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

特許第4365895号
(P4365895)

(45)発行日　平成21年11月18日(2009.11.18)　(24)登録日　平成21年8月28日(2009.8.28)

(51)Int.Cl.		F I		
H01L 21/266	(2006.01)	H01L	21/265	M
H01L 21/265	(2006.01)	H01L	21/265	603B
C23C 14/48	(2006.01)	C23C	14/48	Z
H01J 37/12	(2006.01)	H01J	37/12	
H01J 37/305	(2006.01)	H01J	37/305	B

請求項の数 4　(全 26 頁)　最終頁に続く

(21)出願番号　特願平7-101924
(22)出願日　平成7年4月26日(1995.4.26)
(65)公開番号　特開平8-298247
(43)公開日　平成8年11月12日(1996.11.12)
審査請求日　平成14年2月14日(2002.2.14)
審判番号　不服2007-11095(P2007-11095/J1)
審判請求日　平成19年4月18日(2007.4.18)

(73)特許権者　000005108
株式会社日立製作所
東京都千代田区丸の内一丁目６番６号
(74)代理人　100100310
弁理士　井上　学
(72)発明者　梅村　馨
東京都国分寺市東恋ケ窪１丁目２８０番地
株式会社日立製作所中央研究所内
(72)発明者　川浪　義実
東京都国分寺市東恋ケ窪１丁目２８０番地
株式会社日立製作所中央研究所内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】イオンビーム装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

イオンビームを発生するイオン源と、

前記イオンビームが透過する貫通孔または穴を備えたステンシルマスクを保持するマスクステージと、

試料を保持する試料ステージと、

前記イオン源より前記イオンビームを引き出し、前記ステンシルマスクに照射する照射光学系と、

前記ステンシルマスクを透過した前記イオンビームを縮小して前記試料の任意位置に投射する投射光学系とを有し、

前記投射光学系は投射レンズを１段のみ備え、

前記照射光学系は前記イオンビームを前記投射レンズのほぼ中心に集束させる照射レンズを備え，

さらに反応ガス供給系を備えることを特徴とするイオンビーム装置。

【請求項２】

請求項１に記載のイオンビーム装置において、

前記イオン源はプラズマイオン源または電界電離イオン源であることを特徴とするイオンビーム装置。

【請求項３】

請求項１または２に記載のイオンビーム装置において、

前記投射レンズはアインツエルレンズであることを特徴とするイオンビーム装置。
【請求項４】
請求項１に記載のイオンビーム装置において、
前記照射光学系はＥ×Ｂ質量分離器と質量分離アパーチャを備えることを特徴とするイオンビーム装置。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【産業上の利用分野】
本発明は、イオン注入によりｐ型或いはｎ型不純物を基板に導入する半導体装置の製造方法に関する。
【０００２】
【従来の技術】
以下、従来のイオン注入方法について、特にＣＭＯＳ・ＬＳＩの製造プロセスにおけるウェル領域形成としきい電圧制御の各工程を例に説明する。
【０００３】
現行のウェル領域形成は、以下のような手順で行なう。図１９を用いて説明する。（ａ）ｐ型シリコン基板５１を全面酸化させ、シリコン酸化膜５２を被着した後にシリコン窒化膜５３を全面デポジションする。次に、ホトレジスト５４を全面に塗布し、ｎ型ウェル領域に対応するパターンを縮小露光装置で感光させる。現像を行なった後、ドライエッチングを行なうことにより、露光部のレジスト５４と直下の窒化膜５３を除去し、ｎ型ウェル用のパターンが開けられる。このパターニングした開口領域を用いてリンイオン５５をシリコン基板５１中に注入し、高濃度ｎ型不純物領域５６を形成する。（ｂ）レジストをアッシング除去後、ウェット酸化条件下でシリコン基板５１を酸化して、厚膜のシリコン酸化膜５８を形成するとともに、ｎ型ウェル領域５７を形成する。（ｃ）シリコン窒化膜５３を除去し、厚膜のシリコン酸化膜５８をマスクとしてフッ化ボロンイオン５９を注入し、高濃度ｐ型不純物領域６０を形成する。（ｄ）窒素雰囲気中でアニールし、ｐ型ウェル領域６１を形成し、シリコン酸化膜５２，５８を除去する。このように、従来のウェル形成方法では、レジスト塗布、露光、現像、除去といった一連のホトレジスト工程が必要であった。
【０００４】
しきい電圧制御のためのチャネルドープについても、上記例と同様にホト工程が必要であった。図２０を用いて説明する。
【０００５】
（ａ）厚膜の酸化膜５８部を持つ酸化膜５１で被覆されたシリコン基板５１にホトレジスト工程（レジスト塗布、露光、現像）を施し、ｐ型ウェル領域６１のレジストのみ除去し、レジスト６２をマスクにフッ化ボロンイオン５９を所定のドーズ量だけ注入する。これにより、チャネル領域となるシリコン基板表面はｐ型不純物領域６３が形成され、トランジスタのしきい電圧が制御される。（ｂ）イオン注入後、レジスト６２を除去し、再度ホトレジスト工程により、ｎ型ウェル領域のレジストのみ除去し、レジスト６５をマスクにしてヒ素イオン６６の注入を行ない、Ｐ型トランジシスタのチャネル領域となるｎ型不純物６７が形成され、ｐ型トランジスタのしきい電圧が制御できる。残ったレジスト６５を除去することで、チャネルドープは完了する。このように、チャネルドープについては２回のホト工程が必要であった。
【０００６】
上述の如き従来のイオン注入には、図２１のようなイオン注入装置を用いている。イオン注入装置７０は概ねドーパントイオンを発生するイオン源７１、放出イオン７２を質量分離し、ドーパントイオン７６と不要イオン７７、７７’に選別する質量分離器７３、ドーパントイオン７６を通過させるアパチャ７４、イオンビーム７６を平行ビーム化させるレンズ７８、ドーパントイオンビーム７６を試料上で走査させる偏向器７９、ウエハ８０を保持するステージ８１などから構成される。ウエハ８０の表面にホトレジスト８２が塗布

してある。この時、イオンビームをウエハ面に均一に入射させるためにウエハ自体も面内に揺動させる方式もある。イオン源７１にはドーパントを含むガスをプラズマにしてイオンを引出すマイクロ波イオン源などが用いられる。

【０００７】

イオン注入装置の従来例は、文献『イオン・インプランテイション・テクニックス』（スプリンガー・シリーズ・イン・エレクトロフィジックス１０、ライセル、グラウイッシュニグ編、１９８２年）の第３頁から２１頁にかけてハンス・グラウイッシュニグが記載している『イオン・インプランテイション・システム・コンセプツ』と題する論文で知ることができる。

【０００８】

("Ion Implantation System Concepts"(Hans Glawischnig)("Ion Implantation Techniques, (Springer Series in Electrophysics 10)" eds.H.Ryssel andH.Glawischnig, (1982) p.3-p.21.)（公知例１）

【０００９】

【発明が解決しようとする課題】

半導体デバイスの高性能化に伴い、デバイスの加工寸法は縮小化、構造は複雑化し、それを実現するためのプロセスも複雑化し、その工程数は増大している。半導体デバイスのメーカにとっては、デバイス製造の原価低減が直接収益に影響するため、複雑化しているプロセスを簡略し、製造コストを削減することが最大の課題となっている。特に、半導体基板に不純物を導入するイオン注入工程には、イオン注入の前後に上述のようなホトレジスト工程を必要とする。しかも、このイオン注入工程が半導体装置完成までの全工程中に複数回必要であれば、その都度このような付随する工程を行なわなければならない。これは、図２１に示すような従来のイオン注入装置で用いられるイオンビームが直径数ｃｍの太いビームであるため、上述のチャネルドーピングやウェル形成、拡散層形成のような所望の箇所に選択的にイオン注入するイオン注入工程では、図２２に示したように、シリコン基板８５にホトレジスト８６を塗布し、開口８７を設けて、イオンビーム８８を照射しなければならない。この時、各開口に均一にイオンを導入するために、イオンビームと基板を相対的に揺動させたりする。（図２２ではイオンビームを走査していることを示すために矢印を記した。）このレジストを設けるに伴ない、開口を開けるための露光や現像、イオン注入後のレジスト除去などの工程が必要となり、上記の如き付随的な多数の複雑な工程が必要となる。また、それらの工程のために、そのそれぞれの専用装置が必要で、装置の費用、設置面積の確保、専用担当者の確保など経済的負担となり、多くの工程を経ることによる完成品歩留りの低下をもたらしていた。

【００１０】

また、従来のイオン注入によって作成された半導体装置に注目すると次のような問題点も有している。従来工程によるウェル領域の形成方法においては、図１９（ｄ）のように、ｐ型ウェル領域６１の表面よりもｎ型ウェル領域５７の表面が低くなってしまう。これは、加工寸法の微細化が進むにつれ、図２３に示すトランジスタゲート電極形成工程で問題となる。すなわち、ｐ型ウェル領域９０中のｎ型MOSトランジスタのゲート電極９１とｎ型ウェル領域９２中のｐ型MOSトランジスタのゲート電極９３のパターニングを同時に行うため、各ゲート電極上に設けられたパターニング用のレジスト表面に段差が生じる。この段差が約０．４μｍになるため、例えば０．２５μｍ以下の微細加工においては、レジスト感光時の被写界深度が０．３μｍ程度であるので、像の鮮明な解像が困難になるという特有の問題を有していた。

【００１１】

もし、レジストを用いずにイオン注入が実現できれば、上記のレジスト塗布、露光、現像、レジスト除去などの工程は必要なくなり、半導体素子製造の工程が大幅に削減できる。その結果、そのそれぞれの専用装置が不要となり、装置設置面積の削減、多くの工程を経ることによる歩留り低下の防止できるとともに、上述のような半導体装置作成時に生じる問題も解決できるものと期待できる。

【００１２】
なお、レジストを用いずにイオン注入する例には、集束イオンビーム（ＦＩＢ）による方法がある。集束イオンビームは、図２４に一例を示すように、イオン源９４、集束レンズ９５や偏向器９６、試料ステージ９９等から構成されるイオン光学系で、試料９７に到達するビーム直径を数１０ｎｍ程度にまで集束させたイオンビーム９８である。集束イオンビーム９８が非常に細いため、あたかも一筆書きのように、１μｍ以下の微小領域にでもレジストを用いずにイオン注入することができる。例えば、エム・タムラらによる論文集ヌークリア・インスツルメント・アンド・メソッズ・イン・フィジクス・リサーチ、第Ｂ7/8巻、(1985年）第858頁から第863頁にかけての『フォーカスト・ボロン・イオン・ビーム・インプランテーション・インテゥ・シリコン』と題する論文がある。

【００１３】
（M.Tamura et al., Nuclear Instrument and Methods in Physics Research,B7/8 (1985) 858-863, "Focused boron ion implantation into silicon"）（公知例２）
また、レジストを用いずにイオン注入する別の方法として、特開昭５８－１０６８２２号に『不純物導入方法』（公知例３）と題して開示されている。この方法は、図２５のように、所望の開口１００を有する着脱可能なマスク１０１を、半導体基板１０２と所望の位置関係になるように僅かな空隙を保持して位置合わせをした後、イオンビームを照射し、上記マスク１０１の開口１００を介して上記半導体基板１０２にイオン注入を行なうものである。１０３はイオン注入領域である。この方法により、従来行われていたウェハ表面にレジストを塗布し、露光装置によってイオン注入領域を作成するといったレジスト工程が不要となる。

【００１４】
しかしながら、このような他のイオン注入技術にも次のような問題点を有していた。つまり、レジスト工程が不要なイオン注入を実現する公知例２の方法では、ウェハ全体に渡ってイオン注入を行なおうとすると、ビーム断面積が小さ過ぎることと、試料への到達イオン電流が小さいため、膨大な時間を要して現実的ではない。また、公知例３の方法では、イオン注入領域とステンシルマスクの間に縮小光学系がないため、イオン注入領域とステンシルマスクに設ける開口とは大きさが同じにしなければならない。イオン注入領域の微細化に伴い、ステンシルマスクに開口を設けること自体が困難となってくる。さらに、イオン注入領域の位置設定は、ステンシルマスクの設置位置によって決定されるため、ステンシルマスクの開口と試料の所望領域との位置合わせ非常に難しくなってくる。このように、上記公知例３も現実的ではなかった。

【００１５】
また、ステンシルマスクを用いたイオンビーム装置の例として、基板表面に塗布したレジストを露光するイオン投影型縮小露光装置がある。イオン投影型縮小露光装置の詳細については、論文集『マイクロエレクトロニック・エンジニアリング』第17巻、(1992年)第229から240頁においてエイ・チャルプカらが『プログレス・イン・イオン・プロジェクション・リソグラフィ』
(A.Chalupka et al., "Progress in ion projection lithography",Microelectronic Engineering, 17 (1992) 229-240.)（公知例４）と題する論文に開示されている。この方法はイオン露光によって、レジスト内での散乱が光や電子よりも小さく、従来の光や電子ビームによる露光に比べてシャープな像が露光できるという利点を持つ。しかしながら、公知例４はウェハに塗布されたレジストへの露光装置であるため、依然としてレジスト工程を経なければならず、レジスト工程の削減は実現されない。

【００１６】
従って、レジスト塗布、パターン露光、現像、レジスト除去など一連のホトレジスト工程を経ることなく効率良く、イオン注入が行なえる方法、また、これを実現するイオン注入装置が強く望まれていた。

【００１７】
上記の問題点に鑑み、本発明は半導体装置の製造工程の削減によって製造コストの低減を

目指すものであり、特に、ホトレジストを必要としないイオン注入によりｐ型或いはｎ型不純物を基板に導入してウエル領域を形成する半導体装置の製造方法を提供することにある。

【００１８】

【課題を解決するための手段】

本発明では、（１）トランジスタの活性領域となる第１及び第２の領域を有する基板を準備する工程と、前記第１の領域でｐ型を示す第１の不純物イオンビームを第１の開口パターンを有する第１のステンシルマスクに照射し、透過した前記第１の不純物イオンビームを前記第１の領域に導入する工程と、前記第２の領域でｎ型を示す第２の不純物イオンビームを前記第１の開口パターンとは異なる第２の開口パターンを有する第２のステンシルマスクに照射し、透過した前記第２の不純物イオンビームを前記第２の領域に導入する工程とを有し、前記第１の領域にはｐ型ウエル領域が、前記第２の領域にはｎ型ウエル領域が形成される半導体装置の製造方法とする。又、（２）基板を準備する工程と、前記基板内でｐ型を示す不純物イオンビームを開口パターンを有するステンシルマスクに照射し、透過した前記不純物イオンビームを前記基板表面に導入する工程と、前記不純物イオンが導入された前記基板をアニールし、ｐ型ウエル領域を形成する工程と、前記ｐ型ウエル領域内にｎ型ＭＯＳトランジスタを形成する工程とを有する半導体装置の製造方法、又（３）基板を準備する工程と、前記基板内でｎ型を示す不純物イオンビームを開口パターンを有するステンシルマスクに照射し、透過した前記不純物イオンビームを前記基板表面に導入する工程と、前記不純物イオンが導入された前記基板をアニールし、ｎ型ウエル領域を形成する工程と、前記ｎ型ウエル領域内にｐ型ＭＯＳトランジスタを形成する工程とを有する半導体装置の製造方法、又（４）ウエル領域となる第１及び第２の領域と前記第１及び第２の領域の境界表面を覆って形成された酸化膜とを有する基板を準備する工程と、ｐ型不純物イオンビームを第１の開口パターンを有する第１のステンシルマスクに照射し、透過した前記ｐ型不純物イオンビームを前記第１の領域に導入する工程と、ｎ型不純物イオンビームを前記第１の開口パターンとは異なる第２の開口パターンを有する第２のステンシルマスクに照射し、透過した前記ｎ型不純物イオンビームを前記第２の領域に導入する工程とを有し、前記基板には、前記基板と前記第１のステンシルマスクとの位置合わせ用マークが形成されている半導体装置の製造方法等とする。なお、不純物イオンのドーズ量は、1×10^{11}～1×10^{14}／cm^2の範囲にあることが望ましい。

【００２３】

【作用】

本発明によれば、図１に概略を示したイオン注入方法を用いることで、ホトレジストを用いることなく所望の位置にイオン注入を行なうことができる。

【００２４】

所望のイオン注入領域パターンに対応する開口パターン１有するステンシルマスク２にイオンビーム３を照射し、開口パターン２を通過したイオンビーム４をイオン投射光学系５に導く。イオン投射光学系５は、集束レンズなどを含み、イオン投射光学系５の光学作用により、従来のホトレジストが塗布されていない試料７にイオンビーム径を縮小して投射し、ステンシルマスク２の開口パターン１を縮小した形状のイオン注入領域８を形成することができる。縮小倍率はイオン投射光学系内に配置するレンズの焦点距離などに依存し、所望のイオン倍率に合わせてイオン光学系を配置し、動作させれば良い。イオンビームは試料面に到達する時点で所望のイオン注入形状にパターン化されているため、従来法によるレジストは用いる必要はなく、また、レジスト塗布が不要であるため、レジストに係る工程、つまり、レジスト塗布、露光、現像、アッシングの各工程が削減でき、直接イオン注入することができる。

【００２５】

更に具体的には、イオン注入の機能を果たすためのイオン注入装置の概略構成例を図２に示し、各部の作用について説明する。

【００２６】

図２に示したイオン注入装置１０は、イオン源１１と、開口パターンを有するステンシルマスク１２を保持するマスクステージ１３と、上記イオン源１１から放出するイオンビーム１４を上記ステンシルマスク１２に照射するイオン照射光学系１５と、上記ステンシルマスク１２を通過したイオンビーム１６を試料１７に投射して上記ステンシルマスク１２の開口パターンと略相似形の投射領域を形成するイオン投射光学系１８と、上記試料１７を保持して移動する試料ステージ１９などから構成される。１９’は試料１７をステップアンドリピート式に移動できるステージである。イオン照射光学系１５やイオン投射光学系１８は種々の光学部品から成り、例えば、所望のドーパントイオンと不要なイオンを分離する質量分離器、所望のイオンのみを通過させる質量分離アパチャ、拡がりのあるイオンビームを集束させステンシルマスクに照射する照射レンズ、パターンイオンビームを集束し試料に投射させるための投射レンズ、ビーム位置を調整するためのアライナ、イオンビームの試料への到達を遮断させるブランカ、機械的シャッタなどを含む。質量分離器には、ウィーンフィルタと称する電極と磁極が直交して設置されたＥ×Ｂ質量分離器を用いることで、所望のドーパントイオンビームを光学軸上で通過させることができる。

【００２７】

イオン源１１にはドーパントイオンを放出する液体金属イオン源や電界電離ガスイオン源、微小発生源を持つプラズマイオン源を用いる。

【００２８】

ステンシルマスク１２は、所望のイオン注入領域に対応する開口を有する。所望のイオン注入領域を図３における（ａ）とすると、例えば、シリコンを基板とするステンシルマスクは図（ｂ）に示すような開口をドライエッチングよって設けた。開口パターンの寸法はイオン注入領域寸法とイオン光学系の縮小率で決まり、例えば、２μｍ平方の矩形領域を縮小率１／５の光学系で作成するには、ステンシルマスク上に１０μｍ平方の矩形開口を設ければよい。

【００２９】

レンズは静電電極群であり、広がりを持つイオンビームの集束性を良好にするために電極構成や配置、印加電圧は種々改変できる。試料に投射される像の大きさは、ステンシルマスクに形成されたパターンの数分の１に縮小されるようなレンズ配置をとる。

【００３０】

試料ステージ１９’は試料１７を保持するとともに、ステップ・アンド・リピート式に移動できる。図４のように半導体ウェハ２６におけるある１箇所のサブフィールド２５に対してパターン２４のイオン注入が完了すると、一旦、イオンビームをブランキング状態にして、次のサブフィールドに試料ステージを移動してイオンビーム投射を行なう。この繰返しによって、ウェハ２６全面にレジストなしにイオン注入することができる。

【００３１】

【実施例】

（実施例１）

本発明による第１の実施例を図５から図１１を用いて説明する。

【００３２】

図５は、ＤＲＡＭや不揮発性メモリのメモリチップ内の各構成ブロックの概略を示している。メモリマットMATは複数本の行と複数本の列のアレイ状に配置されたメモリセルから構成されている。行デコーダXDECは外部アドレス信号ADを入力とし、複数本の行の中から少なくとも一本の行を選択する。行デコーダXDECの出力信号は電圧印加回路XSDECに接続されている。電圧印加回路XSDECはCMOS回路から構成されたスイッチ群であり、メモリマットMAT内の選択された行に対応するメモリセルに所望の電圧を印加する。一方、センスアンプSACがメモリマットMATの列に接続されている。センスアンプSACは、メモリセルへのデータの書き込みや読出しを行うため、MOSトランジスタの差動対から構成されている。この差動対を用いてデータの保持を行うこともできる。列デコーダYDECがセンスアンプSACと入出力I／0の間に形成されている。列デコーダYDECはMOSトランジスタから構成され、入出力I／0から所望のセンスアンプSACにデータを転送することができる。データの書

き込み動作や読み出し動作は、例えばチップ選択信号CS等により代表される、チップCHIP外部からの各種のチップ制御信号を、CHIP内に設けられた制御回路CTRLで受け、制御回路CTRLからのチップ内部制御信号が各デコーダに送られることにより実行される。

【００３３】

図６は、図５に示されたメモリチップ内のウェル領域の形成レイアウトの一例である。図６（ａ）はｐ型ウェル領域、図６（ｂ）はｎ型ウェル領域のパターンである。レイアウトパターンは本実施例に限定されるものではない。ＤＲＡＭや不揮発性メモリはｎ型トランジスタから構成され、図５中のメモリマットMATはｐ型拡散層からなるｐ型ウェル領域PW-MAT内に形成される。この領域の大きさは、一般にメモリチップ面積の４０から６０％であり、約４０から６０mm^2の面積を占めている。すなわち、６mm×６mmや８mm×８mmのように、メモリセルの加工最小寸法である０．３～０．５μmに比べはるかに大きい領域である。なお、図６ではメモリマットMATを構成するｐ型ウェル領域PW-MATは１つの領域により構成されているが、これを複数個のｐ型ウェル領域により構成してもよい。

【００３４】

図７は電圧印加回路XSDECが２本の行に対する最も簡単なCMOS回路を用いたインバータから構成されている例を示している。図７（ａ）では、行デコーダXDECからの出力信号WI1、WI2を各インバータのゲート入力信号とし、各ｐ型MOSトランジスタのソース端子は電源VPPに接続され、ウェル端子は電源VNWに接続されている。同様に、各ｎ型MOSトランジスタのソース端子は電源VNNに接続され、ウェル端子は電源VPWに接続されている。各インバータの出力はメモリマットMATへの出力端子W1、W2となっている。図７（ａ）の回路図上では、各MOSトランジスタが交互に配置されウェル領域NW1、PW1、NW2、PW2が交互に配置されているが、これを図７（ｂ）に示すようにｎ型MOSトランジスタ同士またはｐ型MOSトランジスタ同士をまとめて同じウェル領域NW、PWに形成できる。このように、メモリマットMATに電圧を印加する電圧印加回路XSDECは、CMOS回路すなわちｎ型MOSトランジスタとｐ型MOSトランジスタから構成されているが、各行に対する各々のトランジスタを同一ウェル中に形成できる。ここで、面積低減のために、メモリマットMATを構成するｐ型ウェル領域PW-MATと電圧印加回路XSDEC中のｎ型MOSトランジスタを含むｐ型ウェル領域PW-XSDECを隣接して、または、同一ウェル領域として形成することができる。行デコーダXDECについても同様に各行に対するｎ型MOSトランジスタを一括して含むｐ型ウェル領域PW-XDECが形成でき、さらに、センスアンプSAC部のｐ型ウェル領域PW-SACや列デコーダYDECに対するｐ型ウェル領域PW-YDEC、Ｉ／O回路に対するｐ型ウェル領域PW-Ｉ／O、制御回路CTRLに対するｐ型ウェル領域PW-CTRLを形成できる。一方、図６（ｂ）に示すようにｎ型ウェル領域に関しても、電圧印加回路XSDEC中のｎ型ウェル領域NW-XSDEC、行デコーダXDECに対するｎ型ウェル領域NW-XDEC、センスアンプSAC部のｎ型ウェル領域NW-SAC、列デコーダYDECに対するｎ型ウェル領域NW-YDEC、Ｉ／O回路に対するｎ型ウェル領域NW-Ｉ／O、制御回路CTRLに対するｎ型ウェル領域NW-CTRLが形成できる。これらのウェル領域の幅は約３０μｍから２００μｍであり、また、イオン注入量もｎ型領域ではリンイオン（Ｐ+）を、ｐ型領域ではボロン（Ｂ+）またはフッ化ボロン(BF_2+)を用いて１×10^{13}～２×10^{14}／cm^2であり、本発明によるステンシルマスクを用いたイオン注入方法によって十分達成できる面積と不純物量である。

【００３５】

図８から図１１を用いて、メモリチップ形成工程に少なくとも含まれるCMOS回路の形成方法の概略を示す。ただし、本実施例の図中に含まれるマスクの図示ではイオン注入領域とマスク開口領域が同一に示したが、これは上述のとおり、ステンシルマスクを透過したイオンビームはイオン投射光学系によって縮小されてウェハ上に投射される。ここでは、ステンシルマスクとイオン注入領域の関係を強調するために同一寸法で記載した。また、ステンシルマスクとウエハの間にはイオン投射光学系が、またステンシルマスクの上段にはイオン照射光学系やイオン源が存在するが、図８から図１１では半導体装置製造プロセスを詳細に説明することが主眼であるため、イオン源やイオン照射光学系、イオン投射光学系の図示は省略してある。

【００３６】
まず、図８（ａ）において、シリコン基板２０１に約３０nmの厚さのシリコン酸化膜２０２を形成し、シリコン酸化膜２０２の周辺領域の一部に後述のステンシルマスクの位置合わせ用のマークとなる凹部２５０を予め形成する。この凹部２５０は、予め定めているウェハの基準位置に、例えば集束イオンビーム照射等によって直接形成することができる。また別の方法として、例えばヒ素イオンを$1\times10^{15}/cm^2$以上所望の領域に注入し、ダメージを受けたシリコン酸化膜ではフッ酸等によるエッチングが加速されることを用いて、マーク形成用の開口を設けたステンシルマスクを用いて、ヒ素のパターンイオンビームによってシリコン酸化膜２０２に凹部２５０を形成することができる。この場合は、続いてドライ工程によりシリコン基板２０１を0.1μm以上エッチングし、明確なターゲット領域を形成することが望ましい。また、マークとして凸部を形成してもよい。
【００３７】
続いて図８（ａ）に示すように、ｎ型ウェル領域形成用のステンシルマスク２０３を介して、リンイオン２０４を例えば６０KeVで約5×10^{12}/cm2のドーズ量でシリコン基板２０１中に注入する。高濃度なｎ型不純物領域２０５が形成される。本イオン注入では、先に形成した凹部２５０に微弱なイオンビーム照射を行い、その２次電子を観測するなどの方法により、ステンシルマスクパターンのシリコンウェハ上での0.1μm以下の正確な位置合わせが可能になる。さらに図８（ｂ）では、ｐ型ウェル形成用のステンシルマスク２０７を用いて、ボロンイオンないしはフッ化ボロンイオン２０８をシリコン基板中に注入する。これにより、高濃度なｐ型不純物領域２０９が形成される。フッ化ボロンイオン２０８を注入する場合は、例えば６０KeVで約$5\times10^{12}/cm^2$のドーズ量とし、ボロンイオンの場合には、約１５KeVとする。
【００３８】
本ウエハを例えば1100℃の窒素雰囲気中で約20時間アニールすることにより、図８（ｃ）のように各不純物拡散層がシリコン基板２０１中に引き伸ばされ、各々の表面不純物濃度が$5\times10^{16}\sim2\times10^{17}/cm^2$程度のｎ型ウェル領域２１０、ｐ型ウェル領域２１１が形成される。
【００３９】
以上の工程により、CMOS回路形成用の両ウェル構造を得ることができる。これは、図１９に示す従来のウェル形成工程に比べて、ホトレジスト形成及びその処理時間が不要なことや拡散時間が短い。さらに、本実施例では、図１９（ｄ）のようなｐ／ｎ型ウェル領域間で段差が生じないため、後のゲート形成工程のような微細加工プロセスにおいても被写界深度による加工の制約を受けることがない。
【００４０】
図８以降のCMOS回路の形成工程について説明する。図９（ａ）に示すように、マーク２５０領域を除くシリコン酸化膜２０２上にシリコン窒化膜２１５を約200 nmの厚さで形成する。なお、このシリコン窒化膜の厚さは本膜厚に限るものではない。続いて、従来のホトレジスト工程を用いて、感光、現像、ベーク処理、レジストエッチング、シリコン窒化膜２１５エッチング、レジスト処理工程を経て、シリコン窒化膜２１５をトランジスタの活性領域となるようにパターニングする（図９（ｂ））。さらに、ウェット酸化条件の下、1000℃～1100℃の温度条件の下で、シリコン基板表面を酸化し、300～500nmの膜厚を有するシリコン酸化膜２１６を形成する（図９（ｃ））。シリコン酸化膜２１６は少なくともｐ型ウェル領域２１１とｎ型ウェル領域２１０の境界表面を覆うように形成され、各ウェル領域中のトランジスタを互いに電気的に分離する。
【００４１】
次に、図１０（ａ）のように、シリコン基板２０１表面の薄膜シリコン酸化膜２０２領域にフッ化ボロンイオン２１７を、例えば$2\times10^{12}/cm^2$のドーズ量をイオン注入する（ｎ型MOSトランジスタ用チャネルイオン注入）。ｎ型MOSトランジスタのチャネル領域となるシリコン基板表面にｐ型不純物領域２１８が形成され、ｐ型ウェル領域２１１中のｎ型MOSトランジスタのしきい値電圧が0.3～0.5Vに制御される。さらに、図１０（ｂ）に示すよ

うに、ステンシルマスク２２０を介して、本発明のイオン注入法により、ヒ素イオン２２１をｎ型ウェル領域２１０のシリコン酸化膜２０２中にのみ、例えば５０KeVのエネルギー、$3\times10^{12}/cm^2$のドーズ量で注入する（ｐ型MOSトランジスタ用チャネルイオン注入）。ｐ型MOSトランジスタのチャネル領域となるシリコン基板表面に弱いｎ型不純物領域２２２が形成される。図１０（ａ）のボロンイオン濃度と図１０（ｂ）のヒ素イオン濃度を調整することにより、ｐ型MOSトランジスタのしきい値電圧が制御できる。本実施例では、イオン注入用のステンシルマスク数を抑えるため、ヒ素イオン注入に用いたステンシルマスク２２０をｎ型ウェル領域形成に用いたステンシルマスク２０３と同一パターンとすることもできる。また、本実施例では、図１０（ａ）のフッ化ボロンイオン注入時には、全面イオン注入の方式を用いたが、ここで、例えば図８（ｂ）のｐ型ウェル領域形成用のステンシルマスク２０７を用いて、フッ化ボロンイオンのイオン注入を本発明の方法により行うこともできる。

【００４２】

さらに、図１１（ａ）に示すように、多結晶シリコン層２３１を所望のゲート電極形状に加工し、例えば、図１０（ｂ）のステンシルマスク２２０と同様のパターンを備えたステンシルマスク２３２を用いて、フッ化ボロンイオン２３３のイオン注入を本発明の方法により、例えばエネルギー３０ｋｅV、ドーズ量$2\times10^{15}/cm^2$で行い、ｐ型不純物領域２３４が形成できる。続いて、図１１（ｂ）に示すように、ステンシルマスク２３５を用いて、ヒ素イオン２３６を本発明のイオン注入法により、例えばエネルギー30KeV、ドーズ量$2\times10^{15}/cm^2$で行い、ｎ型不純物領域２３７が形成できる。上記の各不純物領域は、各々のMOSトランジスタのソース・ドレイン領域として働く。

【００４３】

ここで、ゲート電極となる多結晶シリコン層２３１は、シリコン酸化膜２１６の膜厚の概略半分の凹凸形状（0.2μm以下）を持つに過ぎず、0.25μmの微細なゲート長のパターンも従来の光学露光装置の被写界深度制約を受けることなく形成できるという効果がある。

【００４４】

以上、各ウェル領域に形成されるMOS型トランジスタのしきい値電圧制御用のチャネルイオン注入や拡散層形成工程においても、本発明のイオン注入法を用いることができ、マスク枚数の低減を図るとともに、各々の工程において従来のチャネルイオン注入に必要とされたレジスト塗布工程、感光工程、現像工程、ベーク工程、イオン注入工程、レジスト除去工程を、ステンシルマスクによるイオン注入工程の１工程に削減でき、微細加工CMOS回路形成工程の工程数削減に大きく寄与できる。

【００４５】

（実施例２）

〈実施例２の第１形態〉

本発明に係るイオン注入装置の実施例の詳細を図面をもとに説明する。図１２において、３０１は本発明によるイオン注入装置、３０２はイオン源であり、本実施例ではイオン源３０２はシリコンに対するドーパントであるホウ素イオンを放出する液体金属イオン源を用いた。このイオン源３０２でのイオン化材料は白金／ホウ素合金である。３０３は質量分離器であり、放出したイオン３０４を所望のドーパントイオン３０５（本実施例ではホウ素１価イオン）と不要イオン３０６（本実施例ではホウ素１価イオン以外のイオン）に選別するものである。３０７はドーパントイオン３０５のみを通過させ、不要イオン３０６を下流へ送らないための質量分離アパチャである。この質量分離アパチャ３０７がステンシルマスク３０９の上流側に設置されているため、不要イオン３０６がマスクを照射することがなく、ステンシルマスク３０９の損傷が軽減され寿命が延びる。集束レンズ３０８のクロスオーバが質量分離アパチャ３０７にあるため、ドーパントイオン３０５と不要イオン３０６は容易に分離できる。３１０は質量分離アパチャ３０７を通過して広がりを持つイオンをマスク３０９にほぼ垂直入射するように軌道を曲げる照射レンズである。図では略式に楕円で示したが、実際は複数枚の電極から構成されている。本例の場合、イオン照射光学系３１１は、質量分離器３０３、質量分離アパチャ３０７、集束レンズ３０８

、照射レンズ３１０より構成されている。

【００４６】

導電性のマスクホルダ３１２に保持されたステンシルマスク３０９は所望のイオン注入領域に対応する開口パターンを有するマスクで、シリコンが主成分である。開口パターンはドライエッチングによって作成した。ステンシルマスク３０９を通過して得られるドーパントイオンによるパターン化したイオンビーム３１３は集束レンズ３１４によって集束され、アパチャ３１５を通過して、投影レンズ３１６によって試料３１７にほぼ垂直に投射される。本例の場合、イオン投射光学系３１９は、集束レンズ３１４、アパチャ３１５、投射レンズ３１６によって構成されている。試料３１７は試料ステージ３１８上に保持されたシリコンウェハであり、表面には従来のイオン注入で用いるレジストは塗布されていない。試料ステージ３１８はレーザ干渉計（図示せず）を用いてＸＹ方向に正確に移動でき、１領域分のイオン注入が完了すると、イオンビームをブランキング状態（ブランカは図示せず）にするか、試料３１７とイオン源３０２の間のいずれかの箇所に設けたシャッタ（図１２における３２０、３２０’）によって遮って、次の領域にステップ・アンド・リピート方式によって位置決め、再びイオン注入が行える。上記の操作の繰返しで試料３１７全体にイオン注入を施すことができる。これらのイオン光学系部品は真空容器３２１内にある。

【００４７】

本実施例では、上記のイオン光学系によって、イオン源３０２からのイオンは、ビーム制限アパチャ（図示せず）によってビーム半開角が５°に制限され、ステンシルマスク３０９上で直径４０㎜のビームになる。ステンシルマスク３０９には、２４×２４㎜の領域内にイオン注入すべき領域に対応する開口パターンが設けられている。このパターンは投影レンズ３１６により、試料３１７面で１０×１０㎜の領域に縮小され（倍率：約０．４２）イオン注入される。この時の到達するドーパントイオン電流は０．１μＡであった。

【００４８】

このような構成のイオン注入装置３０１は下記の特徴を持つ。図１２が従来のイオン注入装置（図２３）と全く異なる点は、イオン注入される領域がステンシルマスクによって形成されたパターンイオンビームによるか、ホトレジストで開口パターンを設けているかにある。つまり、従来、図２２に示したように従来型イオン注入法では、レジスト８６をウエハ８５に密着して塗布し、リソグラフィ技術を駆使して所望のイオン注入領域に開口８７、８７’を設け、大口径のドーパントイオンビーム８８を照射してイオン注入を行なっている。また、イオン注入後はこのレジストを除去しなければならない。このように所望領域にイオン注入を行なうには、従来方法ではレジスト工程が不可欠であった。

【００４９】

一方、図１２に示す本発明によるイオン注入装置によると、試料（ウェハ）はイオン照射時には、イオン注入領域形状にパターン化されているイオンビームが投射されるため、従来法によるレジストマスクは用いる必要はなく、直接イオン注入することができる。このパターンイオンビームを得るためには、ステンシルマスクに所望のイオン注入領域と略相似形の開口パターンを設け、ステンシルマスクの開口パターンと所望のイオン注入領域の大きさの比率はステンシルマスクとウェハ間に設置するイオン光学系の焦点距離に依存し、所望のイオン倍率に合わせてイオン光学系を設置し、動作させれば良い。このようにホトレジスト塗布が不要であるため、ホトレジストに係る工程、つまり、塗布、露光、現像、アッシングの各工程が削減できる。

【００５０】

このようなイオン注入方法における試料は上述のシリコンウェハに限らず、ガリウムヒ素のような化合物半導体でも良いし、半導体装置製造プロセスで扱えないガラスやプラスチック等の材料でも良い。例えば、プラスチックに金イオンをパターンイオン注入することで微小な導領域を作ることが可能で、また、透明ガラスにラインアンドスペース状にパターンイオン注入して微小グレーティングなど微小パターンを作成できる。さらには、イオン注入領域限定のために、従来のリソグラフィ装置であるステッパや電子線リソグラフィ

装置を使わないため、対象とする材料は半導体ウエハのような平板である必要はなく、曲面や立体物であっても適用できることが従来の半導体プロセスにおけるイオン注入法とは大きく異なる。

【００５１】

公知例４のイオン投影型縮小露光装置は、本発明によるイオン注入装置と以下の点で異なる。イオン投影型縮小露光装置で用いるイオン種は軽元素ガス種である水素、ヘリウムである。また、イオンビーム照射は表面にレジストを被覆した試料に対して行なわれ、レジストへのイオン露光を行なう装置である。従って、従来のようにレジスト工程は必ず伴なう。さらに、放出イオンの実質的質量分離を行なうアパチャがステンシルマスクの下流側にあるため、放出イオンの殆ど全てがステンシルマスクを照射する構造である。

【００５２】

本発明のイオン注入装置によればイオン注入完了までに必要な装置は、本発明によるイオン注入装置だけで済み、最低限の作業スペースを含めた床面積は、従来のイオン注入に係わる装置であるレジスト塗布機、光リソグラフィ装置（ステッパー）、現像機、中電流イオン注入装置、アッシャの総面積、および、最低限の作業スペースを含めた総床面積に対して約１／３に削減できる。

【００５３】

〈実施例２の第２形態〉

本実施例は別のイオン光学系の例であり、概略構成を図１３に示す。本実施例では複数のイオン源３０２、３０２’がイオン源ステージ３３０に設置されており、イオン源コントローラ３３１により、必要に応じてイオン源を交換し、放出するイオン種を切り替えることができる。また、ステンシルマスクは複数枚、マスクステージ３１２’に搭載されており、必要に応じてステンシルマスクをマスクコントローラ３３２によって交換することができる。搭載するステンシルマスクの開口パターンは異種同種に制限はない。これら、イオン源コントローラ３３１やマスクコントローラ３３２、更には試料ステージ３１８は信号処理装置３３３からの信号によって制御される。

【００５４】

〈実施例２の第３形態〉

本実施例は別のイオン光学系の例であり、概略構成を図１４に示す。本実施例は、実施例１に比べレンズを１組減らし、３組のアインツェルンレンズ３１０’、３１４’、３１６’によって構成したイオン注入装置の例である。ステンシルマスク、マスクステージ、試料ステージなどは図１２と同じである。

【００５５】

図１４において、イオン源３０２はシリコンに対するドーパントであるホウ素イオンを放出するプラズマイオン源である。このイオン源から放出されるホウ素１価イオンの放射角電流密度（単位立体角当たりの電流密度）は、全放出イオン電流１０μＡ時、５μＡ／ｓｒであり、放出イオンの拡がりは１０°（半開角）である。投射レンズ３１０’によって平行にされたイオンビームはステンシルマスク３０９へほぼ垂直入射する。この時の照射領域は、放出イオン電流の角度分布を考慮してビーム制限アパチャ３３５によって開き角の半分の５°の領域に制限してステンシルマスク３０９を通過させた。ステンシルマスク３０９の開口パターン（１辺２０ｍｍの矩形）の試料３１７’上に形成されるパターンの縮小率は０．５である。この時、レジストの塗布されていない試料（ウェハ）３１７’上には、電流密度０．１μＡ／ｃｍ^{2}で、１辺１０ｍｍの矩形パターンイオンビーム３３７が到達する。イオン注入量（ドーズ）を１×１０^{12}（個／ｃｍ^2）に設定すると、イオン注入時間は約１．６秒で終わる。照射されるイオンの持つエネルギーは１０ｋｅＶで、浅い領域へのイオン注入である。直径８インチのウエハ上にこのパターンイオンビーム３３７でイオン注入を続けると、１枚のウエハは約４６０ショットで完了し、１時間に約１７枚の生産速度（スループット）を発揮した。このスループットは従来プロセスにおいて、レジスト塗布、ステッパによる露光、現像、従来式イオン注入、アッシングによるレジスト除去、水洗までの一連工程に対して約８枚／時であるので、２倍以上のスループット向

上が達成された。

【００５６】

本装置において、質量分離器３０３をイオン源３０２の直後に設置し、集束レンズ３１４’のクロスオーバ地点に質量分離絞り３１５’を設置し、イオン源３０２から放出される不要イオン３０６’を除去した。この質量分離絞り３１５’位置には、更に、ゲートバルブを３３８を設置し、試料室３３９と、集束レンズ３１４’やステンシルマスク３０９が設置されたイオン光学系室３４０との真空分離ができるようにした。これにより、試料３１７’の交換時にイオン源３０２やイオン光学系を大気に曝すことなく高真空が維持できるという効果を有する。

【００５７】

（実施例３）

本実施例３では、本発明によるイオン注入装置のうち、特に、試料に投射したステンシルマスクの像歪みを口径比の５次まで実質的に消去できる手段を備えたイオン注入装置を説明する。

【００５８】

従来例としては、ステンシルマスクのパターンをレジストに露光する装置としてイオン投射リソグラフィ装置が特開平２－６５１１７号（公知例５）がある。

【００５９】

さて、上記公知例５や本発明の装置等、ステンシルマスを用いるイオン投射装置においては、イオン投射加工のスループットを向上させるために、できるだけ大きなステンシルマスクを使えることが要求される。これは複数の小さなステンシルマスクを交換する作業が増えるとスループットが低下するためである。また、このような装置においては、試料上でのステンシルマスクの像の歪みをできるだけ小さくすることが求められる。ところが、これらは相反する要求で、ステンシルマスクを投射するためのレンズ（軸対称の電磁レンズまたは静電レンズ）は除去できない大きな幾何収差を持ち、ステンシルマスクを大きくするとそのレンズの軸外部分を使用するので投射したステンシルマスクの像は周辺部に行くほど大きく歪む（像位置がずれる）からである。一方、上記レンズの大きさは現状では直径数１０ｃｍくらいが技術的に、また、装置として一般的寸法として限度である。従って、限られたレンズの大きさに対し、できるだけ大きなステンシルマスクを用いて、歪ができるだけ小さい像を形成する光学系が求められる。

【００６０】

レンズの口径（またはレンズの厚み）に対するステンシルマスクの大きさ（またはステンシルマスクを透過したビームがレンズを通る部分の大きさ）の比を口径比Ｂ（Ｂは１より十分小さい）とすると、投射した像の歪み（像の端で生じる像ずれの大きさ）は、Ｂのｎ乗（ｎは正の奇数）に比例する量で表される。単純な１段レンズでは３次（ｎ=３）の歪みが最低次数の歪みである。図１６にＢとＢのｎ乗との関係をグラフに示す。この図から判ることは、もし何らかの方法で実質的に低次の歪みを消去することができれば、一定の像歪みの許容値のもとで、より大きなステンシルマスクが使えることである。

【００６１】

上記公知例５では２段の投射レンズを用い、試料上に投射されるステンシルマスクの像の３次歪みを実質的に消去する工夫、つまり、試料の高さを収束面に対して少し上にずらす方法を使っている。この方法によって、単純な１段の投射レンズを使うシステムに比べ、より大きなステンシルマスクを使うことができる。しかしながら、上記従来の技術では試料に投射したステンシルマスクの像にはまだ５次の歪みが残っているため、あまり大きなステンシルマスクを使うことはできない。

【００６２】

上記課題を解決するために、本実施例３では以下の改良を行なっている。（１）照射光学系に照射レンズを設け、この照射レンズでステンシルマスクにイオンビームを照射するとともにステンシルマスクの前方に上記イオンビームの収束点を作るように動作させる。（２）投射光学系には投射レンズを１段のみ設け、照射レンズの収束点がこの投射レンズの

ほぼ中心になるように配置する。（３）照射光学系内にステンシルマスク上でイオンビームを走査する走査偏向器を設ける。（４）上記走査と連動して、上記照射レンズの収束点の位置ずれを補正する手段を設ける。

【００６３】

上記（１）および（２）の手段によって、投射レンズの軸外を使用しないので試料上での像歪みは僅かしか残らない。正確には、投射レンズは照射光学系の３次幾何収差で生じる上記収束点の広がりによって間接的に僅かな像歪みを生じる。ここでは、照射光学系（照射レンズや走査偏向器）の大きさがステンシルマスクの大きさを間接的に制限し、上記像歪みは口径比（照射光学系の口径対ステンシルマスクの大きさ）の９（＝３×３）次が最低次となる。すなわち、口径比の９次未満の像歪みは実質的に消去される。また、投射レンズを上記収束点の広がりに対して十分大きくすれば、像歪みの絶対値も小さくなる。さらに、上記（３）および（４）の手段によって、照射光学系の幾何収差が補正し僅かに残った試料上の像歪みが更に小さくなる。正確にはイオンビームの走査と連動して照射光学系の最低次の３次幾何収差を、軸外の部分ごとに部分的に補正することにより（５次幾何収差は残る）、投射レンズが間接的に発生する像歪みは上記口径比の１５（＝５×３）次が最低次となる。すなわち、口径比の１５次未満の像歪みは実質的に消去される。

【００６４】

〈実施例３の第１形態〉

以下、本発明によるイオン注入装置の具体的な実施例の詳細を図とともに説明する。図１５は本発明によるイオン注入装置を示す構成図であり、図１６はステンシルマスク対レンズ口径比と像歪みとの関係を示す模式図である。本装置は、イオン源４０１（ホウ素イオンを放出する液体金属イオン源）より引き出されたイオンビーム４０２は、照射光学系４０３によりステンシルマスク４０４に照射される（加速電圧は１０ｋＶ）。ステンシルマスク４０４にはパターンを持つ貫通孔が設けられ、ステンシルマスク４０４はマスクステージ４０５に保持されている。ステンシルマスクを透過したイオンビーム４０２は投射光学系４０６により試料４０７に投射される（加速電圧は１０ｋＶ）。投射光学系４０６はステンシルマスク４０４の像を試料４０７上に縮小して投射する（縮小率は１／８）。試料４０７は試料ステージ４０８に移動可能に保持されている。

【００６５】

照射光学系４０３は照射レンズ４１０（３枚電極の静電レンズ）と、レンズ４１１（２枚電極の静電レンズ）と制限アパチャ４１２とを含む。レンズ４１１はイオンビーム４０２を必要十分な強度で引き出すもので、不要な分は制限アパチャ４１２で制限している。イオンビーム４０２の電流は約２００ｎＡである。照射レンズ４１０はイオン源の像を約１倍で結像するようにイオンビーム４０２を集束しながら、ステンシルマスク４０４に照射している。照射レンズ４１０の中心とイオン源４０１の距離は約７００ｍｍである。照射レンズ４１０は加速モードのアインツエルレンズをなしており、その両端の電極は接地され、中心電極は約－２６ｋＶに保たれている。照射レンズ４１０の厚みは５００ｍｍ、直径は６００ｍｍである。ここで、一度に投射可能なステンシルマスク４０４のパターンの大きさは２５ｍｍ角である。

【００６６】

投射光学系４０６は投射レンズ４２０（３枚電極の静電レンズ）と、ブランキング偏向器４２１（２極の静電偏向器）と、ブランキングアパチャ４２２とを含んでいる。イオンビーム４０２はブランキング偏向器４２１によってブランキングアパチャ４２２上で偏向されることにより試料４０７から遮断される。投射レンズ４２０はステンシルマスク４０４の像を試料４０７上に１／８倍で結像するようにイオンビーム４０２を収束する。投射レンズ４２０の中心とステンシルマスク４０４との距離は約６００ｍｍである。投射レンズ４２０は加速モードのアインツエルレンズであり、その両端の電極は接地され、中心電極は約－３９ｋＶに保たれている。ただし、倍率補正のために投射レンズ４２０の最終段の電極と試料４０７は同電位に保たれ、接地電位より数Ｖ変えられるようにしてある。投射レンズ４２０の厚みは１００ｍｍ、直径は１５０ｍｍである。

【００６７】
本実施例の特徴は、投射光学系４０６に１段のみの投射レンズ４２０を設けるとともに、照射光学系４０３に照射レンズ４１０を設けて、ステンシルマスク４０４を透過したイオンビーム４０２を投射レンズ４２０のほぼ中心に集束させることにある。これにより、試料４０７上に投射されたステンシルマスク４０４の像には口径比の９次未満の歪みが実質的に消去される。像歪みの許容値を一定とすると、図１６からわかるように、従来の５次の像歪みがある場合と比べて倍程度の大きさのステンシルマスクが使えることになる。実際に試料４０７上に投射した２５ｍｍ角のステンシルマスク４０４の像は、その端で像歪み（ズレ）が約０．５μｍ、像ぼけが０．３μｍと非常に小さいものであった。
【００６８】
ここで、投射レンズ４２０と照射レンズ４１０との強度調整の一つの方法を示す。格子状にマークパターンを配置したステンシルマスク４０４を用意し、まず、投射レンズ４２０の強度をいくつか変えて、レジストを塗った試料４０７を露光、現像して中心のマークパターンの像ぼけを計測する。このぼけが最小になるように投射レンズ４２０の強度を設定する。次に、照射レンズ４１０の強度を幾つか変えて、レジストを塗った試料４０７を露光、現像してマークパターン全体の像分布を計測する。このマークパターンの像分布が中心近傍で樽型と糸巻き型の中間になるように照射レンズ強度を設定する。
【００６９】
本実施例によれば、投射されたステンシルマスクの像の歪みが微小になるのでイオン注入の寸法精度が向上する効果がある。また、イオン注入の寸法精度を従来のままにすると、ステンシルマスクを倍程度の大きさにできるのでイオン注入のスループットを約４倍にできる効果がある。なお、本実施例では投射レンズ４２０に３枚電極の静電レンズを使っているが、３枚電極は試料４０７へのイオンビーム４０２の加速電圧が５０ｋＶ位までの低い場合に十分なレンズ作用を得るために有効なものである。２枚電極の静電レンズでも４枚以上の電極の静電レンズでも同様な作用は行なえるが、３枚以上の電極を持つ静電レンズでは各電極の電位配分を少し変えることによって、レンズ主面をずらしレンズ倍率を補正できる利点がある。
【００７０】
〈実施例３の第２形態〉
実施例３の第２形態の概略構成図を図１７に示す。イオン源４４１（リンイオン放出用液体金属イオン源）より引き出されたイオンビーム４４２は照射光学系４０３’により、ステンシルマスク４０４に照射される（加速電圧は１０ｋＶ）。ステンシルマスク４０４を透過したイオンビーム４４２は投射光学系４０６’により試料４０７に照射される（加速電圧は２０ｋＶ）。投射光学系４０６’はステンシルマスク４０４の像を試料４０７上に縮小して投射する（縮小率は１／８）。ステンシルマスク４０４やマスクステージ４０５、照射レンズ４１０、試料ステージ４０８は図１５と同じである。
【００７１】
照射光学系４０３’は照射レンズ４１０（３枚電極の静電レンズ）と、レンズ４１１’（３枚電極の静電レンズ）と、制限アパチャ４１２’と、Ｅ×Ｂ質量分離器４１４と、アライメント偏向器４１５と、ブランキング偏向器４２１’（２極の静電偏向器）と、ブランキングアパチャ４２２’と、走査偏向系４３０とを含んでいる。レンズ４１１’（３枚電極静電レンズ）はイオンビーム４４２を必要十分な強度で引き出し、クロスオーバ４１３を形成する。イオンビーム４４２の不要な分は制限アパチャ４２２’で制限されている。イオンビーム４４２はブランキング偏向器４２１’によってブランキングアパチャ４２２’上で偏向されることにより試料４０７から遮断される。またイオンビーム４４２のうち不要なイオン種成分はＥ×Ｂ質量分離器４１４により質量分離アパチャを兼ねたブランキングアパチャ４２２’上で偏向されることにより試料４０７から遮断される。なお、Ｅ×Ｂ質量分離器４１４はイオンビーム４４２のクロスオーバ４１３をその中心に配置しており色収差の発生を抑えている。アライメント偏向器４１５はイオンビーム４４２を偏向して、イオンビーム４４２の軸が照射レンズ４１０と投射レンズ４２０の中心軸に通るよう

にする。なお、質量分離器４１４と、ブランキング偏向器４２１’、ブランキングアパチャ４２２’とを照射光学系４０３’内に設けたのはイオンビーム４４２の照射によるステンシルマスク４０４の劣化を抑えるためであって、これらを投射光学系４０６’内に設けても作用は変わらない。

【００７２】

投射光学系４０６’は、投射レンズ４２０（３枚電極の静電レンズ）と、位置補正偏向器４２３（８極の静電偏向器）と、制限アパチャ４２４と、回転補正器４２５（電磁コイル）を含んでいる。位置補正偏向器４２３はステンシルマスク４０４を透過したイオンビーム４４２を試料４０７上で偏向することで試料４０７上でのステンシルマスク４０４の像位置を補正する。制限アパチャ４２４は装置内で散乱したイオンビームなどを除去する。回転補正器４２５はレンズ強度の無視できる電磁レンズで、ステンシルマスク４０４を透過したイオンビーム４４２を回転させて試料４０７上でのステンシルマスク４０４の像回転を補正する。投射レンズ４２０は上記第１形態と同じであるが、イオンビーム４４２を１０ｋＶから２０ｋＶに加速するために両端の電極に印加する電圧を非対称にした。

【００７３】

本実施例の第１の特徴は、投射光学系４０６’に投射レンズ４２０（３枚電極の静電レンズ）を１段のみ設けるとともに、照射光学系４０３’に照射レンズ４１０（３枚電極の静電レンズ）を設けて、イオンビーム４４２を投射レンズ４２０のほぼ中心に集束させることにある。これによって、試料上での像歪みがレンズ口径比の９次未満は消去される。第２の特徴は、イオンビーム４４２のクロスオーバ４１３に偏向中心を持つ走査偏向系４３０によりイオンビーム４０２をステンシルマスク４０４上で走査することである。これにより、イオンビーム４４２の強度分布に左右されずにステンシルマスク４０４上でのイオン照射分布を一様にすることが可能となる。走査偏向系４３０は非点補正器を兼ねた主走査偏向器４３１（８極の静電偏向器）と副走査偏向器４３２（８極の静電偏向器）からなり、その合成偏向中心がクロスオーバ４１３になるように偏向の強度比を設定してある。Ｅ×Ｂ質量分離器４１４がない場合には走査偏向器を一段にして、その中心をクロスオーバ４１３においてもよい。本実施例の第３の特徴は、イオンビーム２の走査偏向系４３０によるステンシルマスク４上での走査と連動して照射光学系４０３’によるイオンビーム４４２の収束状態を補正（ダイナミック補正）することにある。照射レンズ４１０の軸外にイオンビーム４４２を通すと、そこでは３次幾何収差のために軸外方向に少しレンズ作用が強く働くので、イオンビーム２の収束点が投射レンズ４２０に対して少し手前外側にずれる。そこで、非点補正器４３１の強度を上げるとともに、照射レンズ４１０の強度を少し下げることによって、上記収束点のずれを補正する。なお、照射レンズ４１０の強度を調整する代わりにレンズ４１１’の強度を変えても同様の作用ができる。これにより、試料４０７上に投射されたステンシルマスク４０４の像に口径比の１５次未満の歪みが実質的に消去できる。像歪みの許容値を一定とすると図１６から判るように、従来の５次の像歪みがある場合と比べて３倍程度の大きさのステンシルマスクが使えることになる。さらには、上記走査に合わせて走査偏向系４３０の偏向強度比を変えて上記集束点の横方向のずれも補正すると、試料４０７上でのステンシルマスク４０４の像ぼけがさらに改善される。実際に全てのダイナミック補正を行なった状態で、試料４０７上に投射した４０ｍｍ角のステンシルマスク４の像は、その端で像歪み（ずれ）が約０.４μｍ、像ぼけが０.５μｍと非常に小さいものであった。

【００７４】

ここで、投射レンズ４２０と照射レンズ４１０との強度調整の一つの方法を示す。基本的な方式は第１形態で説明したものと同じであるが、次に示す点をそれぞれ変更する。すなわち、（１）試料として検出マークを一つ備えたものを用意する。（２）イオンビームをステンシルマスク上の特定のマークのみを照射するように走査偏向系を調整する（この間、走査はしない）。（３）試料４０７上の検出マークを上記ステンシルマスク４０４上の特定のマークに対応する位置になるように試料ステージ４０８を移動する。（４）イオンビーム４４２を位置補正偏向器でライン状に走査し、図示されていない２次電子検出器で

イオン照射によってマークから発生する信号を捕える。（５）上記信号をマークの露光像の代わりとして、そのぼけや位置ずれを判断する。上記のようにすれば、第１形態のようにレジストの露光、現像の作業を伴わずに実時間で投射レンズ４２０と照射レンズ４１０との強度調整ができる。

【００７５】

本実施例によれば、投射されたステンシルマスクの像の歪みが微小になるので、イオン注入精度が向上させる効果がある。また、イオン注入精度を従来のままにすると、ステンシルマスクを３倍程度の大きさにできるのでイオン注入のスループットを約９倍にできるという効果がある。なお、本第２形態では、走査偏向系を照射レンズの前段に配置したが、これを逆転することもできる。この場合、走査偏向系の口径を大きくする必要があるが、上記実施例と同様の効果がある。この場合の走査偏向系４３０の偏向中心となるイオンビーム４０２のクロオーバは投射レンズ４２０の中心である。また、照射光学系４０３’内にクロスオーバ４１３を作らなくても試料像の歪みの改善には同様の効果がある。この場合の走査偏向系４３０の偏向中心となるイオンビーム４０２のクロスオーバーはイオン源４４１の仮想物点である。

【００７６】

上述した本発明による２つの形態のイオン注入装置によって、試料上に投射されるステンシルマスクの像歪みを微小にできるので、試料に高精度でイオン注入ができる効果があるとともに、大きなステンシルマスクを使えるのでイオン注入のスループットを向上させることができる。

【００７７】

また、上記実施例３では２形態のイオン注入装置の例を示したが、ここで示したイオン光学系の基本思想は投影型イオン縮小露光装置や、投影型イオン光学系と反応ガス供給系を兼ね備えて微細パターンエッチングや微細パターンデポジションを行なう微細パターン加工装置など投影型イオンビーム装置、更には投影型電子ビーム投射装置にも同様に適用できる。電子投射装置の場合には静電レンズや静電偏向器を、電磁レンズや電磁偏向器に置き換えることが可能である。

【００７８】

（実施例４）

図８、図９で示したように、予め設けたマークを基準にパターンイオンビームの投射位置を定めた。本実施例は、その具体的実施方法を示す。

【００７９】

例えば図１７においてステンシルマスク４０４には、イオン注入領域に対応する開口パターンの近傍に小開口を設置し、試料４０７にはマークを形成しておく。マークは図８、９のような凹部でもよいし、凸型のものでもよい。この形成方法は問わない。次に、イオンビームをステンシルマスク上の上記小開口のみを照射するように走査偏向系を調整する。この時、イオンビームはステンシルマスク上で走査させない。試料４０７上のマークをステンシルマスク４０４上の小開口に対応する位置になるように試料ステージ４０８を移動する。イオンビーム４４２を位置補正偏向器でライン状に走査し、図示されていない２次電子検出器でイオン照射によってマークから発生する信号を捕える。事前に求めた小開口を通過して試料に投射させる位置と開口パターンを通過して試料に投射される位置の関係と、上の操作よって得たマーク位置を基に、所望のイオン注入領域に開口パターンを通過したイオンビームが投射する位置に試料ステージ位置を補正する。このような操作によって所望の位置にイオン注入することができる。

【００８０】

また、別の例として、図１２から図１５、図１７に示されているイオン光学系に走査型電子顕微鏡を設置する例である。イオンビームの投射領域の近傍の試料表面状態を走査型電子顕微鏡による２次電子像によって観察することができる。電子ビーム軸とイオンビーム軸のズレを事前に計測しておき、電子ビームによって試料上のマークを検出して、その時のマーク座標からイオン注入すべき領域の座標を計算し、事前に計測した電子ビーム軸と

イオンビーム軸のズレを考慮して、イオンビーム軸に所望のイオン注入領域の中心が来るように試料ステージを補正した後、所望のパターンのイオン注入を行なってもよい。

【００８１】

（実施例５）

本実施例は、複数個の処理室を持ち、その内の少なくとも１個のチャンバが実施例２または実施例３で示したイオン注入装置であるマルチチャンバプロセス装置の上面図である。このマルチチャンバプロセス装置は、プロセスチャンバ５００、５０１、５０２、５０３とロードロックチャンバ５０４Ａ、５０４Ｂが、ウェハハンドラ５０５、５０５’を備えてウェハ５０６、５０６’を夫々のチャンバに搬送する搬送チャンバ５０７にゲートバルブ５０８Ａ、５０８Ｂ、５０８Ｃ、５０８Ｄ、５０８Ｅ、５０８Ｆを介して結合された装置で、基本的にはウェハを大気に触れさせることなく連続して複数のプロセスが処理できる。チャンバの数、各チャンバに設置する装置はこの例に限定されることはない。

【００８２】

図１５におけるチャンバ５００、５０１、５０２、５０３は本発明によるイオン注入装置であり、特に、チャンバ５００、５０２はボロンイオンを注入するためのイオン源とステンシルマスクを有するイオン注入装置であり、５０１、５０３はそれぞれリンイオン、ヒ素イオンを注入するためのイオン注入装置である。ロードロックチャンバ５０４Ａに投入したウェハ５０９は、ゲートバルブ５０８Ｆ開放後、ウェハハンドラ５０５によって搬送チャンバ５０７に導入される。ゲートバルブ５０８Ｅ閉鎖後、ゲートバルブ５０８Ａを開放し、ウェハ５０９（５０６）を本発明によるイオン注入装置のサンプルステージ（図示せず）に設置する。その後、ゲートバルブ５０８Ａを閉鎖し、所定の真空度まで真空引きするが、各チャンバとも超高真空状態であるため、イオン注入装置におけるステージの排気は短時間で済む。この状態で、ボロンパターンイオンビームによるイオン注入を開始する。所定のイオン注入条件でウェハ全体に渡ってイオン注入することでこの工程は完了する。必要な場合、ウェハ５０６をチャンバ５００からチャンバ５０１に移動させ、次のイオン注入を開始する。この間のゲートバルブの開閉は上記と同様である。また、チャンバ５０２には、チャンバ５００と別のパターンを有するステンシルマスクを設置して、別工程のイオン注入を並行して行なってもよい。このような工程により、少なくとも１種類のイオン注入を確実に、短時間に、更に、大気に曝すことなく実行できる。このように、本発明によるイオン注入装置はレジストを必要としないため、レジスト塗布、洗浄というウエットな工程がなくなり完全ドライ化され、他のドライプロセス用半導体製造装置、分析装置と連結させることができる。これにより、半導体装置の製造が効率的となるとともに、歩留りが向上した。

【００８３】

以上の本実施例で示したイオン注入方法およびイオン注入装置による効果をまとめると以下のようになる。

【００８４】

（１）半導体プロセスにおいて、レジストレスでイオン注入できるため、レジスト塗布、露光、現像、従来のイオン注入、アッシング工程が削減される。それに伴って、これら装置に係る担当者の人件費、装置の運転費用、メンテナンス費が削減され、更に、これら装置と本発明によるレジストレスイオン注入装置の置換により、半導体製造装置の占有床面積が削減される。これらを総合的に評価して、本発明によるレジストレスイオン注入方法を用いることで、半導体装置の製造コストを削減することができた。

【００８５】

（２）本発明によるイオン注入方法は、レジストが不要であるため、レジスト塗布というウエット工程がなくなり、イオン注入前後の工程が完全ドライ化できる。これにより、多数の製造装置を連結したマルチチャンバプロセス装置に取り付けることができる。

【００８６】

（３）上記（１）に記載の如くイオン注入前後の工程が削減されるため、各工程間のウェハの搬送作業が削減される。これに伴い搬送時に生じる異物の付着などの危険性が低減さ

れ、デバイス製造の歩留が向上する。

【００８７】

開口パターンを有するステンシルマスクを用いて不純物イオンを基板に導入することにより、従来注入工程の前後に行われていたレジスト塗布、露光、現像、従来のイオン注入さらにアッシングによるレジスト除去などレジスト工程が削減され、半導体装置製造に関わる時間的、経済的削減が実現する。

【図面の簡単な説明】

【図１】本発明によるイオン注入方法の概念を説明するための概略図である。

【図２】本発明によるイオン注入装置の概略を説明するための図である。

【図３】本発明によるイオン注入装置の概略を説明するための図で、特に(ａ)は所望のイオン注入領域のパターン、(ｂ)は(ａ)のパターンに対応するステンシルマスク例を示す図である。

【図４】本発明によるイオン注入方法の概念を説明するための図である。

【図５】メモリチップ内の概略構成を説明するためのブロック図である。

【図６】メモリチップ内のウエル領域の形成レイアウトの一例であり、特に（ａ）はｐ型ウェル領域のパターン、(b)はｎ型ウェル領域のパターンを示すための図である。

【図７】電圧印加回路とウェル領域の関係の一例を説明するため図で、特に（ａ）はｎ型とｐ型の小ウェル領域が混在する場合で、（ｂ）はｎ型ＭＯＳトランジスタ同士、ｐ型ＭＯＳトランジスタ同士をまとめて同じウェル領域に形成した例を説明するための図である。

【図８】本発明によるイオン注入方法を用いた半導体装置の形成方法の概略を示す図で、特に、ウェル領域の形成手順を説明するための断面図である。

【図９】本発明によるイオン注入方法を用いた半導体装置の形成方法の概略を示す図で、特に、ウェル領域に厚膜の酸化膜を形成する手順を説明するための断面図である。

【図１０】本発明によるイオン注入方法を用いた半導体装置の形成方法の概略を示す図で、特に、チャネルドープ層を形成するための手順を説明するための断面図である。

【図１１】本発明によるイオン注入方法を用いた半導体装置の形成方法の概略を示す図で、特に、拡散層を形成する方法を示す断面図である。

【図１２】本発明によるイオン注入装置の一実施例の概略構成を示す図である。

【図１３】本発明によるイオン注入装置の別の実施例の概略構成を示す図である。

【図１４】本発明によるイオン注入装置の更に別の実施例の概略構成を示す図である。

【図１５】本発明による別のイオン注入装置の構成を示す図である。

【図１６】ステンシルマスク対レンズ口径比と像歪みの関係を示す図である。

【図１７】本発明による更に別のイオン注入装置の構成を示す図である。

【図１８】本発明によるイオン注入装置の別の実施例で、特にマルチチャンバプロセス装置に適用した例を説明するための概略構成図である。

【図１９】ホトレジスト工程を経る従来のイオン注入方法を用いた半導体装置の形成方法の概略を示す図で、特に、ウェル領域の形成手順を説明する図である。

【図２０】ホトレジスト工程を経る従来のイオン注入方法を用いた半導体装置の形成方法の概略を示す図で、特に、チャネルドープ領域の形成手順を説明する図である。

【図２１】従来用いられているイオン注入装置の概略構成図である。

【図２２】ホトレジストを用いる従来のイオン注入方法を説明するための図である。

【図２３】従来のイオン注入方法を用いて形成される半導体装置の断面形状である。

【図２４】細束ビームでイオン注入を行なう集束イオンビーム装置の概略構成図である。

【図２５】試料に近接してステンシルマスクを設置したイオン注入法の従来例を説明するための図である。

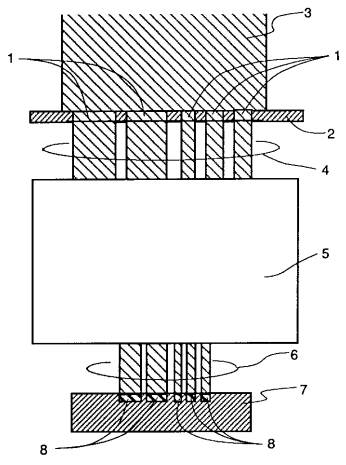
【符号の説明】

１…開口パターン、２、１２…ステンシルマスク、３…イオンビーム、４…パターンイオンビーム、５、１８…イオン投射光学系、７…試料、８…イオン注入領域、１０…イオン注入装置、１１…イオン源、１５…イオン照射光学系。

４０…イオンビーム、４１…レジスト、４２…ウェハ、４３…イオン注入すべき領域（開口）、４４…イオン注入領域。
５０…イオンビーム、５１…レジストマスク、５２…試料、５３…開口パターン、６５…レジスト、
１０２…質量分離器、１０５…質量分離絞り、１０８…パターンイオンビーム、１０９…不要イオン、１１０…ゲートバルブ。
２０１…シリコン基板、２０２、２１６…シリコン酸化膜、２０３、２０７、２２０、２３２、２３５…ステンシルマスク、２０４…リンイオン、２０５、２２２、２３４…ｎ型イオン注入領域、２０８、２１７、２３３…フッ化ボロンイオン、２０９、１１８、２３４…ｐ型イオン注入領域、２１０、２４５…ｎ型ウェル領域、２１１…ｐ型ウェル領域、２１５、２４１…シリコン窒化膜、２２１、２３６…ヒ素イオン、２３１…多結晶シリコン層。
３０２…イオン源、３１１…イオン照射光学系、３１９…イオン投射光学系、３１３…パターンイオンビーム、
４０１、４４１…イオン源、４０３、４０３’…照射光学系、４０４…ステンシルマスク、４０５…マスクステージ、４０６、４０６’…投射光学系、４０７…試料、４０８…試料ステージ、４１０…照射レンズ、４２０…投射レンズ、４２２、４２２’…アパチャ。
ＭＡＴ…メモリマット、ＸＤＥＣ…行デコーダ、ＡＤ…外部アドレス信号、ＸＳＤＥＣ…電圧印加回路、ＳＡＣ…センスアンプ、ＹＤＥＣ…列デコーダ、Ｉ/Ｏ…入出力、ＣＳ…チップ選択信号、ＣＨＩＰ…チップ、ＣＴＲＬ…制御回路、 PW-ＭＡＴ、PW-ＸＳＤＥＣ、PW-ＸＤＥＣ、PW-ＳＡＣ、PW-ＹＤＥＣ、PW-Ｉ/Ｏ、PW-ＣＴＲＬ…ｐ型ウェル領域のパターン
NW-ＸＳＤＥＣ、NW-ＸＤＥＣ、NW-ＳＡＣ、NW-ＹＤＥＣ、NW-Ｉ/Ｏ、NW-ＣＴＲＬ…ｎ型ウェル領域のパターン。

【図１】

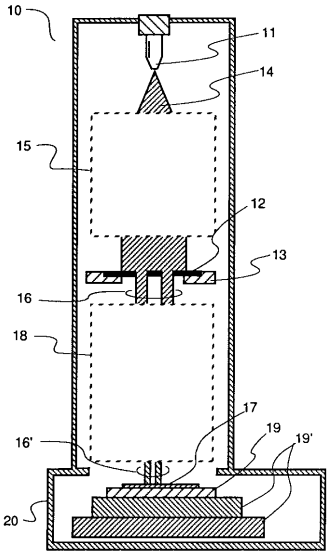
図１



1…開口パターン
2…ステンシルマスク
3…イオンビーム
4…パターンイオンビーム
5…イオン投射光学系
6…縮小パターンイオンビーム
7…ウエハ
8…イオン注入領域

【図２】

図２



【図３】

図３(a)

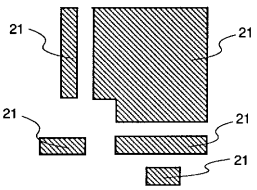
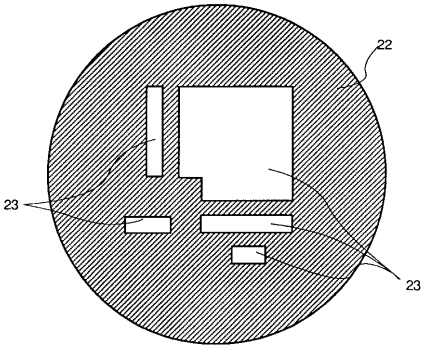
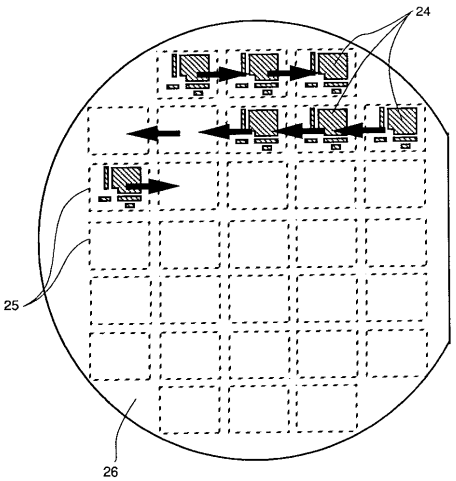


図３(b)



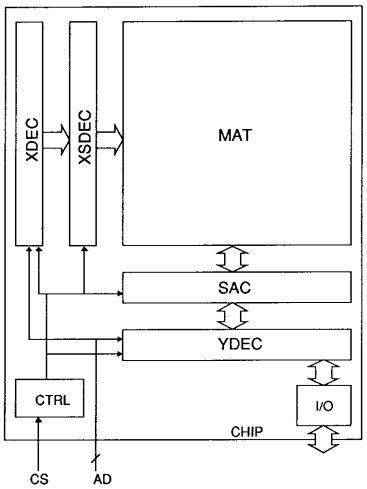
【図４】

図４



【図５】

図５



【図６】

図６(a)

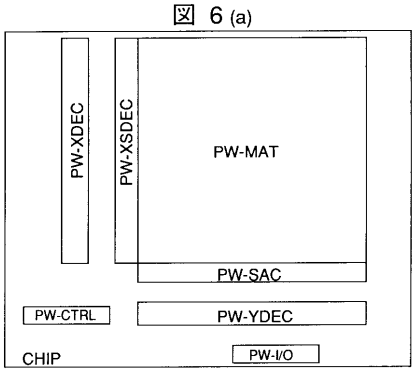
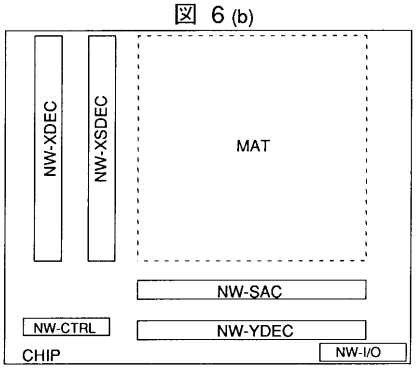


図６(b)



【図７】

図 7 (a)

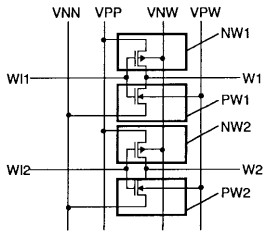
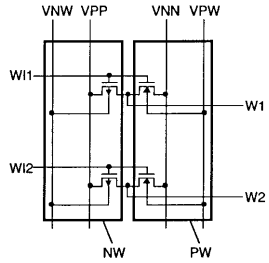


図 7 (b)



【図８】

図 8 (a)

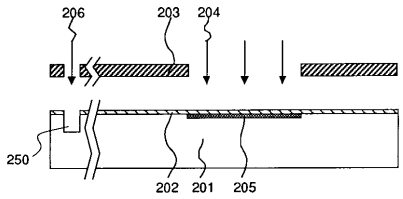


図 8 (b)

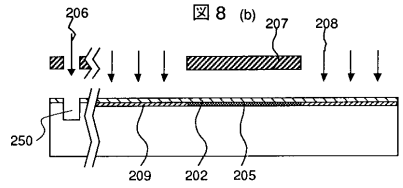
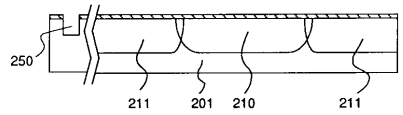


図 8 (c)



【図９】

図 9 (a)

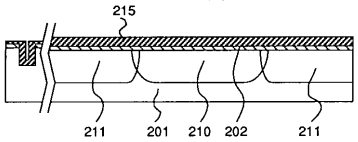


図 9 (b)

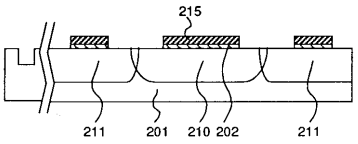
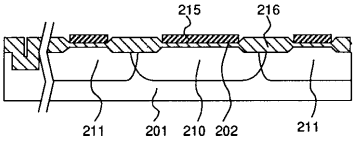


図 9 (c)



【図１０】

図10 (a)

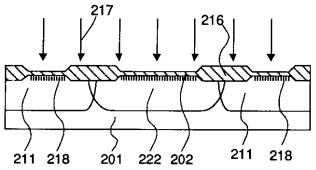
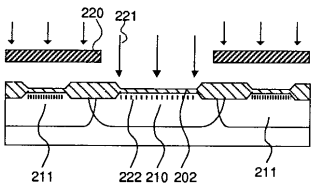


図10 (b)



【図１１】

図11(a)

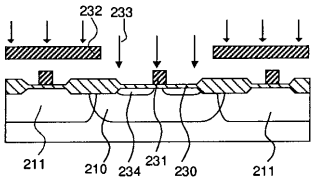
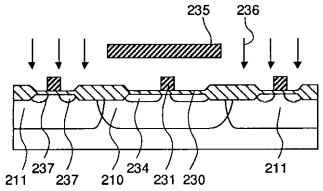
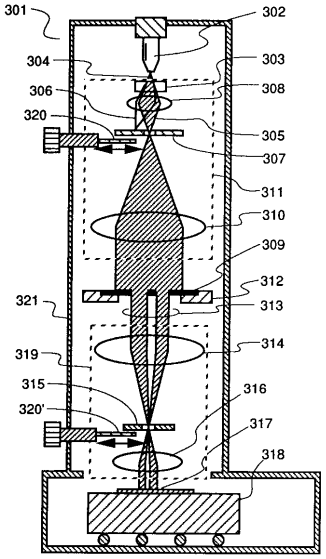


図11(b)



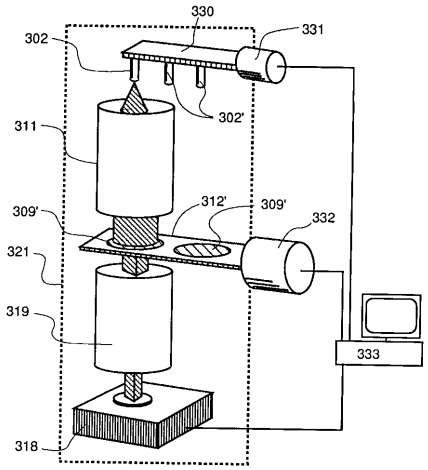
【図１２】

図 12



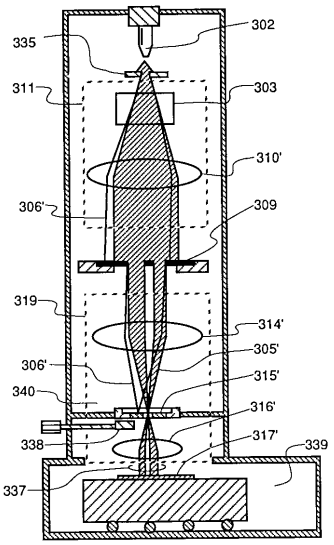
【図１３】

図 13



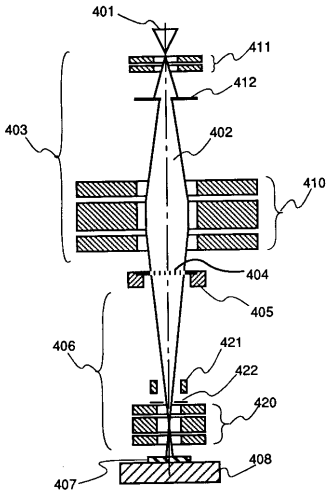
【図１４】

図14



【図１５】

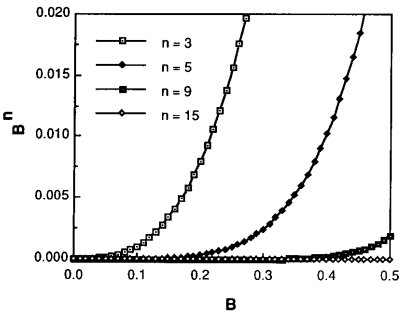
図 15



401…イオン源　403…照射光学系
404…ステンシルマスク　405…マスクステージ
406…投射光学系　408…試料ステージ
410…照射レンズ　420…投射レンズ

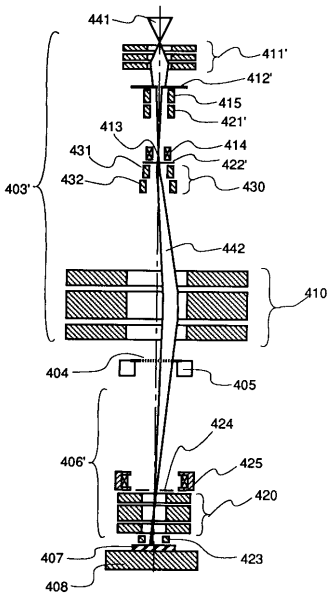
【図１６】

図 16



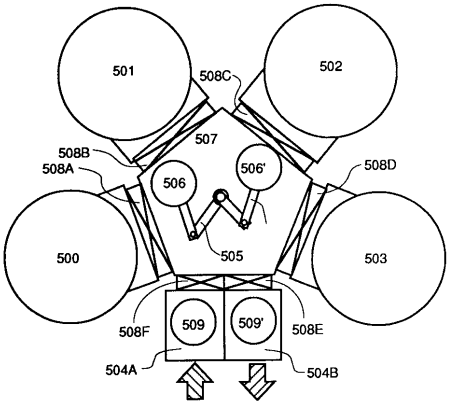
【図１７】

図 17



【図１８】

図 18



【図１９】

図19 (a)

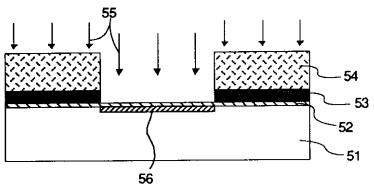


図19 (b)

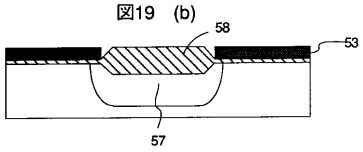


図19 (c)

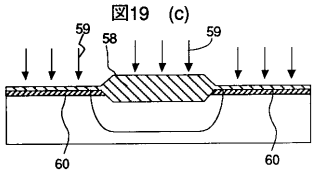
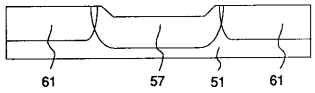


図19 (d)



【図２０】

図 20 (a)

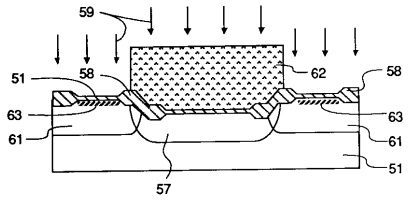
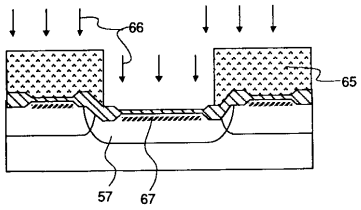
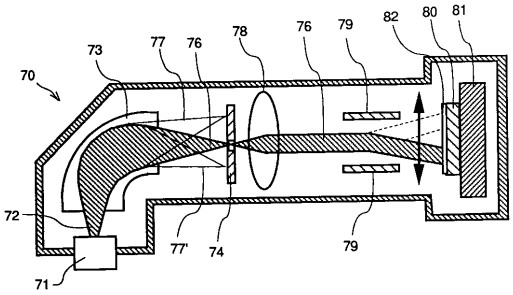


図 20 (b)



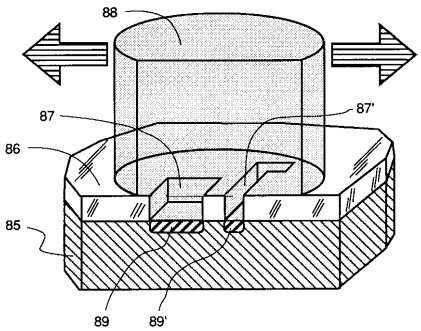
【図２１】

図 21



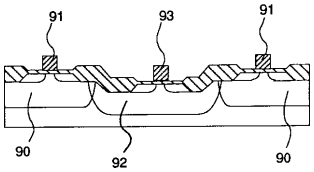
【図２２】

図 22



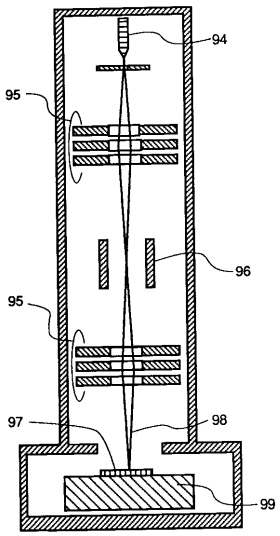
【図２３】

図 23



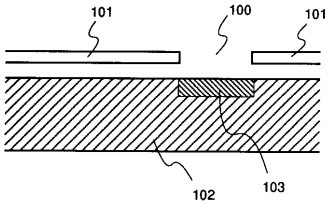
【図２４】

図 24



【図２５】

図 25



フロントページの続き

(51)Int.Cl.			FI		
H01J	***37/317***	***(2006.01)***	H01J	37/317	Z
H01L	***21/027***	***(2006.01)***	H01L	21/30	551

(72)発明者 加藤 正高
東京都小平市上水本町五丁目２０番１号 株式会社日立製作所半導体事業部内
(72)発明者 間所 祐一
東京都国分寺市東恋ケ窪１丁目２８０番地 株式会社日立製作所中央研究所内
(72)発明者 黒田 勝広
東京都国分寺市東恋ケ窪１丁目２８０番地 株式会社日立製作所中央研究所内
(72)発明者 早田 康成
東京都国分寺市東恋ケ窪１丁目２８０番地 株式会社日立製作所中央研究所内

合議体
審判長 廣瀬 文雄
審判官 安田 雅彦
審判官 近藤 幸浩

(56)参考文献 特開昭６２－２６２４２１（ＪＰ，Ａ）
特開平０６－１９４５９５（ＪＰ，Ａ）
特開平０５－２３２４０２（ＪＰ，Ａ）
特開昭６３－２２８５５５（ＪＰ，Ａ）
特許第３３９０５４１（ＪＰ，Ｂ２）
特開平０２－０６５１１７（ＪＰ，Ａ）
特開平０４－３０２１３２（ＪＰ，Ａ）
特開平０１－２２７３４２（ＪＰ，Ａ）
特開平０８－０５０８７４（ＪＰ，Ａ）
特開平０４－１９２２４４（ＪＰ，Ａ）
特開昭６３－２１６２５６（ＪＰ，Ａ）
特開昭６４－０６４２１６（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
H01L21/265-21/266,21/3065
C23C14/48
H01J37/12,37/305,37/317