

(19) 日本国特許庁(JP)

再公表特許(A1)

(11) 国際公開番号

W02006/123447

発行日 平成20年12月25日 (2008.12.25)

(43) 国際公開日 **平成18年11月23日 (2006.11.23)**

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 21/027 (2006.01)	HO 1 L 21/30 5 4 1 T	5 C O 3 4
HO 1 J 37/305 (2006.01)	HO 1 J 37/305 B	5 F O 5 6

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 31 頁)

出願番号	特願2007-516201 (P2007-516201)	(71) 出願人	504132272 国立大学法人京都大学
(21) 国際出願番号	PCT/JP2005/021299		京都府京都市左京区吉田本町36番地1
(22) 国際出願日	平成17年11月18日 (2005.11.18)	(74) 代理人	110000338 特許業務法人原謙三国際特許事務所
(31) 優先権主張番号	特願2005-144049 (P2005-144049)	(72) 発明者	木村 達次郎 日本国京都府京都市西京区京都大学桂 国立大学法人京都大学大学院工学研究科内
(32) 優先日	平成17年5月17日 (2005.5.17)	(72) 発明者	小林 圭 日本国京都府京都市西京区京都大学桂 国立大学法人京都大学国際融合創造センター内
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)	(72) 発明者	山田 啓文 日本国京都府京都市西京区京都大学桂 国立大学法人京都大学大学院工学研究科内 最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電子ビーム露光装置

(57) 【要約】

本発明の電子ビーム露光装置は、二次元の光パターン(13)を発生するためのプロジェクター(8)と、入射された光パターン(13)に基づく電子ビームアレイを生成し、その電子ビームアレイを増幅し、増幅電子ビームアレイ(14)として出射するためのマイクロチャネルプレート(11)と、増幅電子ビームアレイ(14)を集束するための電子ビームレンズ部(12)とを有する。上記電子ビーム露光装置は、電子ビームによる露光によって、より微細加工されて性能が向上した半導体素子を製造できる。また、上記電子ビーム露光装置は、上記露光を二次元パターンによる一括露光できるから、上記製造を低コスト化できる。

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

二次元の光パターンを発生するための光パターン発生部と、
入射された前記光パターンに基づく電子ビームアレイを生成し、前記電子ビームアレイを増幅し、増幅電子ビームアレイとして出射するための電子増幅部と、
前記増幅電子ビームアレイを、電子線レジスト上に集束するための電子ビームレンズ部と、を有していることを特徴とする電子ビーム露光装置。

【請求項 2】

前記電子ビームレンズ部は、さらに、前記増幅電子ビームアレイを、加速、アライメントおよび投影することの、少なくとも一つをできるようになっている請求項 1 に記載の電子ビーム露光装置。

10

【請求項 3】

前記電子増幅部は、電子を増幅する、筒状のマイクロチャンネルが、前記マイクロチャンネルの軸方向を前記光パターンの光軸方向に対し沿うように、複数、それぞれ、前記光軸方向に対し直交する方向に互いに隣り合って形成されている請求項 1 に記載の電子ビーム露光装置。

【請求項 4】

前記電子増幅部は、前記光パターンの入射側に、入射してくる光子を電子に変換して出射する光電膜を備えている請求項 1 に記載の電子ビーム露光装置。

【請求項 5】

前記光パターン発生部は、フェムト秒レーザと、上記フェムト秒レーザからのレーザ光を前記二次元の光パターンにて反射するためのマイクロミラーアレイ部とを有している請求項 1 に記載の電子ビーム露光装置。

20

【請求項 6】

さらに、前記増幅電子ビームアレイによって描画されたパターンに生じる歪を低減するように前記光パターンを補正するための補正部を有している請求項 1 に記載の電子ビーム露光装置。

【請求項 7】

前記補正部は、前記光パターン発生部を制御して、前記増幅電子ビームアレイに生じる歪を相殺するように逆歪光パターンを生成するための逆歪光パターン生成部を備えている請求項 6 に記載の電子ビーム露光装置。

30

【請求項 8】

前記補正部は、前記光パターン発生部を制御して、前記光パターンを、互いに補間し合う複数の分割光パターンをそれぞれ生成するための分割光パターン生成部を備えている請求項 6 に記載の電子ビーム露光装置。

【請求項 9】

さらに、前記電子増幅部からの増幅電子ビームアレイの出射角度のバラツキを抑制するため、電子増幅部の出射側にグリッド状静電レンズ部を有している請求項 1 に記載の電子ビーム露光装置。

【請求項 10】

前記マイクロチャンネルは、前記電子増幅部からの増幅電子ビームアレイの出射角度のバラツキを抑制するように、前記増幅電子ビームアレイの出射口側端部の内周面が、前記マイクロチャンネルの出射端に向かって末広がりとなるように形成されている請求項 3 に記載の電子ビーム露光装置。

40

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、LSI といった半導体装置の製造において、上記半導体装置における半導体素子の微細加工が可能な、電子ビーム露光装置に関するものである。

【背景技術】

50

【 0 0 0 2 】

現在、半導体素子の性能は、図 1 2 に示すように、半導体リソグラフィ技術による微細加工の精度（つまり、最小加工寸法の低減化）に委ねられているといっても過言ではない。これまでの可視光帯域の光（電磁波）を利用したリソグラフィ技術による微細加工は、その光の波長に依存して解像度が決まる。このため、微細加工のより微細化を進めるためには、図 1 3 に示すように、可視光領域から E U V（E x t r e m e U l t r a V i o l e t r a y s、極紫外線）や X 線などの、より短波長帯域の光を利用する必要があった。

【 0 0 0 3 】

しかし、それらの短波長帯域の光は、その光の発生装置の実現や光ビームの縮小などに用いる光学系の実現が容易ではない。

10

【 0 0 0 4 】

このことから、発生や制御が比較的容易である電子ビーム（電子線）を半導体リソグラフィ技術による微細加工に用いることが考えられた。

【 0 0 0 5 】

しかしながら、電子ビームを用いた既存の半導体製造（リソグラフィ）装置は、一本の電子ビームにて、半導体素子の回路パターンを直接描画するので、高集積度の半導体素子における回路パターンの全てを描画するのに多大な露光時間（数時間から数十時間）を要することが問題であった。つまり、光の波長に依存した微細加工限界を打ち破る電子ビーム露光方式は、“一筆書き”の一次元的な露光方式であるが故に直接ウェハ全体を露光するには多大な露光時間を要し、実用的でないという問題を生じている。

20

【 0 0 0 6 】

近年、電子ビームを用いた露光方法において、露光時間を短縮化するために、上記パターンを一括描画する二次元電子ビームによる一括露光方法が開発されている。そのような二次元電子ビーム一括露光方式としては、S C A L P E L 方式（A T & T）や、P R I V A I L 方式（I B M）が提案されている。

【 0 0 0 7 】

S C A L P E L 方式では、図 1 4（a）に示すように、メンブレン 3 2 a の表面上にパターン化された散乱部 3 2 b を備えるレチクル 3 2 に対し、電子ビーム 3 1 を照射する。出射電子ビームを電子レンズ 3 3 およびバックフォーカルプレーンフィルタ 3 4 を有する光学系により電子線レジストを塗布した金属薄膜 3 5 に照射・露光して上記パターンの回路を形成する方式である。S C A L P E L 方式については、特許文献 1 にも記載されている。

30

【 0 0 0 8 】

P R I V A I L 方式においては、図 1 5（a）および図 1 5（b）に示すように、前記パターンに応じた空孔 4 4 a を形成した S i 基板 4 4 をレチクルとして用い、上記 S i 基板 4 4 に電子ビーム 4 1 を照射する。このとき、空孔 4 4 a を通過した電子ビーム 4 1 を、光学系を用いて、電子線レジストが塗布された金属薄膜を備えたウェハ 4 7 上にそれぞれ照射・露光する方式である。上記光学系としては、電子レンズ 4 2、電子ビーム軸偏向用ヨーク 4 3 a を備えたイルミネーションレンズ 4 3、コリメーションレンズ 4 5、およびコントラストアパーチャ 4 6 を備えたプロジェクションレンズ 4 6 が挙げられる。ただし、P R I V A I L 方式は、図 1 5（c）に示すような、中空の部分の備えた S i 基板 4 4 を作製できないという不都合を有している。P R I V A I L 方式については、特許文献 2 にも記載されている。

40

【特許文献 1】米国特許第 5, 260, 151 号（Date of Patent: 1993 年 11 月 09 日）

【特許文献 2】米国特許第 5, 466, 904 号（Date of Patent: 1995 年 11 月 14 日）

【発明の開示】

【 0 0 0 9 】

50

(発明が解決しようとする課題)

前記のSCALPEL方式は、図14(b)に示すように、電子ビーム31がメンブレン32aを通過する必要があるため、その部分で著しく解像度が低下してしまうという課題を生じている。

【0010】

前記のPRIVAIL方式は、複雑なパターン、例えば図15(c)に示すような中空を備えたパターンを形成するときには、上記パターンを分割した各小パターンを上記ウェハ47上にそれぞれ照射する。このため、上記方式は、上記各小パターンの相互間での位置あわせが必要となり、この位置あわせの精度が原因でSCALPEL方式と同様に解像度が著しく低下する(解像度としては100nmが限界)という課題を生じている。

10

【0011】

また、上記両方式においては、レチクルの製作や真空室内への上記レチクルの設置など面倒な操作が必要であるという課題も生じている。このように各方式には、上述した根本的な課題がある。

【0012】

本発明の目的、電子ビームによる高精細な描画パターンを形成できる電子ビーム露光装置を提供すると共に、所望する二次元の描画パターンの形成を、二次元一括露光によって迅速に実現できて上記形成を低コスト化できる、電子ビーム露光装置を提供することである。

【0013】

20

(課題を解決するための手段)

本発明に係る電子ビーム露光装置は、上記課題を解決するために、二次元の光パターンを発生するための光パターン発生部と、入射された前記光パターンに基づく電子ビームアレイを生成し、前記電子ビームアレイを増幅し、増幅電子ビームアレイとして出射するための電子増幅部と、前記増幅電子ビームアレイを、電子線レジスト上に集束するための電子ビームレンズ部と、を有していることを特徴としている。

【0014】

上記電子ビーム露光装置では、前記電子ビームレンズ部は、さらに、前記増幅電子ビームアレイを、加速、アライメントおよび投影することの、少なくとも一つをできるようになっていることが好ましい。

30

【0015】

上記構成によれば、二次元の光パターンに基づく増幅電子ビームアレイを、電子線レジストが塗布された金属薄膜を備えた基板上的上記電子線レジスト上に照射・露光する。このことにより、二次元の露光パターンを一括して描画でき、露光時間を短縮化できる。さらに、上記構成は、光パターンに基づく電子ビームアレイを増幅した増幅電子ビームアレイを用いているので、上記電子線レジストに照射される電子ビーム強度を大きくできる。この結果、上記露光時間をさらに短縮化できて、描画速度を向上できる。

【0016】

これにより、上記構成は、上記描画パターンの精度および描画速度を向上できるから、例えば半導体素子の最小加工寸法が、5nm以下といった、より微細な加工精度をより迅速に実現できて、5nmスケール以下の高集積度の半導体素子を有する超高密度のLSIを、より低コストにて製造できる。

40

【0017】

また、前記電子ビームレンズ部が、さらに、前記増幅電子ビームアレイを加速できるようになっていると、電子線を短波長化できるので、描画パターンを、より微細化できて、上記描画パターンの精度および描画速度を向上できる。また、前記電子ビームレンズ部が、さらに、前記増幅電子ビームアレイをアライメントできるようになっていると、上記描画パターンの精度をより向上できる。

【0018】

上記電子ビーム露光装置では、前記電子増幅部は、電子を増幅する、筒状のマイクロチ

50

チャンネルが、前記マイクロチャンネルの軸方向を前記光パターンの光軸方向に対し沿うように、複数、それぞれ、前記光軸方向に対し直交する方向に互いに隣り合って形成されていることが好ましい。

【0019】

上記構成によれば、上記各マイクロチャンネルを設けたことにより、照射した光パターンを分割化した各マイクロ電子ビームの集合体である増幅電子ビームアレイをより確実に形成できる。

【0020】

この結果、上記構成は、増幅された増幅電子ビームアレイを、より確実に得ることができるので、上記描画パターンの描画速度をより向上させることができる。このことから、例えば半導体素子の最小加工寸法が、5 nm以下といった、より微細な加工精度をより迅速に実現できて、5 nmスケール以下の高集積度の半導体素子を有する超高密度のLSIを、より低コストにて製造できる。

10

【0021】

上記電子ビーム露光装置においては、前記電子増幅部は、前記光パターンの入射側に、入射してくる光子を電子に変換して出射する光電膜を備えていてもよい。

【0022】

上記構成によれば、光パターン発生部からの光パターンの光強度が小さくとも、光電部を、電子増幅部における、光パターンの入射側に設けたことで、上記光パターンに応じた電子パターンを電子増幅部に入射し増幅して、増幅電子ビームアレイを、より確実に得ることが可能となる。

20

【0023】

上記電子ビーム露光装置では、前記光パターン発生部は、フェムト秒レーザと、上記フェムト秒レーザからのレーザ光を前記二次元の光パターンにて反射するためのマイクロミラーアレイ部とを有していてもよい。

【0024】

上記構成によれば、マイクロミラーアレイ部により二次元の光パターンとなった、フェムト秒レーザからのレーザ光は、電子増幅部に照射されると、上記電子増幅部において、上記光パターンに準じた電子ビームアレイを生成できる。

【0025】

これにより、上記構成は、光電膜を用いた場合と同様な、高精細で、迅速化できる描画パターンによる半導体素子を形成できる。その上、上記構成は、光電膜を省くことが可能であるから、光電膜に必要な真空状態の維持という、装置の大型化や高コスト化を抑制できる。

30

【0026】

上記電子ビーム露光装置においては、さらに、前記増幅電子ビームアレイによって描画されたパターンに生じる歪を低減するように前記光パターンを補正するための補正部を備えていることが望ましい。

【0027】

上記構成によれば、増幅電子ビームアレイによって描画されたパターンに生じる歪を低減するように光パターンを補正するための補正部を設けたので、増幅電子ビームアレイにより描画されるパターンを、光パターン側から補正することで、所望する描画パターンに近づけることが確実化および迅速化できる。

40

【0028】

上記電子ビーム露光装置では、前記補正部は、前記光パターン発生部を制御して、前記増幅電子ビームアレイに生じる歪を相殺するように逆歪光パターンを生成するための逆歪光パターン生成部を備えていてもよい。

【0029】

上記構成によれば、増幅電子ビームアレイに生じる歪を相殺するように逆歪光パターンを生成するための逆歪光パターン生成部を設けたことで、上記相殺によって描画パターン

50

の精度を改善できる。

【0030】

上記電子ビーム露光装置においては、前記補正部は、前記光パターン発生部を制御して、前記光パターンを、互いに補間し合う複数の分割光パターンをそれぞれ生成するための分割光パターン生成部を備えていてもよい。

【0031】

上記構成によれば、互いに補間し合う複数の分割光パターンをそれぞれ生成するための分割光パターン生成部を備えたことにより、複数の各分割光パターンから、互いに補間し合う、複数の各分割パターン電子ビームアレイを得ることができる。それらの各分割パターン電子ビームアレイを時間軸に沿って互いに異なる時間に電子線レジストの同一エリアに照射することで、前記光パターンに対応した描画パターンを電子線レジスト上に形成できる。

10

【0032】

このとき、時分割にて用いられる、各分割パターン電子ビームアレイにおける、互いに隣り合うマイクロ電子ビームの間隔を大きくできる。これにより、各分割パターン電子ビームアレイにおける、互いに近接したマイクロ電子ビーム間および電子線レジスト内部での散乱電子間の静電相互作用力を軽減することができる。

【0033】

その結果、上記構成は、所望の描画パターンによる歪の少ない感光パターンが電子線レジスト上に得られるので、分割パターン電子ビームアレイによる上記感光パターンにおける描画の高精度化が可能となる。

20

【0034】

上記電子ビーム露光装置では、さらに、前記電子増幅部からの増幅電子ビームアレイの出射角度のバラツキを抑制するため、電子増幅部の出射側にグリッド状静電レンズ部を有していてもよい。

【0035】

上記構成によれば、増幅電子ビームアレイをグリッド状静電レンズ部におけるグリッド状部を通過させることで、互いに平行化できて前記出射角度のバラツキを抑制して、上記バラツキに起因する解像度の低下を軽減できる。その上、前記出射角度のバラツキを抑制できるから、前述の光パターンとの相似性を向上できて、描画パターンの高精度化が可能となる。

30

【0036】

上記電子ビーム露光装置においては、前記マイクロチャンネルは、前記電子増幅部からの増幅電子ビームアレイの出射角度のバラツキを抑制するように、前記増幅電子ビームアレイの出射口側端部の内周面が、前記マイクロチャンネルの出射端に向かって末広がりとなるように形成されていてもよい。

【0037】

上記構成によれば、上記末広がりの形状により、グリッド状静電レンズ部を設けた場合と同様に、出射された増幅電子ビームアレイの各マイクロ電子ビームの各出射方向を上記マイクロチャンネルの中心軸に対し平行となるように近づけることができる。

40

【0038】

この結果、前記出射角度のバラツキを抑制できるから、上記バラツキに起因する解像度の低下を軽減できる。その上、前記出射角度のバラツキを抑制できるから、前述の光パターンとの相似性を向上できて、描画パターンの高精度化が可能となる。

【0039】

(発明の効果)

本発明の電子ビーム露光装置は、以上のように、二次元の光パターンに基づく、電子ビームアレイを生成し、前記電子ビームアレイを増幅し、増幅電子ビームアレイとして出射するための電子増幅部と、前記増幅電子ビームアレイを電子線レジスト上に集束するための電子ビームレンズ部とを有している構成である。

50

【 0 0 4 0 】

それゆえ、上記構成は、パターン化された増幅電子ビームアレイにより、描画パターンを高分解能、高精度かつプログラマブルに描画して形成することができる。この結果、前述したように、例えば最小加工寸法が5 nm以下といった、より微細な加工が実現でき、5 nmスケール以下の半導体素子を備えた超高密度LSIが製造できるという効果を奏する。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 4 1 】

【 図 1 】本発明に係る実施の第一形態の電子ビーム露光装置を示す概略要部断面図である。

10

【 図 2 】上記電子ビーム露光装置に用いるMCPのマイクロチャンネルにおける要部破断の斜視図である。

【 図 3 】上記MCPの要部破断の斜視図である。

【 図 4 】上記MCPの要部平面図である。

【 図 5 】上記MCPの印加電圧とゲインとの関係を示すグラフである。

【 図 6 (a) 】上記電子ビーム露光装置の電子ビームレンズ部を示す斜視図である。

【 図 6 (b) 】上記電子ビーム露光装置の電子ビームレンズ部を示す正面図である。

【 図 7 】上記MCPと電子レンズ部とにおける、光パターンから増幅電子ビームアレイが生成され、集束され、投影される状態を示す斜視図である。

【 図 8 (a) 】上記増幅電子ビームアレイが集束される状態を示す斜視図である。

20

【 図 8 (b) 】集束されて電子線レジスト上での上記増幅電子ビームアレイの状態を示す斜視図である。

【 図 8 (c) 】集束された上記増幅電子ビームアレイでの各電子ビーム間の相互作用を示す概略正面図である。

【 図 9 (a) 】上記増幅電子ビームアレイの各マイクロ電子ビーム間の相互作用を緩和するための一例を示し、上記増幅電子ビームアレイを生成するための光パターンを分割して形成した、互いに補間する各分割光パターンの例を示す平面図である。

【 図 9 (b) 】上記各分割光パターンを合わせたときの増幅電子ビームアレイを示す平面図である。

【 図 1 0 (a) 】上記MCPからの増幅電子ビームアレイを整形するためのグリッド状静電レンズ部を示す要部破断斜視図である。

30

【 図 1 0 (b) 】上記グリッド状静電レンズ部の断面図である。

【 図 1 1 (a) 】本発明の増幅電子ビームを示す概略正面図である。

【 図 1 1 (b) 】従来の電子ビームを示す概略正面図である。

【 図 1 2 】半導体素子としてのDRAM、マイクロプロセッサの最小加工寸法における、経年的で、一般的な減少の変化を示すグラフである。

【 図 1 3 】X線露光、EUV露光、電子線露光における露光波長と解像度との関係を示すグラフである。

【 図 1 4 (a) 】従来の電子ビームでの露光の例を示す断面図である。

【 図 1 4 (b) 】図 1 4 (a) に示す従来の電子ビームでの露光の例の要部拡大断面図である。

40

【 図 1 5 (a) 】従来の電子ビームでの露光の他の例を示す断面図である。

【 図 1 5 (b) 】図 1 5 (a) に示す従来の電子ビームでの露光の他の例の要部拡大断面図である。

【 図 1 5 (c) 】上記他の例では不可能な、レチクルとしてのSi基板での空孔の例を示す正面図である。

【 図 1 6 】本発明に係る実施の第二形態の電子ビーム露光装置を示す概略要部断面図である。

【 図 1 7 】上記実施の第二形態の電子ビーム露光装置における、DMD（デジタルミラーデバイス、登録商標、マイクロミラーアレイ部）の要部斜視図である。

50

【図18】本発明に係る実施の第一形態および第二形態の電子ビーム露光装置におけるMCPのマイクロチャネルの一変形を示す断面図である。

【発明を実施するための最良の形態】

【0042】

(実施の第一形態)

本発明に係る電子ビーム露光装置、半導体製造装置の一実施形態について図1ないし図11に基づいて説明すると以下の通りである。すなわち、上記電子ビーム露光装置を備えた半導体製造装置では、図1に示すように、内部での真空状態を維持できる箱状の真空チェンバー1が、その真空度を 10^{-6} Torr以下となるように設けられている。本実施の形態では、上記真空度を 10^{-8} Torrに設定した。

10

【0043】

真空チェンバー1内の底部には、露光される基板5を載置するためのステージ(載置台)2が、二次元の水平方向に移動可能に取り付けられている。真空チェンバー1の内部または外部には、ステージ2を移動駆動するためのメカニカルドライブ3が、後述するコントローラ17により制御可能に設けられている。また、上記ステージ2の位置(つまり移動位置)をモニタするためのステージ位置モニタ4が、そのモニタ位置を後述するコントローラ17に通知するように取り付けられている。

【0044】

上記ステージ2に載置される基板5の表面上には、半導体素子の回路を形成するための金属薄膜、半導体膜または絶縁膜といった薄膜6が形成されており、さらに、上記薄膜6

20

【0045】

電子線レジスト7としては、ポジ型レジスト、ネガ型レジストが挙げられる。上記ポジ型レジストとしては、主鎖に4級炭素を有する高分子が、電子線により主鎖切断の割合(放射線化学では100 eV当たりの反応数を表すG値を用いる)が大きいので好ましい。ポジ型レジストの高分子の例は、ポリメチルメタクリレート(PMMA)、ポリヘキサフルオロブチルメタクリレート(FBM)、ポリ(トリフルオロ-クロロアクリレート)(EBR-9)などのハロゲン化ポリアクリレートや、それれとメチルアクリレートの共重合体が挙げられる。ポジ型レジストの高分子の他の例は、ポリ(ブテン-1-スルホン、 $1\mu\text{C}/\text{cm}^2$ と感度が高い)、DNQ-ノボラック樹脂が挙げられる。DNQ-ノボラック樹脂の例は、ポリメチルペンテンスルホン(PMPS)とノボラック樹脂からなるものである。ポジ型レジストのさらに他の例は、化学増幅系レジストである、酸触媒脱保護反応を利用したものが挙げられる。

30

【0046】

前記ネガ型レジストとしては、エポキシ基を含む高分子が電子線に対する、架橋の反応感度が高いことを利用したポリ(グリシジルメタクリレート)(PGMA)や、グリシジルメタクリレートとエチルアクリレートとの共重合体(COP)、ポリスチレン系レジストが挙げられる。ポリスチレン系レジストは、エポキシ基を含むモノマーと芳香環を含むモノマーとの共重合体である。上記各レジストには、感度向上のために、化学構造として、ハロゲンや、クロルメチル基、およびアシル基の少なくとも一つが導入されていてもよい。

40

【0047】

真空チェンバー1内の頂部近傍には、半導体素子の回路パターンに応じた二次元の光パターン13を生成するためのプロジェクター(光パターン発生部)8が、プロジェクター8の発光表面から上記光パターン13を外部に対して出射するように設けられている。

【0048】

上記プロジェクター8としては、透過型液晶方式と単板式DLP(Digital Light Processing)方式とが挙げられる。光パターン13のダーク部分に存在する微量の光子は、後述するMCP11により1000倍以上に増倍され、最終的に電子線レジスト7の被感光箇所を感光するため、コントラスト比が一般に高いとされる単

50

板式DLP方式がより望ましい。

【0049】

プロジェクター8のコントラスト比が問題となる程度の十分な感光感度を持つレジスト材料を電子線レジスト7として使用する場合は、光を遮るマスクをMCP11の上面(光の入射側面)に配置し、プロジェクター8に代えて使用することも可能である。フォトマスク(液晶シャッター等含む)をMCP11の背面(光パターン13の入射側)に設置し、MCP11の背面に対し、全面光を照射することで、プロジェクター8を不必要となる。この場合、光パターン13毎にフォトマスクを設置する必要がある。最終的には、後述する電子ビームレンズ部12で、パターン化された増幅電子ビームアレイ14を集束させるため、フォトマスクに高い解像度は必要ない。

10

【0050】

また、有機エレクトロルミネッセンス(以下、ELと略記する)発光素子をマトリクス上に配置したEL発光部をプロジェクター8と後述のレンズ9の代わりに利用できる。この場合、EL発光部を後述する光電膜10と集積し、EL発光部から光パターン13を、直接、光電膜10に等倍投射して、上記光電膜10から上記光パターン13に応じた、パターン化された電子ビームアレイを後述するMCP11に入射することも考えられる。いずれにせよ、光パターン13を、後述する光電膜10に照射する段階(言い換えると、後述するMCP11への入射位置)では、上記光パターン13は、 μm レベルの精度があれば充分である。

20

【0051】

上記光パターン13の光路上には、入射された光パターン13に基づく、パターン化された電子ビームアレイを生成し、その電子ビームアレイを数千倍から数千万倍までに増幅した、パターン化された増幅電子ビームアレイ14を出射するためのマイクロチャネルプレート(以下、MCPと略記する、電子増幅部)11が、上記増幅電子ビームアレイ14の光路上に上記光パターン13の光路方向にほぼ沿うように設けられている。

【0052】

上記プロジェクター8とMCP11との間の光路中には、必要に応じて、光パターン13をMCP11の入射側に効率よく入射するための凸または凹のレンズ9が設けられていてもよい。また、MCP11の入射側に、入射した光を電子に変換して出射する光電膜10が設けられていることが望ましい。

30

【0053】

上記光電膜10の素材としては、マルチアルカリ(Na-K-Sb-Cs)、バイアルカリ(Sb-Rb-Ce、Sb-K-Cs)、Ce-Te、Ag-O-Cs、GaAs、GaAsP等が代表的なものとして挙げられる。可視領域では、CdSが広く用いられ、感度を増すために一般に(Cu、Ag、Sb等)が添加される。本実施形態では、CdSを用いている。

【0054】

なお、上記光パターン13の光子がMCP11のマイクロチャネルにおける内面の半導体部の仕事関数を上回るエネルギーを持つ場合、光電膜10を省くことができる。また、200nm以下の短波長のUVによる光パターン13をMCP11の内側に照射した場合も、上記内面の半導体部から二次電子(secondary electron)が発生し、上記光パターン13に応じた増幅電子ビームアレイ14を得ることができるので、光電膜10は不必要となる。上記UVによる光パターン13の作製には、UVフォトマスクをMCP11の上面(光の入射側)に設置すればよい。

40

【0055】

次に、前記MCP11について説明する。MCP11は、図2および図3に示すように、電子を増幅する、筒状のマイクロチャネル11aが、マイクロチャネル11aの軸方向を、MCP11に向かって入射してくる前記光パターン13の光軸方向に対し沿うように、複数、それぞれ、前記光軸方向に対し直交する方向に互いに平行に隣り合って形成されている。上記筒状としては、円筒状や、四角筒状、六角筒状が挙げられるが、製作の容易

50

さから、本実施形態では、円筒状が用いられている。

【0056】

MCP11の作製については、MCP11の1つのマイクロチャネル11aを取り上げて以下に説明する。まず、例えば鉛ガラス板の本体11bに、その厚さ方向に複数の筒状部を互いに平行に形成する。上記筒状部の直径は、 $1\mu\text{m} \sim 100\mu\text{m}$ に、その直径に対する筒状部の長さの比(L/d)は、 $20 \sim 200$ 、より好ましくは $40 \sim 100$ に設定されている。本実施形態では、直径を $2\mu \sim 10\mu\text{m}$ 、比(L/d)を $40 \sim 80$ に設定している。また、筒状部の軸方向は、鉛ガラス板の表面の法線方向に沿った平行としてもよいし、 8° 程度まで傾斜していてもよいが、本実施形態では平行としている。

【0057】

次に、各筒状部の内面に、一個の電子が衝突すると、上記衝突方向に沿った方向に複数の二次電子を放出する構造を備えた半導体部11cを形成する。上記半導体部11cは、本体11bを水素雰囲気下、 $250 \sim 450$ の高温での還元により本体11bの表面状に抵抗性の半導体部として形成される。上記半導体部11cの本体11bの厚さ方向での抵抗値は、 $10^8 \sim 10^{10}$ に設定されている。

【0058】

なお、上記半導体部11cとしては、プラズマCVD(化学的気相成長法)により堆積されたダイヤモンドカーボン膜であってもよい。

【0059】

続いて、筒状の各半導体部11cが厚さ方向に形成された鉛ガラス板の本体11bの両表面に、ニクロムまたはインコネルの蒸着により各電極11d、11eをそれぞれ形成して、図4に示すようなマイクロチャネル11aが作製される。

【0060】

このようなマイクロチャネル11aでは、各電極11d、11e間に、電子の入射側をマイナス、電子の出射側をプラスとして、図5に示すように、 $600\text{V} \sim 1100\text{V}$ の直流電圧を印加しておくこと、電子の入射側の電極11d側から、マイクロチャネル11a内の半導体部11cに一個の電子25が衝突すると、上記衝突方向に沿った方向に複数の二次電子27を放出し、その放出された各電子27が半導体部11cにそれぞれ衝突して、さらに多くの電子を放出することを繰り返すことにより、一個の電子25が 5×10^2 個 $\sim 3 \times 10^5$ 個の電子ビーム29となって出射することになる。図5に示すCHEVRONとは、MCP11を二段に形成したものである。

【0061】

各マイクロチャネル11aからの各電子ビーム29の各電子は、MCP11の充放電特性から間欠的に出射するので、互いに隣り合うに各電子ビーム29の各電子が、上記各電子ビーム29の中心軸間の距離にて、互いに隣り合う確率は十分小さく、上記各電子ビーム29の各電子が互いに反発する斥力は小さい。

【0062】

よって、前述の増幅電子ビームアレイ14は、上記の各マイクロチャネル11aにそれぞれ対応した複数の各マイクロ電子ビームが集合したものである。複数の各マイクロ電子ビームは、互いに離間しており、かつ、前記光パターン13の光路方向、および上記の各マイクロチャネル11aの長手方向に沿ったものである。ただし、複数の各マイクロ電子ビームは、上記光路方向や長手方向に対して、必ずしも平行となっていないとよく、電子線レジスト表面で集束すれば、傾斜していてもよい。

【0063】

なお、上述した光電膜10+MCP11の代用品としてHARP(High-gain Avalanche Rushing amorphous Photoconductor)膜をアバランシュ型フォトコンダクタ膜として利用することができる。HARP膜とは、高圧を印加したアモルファスセレンの膜を意味する。HARP膜の表面に光が入射すると、HARP膜にて光電変換が起こり、さらに膜中で電荷がなだれ増幅し、電子を出射する。したがって、パターン光13をHARP膜の一方の表面に入射することで、パ

10

20

30

40

50

ターン化された増幅電子ビームアレイ 14 が H A R P 膜の他方の表面から出射して得られる。

【 0 0 6 4 】

また、本実施形態では、光パターン発生部 8 と光電膜 10 と M C P 11 との組み合わせに代えて、他のデバイスを用いることができる。上記他のデバイスとしては、電圧制御によりパターン化された増幅電子ビームアレイ 14 を生成し、レジストを感光させることができるものであればよい。上他のデバイスとして、表面伝導型電子放出素子 (S E D : S u r f a c e - c o n d u c t i o n E l e c t r o n - e m i t t e r)、シリコンやモリブデンから成る先端を尖らせた先端部を備えたマイクロディップアレイ、カーボンナノチューブアレイ、およびダイヤモンド薄膜等の電界放出ディスプレイ (F E D , F i e l d E m i s s i o n D i s p l a y) 用電子放出源からなるデバイス群から選択された少なくとも一つを利用することが挙げられる。

10

【 0 0 6 5 】

上記真空チェンバー 1 内においては、図 1、図 6 および図 7 に示すように、M C P 11 から出射される、パターン化された増幅電子ビームアレイ 14 の光路に沿って、上記増幅電子ビームアレイ 14 を加速、集束、アライメント、および投影するための電子ビームレンズ部 12 が設けられている。

【 0 0 6 6 】

電子ビームレンズ部 12 は、加速管部 12 a、集束レンズ部 12 b、アライメント用の多重極偏向電極部 12 c、および投影レンズ部 12 d を、それぞれ、上記増幅電子ビームアレイ 14 の進行方向に沿って有している。電子ビームレンズ部 12 では、少なくとも集束レンズ部 12 b が設けられていればよいが、必要に応じて、加速管部 12 a、アライメント用の多重極偏向電極部 12 c、および投影レンズ部 12 d の少なくとも何れかが設けられていてもよい。

20

【 0 0 6 7 】

加速管部 12 a は、増幅電子ビームアレイ 14 を加速させ、その電子線の波長を短波長化させ、最終的に、電子線レジスト 7 での描画解像度を向上させるためのものである。集束レンズ部 12 b は、パターン化された増幅電子ビームアレイ 14 の光路方向に直交する面内方向において、パターンを集束させるためのものである。多重極偏向電極部 12 c は、集束レンズ部 12 b を通過後の増幅電子ビームアレイ 14 の歪みを補正するためのものである。投影レンズ部 12 d は、多重極偏向電極部 12 c の通過後の増幅電子ビームアレイ 14 を所望のサイズにて電子線レジスト 7 上に投影して増幅電子ビームアレイ 14 に対応する描画パターン 14 a を形成するためのものである。

30

【 0 0 6 8 】

加速レンズまたは加速電極といった加速管部 12 a によって、増幅電子ビームアレイ 14 の電子線は 100 k e V において約波長 0 . 0 1 n m 程度まで短波長化されるので、短波長化された上記増幅電子ビームアレイ 14 により、より微細な、5 n m スケール以下の描画パターン 14 a を電子線レジスト 7 上に描いて上記電子線レジスト 7 を露光することが可能となる。以下、通常の半導体製造の工程により、微細パターンを有する高集積度の半導体素子が形成される。

40

【 0 0 6 9 】

図 1 に示すように、プロジェクター 8 での二次元の光パターン 13 を発生させたり、電子ビームレンズ部 12 を制御したり、また、前述のステージ 2 を移動駆動するメカニカルドライブ 3 を制御したりするためのコントローラ (補正部) 17 がコンピュータにより設けられている。コントローラ 17 には、表示出力部としてのディスプレイ 18 と、キーボードやマウス等の入力部 19 とが接続されている。

【 0 0 7 0 】

そして、コントローラ 17 は、加速、集束、アライメント、および投影された増幅電子ビームアレイ 14 によって描画される描画パターン 14 a に生じる歪を低減するように前記光パターン 13 を補正するための補正部としても機能するように設定されている。

50

【 0 0 7 1 】

まず、上記補正の第一の例として、電子ビームレンズ部 1 2 における歪の補正が挙げられる。電子ビームレンズ部 1 2 により発生する電界は、空間的に強度分布を示すため、集束される、パターン化された増幅電子ビームアレイ 1 4 の中心付近とパターンの外郭付近では縮小率が異なる。これを解決するために、所望パターンに対する、電子ビームレンズ部 1 2 にて生じる歪の逆関数の積である入射光パターン（逆歪光パターン）を生成するように、コントローラ 1 7 はプロジェクター 8 を制御する。よって、コントローラ 1 7 は、逆歪光パターン生成部を備えていることになる。

【 0 0 7 2 】

これにより、上記第一の例では、電子ビームレンズ部 1 2 において、増幅電子ビームアレイ 1 4 によって描画される描画パターン 1 4 a に生じる歪を、上記入射光パターンにより相殺できて、電子線レジスト 7 上に、通常の電子ビームの解像度で、所望する回路パターンに沿った二次元一括の、集束され投影された増幅電子ビームアレイ 1 4 によって描画される描画パターン 1 4 a が得られる。

10

【 0 0 7 3 】

この結果、上記第一の例においては、上記増幅電子ビームアレイ 1 4 により描画される露光パターンである描画パターン 1 4 a を、光パターン 1 3 側から補正することで、高精度かつプログラマブルに描画することができる。それゆえ、たとえば最小加工寸法が 5 nm 以下といった、より微細な加工が実現でき、5 nm スケール以下の半導体素子を備えた超高密度 L S I が高精度、低コストかつプログラマブルに製造できる。

20

【 0 0 7 4 】

次に、上記補正の第二の例として、図 8 (a) および図 8 (b) に示すように、増幅電子ビームアレイ 1 4 が電子ビームレンズ部 1 2 により電子線レジスト 7 上に集束されて、電子線レジスト 7 に近づくに伴い、図 8 (c) に示すように、互いに隣り合うマイクロ電子ビーム 1 4 b 間での相互作用力が大きくなり、上記相互作用力による散乱に起因した解像度が低下するという不都合を回避する例を挙げる。

【 0 0 7 5 】

そこで、図 9 (a) に示すように、M C P 1 1 の各マトリクスである各マイクロチャネル 1 1 a に入射する光パターン 1 3 から、互いに補間し合う各ドットからなる複数の各分割光パターン 1 1 a - 1 ~ 1 1 a - 3 を、時分割的にそれぞれ生成するようにプロジェクター 8 がコントローラ 1 7 により制御される。各分割光パターン 1 1 a - 1 ~ 1 1 a - 3 は、互いに補間し合うように形成されているので、図 9 (b) に示すように、互いに重ねると元の光パターン 1 3 となるようになっている。よって、コントローラ 1 7 は、分割光パターン生成部を備えていることになる。

30

【 0 0 7 6 】

このように補正の第二例においては、電子線レジスト 7 上に照射される、各分割光パターン 1 1 a - 1 ~ 1 1 a - 3 に基づくマイクロ電子ビーム 1 4 b は、互いの間隔が広がるために、上記相互作用力による不都合をさらに抑制できる。この結果、補正の第二の例においても、解像度の低下を回避できるので、超高密度 L S I が、より高精度、低コストかつプログラマブルに製造できる。

40

【 0 0 7 7 】

なお、本実施の第一形態では、各分割光パターン 1 1 a - 1 ~ 1 1 a - 3 を 3 枚の例を挙げたが、それらを例えば 1 0 0 枚の各分割光パターンとしてもよい。上記各分割光パターンは光にて制御されることから、それら 1 0 0 枚を順次描写しても、その全描写時間をミリ秒オーダーにできる。

【 0 0 7 8 】

また、本発明の電子ビーム露光装置や半導体製造装置において、M C P 1 1 からの増幅電子ビームアレイ 1 4 の出射角度のバラツキに起因した解像度の低下を防止するために、図 1 0 (a) および図 1 0 (b) に示すように、M C P 1 1 の出射側にグリッド状静電レンズ部 1 6 を設けてもよい。

50

【0079】

グリッド状静電レンズ部16には、MCP11の各マイクロチャンネル11aにそれぞれ対応したグリッド(格子)状の各空間部16aが各マイクロチャンネル11aからの各増幅電子ビームの進行方向に沿った空間を備えるようにそれぞれ形成されている。これにより、上記グリッド状静電レンズ部16に電圧を印加しておくこと、MCP11からの増幅電子ビームアレイ14に対し引力を発生し、加速させた上記増幅電子ビームアレイ14をグリッド状の各空間部16a内を通過させることで、互いに平行化できて前記出射角度のバラツキを抑制して、上記バラツキに起因する解像度の低下を軽減でき、かつ、前述の光パターン13との相似性を向上できて、描画パターン14aの高精度化が可能となる。

【0080】

このように直径が10 μ mのマイクロチャンネル11aを、互いに隣り合う各マイクロチャンネル11aの中心間の間隔が12 μ mのMCP11を用いて、定格2keVをMCP11の各電極11d、11eに印加して露光電流の合計が20mAとすると、図11(a)に示すように、MCP11の1マイクロチャンネル11a当たり0.5 μ Aのマイクロ電子ビーム14bが得られるので、同じ露光電流を利用した従来の電子ビーム14cを用いたリソグラフィの40000倍の露光速度になることが分かった。

【0081】

この数値はMCP11の各マイクロチャンネル11aの形成数に相当し、さらに多数のマイクロチャンネル11aを備えたMCPを利用すれば、露光速度(描画速度)はそれに比例して上昇すると考えられる。

【0082】

また、計算結果から、電子線レジスト7の感光に利用する全体の電子の総量と波長を同一と仮定した場合、従来の電子ビームリソグラフィの解像度の40000倍向上すると考えられる。これは、解像度つまり電子ビームの拡がり電流の1次に比例しているという仮定に基づいている。以上の結果から、本発明の電子ビーム露光装置、半導体製造装置は、大きな可能性を備えていることが分かる。

【0083】

また、本発明は、光の波長限界を超えた微細な露光や加工が可能な電子ビームを用いるので、半導体素子やマイクロマシンの製造過程におけるレジストの露光や直接的な微細加工が可能となる。

【0084】

その上、本発明は、電子ビームの二次元パターンを一括照射することで、レチクルが不要となり、高速、かつプログラブル露光や加工が実現できる。電子ビームは、その波長が加速電圧に依存するため、高圧を印加し、使用する電子線を加速させれば、その速度に応じて微細な加工が可能になる。本発明は、従来、実用化に至らせなかった課題を根本的に解決し得るものであり、LSI製造技術を大幅に進展させるものである。

【0085】

例えば、従来、180nm~150nmスケールのルールを用いた1GのDRAMの製造においては、エキシマレーザ・波長193nmを利用している。本発明による二次元一括露光では、理想的にはその1万分の1以下の露光波長で微細加工が可能となり(10TのDRAMが可能)、電子散乱を考慮しても大幅なLSI性能の向上が見込まれる。

【0086】

(実施の第二形態)

本発明の実施の第二形態に係る、電子ビーム露光装置を図16および図17に基づいて以下に説明する。なお、本実施の第二形態では、前記実施の第一形態と同様な機能を有する部材については、同一の部材番号を付与してそれらの説明を省いた。

【0087】

まず、前記実施の第一形態では、光電膜10を用いていた。光電膜10は、真空状態を維持する必要から、大気中に露出できないものである。このような光電膜10を用いていたため、真空チェンバー1や真空ポンプ等の装置全体の大型化を招来していた。

10

20

30

40

50

【0088】

そこで、本実施の第二形態においては、図16に示すように、光電膜10を省くために、プロジェクタ8に代えて、別の光パターン発生部21が設けられている。光パターン発生部21は、フェムト秒レーザ22と、上記フェムト秒レーザ22からのレーザ光を前記二次元の光パターンにて反射するためのマイクロミラーアレイ部23とを有している。

【0089】

フェムト秒レーザ22としては、例えば、繰り返し周波数が50MHzで、パルス幅が90fs(フェムト秒)~180fs、波長が可視部、例えば780nmのフェムト秒レーザであればよい。その具体例として、例えばチタン-サファイアレーザ、Yb:YAGレーザを用いることができる。また、フェムト秒レーザ22の出力としては、平均出力10mWから60mWまでのものが適用できる。

10

【0090】

マイクロミラーアレイ部23は、図17に示すように、基板23aと、基板23a上の複数の各駆動部23bと、各駆動部複数によりそれぞれ駆動される各マイクロミラー23cとを有している。マイクロミラーアレイ部23としては、デジタルミラーデバイス(登録商標)が挙げられる。

【0091】

各マイクロミラー23cは、可視部の光を反射する正方形板状のミラーであり、互いに隣り合って密にマトリクス状に、48万枚~131万枚配置されている。マトリクス状とは、碁盤目状に、互いに交差(好ましくは直交)する行方向と列方向とに配列されて二次元の前記光パターン13を形成できるものである。本実施の第二形態では、各マイクロミラー23cは、データ伝送単位ブロック(64x16枚)で分割された16x64ブロックのマイクロミラーアレイ部23が用いられている。

20

【0092】

また、各駆動部23bは、マイクロミラー23c毎にそれぞれ設けられ、例えば、各マイクロミラー23cを、行方向に沿った中心軸を回転軸として±12度程度回動駆動できるようにしている。さらに、各駆動部23bは、各マイクロミラー23cを、1秒間に数千回の回動駆動を繰り返せるように設定されている。

【0093】

このような各駆動部23bの制御は、液晶パネルでの画像表示制御と同様に以下の通りである。

30

【0094】

まず、前記光パターン13のための二次元パターンデータは、シフトレジスタにてラッチ(LATCHES、データの同期をとるために保持すること)され、各マイクロミラー23cの行列のブロック毎にデータがロードされる。

【0095】

続いて、各マイクロミラー23cのための行復号機器(ROW DECODER)で指定された番地の行ブロック要素に、0または1(つまり、例えばマイナス12度またはプラス12度)の情報を伝送する。

【0096】

この情報により、各駆動部23bは、各マイクロミラー23cを、各マイクロミラー23c₁、または、各マイクロミラー23c₂というようにそれぞれ傾斜させる。

40

【0097】

その後、上記各マイクロミラー23c上に、フェムト秒レーザ22からのレーザ光22aを照射し、上記各マイクロミラー23cからの反射光を光パターン13としてMCP11の各マイクロチャンネル11aに対し照射する。

【0098】

各マイクロチャンネル11aにおける内面の半導体部11cでは、上記光パターン13の複数個の光子のエネルギーの総和が上記半導体部11cの仕事関数を上回るエネルギーであるので、多光子励起状態となって電子を、上記光子の進入方向に沿った方向に主に放出

50

する。このように放出された電子は、前述したように、上記半導体部 11c において二次電子が発生し、以下、同様にパターン化された増幅電子ビームアレイ 14 を電子線レジスト 7 上に集束させて描画できる。

【0099】

本実施の第二形態では、増幅電子ビームアレイ 14 を電子線レジスト 7 上に 5 nm 以下の線幅の描画パターン 14a をプログラブル露光により形成できると共に、真空状態の維持が必要な光電膜 10 を省くことができるので、露光装置の小型化や、真空ポンプの小型化ができ、低コスト化できる。

【0100】

また、本実施の第二形態では、マイクロミラーアレイ部 23 を用いたことにより、上記各マイクロミラー 23c を個々に制御して、光パターン 13 の補正が前記実施の第一形態と同様に可能となる。

10

【0101】

なお、前記実施の第一形態および第二形態では、各マイクロチャネル 11a の内面形状を、光の入射側から出射側まで内径が一定な直筒状の例を挙げたが、例えば図 18 の変形例に示すように、光の出射側端部を、末広がり形状とした電子ビーム整形部 11h としてもよい。末広がり形状とは、光の出射側端に向かって、順次、内径が大きくなるものである。

【0102】

このような末広がり形状の電子ビーム整形部 11h により、各マイクロチャネル 11a から出射され電子ビームを、より各マイクロチャネル 11a の中心軸方向に沿わせる、コリメート（平行化）することが可能となる。

20

【0103】

これにより、本変形例では、前述のグリッド状静電レンズ部 16 を省いても、それを設けた場合と同様な効果を発揮できて、小型化を図りながら、描画パターンの高精細化が可能となる。

【0104】

上記電子ビーム露光装置では、さらに、前記電子増幅部は、アバランシュ型フォトコンダクタ膜であってもよい。

【0105】

上記電子ビーム露光装置においては、前記光パターン発生部は、光源と、前記光源からの光により前記光パターンを生成するためのマスクパターンとを備えていてもよい。上記構成によれば、マスクパターンを用いることで、光パターン発生部を簡素化できて、全体でのコストダウンが可能となる。また、上記構成は、描画パターンに生じる歪が、ある程度まで予測できる場合、その予測に応じて補正されたマスクパターンを用いることで、上記歪を抑制できて、描画パターンの精度の向上を図ることが可能となる。

30

【0106】

本発明に係る半導体製造装置は、上記課題を解決するために、真空チェンバーと、前記真空チェンバー内に設けられた、上記の何れかに記載の電子ビーム露光装置と、前記真空チェンバー内に設けられ、前記増幅電子ビームアレイが表面上に集束される、電子線レジスト、および前記電子線レジストが表面上に形成された基板を載置する載置台とを有し、前記露光装置の光パターン発生部は、半導体素子の回路パターンに応じた二次元の光パターンを発生するようになっていて、これを特徴としている。

40

【0107】

上記構成によれば、本発明に係る電子ビーム露光装置を備えることで、光パターン発生部が、半導体素子の回路パターンに応じた二次元の光パターンを発生するようになっており、その光パターンからパターン化された電子ビームアレイを生成できる。その電子ビームアレイを、加速することにより、電子ビームアレイの電子線を極限まで短波長化させることが可能となる。これにより、上記構成は、例えば加工寸法が 5 nm 以下といった、より微細な加工が実現でき、5 nm スケール以下の半導体素子を備えた超高密度 LSI が製

50

造できる。

【0108】

上記半導体製造装置においては、さらに、前記基板に集束される前記増幅電子ビームアレイの照射方向に対し直交する方向に前記基板を移動させる基板移動部を有していることが望ましい。

【0109】

上記構成によれば、増幅電子ビームアレイの照射方向に対し直交する方向、例えば水平方向に基板（例えば100mm径や500mm径のウェハー）を移動させる基板移動部を設けたので、上記基板を移動させて、それぞれの回路パターンに応じた描画パターンを形成できて、大面積の基板にも回路パターンに対応した描画パターンを形成できる。

10

【0110】

また、上記構成は、用いた露光装置に備えた補正部により、光パターン側に補正を加えることで、パターン化された電子ビームアレイによって描画されたパターンの歪みを低減させることができ、超高集積度の半導体素子の製造をより確実化および迅速化できる。

【0111】

本発明の半導体製造装置は、以上のように、本発明に係る電子ビーム露光装置を備え、光パターン発生部が、半導体素子の回路パターンに応じた二次元の光パターンを発生するようになっている構成である。

【0112】

それゆえ、上記構成は、前述したように、増幅電子ビームアレイにより描画される所望の回路パターンを、高分解能、高精度かつプログラブルに描画して形成することができる。この結果、例えば最小加工寸法が5nm以下といった、より微細な加工が実現でき、5nmスケール以下の半導体素子を備えた超高密度LSIが製造できるという効果を奏する。

20

【産業上の利用可能性】

【0113】

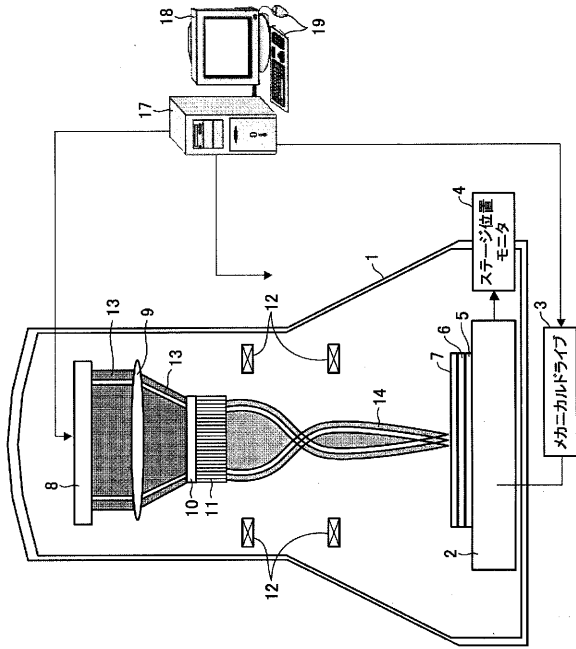
本発明の電子ビーム露光装置は、より微細加工が可能な電子ビームを用いたパターン露光を迅速化できる。このことから、より微細加工されて性能が向上した半導体素子を低コストにて製造できる。

【0114】

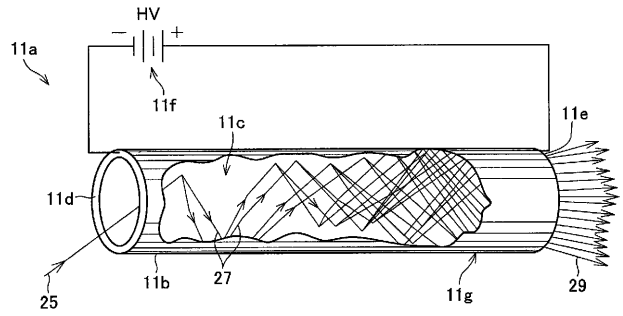
この結果、本発明の電子ビーム露光装置は、より高精細な半導体素子の製造を容易化、迅速化できるので、半導体リソグラフィ装置、LSIといった半導体製造装置の分野や、上記LSIを使用する携帯電話などの通信機分野や上記LSIといった半導体素子を多用するコンピュータ分野に好適に利用できる。

30

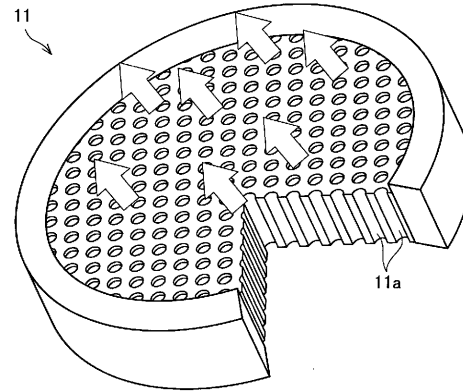
【 図 1 】



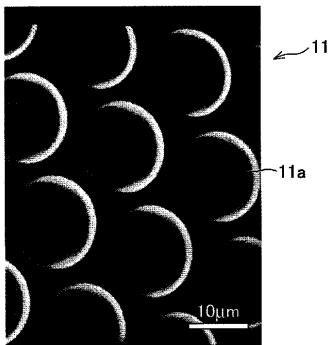
【 図 2 】



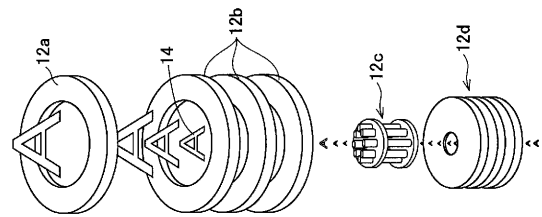
【 図 3 】



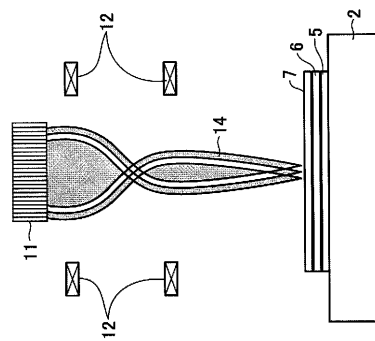
【 図 4 】



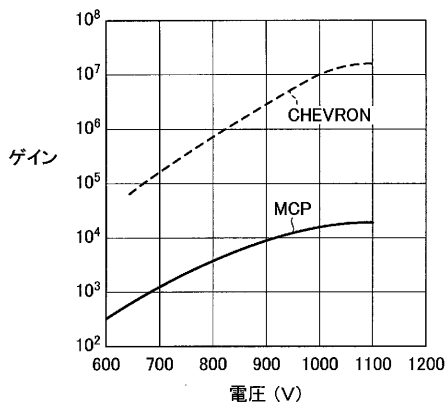
【 図 6 (a) 】



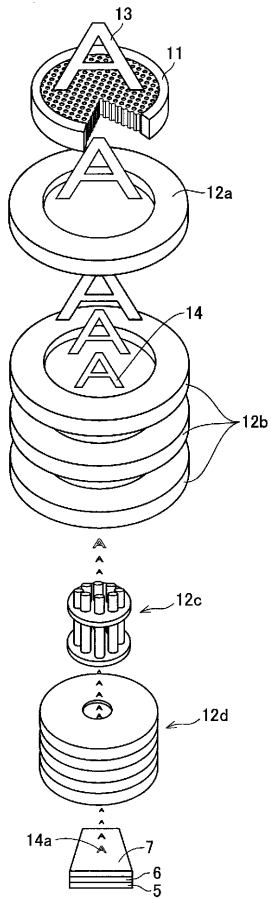
【 図 6 (b) 】



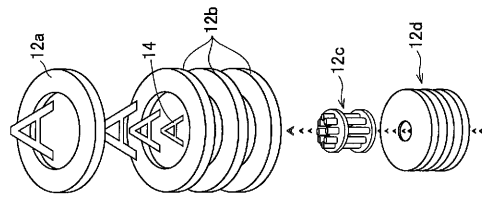
【 図 5 】



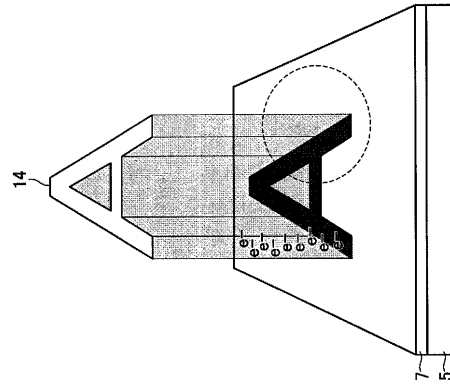
【 図 7 】



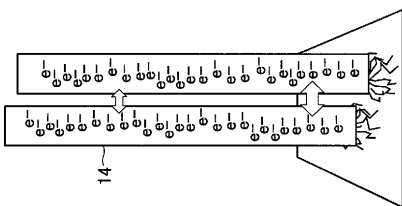
【 図 8 (a) 】



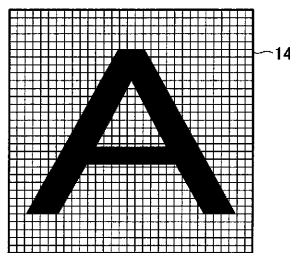
【 図 8 (b) 】



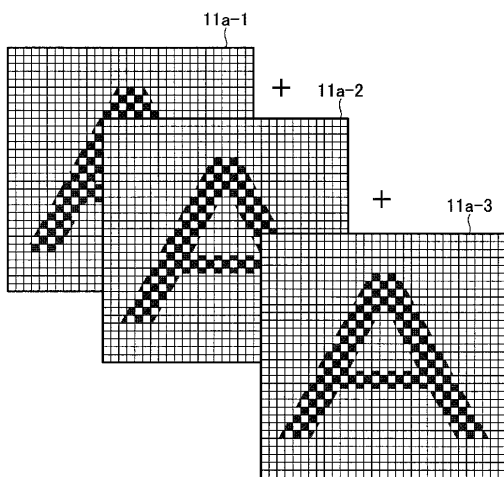
【 図 8 (c) 】



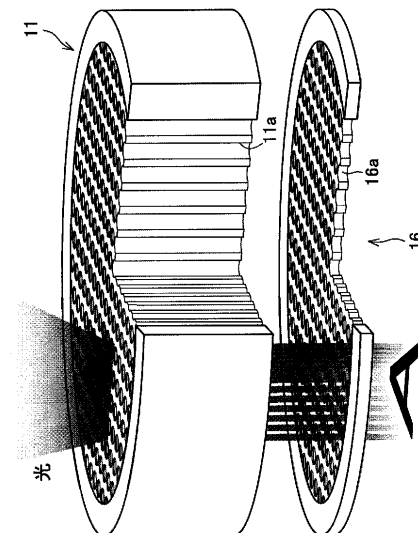
【 図 9 (b) 】



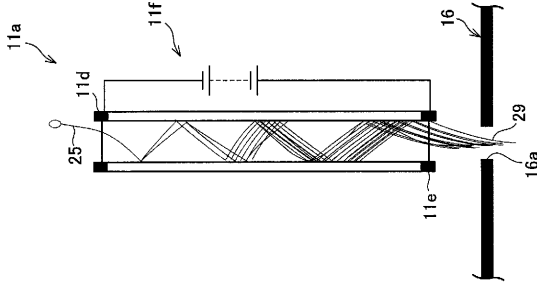
【 図 9 (a) 】



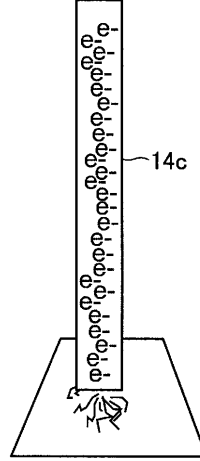
【 図 10 (a) 】



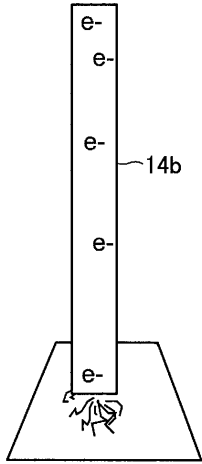
【図10(b)】



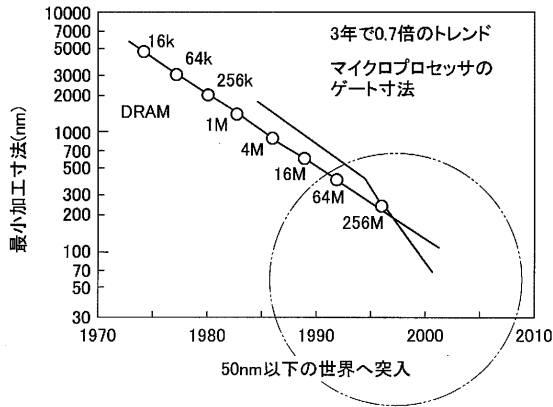
【図11(b)】



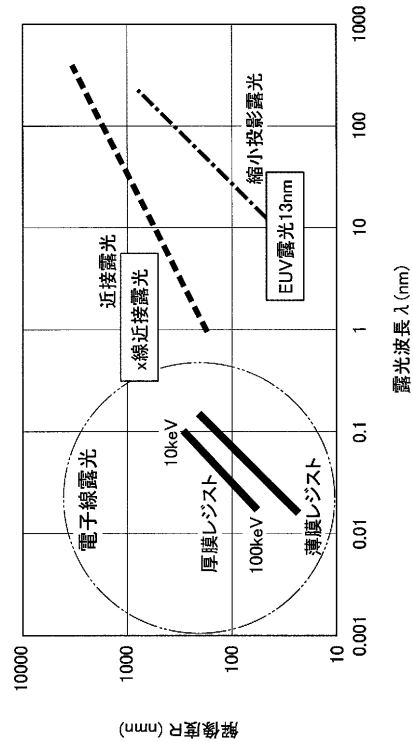
【図11(a)】



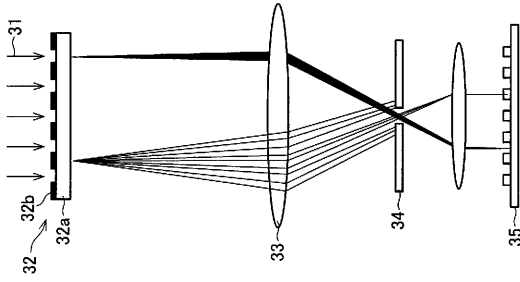
【図12】



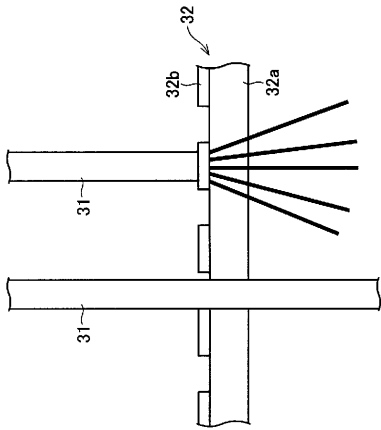
【図13】



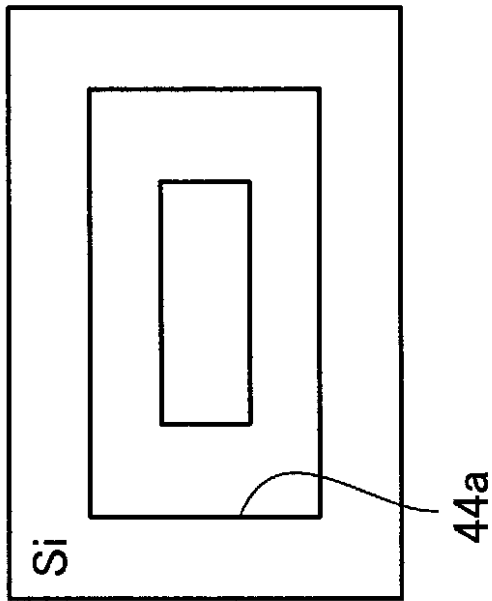
【図14(a)】



【図14(b)】

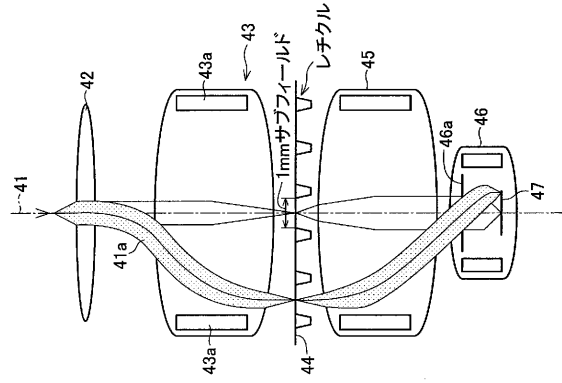


【図15(c)】

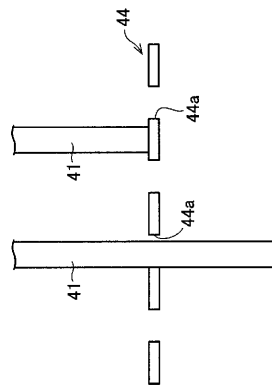


44

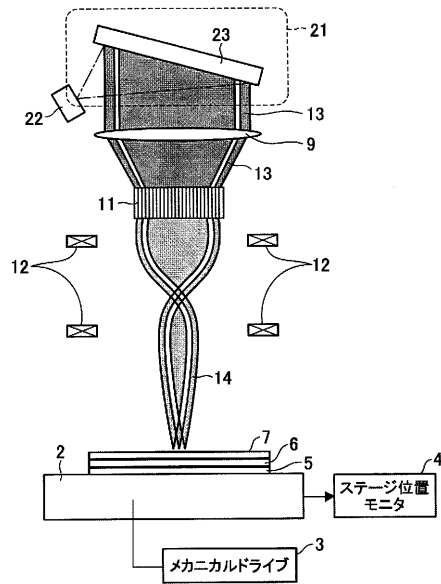
【図15(a)】



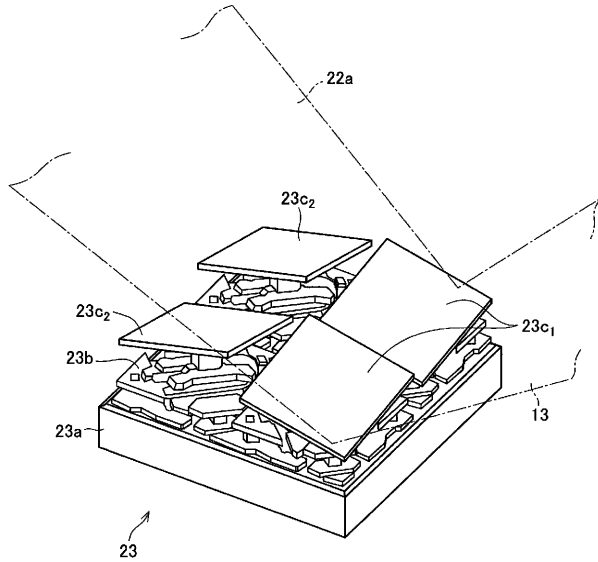
【図15(b)】



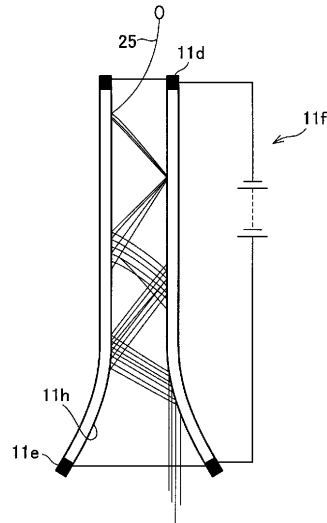
【図16】



【図 17】



【図 18】



【手続補正書】

【提出日】平成18年7月21日(2006.7.21)

【手続補正 1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【書類名】特許請求の範囲

【請求項 1】 二次元の光パターンを発生するための光パターン発生部と、
入射された前記光パターンに基づく電子ビームアレイを生成し、前記電子ビームアレイを増幅し、増幅電子ビームアレイとして出射するための電子増幅部と、
前記増幅電子ビームアレイを、電子線レジスト上に集束するための電子ビームレンズ部と、を有していることを特徴とする電子ビーム露光装置。

【請求項 2】 前記電子ビームレンズ部は、さらに、前記増幅電子ビームアレイを、加速、アライメントおよび投影することの、少なくとも一つをできるようになっている請求項 1 に記載の電子ビーム露光装置。

【請求項 3】 前記電子増幅部は、電子を増幅する、筒状のマイクロチャネルが、前記マイクロチャネルの軸方向を前記光パターンの光軸方向に対し沿うように、複数、それぞれ、前記光軸方向に対し直交する方向に互いに隣り合って形成されている請求項 1 に記載の電子ビーム露光装置。

【請求項 4】 前記電子増幅部は、前記光パターンの入射側に、入射してくる光子を電子に変換して出射する光電膜を備えている請求項 1 に記載の電子ビーム露光装置。

【請求項 5】 前記光パターン発生部は、前記電子増幅部における光パターンの入射部において多光子励起状態とするためのフェムト秒レーザと、上記フェムト秒レーザからのレーザ光を前記二次元の光パターンにて反射するためのマイクロミラーアレイ部とを有して

いる請求項 1 に記載の電子ビーム露光装置。

【請求項 6】 さらに、前記増幅電子ビームアレイによって描画されたパターンに生じる歪を低減するように前記光パターンを補正するための補正部を有している請求項 1 に記載の電子ビーム露光装置。

【請求項 7】 前記補正部は、前記光パターン発生部を制御して、前記増幅電子ビームアレイに生じる歪を相殺するように逆歪光パターンを生成するための逆歪光パターン生成部を備えている請求項 6 に記載の電子ビーム露光装置。

【請求項 8】 前記補正部は、前記光パターン発生部を制御して、前記光パターンを、互いに補間し合う複数の分割光パターンをそれぞれ生成するための分割光パターン生成部を備えている請求項 6 に記載の電子ビーム露光装置。

【請求項 9】 さらに、前記電子増幅部からの増幅電子ビームアレイの出射角度のバラツキを抑制するため、電子増幅部の出射側にグリッド状静電レンズ部を有している請求項 1 に記載の電子ビーム露光装置。

【請求項 10】 前記マイクロチャンネルは、前記電子増幅部からの増幅電子ビームアレイの出射角度のバラツキを抑制するように、前記増幅電子ビームアレイの出射口側端部の内周面が、前記マイクロチャンネルの出射端に向かって末広がりとなるように形成されている請求項 3 に記載の電子ビーム露光装置。

【手続補正書】

【提出日】平成19年3月5日(2007.3.5)

【手続補正 1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

二次元の光パターンを発生するための光パターン発生部と、
入射された前記光パターンに基づく電子ビームアレイを生成し、前記電子ビームアレイを増幅し、二次元パターンの増幅電子ビームアレイとして一括出射するための電子増幅部と、
前記増幅電子ビームアレイを、電子線レジスト上に集束するための電子ビームレンズ部と、
を有し、

前記増幅電子ビームアレイは、複数の各マイクロ電子ビームが集合したものであり、

前記複数の各マイクロ電子ビームは、互いに離間しており、かつ、前記光パターンの光路方向に沿っていることを特徴とする電子ビーム露光装置。

【請求項 2】

前記電子ビームレンズ部は、さらに、前記増幅電子ビームアレイを、加速、アライメントおよび投影することの、少なくとも一つをできるようになっている請求項 1 に記載の電子ビーム露光装置。

【請求項 3】

前記電子増幅部は、電子を増幅する、筒状のマイクロチャンネルが、前記マイクロチャンネルの軸方向を前記光パターンの光軸方向に対し沿うように、複数、それぞれ、前記光軸方向に対し直交する方向に互いに隣り合って形成されている請求項 1 に記載の電子ビーム露光装置。

【請求項 4】

前記電子増幅部は、前記光パターンの入射側に、入射してくる光子を電子に変換して出射する光電膜を備えている請求項 1 に記載の電子ビーム露光装置。

【請求項 5】

前記光パターン発生部は、前記電子増幅部における光パターンの入射部において多光子励起状態とするためのフェムト秒レーザと、上記フェムト秒レーザからのレーザ光を前記

二次元の光パターンにて反射するためのマイクロミラーアレイ部とを有している請求項 1 に記載の電子ビーム露光装置。

【請求項 6】

さらに、前記増幅電子ビームアレイによって描画されたパターンに生じる歪を低減するように前記光パターンを補正するための補正部を有している請求項 1 に記載の電子ビーム露光装置。

【請求項 7】

前記補正部は、前記光パターン発生部を制御して、前記増幅電子ビームアレイに生じる歪を相殺するように逆歪光パターンを生成するための逆歪光パターン生成部を備えている請求項 6 に記載の電子ビーム露光装置。

【請求項 8】

前記補正部は、前記光パターン発生部を制御して、前記光パターンを、互いに補間し合う複数の分割光パターンをそれぞれ生成するための分割光パターン生成部を備えており、前記複数の分割光パターンに基づく、互いに隣り合う各マイクロ電子ビームの間隔は、前記光パターンに基づく、互いに隣り合う各マイクロ電子ビームの間隔より広いものである請求項 6 に記載の電子ビーム露光装置。

【請求項 9】

さらに、前記電子増幅部からの増幅電子ビームアレイの出射角度のバラツキを抑制するため、電子増幅部の出射側にグリッド状静電レンズ部を有している請求項 1 に記載の電子ビーム露光装置。

【請求項 10】

前記マイクロチャンネルは、前記電子増幅部からの増幅電子ビームアレイの出射角度のバラツキを抑制するように、前記増幅電子ビームアレイの出射口側端部の内周面が、前記マイクロチャンネルの出射端に向かって末広がりとなるように形成されている請求項 3 に記載の電子ビーム露光装置。

【請求項 11】

前記マイクロチャンネルは、前記増幅電子ビームアレイの各電子を間欠的に出射するものである請求項 3 に記載の電子ビーム露光装置。

【請求項 12】

前記補正部は、前記各分割光パターンをそれぞれ時分割にて生成するものである請求項 8 に記載の電子ビーム露光装置。

【請求項 13】

前記光パターン発生部は、二次元パターンデータから前記二次元の光パターンを発生するものである請求項 1 に記載の電子ビーム露光装置。

【請求項 14】

前記二次元の光パターンは、半導体素子の回路パターンに応じたものである請求項 1 に記載の電子ビーム露光装置。

【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0003

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0003】

置など面倒な操作が必要であるという課題も生じている。このように各方式には、上述した根本的な課題がある。

本発明の目的は、電子ビームによる高精細な描画パターンを形成できる電子ビーム露光装置を提供すると共に、所望する二次元の描画パターンの形成を、二次元一括露光によって迅速に実現できて上記形成を低コスト化できる、電子ビーム露光装置を提供することである。

(課題を解決するための手段)

本発明に係る電子ビーム露光装置は、上記課題を解決するために、二次元の光パターンを発生するための光パターン発生部と、入射された前記光パターンに基づく電子ビームアレイを生成し、前記電子ビームアレイを増幅し、二次元パターンの増幅電子ビームアレイとして一括出射するための電子増幅部と、前記増幅電子ビームアレイを、電子線レジスト上に集束するための電子ビームレンズ部と、を有し、上記増幅電子ビームアレイは、複数の各マイクロ電子ビームが集合したものであり、上記複数の各マイクロ電子ビームは、互いに離間しており、かつ、前記光パターンの光路方向に沿っていることを特徴としている。

上記電子ビーム露光装置では、前記電子ビームレンズ部は、さらに、前記増幅電子ビームアレイを、加速、アライメントおよび投影することの、少なくとも一つをできるようになっていることが好ましい。

上記構成によれば、二次元の光パターンに基づく増幅電子ビームアレイを、電子線レジストが塗布された金属薄膜を備えた基板上の上記電子線レジスト上に照射・露光する。このことにより、二次元の露光パターンを一括して描画でき、露光時間を短縮化できる。さらに、上記構成は、光パターンに基づく電子ビームアレイを増幅した増幅電子ビームアレイを用いているので、上記電子線レジストに照射される電子ビーム強度を大きくできる。この結果、上記露光時間をさらに短縮化できて、描画速度を向上できる。

これにより、上記構成は、上記描画パターンの精度および描画速度を向上できるから、例えば半導体素子の最小加工寸法が、5 nm以下といった、より微細な加工精度をより迅速に実現できて、5 nmスケール以下の高集積度の半導体素子を有する超高密度のLSIを、より低コストにて製造できる。

また、前記電子ビームレンズ部が、さらに、前記増幅電子ビームアレイを加速できるようになっていると、電子線を短波長化できるので、描画パターンを、より微細化でき

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0005

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0005】

描画パターンによる半導体素子を形成できる。その上、上記構成は、光電膜を省くことが可能であるから、光電膜に必要な真空状態の維持という、装置の大型化や高コスト化を抑制できる。

上記電子ビーム露光装置においては、さらに、前記増幅電子ビームアレイによって描画されたパターンに生じる歪を低減するように前記光パターンを補正するための補正部を備えていることが望ましい。

上記構成によれば、増幅電子ビームアレイによって描画されたパターンに生じる歪を低減するように光パターンを補正するための補正部を設けたので、増幅電子ビームアレイにより描画されるパターンを、光パターン側から補正することで、所望する描画パターンに近づけることが確実化および迅速化できる。

上記電子ビーム露光装置では、前記補正部は、前記光パターン発生部を制御して、前記増幅電子ビームアレイに生じる歪を相殺するように逆歪光パターンを生成するための逆歪光パターン生成部を備えていてもよい。

上記構成によれば、増幅電子ビームアレイに生じる歪を相殺するように逆歪光パターンを生成するための逆歪光パターン生成部を設けたことで、上記相殺によって描画パターンの精度を改善できる。

上記電子ビーム露光装置においては、前記補正部は、前記光パターン発生部を制御して、前記光パターンを、互いに補間し合う複数の分割光パターンをそれぞれ生成するための分割光パターン生成部を備えており、上記複数の分割光パターンに基づく、互いに隣り合う各マイクロ電子ビームの間隔は、前記光パターンに基づく、互いに隣り合う各マイクロ電子ビームの間隔より広いものであってもよい。

上記構成によれば、互いに補間し合う複数の分割光パターンをそれぞれ生成するための分割光パターン生成部を備えたことにより、複数の各分割光パターンから、互いに補間し合う、複数の各分割パターン電子ビームアレイを得ることができる。それらの各分割パターン電子ビームアレイを時間軸に沿って互いに異なる時間に電子線レジストの同一エリアに照射することで、前記光パターンに対応した描画パターンを電子線レジスト上に形成できる。

このとき、時分割にて用いられる、各分割パターン電子ビームアレイにおける、互いに隣り合うマイクロ電子ビームの間隔を大きくできる。これにより、各分割パターン電子ビームアレイにおける、互いに近接したマイクロ電子ビーム間および電子線レジス

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/JP2005/021299
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER H01L21/027(2006.01), G03F7/20(2006.01), H01J37/305(2006.01), H01J43/24(2006.01) 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) H01L21/027, G03F7/20, H01J37/30-37/317, H01J43/00-43/30 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2006 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2006 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2006 Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 11-97331 A (Canon Inc.), 09 April, 1999 (09.04.99), Full text; all drawings (Family: none)	1-10
Y	JP 54-85665 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 07 July, 1979 (07.07.79), Full text; Fig. 5 (Family: none)	1-10
Y	JP 2004-304135 A (Nikon Corp.), 28 October, 2004 (28.10.04), Par. No. [0045] (Family: none)	5
<input checked="" 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 but 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 13 February, 2006 (13.02.06)		Date of mailing of the international search report 21 February, 2006 (21.02.06)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/021299

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 6-236842 A (Hitachi, Ltd.), 23 August, 1994 (23.08.94), Full text; all drawings (Family: none)	1-10

国際調査報告

国際出願番号 PCT/JP2005/021299

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
 Int.Cl. H01L21/027(2006.01), G03F7/20(2006.01), H01J37/305(2006.01), H01J43/24(2006.01)

B. 調査を行った分野
 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))
 Int.Cl. H01L21/027, G03F7/20, H01J37/30-37/317, H01J43/00-43/30

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2006年
日本国実用新案登録公報	1996-2006年
日本国登録実用新案公報	1994-2006年

国際調査で利用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 11-97331 A (キヤノン株式会社) 1999.04.09, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-10
Y	JP 54-85665 A (松下電器産業株式会社) 1979.07.07, 全文, 第5図 (ファミリーなし)	1-10
Y	JP 2004-304135 A (株式会社ニコン) 2004.10.28, 段落0045 (ファミリーなし)	5

C欄の続きにも文献が列挙されている。 パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー	の日の後に公表された文献
「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの	「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)	「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」同一パテントファミリー文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日 13.02.2006	国際調査報告の発送日 21.02.2006
--------------------------	--------------------------

国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 渡戸 正義 電話番号 03-3581-1101 内線 3274	2M 9023
--	--	---------

国際調査報告

国際出願番号 PCT/JP2005/021299

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 6-236842 A (株式会社日立製作所) 1994. 08. 23, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-10

Page number

-24-

(consecutive to previous page)

Total pages - 3 -

JP2006/21299

補正書の請求の範囲

[2006年7月21日 (21. 07. 2006) 国際事務局受理]

Statement

条約19条(1)に基づく説明書

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, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, 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, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW

特許法第30条第1項適用申請有り

(72)発明者 松重 和美

日本国京都府京都市西京区京都大学桂 国立大学法人京都大学大学院工学研究科内

Fターム(参考) 5C034 BB10

5F056 AA23 AA40 EA01 EA08

(注)この公表は、国際事務局(WIPO)により国際公開された公報を基に作成したものである。なおこの公表に係る日本語特許出願(日本語実用新案登録出願)の国際公開の効果は、特許法第184条の10第1項(実用新案法第48条の13第2項)により生ずるものであり、本掲載とは関係ありません。