒子の集団を偏向させる段階と、パターンを縮小する段階と、荷電粒子の集団の縮小されたパターンをワークピース101上に集束させる段階とを備える。露光のドーズ量は、略 1×10^{17} 荷電粒子/cm²未満であることが好ましい。上述のように、ビームをデジタル化する段階は、例えば、ビームバンチング段階、高速ブランキング段階、これらの組み合わせ等を備えてもよい。

【0095】

一部の実施形態では、荷電粒子の集団を偏向させる段階は、それぞれの偏向電極ステージにおいて、偏向電極にわたって電圧を選択的に印加する段階を備える。また、電圧を選択的に印加する段階は、第一偏向電極ステージに小さな電圧を印加して、他の偏向電極ステージにより大きな電圧を印加する段階を備えてもよい。荷電粒子の集団の縮小は、略200nm未満の、略50nm未満の、略10nm未満の、略5nm未満の、または、略1nmのパケットの直径を提供することが好ましい。ワークピースステージは、露光プロセス中に連続的に移動してもよい。例えば、ワークピースステージは、1秒間に、略100cmの寸法にわたって、連続的に移動し得る。他の例では、ワークピースステージは、0.5秒毎に、5ナノ秒よりも長く停止することなく移動し得る。

【0096】

図5は荷電粒子の複数の集団502、504を示す。一部の実施形態では、荷電粒子の集団の偏向は、ワークピースのデッドゾーン512の間で生じるので、偏向中には露光が生じない。飽和ビームパルスの立ち上がり時間509は、ブランクまたはブランクのないエッジ用に使用可能である。一部の実施形態では、荷電粒子の集団の幾何学的形状は、時間軸に対して垂直なx及びy次元においてガウス型であり、また、伝播軸に対して、速度もガウス型である。一部の実施形態（例えば、図5に示されるような）では、荷電粒子の集団502、504は、縦方向の軸に沿って、台形の断面を有する。図5では、荷電粒子の二つの集団502、504が示されている。それぞれのデジタルビームは、密度分布の立ち上がり時間506及び立ち下がり時間508を有する。荷電粒子のない部分と荷電粒子のピーク密度との間の時間は、急速なパルス立ち上がり時間509である。それぞれの集団502、504が荷電粒子のピーク密度を有する時間は、デジタルフラッシュ時間510である。飽和濃度の荷電粒子と荷電粒子のない部分との間の時間は、急速な立ち下り時間511である。荷電粒子が存在しない時間はデッドゾーン512（腹領域）である。第一集団（例えば、集団502）内の荷電粒子の飽和濃度の最後と、後続の集団（例えば、集団504）内の荷電粒子の初期濃度との間の時間は、偏向時間514である。第一集団（例えば、集団502）内の荷電粒子の最初の濃度と、後続の第二集団（例えば集団504）に対する荷電粒子の初期濃度との間の時間は、フラッシュ負荷サイクル（または“フラッシュスポットレート”）516であり、マイナーフィールド内の特徴部から特徴部

10

20

30

40

50

への偏向時間用に用いられる。しかしながら、一部の実施形態では、ブランキングが、多重負荷サイクルにわたって生じ得る。ブランカーを使用してもよい。

【0097】

図1A及び1Bを再び参照すると、装置100は、少なくとも一つの専用処理チャンバ108を更に有し得る。追加の処理チャンバを、高度な処理のために任意で 사용할ことができる。処理チャンバ108は、多様なワークピース処理設備を備え得る。例えば、処理チャンバ108は、エッチング、堆積（例えば、酸化、核生成等）、急速熱アニール（Rapid Thermal Anneal, RTA）、これらの組み合わせ等を含み得るが、これらに限定されるものではない。一部の処理チャンバ108は、露光チャンバ102内で露光されたワークピース101を処理するように構成されてもよく、一方で、他の処理チャンバ108を、他の処理チャンバ108内で処理される前後や、露光チャンバ102で処理される前後等のワークピース101を処理するように構成することができる。特定の実施形態では、処理チャンバ108は、ワークピース101を実質的には変化させない。例えば、処理チャンバ108は、較正または計測ツールを備え得る。特定の実施形態では、装置100は複数の処理チャンバ108を備え、ワークピース101が、生の基板から実質的な完成品へと変換される。ワークピース101は、装置100から取り外されることなく完全に処理可能であることが好ましい。特定の実施形態では、開始基板から実質的な完成品までの期間は、一週間未満であり、より好ましくは二日間未満であり、更に好ましくは一日間未満であり、更に好ましくは、一時間未満である。

10

20

【0098】

実施形態の一例では、二つの処理チャンバ108は核生成及び酸化堆積専用であり、第三の処理チャンバ108は、急速熱アニーリング専用であり、第四の処理チャンバ108は、化学補助デジタルビームエッチング（Chemically Assisted Digital Beam Etching, CADBE）専用である。こうしたプロセスの全てを一つの処理チャンバ108で実施することもできるが、専用にすることによって、例えば、CADBEチャンバ内の腐食を避けるための頑丈な物質を使用することが可能になる。

【0099】

自動処理ソフトウェアを用いて、システムの性能の全ての側面をモニタリング及び分析すること、全ての機能操作の自動制御を実施すること、及び、システムによって実施されるそれぞれのプロセスを最適化することができる。このソフトウェアは、システムの全てのセンサ上のデータ収集ルーチンを実施することができ、その結果を、システムの状態をアドレスする動作上および性能上の関連したレポートへとまとめることができる。また、このソフトウェアは、実際のプロセスと比較されるターゲットとされたプロセスを含むシステムを介して処理されるそれぞれのワークピースに対する処理レポートを作成することができ、故障解析及びプロセス境界を決定するために用いることができる。自動制御ループ（例えば、ナレッジベースルーチン）へのプロセスパラメータのフィードバックによって、進展中のプロセスに高い影響力が示される。このソフトウェアは、一つ以上の計測プロセスから収集されたデータを組み込んで、こうしたプロセスの進展を増強してもよく、例えば、エッチング速度、堆積の厚さ及び汚染をモニタリング及び調節する。このソフトウェアは、プロセスシーケンス、それぞれのシーケンスに対するプロセスパラメータ等を含むシステムの機能の全てを操作することが好ましい。一方で、パターンの露光はパターン生成システムによって制御されてもよい。このソフトウェアは、プロセスシーケンスに基づいたインターロックを生じさせることができ、また、プロセスの全自動化および最適化を提供することができる。他の構成も可能である。特定の実施形態では、使用者の制御及び調節も用いられる。

30

40

【0100】

エッチングは、半導体回路製造用のプロセスである。影響力の高いマイクロエレクトロニクスの集積回路では一般的に、限界寸法及び位置内までの物質の高解像度のエッチングが利用される。金属、半導体及び誘電体を、特徴部の深さに対して正確な制御で、一様に

50

、異方性を有し、再現性を有するようにエッチングする性能は、多くの応用において望まれるものである。標準的な処理方法では典型的に、レジストに関連したパターンニング段階が利用され、これに、物質の除去を実施するための湿式または乾式化学エッチングが続く。

【0101】

レジストのパターンニングは、エッチングプロセスのプロファイル、サイズ、深さ及び一様性の質を限定する。集束イオンビームによる露光後のミリングまたはエッチングによって、レジストを使用せずに、物質の高解像度の除去が提供される。しかしながら、高ドーズ量及び低感度は、設備の低速化を招き、ミリングは商業的には成功していない。化学補助プロセス（例えば、化学補助イオンビームエッチング（Chemically Assisted Ion Beam Etching, CAIBE）や反応性イオンエッチング（Reactive Ion Etching, RIE））がミリングを増強するために導入されているが、これらをFIB設備に組み込むことはできない。何故ならば、露光チャンバ内でガスが複数の構成要素と反応するからである。対照的に、本願で開示されるように、レジスト無しの処理に互換性のある集団内の濃縮された荷電粒子と組み合わせた低ドーズ量の方法によって、質の高いパターン及び高い処理性能が提供される。

【0102】

特定の実施形態では、ワークピースのエッチング、注入及び堆積は、露光チャンバ102内で実施可能である。デジタルビーム及びプロセスガスに対して晒すことによる多重活性化によって、これら三つのプロセス全ての効率を劇的に改善することができる。エネルギー、種及び電流に関して特定のプロセス専用デザインされたデジタルビーム（これはデジタルビームのパラメータが調節可能であるために可能である）は、プロセスガスの分子の一部に衝突しこれを分解することができる。分解された分子は、ワークピースの表面の原子に衝突し、ワークピース内に新しい原子がスパッタリングまたは注入されるか、ワークピース表面上に新しい原子が堆積される。一部の実施形態では、ワークピースの一部及び/又は全てが露光中に加熱される。

【0103】

新しい系統のエッチング法は、レジスト無しのプロセスを用いる高解像度高処理性能のマイクロエレクトロニクスの製造に理想的に適している。この新しいプロセスの系統は、デジタルビーム補助化学エッチング（Digital Beam Assisted Chemical Etching, DBACE）と称され、ミリングよりも10倍から100倍もイオン露光に対して感度がよい。このプロセスは、エッチングされる領域に対するパターンのデジタルビーム露光を含む少なくとも二段階を備える。ワークピースのターゲット表面は非常に低いドーズ量のイオンエネルギーに露光され、化学剤に対する反応領域を生成させる。その後、ワークピースは、別のチャンバ内の反応性ガスへと導かれる。結果として、高解像度の乾式化学エッチングプロセスによって所望の位置内の物質が積極的に除去される一方で、露光チャンバ内の他のワークピース上へのデジタルビームパターン露光が並列的に処理される。例えば、DBACEを、塩素（ Cl_2 ）またはフッ素（ F_2 ）ガスを用いてシリコンまたは二酸化シリコン（ SiO_2 ）上に実施することができ、 Cl_2 を用いてヒ化ガリウム（GaAs）上に実施することができ、酸素（例えば O_2 ）及び酸化窒素（ N_2O_3 ）を用いて炭素（例えばダイヤモンド）上に実施することができ、三フッ化臭化炭素（ CBrF_3 ）を用いてタンゲステン及びモリブデン上に実施することができ、ウェットな水酸化化学物質（例えば、水酸化ナトリウム（ NaOH ）や水酸化カリウム（ KOH ））を用いて高温超伝導体（例えば、 $\text{La}_{1-x}\text{Ba}_x\text{CuO}_4$ や $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ （酸化イットリウムバリウム銅、YBCO、Y123、イットリウムバリウム銅酸化物））等の銅酸化物や、通常の金属領域を有するまたは有さない銅酸化物（ペロブスカイトセラミック）に対して実施することができる。DBACEは、ヒ化ガリウムの電界効果トランジスタ（Field Effect Transistor, FET）装置のゲートのリセス部を、下にあるアクティブ装置領域を破壊することなくエッチングすることに成功している。

10

20

30

40

50

【0104】

図9A～9Cは、デジタルビーム補助化学エッチングプロセスの一例を概略的に示す。図9Aでは、酸化層902がヒ化ガリウムの上に堆積されている。図9Bでは、酸化層902が、露光チャンバ102内で、矢印904で示される例えばガリウムイオン (Ga^+) を用いて露光されている。その後、ワークピースはエッチング剤チャンバへと輸送される。図9Cでは、塩素 (Cl_2) のエッチングによって、露光チャンバ102内で露光された酸化層、並びに、その下の塩化ガリウム (GaCl_2) 及び塩化ヒ素 (AsCl_2) としてのガリウム及びヒ素のそれぞれが除去される。この結果物は、図9Cに示されるような、ヒ化ガリウム内のトレンチである。エッチングされる物質に応じて、他のイオン種及びエッチング種を選択してもよいことは理解されたい。

10

【0105】

マイクロエレクトロニクスの製造においては、薄膜の堆積は基本的なプロセスである。多くの方法が薄膜を堆積させるために使用されて来っており、蒸発、物理気相堆積 (Physical Vapor Deposition, PVD) (例えば、スパッタ堆積)、化学気相堆積 (Chemical Vapor Deposition, CVD)、原子層堆積 (Atomic Layer Deposition, ALD)、メッキ (例えば、電気メッキ)、コーティング (例えば、スピンコーティング) が挙げられる。従来の製造では、こうした方法は通常、ワークピースの全面上に物質を堆積させ、この物質が、レジストパターンニングプロセスを用いたリフトオフまたはミリング法によって、パターンへと形成される。コスト、複雑さ及びレジストパターンニングプロセスの物理的制約のせいで、他のレジストの無い方法の方が、半導体処理においては一般的に好ましいものである。堆積プロセスの適用前後または適用中における粒子ビームへの露光によってレジストパターンニングプロセスを有利に回避し得る堆積法には、粒子ビーム及び熱活性堆積が含まれ、例えば、デジタルビーム活性CVD、デジタルビーム活性熱核生成、デジタルビーム活性ALD、化学補助デジタルビーム堆積が挙げられるが、これらに限定されるものではない。

20

【0106】

直接パターン堆積の二つの例は、イオンビーム核生成堆積 (Ion Beam Nucleation Deposition, IBND) と、化学補助イオンビーム堆積 (Chemically Assisted Ion Beam Deposition, CAIBD) とである。両方法とも、ワークピース表面上で原子を分解させるかまたは核生成させるが、低速のビーム書き込み方法によって制限され得る。CAIBDについては、デジタルビームを使用することにおける利点に関して上述したが、デジタルビーム無しでも実施可能である。IBNDは多重PVD/CVDプロセスであり、ワークピースが粒子ビームに露光された後に、有機ガスがワークピースに対して導入される。成長は、ALDと同様に核生成 (露光) サイトから生じる。IBNDでは一般的に、CAIBDよりも略五桁小さいイオンドーズ量が採用され、IBNDがCAIBDよりも100000倍以上高速なものになる。

30

【0107】

その場 (in situ) 堆積プロセスは、シリコンの相補型金属酸化物半導体 (Complementary Metal Oxide Semiconductor, CMOS)、ヒ化ガリウム及びその他の装置の製造用の多様な所望の物質を提供する。しかしながら、このようなプロセスに対しては、堆積処理性能及び膜質が高く望まれる。IBND以前においては、ウェーハ製造用の適度な処理性能の堆積は、その場 (in situ) ビームプロセスを用いたのでは不可能であった。一例として、大きなイオンドーズ量 (例えば、 4×10^{16} イオン/ cm^2) を用いたCAIBDに対する膜堆積レートは、ビーム電流によって略100A/ cm^2 に制限され、500の厚さの層を一平方センチメートル堆積させるには20年以上かかる。しかしながら、IBNDでは、処理性能及び質の問題を満たしながら、所望の膜厚を得ることができる。例えば、直径300mmのワークピースの使用可能な表面の30% (略200 cm^2) を2.5の堆積物質で被覆する

40

50

プロセスにおいては、 10 A/cm^2 のビーム電流密度を有する露光チャンバ102を用いて露光するのに略五秒間かかり、 $10\text{ cm}^2/\text{s}$ のオーダで核生成サイトを露光することができる。その後、ワークピースが、堆積のための核生成チャンバに輸送される一方で、他のワークピースを露光チャンバ102内で露光することができる。

【0108】

図10A～10Cは、デジタルビーム補助堆積プロセスの一例を概略的に示す。図10Aの未処理のワークピースから開始し、図10Bの矢印1002で示される、デジタルビームの荷電粒子の集団で、ワークピースの一部が露光される。その後、ワークピースは、ワークピースが反応物質（例えば、反応性流体、好ましくは反応性ガス）に晒される堆積チャンバへと輸送される。反応物質は、露光された領域と反応し、物質が核生成または原

10

【0109】

シリコン、ヒ化ガリウム及びその他の電子機器の集積マイクロエレクトロニクス製造では、トランジスタの接合エッジにおける装置の移動度のプロファイルを変更するために、イオン注入が利用される。従来の注入法には一般的に、レジストの堆積、パターニング、現像、焼成、これに続くイオン注入、レジストの除去（例えば、アッシング及び/又はストリッピング）、洗浄が含まれる。装置の製造では、これら一連の注入法が用いられるので、多数のパターニング段階が必要とされる。パターニングは、連続注入によって減少し得る。しかしながら、装置は、傾斜注入、低不純物濃度ドレイン（Lightly Doped Drain, LDD）、より高い性能が得られる共注入、装置の性能を増加させるための典型的なトレードプロセスの単純化を取り入れている。例えば、高解像度注入の配置の正確さによって、装置の信頼性及び/又はプロセスのロバスト性の増加がもたらされる。従来の注入法に関連した処理性能の限界は、多数の注入を必要とする装置によって悪化する。一例として、従来のCMOSプロセスを使用すると、注入単独（つまり、レジストの堆積、パターニング、現像、焼成、これに続くイオン注入、レジストの除去、洗浄）で、略70ものプロセス段階が必要となることがある。結果として、次世代の影響力の大きい電子機器のコストは相当なものになり得る。

20

【0110】

こうした注入方式の開発は特にコストがかかるものになり得る。例えば、レジストのパターニング段階において使用されるレチクルマスクの製造には、数ヶ月間及び数万ドルがかかり得る。プロセスの開発（例えば、レチクルに適したレジストの露光条件、レジストの種類、レジストの厚さ等）には、更に数ヶ月間かかり得る。開発が完了したら、数週間または数ヶ月間かけて、パイロット版が製造される。テストによって、レチクルのデザインまたはプロセス段階に欠陥があることが明らかになると、プロセスをやり直す必要が生じ得て、機能する装置が確実に生成可能になるまで、繰り返される。こうした長期開発は、特定の装置（例えば、限定された数の装置しか製造されない特殊な軍用装置）に対しては、現実的ではなく、不可能なことさえある。

30

【0111】

レジスト無しの直接書き込み注入を使用することによって、研究、パイロット版の製造、完全な製造環境における高度な方法（例えば、シングルレベルの傾斜注入、LDD、共注入）を取り入れるための製造の柔軟性及び短期開発期間が提供可能である。こうしたシステムでは、例えば略20nm内の略5keV電子ボルトから略500keVまでの範囲の垂直方向の注入プロファイルを達成可能である。こうしたシステムは、イオンビームの種を選択する柔軟性及び、一つの傾斜エネルギーまたはドーズ量プロファイル内にビームを9nm以内で配置する柔軟性を有するが、このことを用いて、傾斜注入、LDD、共注入等の高度な注入プロセスを達成することができる。

40

【0112】

図11Aから11Dは、直接書き込み注入を用いて処理されるワークピースの断面を概略的に示す。図11Aの未処理のワークピースから開始し、図11Bの矢印1100で示される第一セットのデジタルビーム露光プロファイルで、ワークピースが注入される。結

50

果物は、ドーピングされた物質の領域 1102 を有する図 11C のワークピースである。その後、図 11C に矢印 1104 で示される第二セットのデジタルビーム露光プロファイルを有する注入が実施される。結果物は、ドーピングされた領域 1102 及びドーピングされた領域 1106 を有する図 11D のワークピースである。ドーパントを活性化させるため、それぞれの注入後、または一連の注入後に、ワークピースをアニーリングしてもよい。特定の実施形態では、図 11D に示されるワークピースに、単一の注入を実施することが可能で、例えば、図 11E から 11I に示される方法を用いる。

【0113】

図 11E では、荷電粒子の集団の荷電粒子密度が、矢印 1108 で示されるように、ワークピースにわたって走査されるにつれて、変更される。ワークピースの領域 1110 は、低濃度ドーピングされる（例えば、 n^- ）一方で、領域 1120 は高濃度ドーピングされる（例えば、 n^{++} ）。図 11F は、図 11E のものと同様のワークピースの位置対ドーズ量の記録のプロットである。ドーズ量のプロファイルを、例えば図 11E のビームを重ねることによって、線形にすることができる。図 11G では、ビームのエネルギーが、矢印 1122 で示されるように、ワークピースにわたって走査するにつれて、変更される。ワークピースの領域 1124 は浅くドーピングされる（例えば、低不純物濃度ドレインのように）一方で、領域 1134 は深くドーピングされる（例えば、 n 型ウェルのように）。図 11H は、図 11G のものと同様のワークピースの位置対注入深さのプロットである。ドーズ量のプロファイルを、例えば図 11G のビームを重ねることによって、線形にすることができる。一部の実施形態では、エネルギーは略 5 から 500 keV までで変換し、より好ましくは略 5 から 200 keV までで変化する。図 11I では、集団の荷電粒子密度及び集団のエネルギーが、矢印 1136 で示されるように、ワークピースにわたってデジタルビームが走査されるにつれて、変更される。ワークピースの領域 1138 は、低濃度でかつ浅くドーピングされる一方で、領域 1148 は高濃度でかつ深くドーピングされる。例示してはいないが、例えば種のような他のビームパラメータを変更することもできるということは理解されたい。特定の実施形態では、ビームは、トランジスタにわたって、ダイにわたって、またはワークピースにわたって変更される。特定の実施形態では、ビームは、ワークピース上の略 20 nm の領域内で変更される。また、ビームの変更によって、エッチング、堆積及び他のプロセスが増強され得る。

【0114】

1.5 μm 未満のゲート長を有する装置において許容可能なレベルの信頼性を達成するための標準的な方法は、低不純物濃度ドレイン（LDD）プロセスを使用することである。この二段階の注入プロセスによって、チャネルエッジ付近の電場を低下させるソース及びドレイン領域が生成され、衝撃イオン化レートが低下し、ゲート酸化物内へ移動する可能性のあるホット電荷が少なくなるので、装置の長期信頼性が増強される。ビーム注入によって、ソース/ドレイン注入の水平方向の適切な段階化が可能になり、単一の段階で LDD プロセス全体が完了する。このように、ビーム注入によって、シリコン基板に対する損傷により特に歩留まりに影響を与える可能性のある、側壁スペーサ及びこれに関連したエッチングプロセスの必要性和二つのフォトリソグラフ段階とが排除される。

【0115】

LDD プロセスは、ゲート長が 1 μm の装置のピーク相互コンダクタンスをおおよそ 10% 劣化させる可能性があり、ゲート長が 0.5 μm の装置のピーク相互コンダクタンスを 20% も劣化させる可能性がある。しかしながら、一方の側の上のイオン注入を排除することによって、装置の性能が顕著に改善され得る。従来の処理方法では、これには、ソース側をマスキングするための追加のパターニング段階が必要とされるため、ほとんど実施されることはなかった。しかしながら、ビーム注入によって、電場が高いトランジスタのチャネルのドレイン側の上のみに LDD を配置することが可能になり、イオン注入をソース側からは省略することができる。図 12A から 12C は、単一のデジタルビームプロセス段階によって達成可能なワークピース内の注入構造の概略的な断面図を示す。

【0116】

また、ビーム注入を用いて、装置のスケーリングを改善することができる。装置のスケーリングを制御することにおける限定要因は、ソース/ドレインの接合深さである。接合が浅ければ浅いほど、短チャネル効果は少なくなり、スケラビリティの度合いが大きくなる。しかしながら、浅い接合によって、寄生ソース/ドレイン抵抗が増大する。このソース/ドレイン抵抗の影響は、ディープサブミクロン装置においては相当なものである。この場合においては、ビーム露光の横方向の段階的ポテンシャルを用いることが特に有効であり、例えば、トランジスタのチャンネルの近くでは非常に浅いが、トランジスタのコンタクトの下では深いままであるドレインを作成することによって行われる。チャンネルエッジの近くでの浅い接合によって短チャネル効果の減少がもたらされる一方で、コンタクトの下での深い接合によって低い直列抵抗が促進される。他の選択肢は、ソース側の上に深い接合を配置して、ドレイン側の上に段階的な接合を配置することである。これによって、直列抵抗が最も重要であるソース側の上での直接抵抗を最小に保つことができる一方で、ドレイン側の上におけるドレインによって誘起される障壁の低下という負の効果を減少させることができる。

【0117】

デジタルビーム注入によって生じた横方向のチャンネルのドーピングの変化によって、高性能高歩留まりの平坦ゲートFETを構成することが可能になる。LDD領域によって、トランジスタの出力抵抗及びブレイクダウン電圧が増加し、電力性能が増大する。図13Aに示されるように、ゲートの下及びソースのドーピングを増加することによって(図13Aの領域1302)、ソースゲート抵抗を減少させることができ、チャンネル電流が増加することによって、相互コンダクタンス及び増幅率が改善される。図13Bのチャートによって示される、この横方向のドーピングの変化は、チャンネルの長さ方向に沿ったセグメント内の注入ドーズ量を変化させることによって、得られる。使用可能な異なるセグメントの数は、デジタルビームのサイズによってのみ限定される。

【0118】

GaAsのFETは、マイクロ波(またはミリメートル波)モノリシック集積回路(Microwave (Millimeter wave) Monolithic Integrated Circuit, MIMIC)の多くにおいて主要な素子ではあるが、ショットキーダイオード等の他の素子が、高性能装置のために、同一のワークピース上に製造されることが多い。しかしながら、FETゲートは、理想的なダイオードとしては使用不可能である。何故ならば、カットオフ周波数が、質の高いショットキーダイオードよりもはるかに低いからである。同一のワークピース上へのFET及びショットキーダイオードの製造は、エピタキシャル成長またはブランケット注入処理のいずれかでは、達成することが難しい。デジタルビーム処理は、図15Aに示されるように、ワークピース上の異なる位置における離散的な処理を実施する性能があるので、同一のワークピース上のFET及びダイオードの選択的なイオン注入処理に非常に適している。本願で開示される全てのプロセスに当てはまることではあるが、他の処理段階を、従来のプロセスと組み合わせてもよい。

【0119】

GaAsのMIMICは従来では、ブランケット注入及び堆積段階、バッチエッチング及び合金化段階を用いて、製造される。フォトレジストを用いて、それぞれのレベルにおいて、装置及び回路のパターンを選択的にマスキングして画定する。結局、従来の方法では、12のマスキレベルを含む25を超える異なる処理段階が採用される。フロントエンド(トップサイド)プロセス単独で典型的には、6ワークピースのバッチを完了させるのに240時間以上かかる。多くのオーバーヘッド時間及び必要とされる接触的な作業のせいで、このプロセスは非常に非効率である。GaAsのMIMICの処理は、選択的なピクセルに基づいた注入、堆積及びエッチングのデジタルビームプロセスをデザインすることによって、顕著に改善及び単純化させることができ、歩留まりが増加し、コストが削減される。デジタルビーム処理によって、GaAsのMIMICプロセスの単純化及び改善における顕著な利点が提供され、これは、より早いサイクル時間、より高い回路の歩留まり

り、より低いチップのコストに繋がる。その場 (in situ) 処理によって、実施するのに典型的には 100 時間近くかかる 1 ダース以上のプロセスを省くことが可能であり、許容可能な時間枠内での、装置の性能、歩留まり、コスト及び拡張性を改善するための、大幅なプロセスの変形が可能になる。例えば、デジタルビームプロセスは、たった 9 の段階及び 19 の操作しか含まないことがあり、ウェーハ毎のサイクルが 40 分に短縮される。図 16 A から 16 K に示されるように、GaAs の MIMIC のデジタルビームプロセスの一例には、選択的なチャネル及びコンタクトの注入が含まれ、これにアニーリングが続く。デジタルビーム堆積とこれに続くデジタルビーム絶縁注入によって、抵抗コンタクトが線引きされて、コンタクトの金属が堆積される。このコンタクトはアニーリングによって合金化される。薄膜抵抗器、FET ゲート、金属相互接続部、絶縁体及びパッシベーション層がデジタルビーム堆積される。

10

【0120】

多機能 MIMIC (Multifunction MIMIC, MFIC) は、単一の装置内に多数の機能を集積する。従来では、GaAs の MFIC は、レーザの機能の集積レベルを増大させて製造されており、アナログ及びデジタル機能が組み合わせられ、トランスマッタ及びレーザ機能が組み合わせられる。MFIC は、パーツの数、サイズ、重さ、及び、組み立て / 調整のコストを減少させることによって、システムのコストを減少させる。ウェーハスケール集積 (Wafer Scale Integration, WSI) は、ウェーハ上に完全なシステムを形成するために多数の非類似な機能を集積させるものであるが、多くの将来的なマイクロエレクトロニクス製造に非常に適している。MFIC 一般的に、高度なフェーズドアレイアンテナシステムに対して必要とされるものであるが、これは、光学制御及びデジタル信号処理を備える複雑な無線周波数の機能を集積する。一例は、システムレベル集積回路 (System Level Integrated Circuit, SLIC) である。フェーズドアレイの応用のために開発された大抵の構成要素は、ハイブリッドアセンブリ法を用いて個別にデザインされる。従って、十分なサポート機能が集積されず、システムに直に投入することができない。回路機能のモノリシック集積は、パーツの数、サイズ、重さ、及びアセンブリのコストを減少させる。

20

【0121】

高電子移動度トランジスタ (High Electron Mobility Transistor, HEMT) は、従来の GaAs の FET に対して大いに改善された性能を有するヘテロ接合 FET である。HEMT は一般的に、ミリメートル波周波数で動作する低ノイズ増幅器及び高速デジタル回路において、用いられる。高速超低電力デジタル回路は典型的に、同一のワークピース上に製造された相補型 n チャネル及び p チャネル FET を有するが、この製造は、選択エピタキシャル材料成長法を用いたとしても困難である。デジタルビーム処理注入は、同一のウェーハ上に相補型のヘテロ接合絶縁ゲート (Heterojunction Insulating Gate, HIG) FET を製造するのに非常に適している。基本的な n 及び p チャネル HIG FET 装置の断面図が、図 14 A 及び 14 B にそれぞれ示されている。この装置は実質的に平坦であり、半絶縁基板内に埋め込まれている。シリコンを含むデジタルビームを、n チャネル装置注入用に使用することができ、ベリリウムを含むデジタルビームを、p チャネル装置注入用に使用することができる。金属シリサイドゲート (例えば、ショットキーゲート) 及び抵抗コンタクト (例えば、AuGe、AuZn を含む) を、デジタルビーム堆積によって堆積させることができる。こうしたシーケンスによって、二段階のその場 (in situ) 装置製造プロセスが可能になる。結果として、この装置の固有の特徴は、最小段階のプロセスでの、高解像度デュアル近接印刷ということになる。

30

40

【0122】

ヘテロ接合バイポーラトランジスタ (Heterojunction Bipolar Transistor, HBT) は典型的に、高線形性、正確なアナログ性、デジタル / デジタル変換器、及びマイクロ波電力応用を有する装置において用いられる。しかしな

50

がら、振動の最大周波数及び電流増幅率は、寄生ベース抵抗及びコレクタキャパシタンスのそれぞれによって限定される。GaAsのHBT装置の性能及び歩留まりは、選択的デジタルビーム注入によって、改善可能である。図17は、このような応用におけるワークピースの断面図の一例を示す。第一に、コンタクトの金属化前の基板内へのベリリウム注入によって、コンタクト抵抗を減少させる。ベース層は、同一のベースのコンタクト抵抗に対して低ドーピング濃度を有し得て、p型ベースを介した電子輸送の促進によって、電流増幅率が増加する。第二に、エミッタ電極とベース電極との間の酸素またはホウ素の注入によって、電子の流れを電氣的に絶縁して、閉じ込めて、横方向の再結合というよりもむしろ装置を介して垂直方向に流れるようにする。これによって、浮遊キャパシタンスが減少し、動作周波数が改善される。こうした製造プロセスは、小さな寸法のせいで、また、フォトレジスト処理増大表面の再結合が増幅率を減少させるせいで、標準的なフォトレジスト処理法では実施することが難しい。

10

【0123】

また、ビーム注入の横方向のドーピング性能は、チャネル停止注入を使用することを介して装置のスケラビリティを改善することができる。こうしたチャネル停止注入は一般的に、ナロートランジスタの有効装置長を減少させ、接合のキャパシタンスを減少させ、技術的な性能を増加させる。従来の注入では、フィールド酸化物のエッジに沿ったドーピング濃度を調節することの難しさによって、アクティブ領域内に入り込む必要以上の注入が生じ得る。ビーム露光を用いると、注入を、フィールド酸化物のエッジに沿った、十分ではあるが過度ではない表面濃度を保つように空間的に制御可能である。

20

【0124】

チャネル停止注入を変更することには、鳥の嘴の形に沿うガードリングまたはチャネル停止注入の段階化が含まれ得て、電離放射線に起因するフィールド反転を防止することができる。ガードリング法では一般的に、大領域という不利益が伴う。何故ならば、耐性に対して必要とされる注入ドーズ量が、 n^+ / p^+ 領域の密接さからのブレイクダウン問題を助長するのに十分高いものであるからである。ガードリングと n^+ 注入層との間の間隔を空けることによって、このブレイクダウン問題が解決可能である（例えば図19Aに示されるように）。この方法は有効であるが、高密度という不利益が伴う。このことは、装置がサブミクロン形式のスケールになると顕著である。デジタルビーム露光を用いて、水平方向のドーピングの傾斜によって、フィールド酸化物が薄く従って放射線に対して感度の低い接合エッジ近傍のイオンドーズ量を減少させることができ、また、フィールド酸化物のより厚い部分の下のイオンドーズ量を増大させることができる。こうした方法を用いることによって、優れた放射耐性を得ることができる一方で、電圧のブレイクダウンのせいで、レイアウト密度を妥協しなくてよい。非伝導層の注入を用いて、非常に密な絶縁方法を形成することができる。十分なドーズ量（例えば、略 1×10^{15} 荷電粒子/ cm^2 から 1×10^{17} 荷電粒子/ cm^2 までの間）の注入によって、原則的に無限抵抗のアモルファス領域が形成される（例えば図19Bに示されるように）。従って、この高抵抗領域によって、装置を互いに絶縁することができる。この絶縁領域の寸法は極めて小さく、例えば、酸化物絶縁ガードリングよりもはるかに小さく、回路の密度が大幅に改善されることになる。

30

40

【0125】

一部のCMOS応用では、バイポーラトランジスタの使用が非常に望ましいものとなる。このことが、BiCMOS技術における関心が広まることに繋がった。この応用の多くでは、高周波数バイポーラ装置は必要とされず、従って、BiCMOSに関連したプロセスの複雑性が大幅に増加することはない。ラテラルバイポーラ装置は、全てのCMOS技術において存在するものではあるが、典型的にその性能は、広範に用いられるには脆弱過ぎる。ビーム露光注入を使用することによって、このラテラルバイポーラトランジスタ技術の性能を大幅に改善することができる。チャネル（ベース）領域の水平方向の段階化によって、電場補助少数キャリア輸送がもたらされ、トランジスタのベータ及び遷移周波数（ F_t ）の両方が改善される。LDDプロセスは、このバイポーラトランジスタの放出力

50

率を破壊する。よって、チャネルのドレイン側上に選択的にLDDを配置できることによって、ソース領域がエミッタとして動作し、LDDとしては処理されない。

【0126】

デジタルビーム注入は、他の応用及び装置に対しても用いることができ、本願で開示される実施形態は例示的なものに過ぎないということは認識されたい。また、エッチング、注入及び堆積を含むデジタルビームプロセスの組み合わせを用いて、多様な半導体装置を形成することができ、本願で開示される実施形態は例示的なものに過ぎないということも認識されたい。例えば、図18Aは、実質的に完成した半導体装置を構築するためのプロセスシーケンスを示す。一部段階が従来の方法で実施され、またデジタルビーム処理と組み合わせられてもよく、好ましくは、プロセス段階のそれぞれがデジタルビーム処理を用いて実施される。

10

【0127】

アニーリングは、物質の層の中の原子または分子が加熱されてエネルギーが与えられるプロセスであり、ドーパントを活性化させるために、膜と膜との、または、膜とウェーハ基板との界面を変更するために、堆積した膜を高密度化するために、成長させた膜の状態を変更するために、イオン注入による損傷を修復するために、ドーパントを移動させるために、ドーパントを一つの膜から他の膜内に、または膜からウェーハ基板内に移動させるために、余剰溶媒を駆逐するため（例えば、レジスト堆積物、スピンオン誘電体等から）等のために行われる。このように、アニーリングは、直接書き込みプロセスと関連して特に有効である。しかしながら、急速熱アニーリングに先立って、ビーム露光チャンバ内でワークピースを露光させる必要はないということは認識されたい。

20

【0128】

上述のまたは他のプロセスを組み合わせることによって、単一の処理ツール内で、生の基板（例えば、単結晶ウェーハ、堆積させたフィールド酸化物を備えるワークピース）から、実質的に完成したワークピース（例えば、パッシベーションの準備の整ったワークピース、ダイの切断準備の整ったワークピース等）を製造することができる。

【0129】

軍用及び商業用の電子機器に対する要求は、論理セルと同じまたは同様の形式を使用する広範な集積回路に向い続けている。過去数年において、多重露光技術が、減少し続けている次世代ノードの限界的な幾何学的形状の要求に合致するために使用されてきている。一般的に、処理段階の数の増加は、歩留まり及び処理性能を減少させ、新しいデザインルール毎の便宜的なコストの増大をもたらされる。新規装置の将来的な開発に対して、コスト、解像度、処理性能及び歩留まりの改善を同時に対象とする確実な製造技術は、現状では存在しない。デジタルビームパターン処理を提供するリソグラフィ及び半導体処理を組み合わせる形式が、産業の将来に対する解決策を提供することができるものである。

30

【0130】

全自動高速処理性能クラスタ処理ツール上にレジスト無しのデジタルビーム露光補助堆積、エッチング及び注入処理を取り入れることによって、高性能及び/又は高密度集積回路の製造コストを顕著に減少させることができる。例えば、部分的なその場（*in situ*）15nmソース/ドレインBiCMOS装置の製造には、タンゲステン、シリコン酸化物、整列または金属化のためのプラチナ、誘電絶縁体、シリサイドのそれぞれの自然核生成が含まれ得る。ディープサブミクロンポリシリコン傾斜注入ソース/ドレイン技術を用いて、注入レベルの数を最小化できる一方で、装置の性能を最大化できる。DBACEは、LOCOS及びゲート酸化物の形成のために使用することができる。注入、ゲート及びパッシベーションレベルのためのポリシリコンを、装置のCVDチャンバ内でウェーハ全体に堆積させることができる。フィールド酸化物は、他の全てのプロセスに先立ってシステムの外側で行われるエクスシチュー（*ex situ*）プロセスのみによるものであってもよい。

40

【0131】

処理ツールの処理性能及び解像度を同時に最大化させるために、異なるワークピースレ

50

ベルにおける露光に対して、複数の異なるピクセル／デジタルビームスポットサイズの組み合わせを使用することができる。また、露光方法を、上述のような一様な核生成堆積に対する補償のために使用することができる。デジタルビーム露光補助堆積プロセスの感度を増加させるために、システムの処理性能を減じることなく、減少させたビーム電流密度で複数のレベルを露光することができる。完全なその場 (in situ) プロセスを実施するために、ツールが、一つ以上の酸化 (例えば、プラズマ増強 CVD (Plasma Enhanced CVD, PECVD)) 及び核生成専用チャンバを含むことができる。

【0132】

多様な変形が可能である。構成要素を追加したり、取り除いたり、並び替えてもよい。様々な構成要素を交換してもよい。配置及び構成が異なってもよい。同様に、処理段階を追加したり、取り除いたり、並び替えてもよい。

10

【0133】

当業者は、上述の方法及びデザインが、更なる応用を有するものであり、関係する応用が、上述の特定のものに限定される訳ではないということを認識されたい。また、本発明を、本願で開示される本質的な特徴から逸脱すること無く、他の特定の形態に具現化することができる。上述の実施形態は、全ての側面において例示的なものに過ぎず、何ら制限的なものではないということを理解されたい。

【0134】

本技術の応用は、事実上無制限であり、未来のマイクロエレクトロニクスの構成要素の開発の更に先に広がっている。上述のことは、例えば、軍用または商業用電子機器産業における、レジスト無しの処理の可能性を例示するための、活用性の高い電子機器の応用の僅かなものである。多数の他の応用が可能である。その場 (in situ) プロセス段階の大多数には、システム中のビーム電流密度を 40 A/cm^2 に下げることが含まれ得ることは認識されたい。これは、今日の技術と均等なものであり、こうしたタスクのそれぞれに対するリスクを大幅に減少させる。

20

【0135】

本発明について、特定の好ましい実施形態及び実施例に関して開示してきた。しかしながら、当業者であれば、本発明が、特定の開示された実施形態を超えて他の変形例へと拡張されるものであり、及び／又は、本発明及び自明な変形例及びこれらの均等物を使用できるものであるということを理解されたい。更に、本発明の複数の変形例について詳述したが、本発明の範囲内の他の変形例は、この開示に基づいて当業者が容易に想到し得るものである。また、本実施形態の特定の特徵及び側面の様々な組み合わせまたは部分的な組み合わせも行うことができるものであり、本発明の範囲内に落とし込まれるということは熟慮されたい。開示された実施形態の様々な特徵及び側面を互いに組み合わせたり置換したりして、開示された発明の変形モードを形成できるということは理解されたい。従って、本願で開示される本発明の範囲は、上述の特定の実施形態に限定されるということは意図しておらず、特許請求の範囲を公平に読むことによってのみ決定されるものである。

30

【図面の簡単な説明】

【0136】

40

【図1A】制御された粒子ビーム生成用の装置の例の斜視図である。

【図1B】図1Aの装置の概略的な上面図である。

【図2】荷電粒子露光チャンバの一例の概略的なブロック図である。

【図3A】荷電粒子コラムの一例の概略的なブロック図である。

【図3B】荷電粒子のバンチングを概略的に示す。

【図3C】ビームバンチャーの一例を概略的に示す。

【図3D】ビームブランカーの一例を概略的に示す。

【図4A】或る期間にわたる書き込み方法の一例を示す。

【図4B】ワークピースステージ及び制御電子機器の一例の概略的なブロック図である。

【図4C】ビーム測定法の一例を示す概略的なブロック図である。

50

- 【図 4 D】ビーム測定法の一例を示す概略的なブロック図である。
- 【図 5】デジタルビーム中の荷電粒子の集団の例を示す。
- 【図 6 A】偏向器の概略的な上面図を示す。
- 【図 6 B】図 6 A の偏向器の右上の四分円の斜視切開図である。
- 【図 7】荷電粒子コラムの他の例の概略的なブロック図である。
- 【図 8】書き込み方法の一例を示す。
- 【図 9 A】デジタルビーム補助化学エッチングプロセスの一例の或る段階におけるワークピースの断面を概略的に示す。
- 【図 9 B】デジタルビーム補助化学エッチングプロセスの一例の或る段階におけるワークピースの断面を概略的に示す。
- 【図 9 C】デジタルビーム補助化学エッチングプロセスの一例の或る段階におけるワークピースの断面を概略的に示す。
- 【図 10 A】デジタルビーム補助堆積プロセスの一例の或る段階におけるワークピースの断面を概略的に示す。
- 【図 10 B】デジタルビーム補助堆積プロセスの一例の或る段階におけるワークピースの断面を概略的に示す。
- 【図 10 C】デジタルビーム補助堆積プロセスの一例の或る段階におけるワークピースの断面を概略的に示す。
- 【図 11 A】デジタルビーム注入プロセスの一例の或る段階におけるワークピースの断面を概略的に示す。
- 【図 11 B】デジタルビーム注入プロセスの一例の或る段階におけるワークピースの断面を概略的に示す。
- 【図 11 C】デジタルビーム注入プロセスの一例の或る段階におけるワークピースの断面を概略的に示す。
- 【図 11 D】デジタルビーム注入プロセスの一例の或る段階におけるワークピースの断面を概略的に示す。
- 【図 11 E】デジタルビーム変更プロセス中の変更例を示す。
- 【図 11 F】デジタルビーム変更プロセス中の変更例を示す。
- 【図 11 G】デジタルビーム変更プロセス中の変更例を示す。
- 【図 11 H】デジタルビーム変更プロセス中の変更例を示す。
- 【図 11 I】デジタルビーム変更プロセス中の変更例を示す。
- 【図 12 A】制御された粒子ビームで処理された低不純物濃度ドレイン構造の概略的な断面図の例を示す。
- 【図 12 B】制御された粒子ビームで処理された低不純物濃度ドレイン構造の概略的な断面図の例を示す。
- 【図 12 C】制御された粒子ビームで処理された低不純物濃度ドレイン構造の概略的な断面図の例を示す。
- 【図 13 A】制御された粒子ビームで処理された横方向のチャネルドーピング構造の概略的な断面の一例を示す。
- 【図 13 B】図 13 A の構造のドーピング濃度プロファイルを示す。
- 【図 14 A】制御された粒子ビームで処理されたヘテロ接合絶縁ゲート電界効果トランジスタ構造の概略的な断面の例を示す。
- 【図 14 B】制御された粒子ビームで処理されたヘテロ接合絶縁ゲート電界効果トランジスタ構造の概略的な断面の例を示す。
- 【図 15 A】制御された粒子ビームで処理される時間に対する、ヒ化ガリウムダイオード構造の概略的な断面の例を示す。
- 【図 16 A】制御された粒子ビームで処理される時間に対する、ヒ化ガリウムマイクロ波モノリシック集積回路構造の概略的な断面の例を示す。
- 【図 16 B】制御された粒子ビームで処理される時間に対する、ヒ化ガリウムマイクロ波モノリシック集積回路構造の概略的な断面の例を示す。

【図 1 6 C】制御された粒子ビームで処理される時間に対する、ヒ化ガリウムマイクロ波モノリシック集積回路構造の概略的な断面の例を示す。

【図 1 6 D】制御された粒子ビームで処理される時間に対する、ヒ化ガリウムマイクロ波モノリシック集積回路構造の概略的な断面の例を示す。

【図 1 6 E】制御された粒子ビームで処理される時間に対する、ヒ化ガリウムマイクロ波モノリシック集積回路構造の概略的な断面の例を示す。

【図 1 6 F】制御された粒子ビームで処理される時間に対する、ヒ化ガリウムマイクロ波モノリシック集積回路構造の概略的な断面の例を示す。

【図 1 6 G】制御された粒子ビームで処理される時間に対する、ヒ化ガリウムマイクロ波モノリシック集積回路構造の概略的な断面の例を示す。

【図 1 6 H】制御された粒子ビームで処理される時間に対する、ヒ化ガリウムマイクロ波モノリシック集積回路構造の概略的な断面の例を示す。

【図 1 6 I】制御された粒子ビームで処理される時間に対する、ヒ化ガリウムマイクロ波モノリシック集積回路構造の概略的な断面の例を示す。

【図 1 6 J】制御された粒子ビームで処理される時間に対する、ヒ化ガリウムマイクロ波モノリシック集積回路構造の概略的な断面の例を示す。

【図 1 6 K】制御された粒子ビームで処理される時間に対する、ヒ化ガリウムマイクロ波モノリシック集積回路構造の概略的な断面の例を示す。

【図 1 7】制御された粒子ビームで処理されたヘテロ接合バイポーラトランジスタ構造の概略的な断面の一例を示す。

【図 1 8 A】制御された粒子ビームで処理される時間に対する、半導体構造の概略的な断面の一例を示す。

【図 1 9 A】制御された粒子ビームで処理された放射耐性構造の概略的な正面図の一例を示す。

【図 1 9 B】図 1 9 A の放射耐性構造の 1 9 B 1 9 B 線に沿った概略的な断面図である。

【図 2 0】対物レンズアセンブリの概略的な断面分解図である。

【図 2 1 A】ビーム書き込み方法を概略的に示す。

【図 2 1 B】ビーム書き込み方法を概略的に示す。

【図 2 1 C】ビーム書き込み方法を概略的に示す。

【図 2 1 D】ビーム書き込み方法を概略的に示す。

【図 2 1 E】ビーム書き込み方法を概略的に示す。

【図 2 1 F】ビーム書き込み方法を概略的に示す。

【図 2 1 G】ビーム書き込み方法を概略的に示す。

【符号の説明】

【0 1 3 7】

1 0 0 装置

1 0 1 ワークピース

1 0 2 露光チャンバ

1 0 4 ロードロックチャンバ

1 0 6 輸送モジュール

1 0 8 処理チャンバ

1 1 0 A M H S

2 0 0 ビームコラム

2 0 2 荷電粒子源

2 0 4 コリメータ

2 0 6 ビームデジタイザ

2 1 0 偏向器

2 1 2 対物レンズアセンブリ

2 1 4 ワークピースステージ

- 220 システムサポート電子機器
 230 コラムサポート電子機器
 240 データ処理電子機器
 302, 304 ビームバンチャー電極
 312, 314 電極
 316 開口プレート
 602 開口部
 604、606、608、610 電極
 612 絶縁体
 702 仮想デジタルステンシル

【図1A】

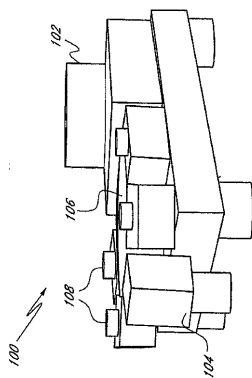


FIG. 1A

【図1B】

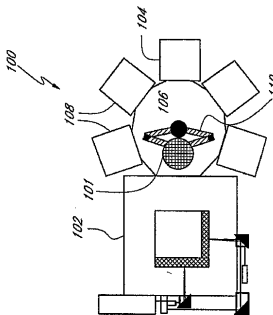


FIG. 1B

【図2】

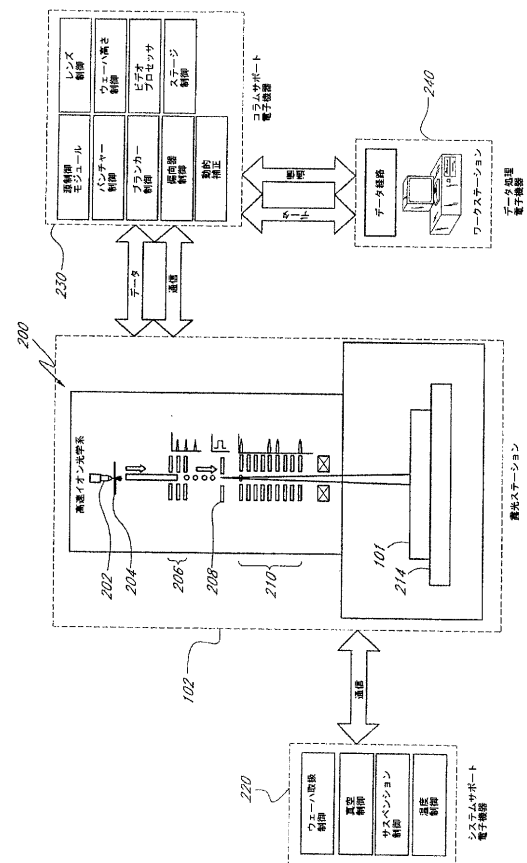


FIG. 2

【図 3 A】

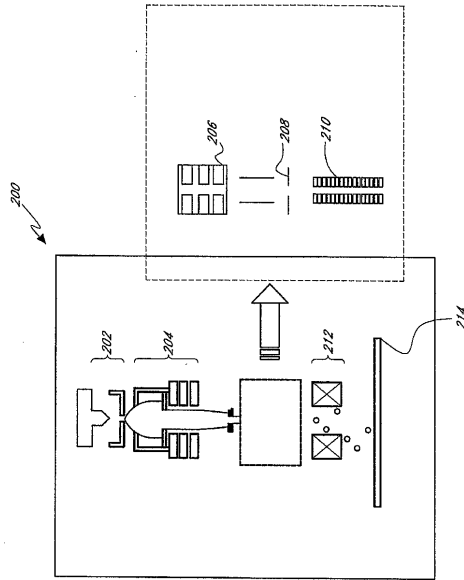


FIG. 3A

【図 3 B】

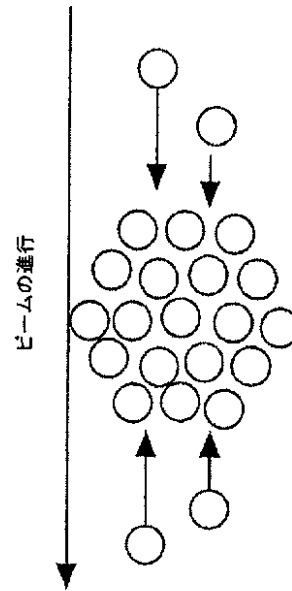


FIG. 3B

【図 3 C】

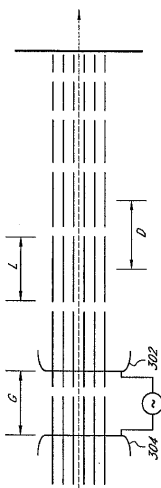


FIG. 3C

【図 3 D】

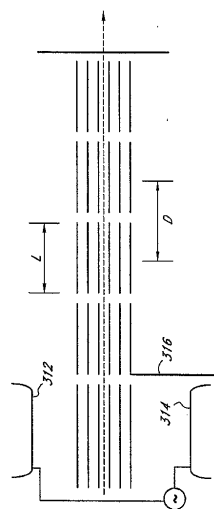


FIG. 3D

【図 4 A】

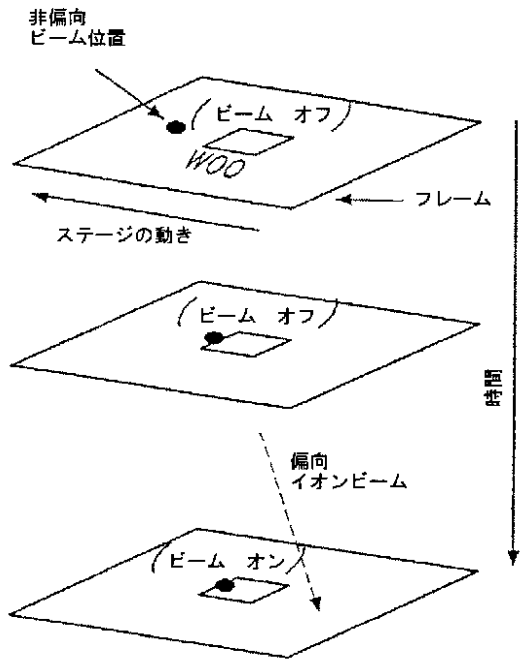


FIG. 4A

【図 4 B】

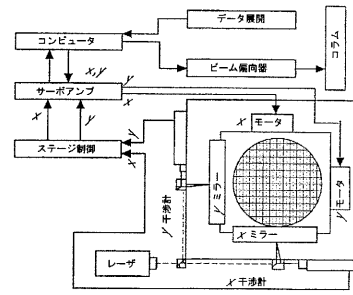


FIG. 4B

【図 4 C】

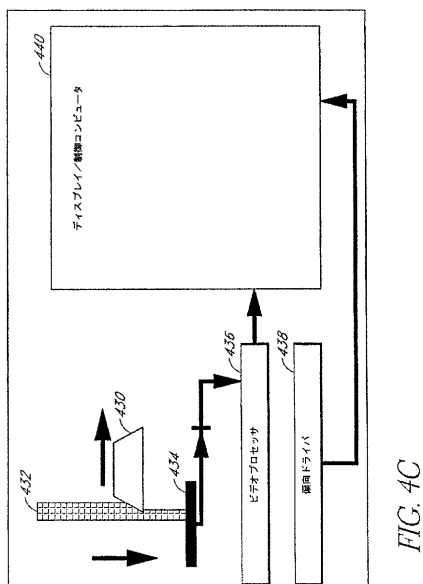


FIG. 4C

【図 4 D】

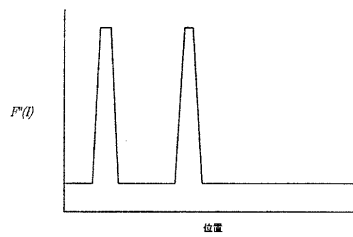
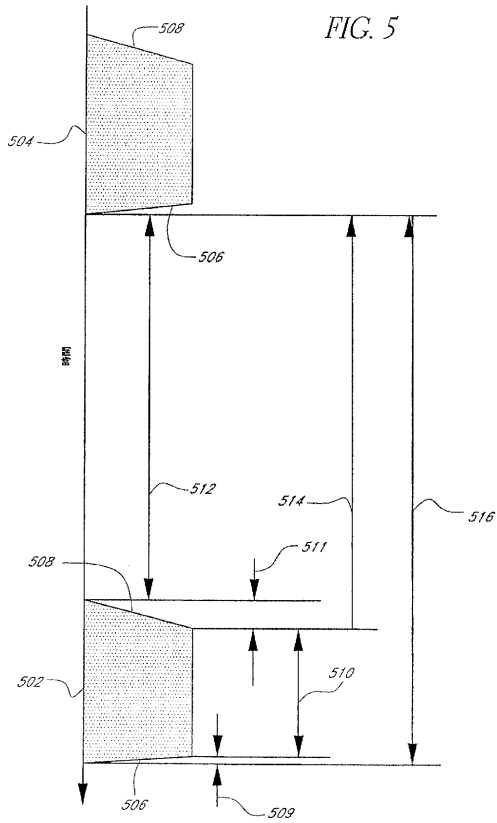
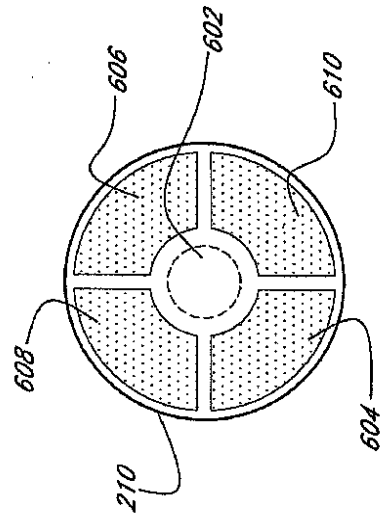


FIG. 4D

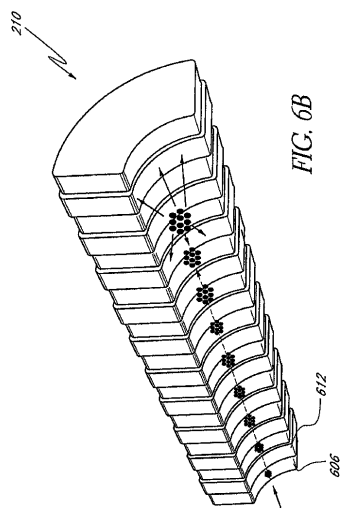
【図 5】



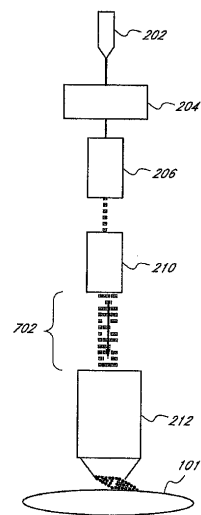
【図 6 A】



【図 6 B】



【図 7】



【図 8】

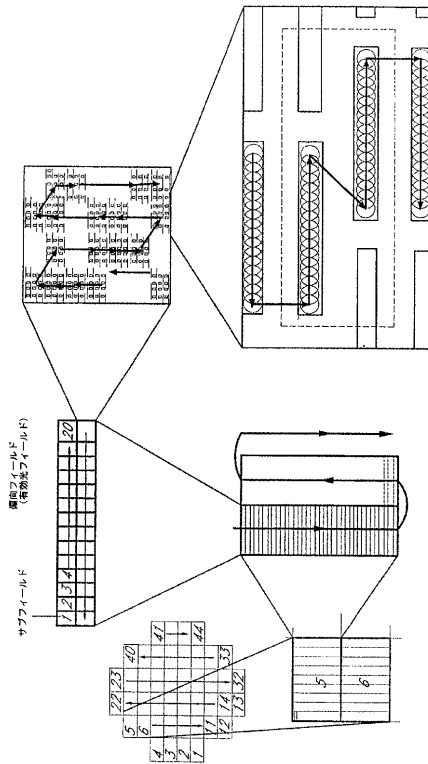
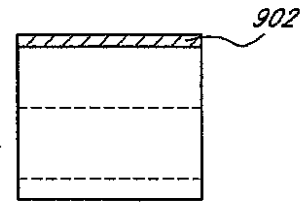


FIG. 8

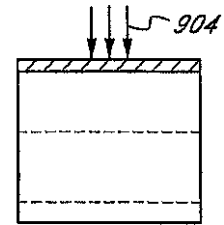
【図 9 A】

FIG. 9A



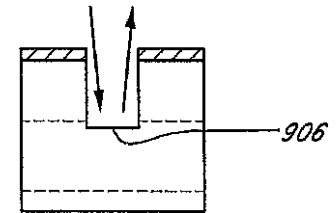
【図 9 B】

FIG. 9B



【図 9 C】

FIG. 9C



【図 10 A】

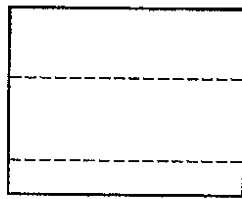


FIG. 10A

【図 10 B】

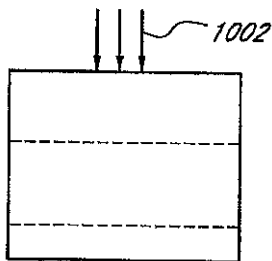


FIG. 10B

【図 10 C】

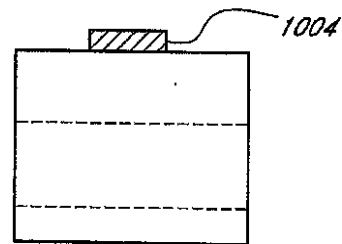


FIG. 10C

【図 11 A】

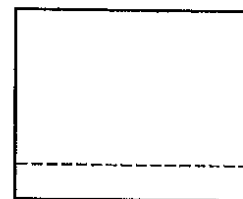


FIG. 11A

【図 1 1 H】

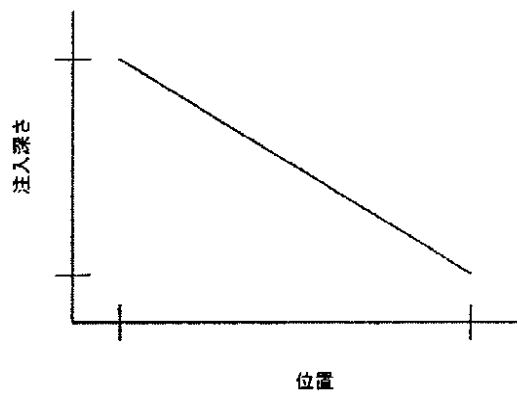


FIG. 11H

【図 1 1 I】

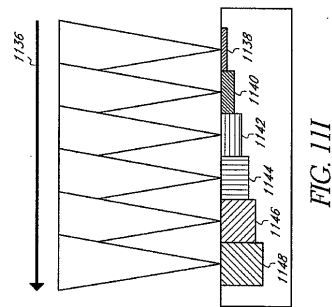


FIG. 11I

【図 1 2 A】

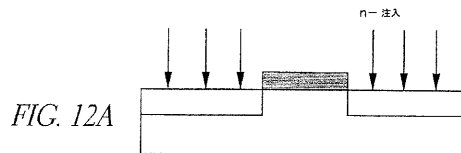


FIG. 12A

【図 1 2 B】

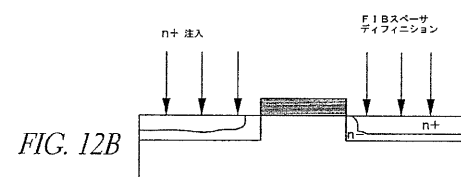


FIG. 12B

【図 1 2 C】

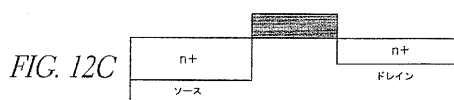


FIG. 12C

【図 1 3 A】

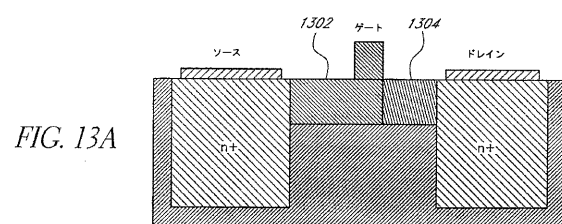


FIG. 13A

【図 1 3 B】

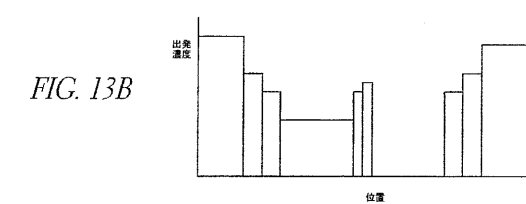


FIG. 13B

【図 1 4 A】

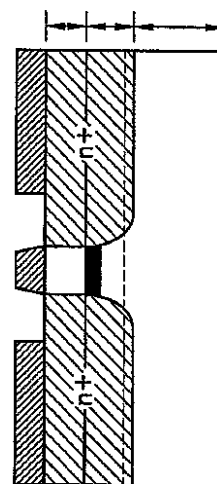


FIG. 14A

【図 14 B】

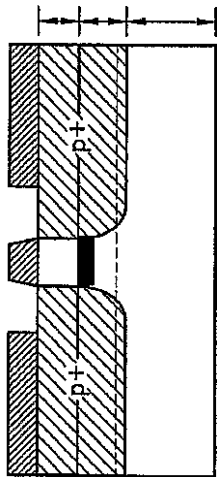


FIG. 14B

【図 15 A】

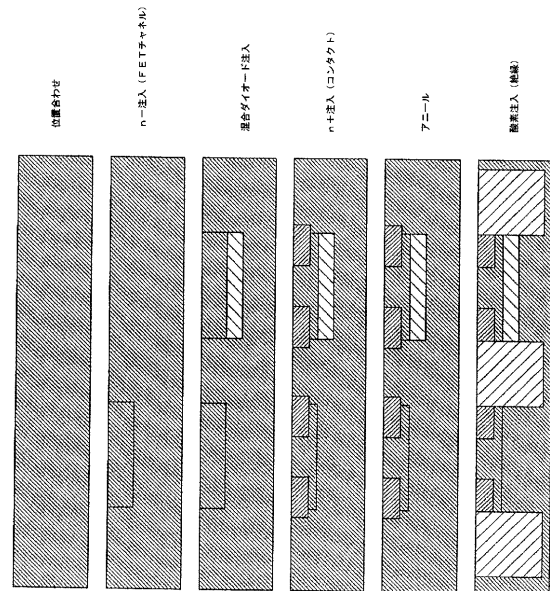


FIG. 15A

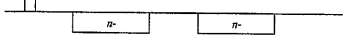
【図 16 A】

FIG. 16A



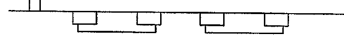
【図 16 B】

FIG. 16B



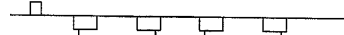
【図 16 C】

FIG. 16C



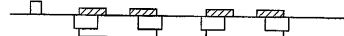
【図 16 D】

FIG. 16D



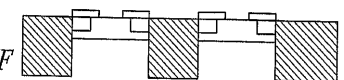
【図 16 E】

FIG. 16E



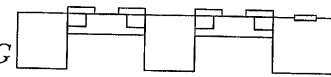
【図 16 F】

FIG. 16F



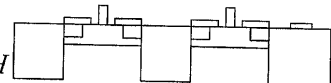
【図 16 G】

FIG. 16G



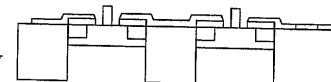
【図 16 H】

FIG. 16H



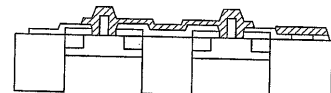
【図 16 I】

FIG. 16I



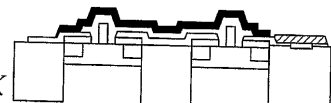
【図 16 J】

FIG. 16J

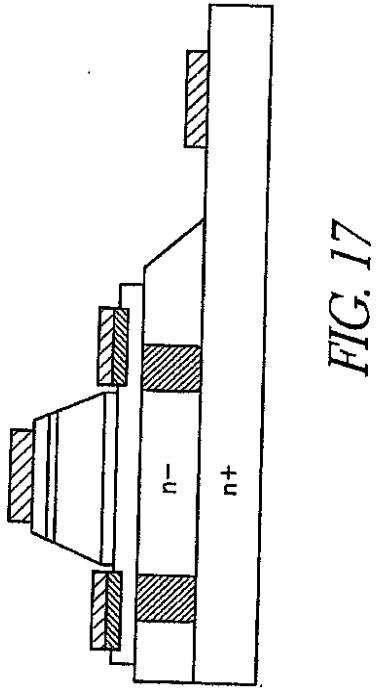


【図 16 K】

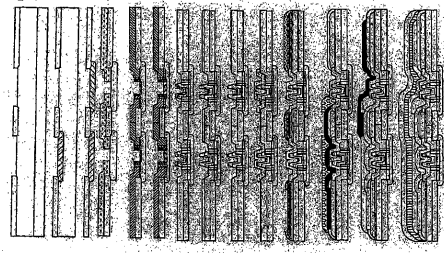
FIG. 16K



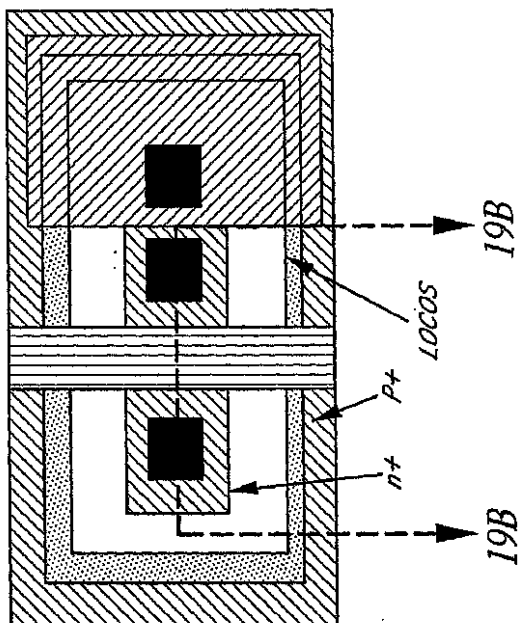
【図 17】



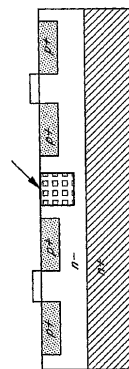
【図 18 A】



【図 19 A】



【図 19 B】



【図 20】

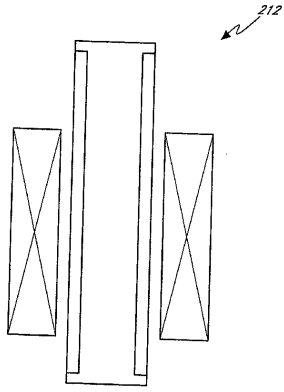


FIG. 20

【図 21 A】

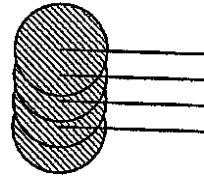


FIG. 21A

【図 21 B】

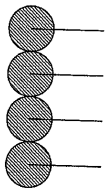


FIG. 21B

【図 21 C】

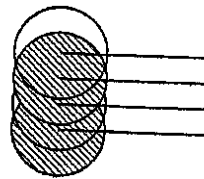


FIG. 21C

【図 2 1 D】

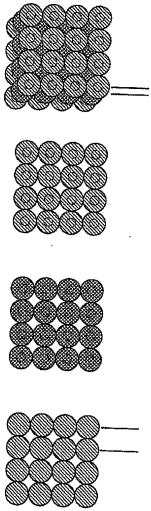


FIG. 21D

【図 2 1 E】

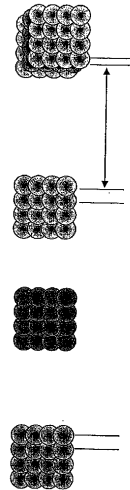


FIG. 21E

【図 2 1 F】

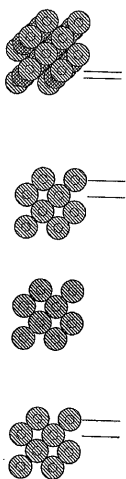


FIG. 21F

【図 2 1 G】

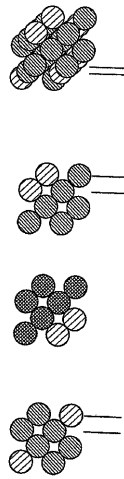


FIG. 21G

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/US06/26725															
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC: H01J 37/302 37/302 USPC: 250/492.22 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC																	
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) U.S. : Please See Continuation Sheet Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EAST																	
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT <table border="1"> <thead> <tr> <th>Category *</th> <th>Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</th> <th>Relevant to claim No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>US 4,967,380 (Szajaowski et al) 30 October 1990 (30.10.1990). See entire document.</td> <td>1-382</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 6,242,751 B1 (Takemoto et al) 5 June 2001 (05.06.2001). See entire document.</td> <td>1-382</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>6,753,538 B2 (Musil et al) 22 June 2004 (22.06.2004). See entire document.</td> <td>1-382</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 2005/0242299 A1 (Elmer et al) 3 November 2005 (03.11.2005). See entire document.</td> <td>1-382</td> </tr> </tbody> </table>			Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	A	US 4,967,380 (Szajaowski et al) 30 October 1990 (30.10.1990). See entire document.	1-382	A	US 6,242,751 B1 (Takemoto et al) 5 June 2001 (05.06.2001). See entire document.	1-382	A	6,753,538 B2 (Musil et al) 22 June 2004 (22.06.2004). See entire document.	1-382	A	US 2005/0242299 A1 (Elmer et al) 3 November 2005 (03.11.2005). See entire document.	1-382
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.															
A	US 4,967,380 (Szajaowski et al) 30 October 1990 (30.10.1990). See entire document.	1-382															
A	US 6,242,751 B1 (Takemoto et al) 5 June 2001 (05.06.2001). See entire document.	1-382															
A	6,753,538 B2 (Musil et al) 22 June 2004 (22.06.2004). See entire document.	1-382															
A	US 2005/0242299 A1 (Elmer et al) 3 November 2005 (03.11.2005). See entire document.	1-382															
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.																	
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family																	
Date of the actual completion of the international search 22 February 2007 (22.02.2007)		Date of mailing of the international search report 19 MAR 2007															
Name and mailing address of the ISA/US Mail Stop PCT, Attn: ISA/US Commissioner for Patents P.O. Box 1450 Alexandria, Virginia 22313-1450 Facsimile No. (571) 273-3201		Authorized officer Robert Kim <i>Sylvia Sene Far</i> Telephone No. 571-272-2293															

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US06/26725

Continuation of B. FIELDS SEARCHED Item 1:
250/492.22, 252.1R, 491.1, 492.2; 216/66; 204/192.11; 430/5; 360/131; ;

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW

(72)発明者 マイケル・ジョン・ザニ

アメリカ合衆国・カリフォルニア・9 2 6 7 7・ラグナ・ニゲル・キリニ・5

(72)発明者 ジェフリー・ウィンフィールド・スコット

アメリカ合衆国・カリフォルニア・9 3 0 1 3・カーペンテリア・ヴィア・リアル・4 4 9 4

(72)発明者 マーク・ジョセフ・ペナミアス

アメリカ合衆国・カリフォルニア・9 2 6 9 1・ミッション・ヴィエホ・プラスコス・2 5 9 9 5

(72)発明者 マーク・アンソニー・メイス

アメリカ合衆国・カリフォルニア・9 4 5 6 8・ダブリン・インスピレーション・サークル・1 0 7 5 7

Fターム(参考) 5C034 BB01 BB02 BB03 BB06 BB09 BB10

5F056 AA04 AA13 BC10 CB02 CB03