

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5231395号  
(P5231395)

(45) 発行日 平成25年7月10日(2013.7.10)

(24) 登録日 平成25年3月29日(2013.3.29)

(51) Int.Cl.

F I

H O 1 L 21/265 (2006.01)

H O 1 L 21/265 T

H O 1 J 37/317 (2006.01)

H O 1 J 37/317 C

H O 1 J 37/317 A

請求項の数 18 (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2009-507717 (P2009-507717)  
 (86) (22) 出願日 平成19年4月13日(2007.4.13)  
 (65) 公表番号 特表2009-535814 (P2009-535814A)  
 (43) 公表日 平成21年10月1日(2009.10.1)  
 (86) 国際出願番号 PCT/US2007/009257  
 (87) 国際公開番号 W02007/127084  
 (87) 国際公開日 平成19年11月8日(2007.11.8)  
 審査請求日 平成22年3月25日(2010.3.25)  
 (31) 優先権主張番号 60/794,975  
 (32) 優先日 平成18年4月26日(2006.4.26)  
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(73) 特許権者 505413587  
 アクセリス テクノロジーズ, インコー  
 ポレイテッド  
 アメリカ合衆国, 01915 マサチュー  
 セッツ州 ビバリー チェリー ヒル ド  
 ライブ 108  
 (74) 代理人 110000338  
 特許業務法人原謙三国際特許事務所  
 (72) 発明者 ハーリング, マイク  
 アメリカ合衆国, 01984 マサチュー  
 セッツ州, ウェンハム, ジュニパー スト  
 リート 15

審査官 岩本 勉

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ドーズ均一性の補正技術

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

振子型のイオン注入装置において、半導体材料中の不均一イオン注入を軽減する方法であって、

イオンビームの前方で、第1の弓状走査軌道に沿って上記半導体材料を振動させる工程と、

第2の走査軌道に沿って上記半導体材料を移動させる工程と、

上記半導体材料の全体に及びイオン注入の不均一性に関するデータを取得し、第2の走査軌道に沿った移動が、上記半導体材料中の上記不均一イオン注入を軽減するために、動的調節される工程とを包含することを特徴とする方法。

【請求項 2】

第2の走査軌道に沿った上記半導体材料のための動的調節は、不均一イオン注入関数によって行なうことを特徴とする請求項1に記載の方法。

【請求項 3】

第2の走査軌道に沿った上記半導体材料の移動を調節するために、第2の走査軌道に沿った上記半導体材料の元の移動又は予定された移動を、不均一イオン注入に対応する関数で除する工程をさらに包含することを特徴とする請求項1に記載の方法。

【請求項 4】

上記不均一イオン注入に対応する関数を測定する工程をさらに包含することを特徴とする請求項3に記載の方法。

## 【請求項 5】

上記不均一イオン注入に対応する関数を測定する工程では、曲線の調整方法を実施することを特徴とする請求項 4に記載の方法。

## 【請求項 6】

上記不均一イオン注入に対応する関数を測定する工程では、上記半導体材料の全体に及びイオンドーズの座標を作成することを特徴とする請求項 4に記載の方法。

## 【請求項 7】

上記不均一イオン注入に対応する関数を測定する工程では、曲線の調整方法を実施することを特徴とする請求項 6に記載の方法。

## 【請求項 8】

上記不均一イオン注入に対応する関数を測定する工程では、測定部材を上記半導体材料の代わりに使用することを特徴とする請求項 4に記載の方法。

## 【請求項 9】

上記不均一イオン注入に対応する関数を測定する工程では、イオン注入をモデル化 (modeling) することを特徴とする請求項 4に記載の方法。

## 【請求項 10】

上記イオン注入は、上記イオンビームに対する上記半導体材料の方向性、上記半導体材料の角振動数、フォトレジストが発生させるガス、ビーム電流の変動、圧力の変動、及び第 1 の弓状走査軌道に沿った移動における誤差のうち、少なくとも 1 つに基づいてモデル化されることを特徴とする請求項 9に記載の方法。

## 【請求項 11】

上記半導体材料の全体に及びイオン注入の不均一性に関するデータは、上記半導体材料の代わりに、イオン感受性測定部材を代用することによって取得されることを特徴とする請求項 1 ~ 10 の何れか 1 項に記載の方法。

## 【請求項 12】

振子型のイオン注入装置において、半導体材料中の不均一イオン注入を軽減する方法であって、

上記半導体材料の代わりに測定部材を用い、モデル化を経ることによってイオン注入データを取得する工程と、

上記イオン注入データを使用して、上記不均一イオン注入に対応する関数を測定する工程と、

第 1 の弓状走査軌道に沿って上記半導体材料を動かすこと、及び弓状ではない第 2 の走査軌道に沿って上記半導体材料を動かすことによって、イオンビームを通る上記半導体材料の移動を制御する工程とを包含しており、

第 2 の走査軌道に沿った移動は、上記不均一イオン注入を軽減するために、第 2 の走査軌道に沿った上記半導体材料の元の移動又は予定された移動を上記不均一イオン注入に対応する関数で除することによって調節されることを特徴とする方法。

## 【請求項 13】

上記不均一イオン注入に対応する関数を測定する工程では、曲線の調整法を実施することを特徴とする請求項 12に記載の方法。

## 【請求項 14】

上記不均一イオン注入に対応する関数を測定する工程では、上記半導体材料の全体に及びイオンドーズの座標を作成することを特徴とする請求項 12に記載の方法。

## 【請求項 15】

上記不均一イオン注入に対応する関数を測定する工程では、曲線の調整法を実施することを特徴とする請求項 14に記載の方法。

## 【請求項 16】

上記モデル化は、上記イオンビームに対する上記半導体材料の方向性、上記半導体材料の角振動数、フォトレジストが発生させるガス、ビーム電流の変動、圧力の変動、及び第 1 の弓状走査軌道に沿った移動における誤差のうち、少なくとも 1 つを考慮することを特

10

20

30

40

50

徴とする請求項 1 2 に記載の方法。

【請求項 1 7】

上記イオン注入データは複数の上記不均一イオン注入に対応するデータを含んでおり、  
上記不均一イオン注入に対応する複数の不均一注入関数を測定する工程と、

上記不均一イオン注入を軽減するために、第 2 の走査軌道に沿った上記半導体材料の元の移動又は予定された移動を、上記不均一イオン注入に対応する関数によって除する工程とをさらに包含することを特徴とする請求項 1 2 に記載の方法。

【請求項 1 8】

上記不均一イオン注入は、第 1 の弓状走査軌道に沿った移動に対応することを特徴とする請求項 1 7 に記載の方法。

10

【発明の詳細な説明】

【発明の詳細な説明】

【0001】

〔技術分野〕

本発明は、主に、イオン注入装置に関するものであり、より具体的には、対象材料の不均一イオン注入を軽減することに関するものである。

【0002】

〔本発明の背景技術〕

イオン注入装置は、集積回路の製造において、ドーパントまたは不純物によって半導体基板をドーピングするために用いられる装置である。この装置では、ドーパント物質がイオン化し、イオンビームが生成される。1 種又は 2 種以上のドーパント元素をウエハに注入するために、該ビームを半導体のウエハ又は半導体材料の表面に向ける。ビーム中のイオンは、例えば、ウエハ内のトランジスタの製造において、目的とする伝導率領域を生成するためにウエハの表面を透過する。標準的なイオン注入装置は、イオンビームを発生させるためのイオン源、磁界によって該ビーム内のイオンを方向づける、及び/又は選別する（例えば、質量分解等）ための質量分析装置を含むビームライン集合部（beamline assembly）、ならびにイオンビームが注入される 1 つ又は 2 つ以上の半導体ウエハ又は半導体材料を収容しているチャンバーを含む。

20

【0003】

イオン注入装置は、シリコンに含まれるドーパントの量及びドーパントの位置に関しては、共に正確であるという効果があるので有利である。該装置にとって望ましい注入を達成するために、注入されるイオンの吸収量及び注入するイオンのエネルギーは異なってもよい。イオンの吸収量は、該半導体材料に対して注入されるイオンの濃度を調整する。一般的に、高電流注入装置は、高ドーズ注入に対して使用され、一方、中電流注入装置は、より低い吸収用に使用される。イオンエネルギーは、半導体装置における接合深さを調節するために用いられる。ここで、ビームイオンのエネルギー値によって、イオンが注入される温度、又は注入されるイオンの深さを決定する。

30

【0004】

市販のイオン注入装置は、イオン源チャンバーを含むイオン源を使用する。このイオン源チャンバーは、1 つ又は 2 つ以上の材料が該イオン源からのイオンによって処理される場である、注入チャンバーから距離を隔てて配置されている。イオン源チャンバーの出射口では、イオンビームを形成するために、イオンを加工、分析、及び加速することができるようイオンをイオン源に出射する。イオンビームは測定されたビーム軌道に従って、該イオンビームを 1 つ又は 2 つ以上の材料（一般的には、主に回路ウエハ）に打ち込む場である、イオン注入チャンバーへと向けられる。このイオンビームのエネルギーは、注入チャンバー内においてウエハに打ち込まれるイオンが、これらウエハを透過するには十分である。このように選択的な注入であるゆえに、集積回路を製造することができる。

40

【0005】

電子産業において、より小さく、さらには少ない電力で益々複雑化する数多くの機能を

50

実行することができるような強力な装置（例えば、携帯電話、デジタルカメラ等）を製造するために、電子機器の大きさを縮小するという傾向が続くことを考えると、これらの装置で使用される半導体及び集積回路（例えば、トランジスタ等）においても、引き続きサイズが縮小されることが理解され得る。１つの半導体基板、又は基板の一部（サイコロとして知られる）の上へより多くの装置を「収容する（pack）」能力は、製造の効率及び製造の歩留まりを向上させる。収容密度向上のため、半導体製造工程の一環としてウエハ内又はウエハ上に生成される特徴（feature）はサイズが縮小されてもよい。半導体基板において収容密度を十分向上させるのに重要な影響を与える位置を選択するために、ドーパントの精度を追加することができると理解され得る。例えば、縮小された特徴の大きさを考えると、半導体基板の選択された位置に注入するドーパントイオンに関する誤差のためのマージンをより小さくしてもよい。したがって、より正確、且つ均一なイオン注入を容易にする装置及び技術が望まれている。

10

## 【 0 0 0 6 】

## 〔本発明の要約〕

本発明に係るいくつかの形態の基本的な理解を提供するために、本発明を簡略化した要約を以下に示す。本要約は、本発明の広範囲に及ぶ概要ではない。本発明の主要な要素又は重要な要素を特定するものではなく、本発明の範囲を線引きするものでもない。どちらかと言うとその主な目的は、より具体的な詳細、すなわち後述する詳細に対する前置きとして簡略化した形によって、本発明の１つ以上の概念を示すにすぎない。

## 【 0 0 0 7 】

20

振子型のイオン注入装置における不均一イオン注入は、対応する不均一関数に従って、ウエハの移動を調節することによって軽減される。すなわち、不均一イオン注入関数は、イオン注入を測定すること、及び／又はモデル化することによって得られる。その後、弓状ではない第２の走査軌道に沿ったウエハの移動は、イオン注入の均一性を促進するために不均一イオン関数に従って調節される。

## 【 0 0 0 8 】

上述した及び関連する目的の実現のために、以下の詳細及び付属の図面は、ある実施形態及び本発明の注入法を詳細に記述している。これらは、本発明に係る１つ以上の態様が採用され得る様々な方法のうち、ほんのいくつかを示すにすぎない。本発明の別の態様、利点、及び新規な特徴は、本発明の以下の詳細な説明を、付属する図面と結び付けて考えると明らかとなる。

30

## 【 0 0 0 9 】

## 〔図面の詳細な説明〕

図１は、格子構造の一部を例示する斜視図であり、この図において格子構造へ向けられるイオンビームは、格子構造の平面と略平行である。

## 【 0 0 1 0 】

図２は、図１に示すような格子構造の一部を例示する斜視図であり、この図において格子構造へ向けられるイオンビームは、格子構造の平面と略平行ではない。

## 【 0 0 1 1 】

図３は、異なる間隔で隔てられ、且つイオン注入中の変化度に影響を及ぼすシャドウイング（shadowing）を受けるように形成された特徴を有する半導体基板の部分断面図である。

40

## 【 0 0 1 2 】

図４は、図１に示すような格子構造の一部の例を示す斜視図であり、この図において格子構造の力学的面は格子構造と実質的に同一平面上ではない。

## 【 0 0 1 3 】

図５は、本発明に係る１つ又は２つ以上の態様及び／又は実施形態が実施され得るイオン注入装置の一例を示すブロック図である。

## 【 0 0 1 4 】

図６は、ウエハに対するイオンビームの方向性を示す側面図である。

50

## 【 0 0 1 5 】

図 7 は、振子型のイオン注入装置によって形成され得る、一对の走査パターンを示す。

## 【 0 0 1 6 】

図 8 は、振子型のイオン注入装置によって形成され得る、別の走査パターンを示す。

## 【 0 0 1 7 】

図 9 は、ウエハにおける不均一イオン注入を示す曲線を示す。

## 【 0 0 1 8 】

図 1 0 は、本発明に係る 1 つ又は 2 つ以上の態様及び / 又は実施形態に基づく振子型のイオン注入装置において、不均一イオン注入を軽減させる方法を示すフローチャートである。

10

## 【 0 0 1 9 】

図 1 1 は、走査パターンの図であり、この図において不均一イオン注入は、本発明に係る 1 つ又は 2 つ以上の態様及び / 又は実施形態に基づいて軽減されている。

## 【 0 0 2 0 】

図 1 2 は、ウエハにおける不均一イオン注入を示す曲線の別の一例を示す図である。

## 【 0 0 2 1 】

〔本発明の詳細な説明〕

本発明に係る 1 つ又は 2 つ以上の態様について、図を参照して説明する。この図において、同じ部材番号はすべて同じ構成部材であるとみなすために主に使用される。また、この図の様々な構成部材は、必ずしも縮尺比通りではない。説明の便宜のため、多くの具体的詳細は、本発明に係る 1 つ又は 2 つ以上の態様の十分な理解を提供するために記載されている。また一方、本発明に係る 1 つ又は 2 つ以上の態様は、これら具体的な詳細に足らない説明によっても実施することができることは、当業者に明らかであろう。別の場合には、本発明に係る 1 つ又は 2 つ以上の態様を容易に示すために作成したブロック図において、周知の構造及び周知の装置を示す。

20

## 【 0 0 2 2 】

上述したように、半導体装置の製造工程において、半導体ウエハ又は半導体材料は荷電粒子又はイオンが注入される。イオンは、それら正味の正電荷又は負電荷のために、望ましい電子特性を示す。半導体プロセッシングに際して用いられる場合、イオン化された粒子は、それらが注入される基底層又は別の層の電気的特性を「ドーピング (dope)」又は変化させるため、ドーパントと称される。これにより、当該層は望ましい、且つ予測可能な電気反応を有することになる。

30

## 【 0 0 2 3 】

基底層及び基板は、主に結晶性形状のシリコンから構成されている。シリコン原子が通常の方法で 3 次元に配置されたとき、シリコンは結晶格子として知られる結晶性構造を有すると言われる。一例として、図 1 は、一般的な立方体構造を有する一般的な格子構造 1 0 0 の一部を示す。具体的には、この図に示すように、格子構造 1 0 0 は一般的に立方体の状態にある 2 7 個のセル 1 0 2 (例えば、 $3 \times 3 \times 3$ ) を有する。格子構造の結晶は面 1 1 0 内に存在しており、これら面 1 1 0 は図示される例において互いに略垂直に位置している (例えば、 $x$ 、 $y$ 、及び  $z$  方位)。しかしながら、格子構造は様々な形状のうちいずれかであるか、又は様々な形状のうちいくつかを有し得るということを理解されたい。そのような形状としては、例えば、ダイヤモンド、ピラミッド、六方晶系等を含む。

40

## 【 0 0 2 4 】

また、半導体製造に使用されるシリコンの基底層は、(少なくとも部分的に) バルクシリコンから切り出されるので、ウエハ又は基板とみなされる。具体的には、ブール (boules) として知られる極めて特異型であるシリコンの単一結晶は成長して全長が長くなり、そこから薄片 (例えば、ウエハ) が切り出される。このウエハは、主にミラー指数データ (例えば、(1 0 0)) で指定されており、ウエハの切断面に対する格子構造の相対配向を示す。このウエハの結晶構造は、電子機器において有利である。なぜなら、ウエハの結晶構造が電子機器の電気的特性の制御を容易にし、且つ材料すべてに亘って均一な電氣的

50

性能を示すためである。さらに、装置の性能を低下させる不純物は、材料（シリコン）の不規則な原子構造の周辺に集まる傾向にあるので、結晶構造の均一性は、より予測通りの装置の性能及び予測通りの装置の歩留まりを提供する。

#### 【 0 0 2 5 】

半導体ドーピング工程の重要なパラメータは、イオンビームと半導体材料の結晶構造内部との間の入射角である。入射角は、とりわけチャネリングとして知られる現象に関与するので重要である。

#### 【 0 0 2 6 】

具体的には、図 1 に示すように、ドーパントイオンビーム 1 0 4 の方向が、格子構造の（垂直）面 1 1 0 に略平行であれば、ビームは単位長さ当たり少ないエネルギー損失で面を通りぬけることができる。なぜなら、面の間の空間を移動するイオンは、結晶原子との衝突がより少ないためである。このように、イオンは基板内部に深く注入されればよい。

#### 【 0 0 2 7 】

図 1 に対して、図 2 に示すビーム 1 0 4 の方向は、格子構造 1 0 0 の（垂直）面 1 1 0 と略平行ではない。このように、イオンビーム 1 0 4 内のいくつかのイオンは、格子構造の部位 1 0 6 に衝撃を与え、格子構造を変化（例えば、損傷）させる可能性がある。その際、イオンはエネルギーを損失して速度が遅くなることがあり、及び / 又は矢印 1 0 8 で示す本来の軌道から散乱することもある。その結果、材料中のより浅い部分に留まることになる。したがって、例えば、チャネリング及び / 又はドーピングの局在性の望ましい値を達成するためには、格子構造に対して特定の方向にイオンビームを向けることが望ましいこともある。また、ビームと結晶構造との間の相対的な方向を維持することが望ましいこともあるが、その一方、ビームとウエハとの間の相対的な方向は、注入プロセスの間に変えられると理解してもよい。

#### 【 0 0 2 8 】

ビーム及びウエハの格子構造間の方向性に加え、ウエハの力学的面に対するビームの方向性は、シャドーイングを調節するのに重要であると理解されたい。とりわけ、例えばビームがウエハ上の 1 つ又は 2 つ以上の隣接した特徴によって遮られるので、シャドーイングの場所は、ウエハのある部分における、ほとんど又は全くドーパントを受け取らない位置とする。シャドーイングは、主に電子産業において、より小さく、さらには少ない電力で益々複雑化する数多くの機能を実行することができるような強力な装置（例えば、携帯電話、デジタルカメラ等）を製造するために、形状が縮小されるという傾向が続くことに起因する。

#### 【 0 0 2 9 】

スカーリング（拡大縮小、Scaling）は、主に半導体製造過程の一部において、ウエハ内及びウエハ上に形成される特徴が互いに近接して形成されること、及びこの特徴間に構成される間隔は狭く作られることが必要となる。しかしながら、いくつかの特徴それぞれの高さは縮小しなくてもよい（例えば、フォトリソグラフィの制約のため）。特徴間の縮小された間隔とともに均一に固定された特徴の高さは、シャドーイングを増加させる結果になる。これにより、ウエハのある部分は望ましいドーパント量に満たない。例えば、イオン注入角度が大きくなる場合（例えば、チャネリングを減少するために）には、シャドーイングがさらに拡大される可能性がある。

#### 【 0 0 3 0 】

例えば、図 3 を参照すると、半導体基板の一部又はウエハ 3 0 0 の断面図は、それらの上に形成された複数の特徴 3 0 2、3 0 4、3 0 6、3 0 8 を有しており、それぞれの間隔 3 1 0、3 1 2、3 1 4 はそれら特徴の間にあると定義される。特徴 3 0 2、3 0 4、3 0 6、3 0 8 はレジスト材料から形成されており、すべて略同じ高さである。しかしながら、レジストの特徴 3 0 2、3 0 4、3 0 6、3 0 8 のいくつかは他の特徴より互いに近接して形成されており、これにより対応する間隔 3 1 0、3 1 2、3 1 4 の間は異なる幅となる。間隔 3 1 0、3 1 2、3 1 4 によって露出された基板 3 0 0 の領域 3 2 0、3 2 2、3 2 4 は、イオン注入によってドーピングされる。よって、ドーピングを行なうために

、１つ又は２つ以上のイオンビーム３３０を基板３００に向ける。

【００３１】

一方、イオンビーム３３０は、基板３００の面３４０に対する角度を、例えば、チャネリングを軽減するような方向に合わせられる。その結果、いくつかのイオンビーム３３０は、それらのイオンのうちいくらかを特徴３０２、３０４、３０６、３０８の部分（例えば、角）によって遮られている。このように、基板の領域３２０、３２２、３２４のうち、領域３５０、３５２、３５４において受け取るドーパントイオンの量は意図した量に満たない。特徴３０２、３０４、３０６、３０８が互いに接近するように、それぞれの間隔３１０、３１２、３１４が特徴によってさらに狭く形成されるので、十分にドーピングされていない領域３５０、３５２、３５４は、基板の領域３２０、３２２、３２４のより大きな部分を作り出すことが分かる。

10

【００３２】

図４は、図１及び図２と類似しているが、ウエハの力学的面１１２が、ウエハの結晶格子構造と同一平面上ではない代表的な配置を示す。このように、ウエハの複合移動は、イオン注入プロセス中に、例えば、チャネリング及びシャドーイング両者の望ましいバランスを維持するために、ウエハの力学的面１１２とイオンビーム１０４との間の相対的方向性、ならびにウエハの結晶格子構造とイオンビーム１０４との間の相対的方向性の維持が必要となることを理解されたい。

【００３３】

図５は、本発明に係る１つ又は２つ以上の態様及び／又は実施形態を実施するのに適しているイオン注入装置５００の例を示す。注入装置５００は、イオン源５１２、ビームライン集合部５１４、及びターゲット又はエンドステーション（end station）５１６を含む。イオン源５１２は、イオン発生チャンバー５２０及びイオン抽出（及び／又は抑圧）部５２２を含む。イオン化されるドーパント材料の（プラズマ）ガスは、イオン発生チャンバー５２０の内部に位置する（図示せず）。例えば、ドーパントガスは、ガス源（図示せず）から発生チャンバー５２０内に供給される。イオン発生チャンバー５２０においてイオンの発生を促進するために、電源（図示せず）を経てエネルギーをドーパントガスに供給することができる。

20

【００３４】

また、当然のことながら、イオン源５１２は、イオン発生チャンバー５２０内の自由電子を励起させるのに適したいくつかの手段（図示せず）を使用することができる。そのような手段としては、例えば、ＲＦ（高周波：radio-frequency wave）又はマイクロ波励起源、電子ビーム入射源、電磁波源、及び／又は、例えばチャンバー内のアーク放電を作り出すカソードを含む。励起された電子は、イオン発生チャンバー５２０内でドーパントガス分子と衝突し、これによりイオンが発生する。主に、陽イオンが発生するが、陰イオンが発生することもある。イオンは、イオン抽出部５２２によってイオン発生チャンバー５２０の部位５１８を通して制御可能に抽出される。なお、イオン抽出部５２２は、複数個の抜き取り及び抑圧電極５２４を含む。

30

【００３５】

当然のことながら、イオン抽出部５２２は例えば、抽出にバイアスをかけるための抽出電力供給装置（図示せず）、及び／又はビームライン集合部５１４内のイオン質量分析磁石５２８に導く軌道に沿って、イオン源５１２からイオンを増進するための抑圧電極５２４を含むことができる。よって、イオン抽出部５２２は、プラズマチャンバー５２０からイオンビーム５２６を抽出するため、及び抽出されるイオンをビームライン集合部５１４（より具体的には、イオン質量分析磁石５２８を内部に備えたビームライン集合部５１４）に加速させるために機能する。イオン質量分析磁石５２８は角度約９０度で形成され、そこに磁界が生じる。ビーム５２６が磁石５２８に入ると、ビーム５２６は適切ではない電荷・質量比のイオンが受けつけられないような磁界に相応して曲げられる。より具体的には、大きすぎる電荷・質量比、又は小さすぎる電荷・質量比を有するイオンは、磁石５２８の側壁５３２に屈折５３０する。この方法で、磁石５２８は、完全に横断するのに望

40

50

ましい電荷 - 質量比を有するビーム 5 2 6 中のイオンのみを通す。

【 0 0 3 6 】

制御電子回路又は制御手段 5 3 4 は、特に長さ及び磁界を調節するために含まれ得る。磁界は、例えば、磁石 5 2 8 のフィールド・ワインディング (field winding) を通り抜ける電流の量を調節することによって制御することができる。当然のことながら、制御手段 5 3 4 は、プログラム可能なマイクロコントローラー、プロセッサ、及び / 又は装置 5 0 0 の全体的な制御のための演算手段 (例えば、オペレーター、事前を取得したデータ及び / もしくは現時点で取得したデータ、ならびに / 又はプログラム) を含んでもよい。

【 0 0 3 7 】

また、ビームライン集合部 5 1 4 は、例えば、複数の電極 5 3 8 を備えた加速器 5 3 6 を含んでもよい。当該電極 5 3 8 は、イオンを加速させる及び / 又は減速させるとともに、イオンビーム 5 2 6 の焦点を合わせる、曲げる、及び / 又は浄化するために配置され、バイアスがかけられる。さらに、当然のことながら、イオン源 5 1 2 からエンドステーション 5 1 6 のビームライン集合部 5 1 4 全体 (質量分析磁石 5 2 8 を含む) は、1 つ又は 2 つ以上のポンプ (図示せず) によって真空にされてもよい。イオンビームはビーム完全性の低下した別の粒子と衝突する。加速器 5 3 6 の後段には、質量分析されたイオンビーム 5 2 6 をビームライン集合部 5 1 4 から受け取るエンドステーション 5 1 6 がある。

【 0 0 3 8 】

この図に示すエンドステーション 5 1 6 は、ウエハ又は材料 5 4 4 の上にウエハーホルダー又はエンドエフェクター 5 4 2 を備えている振子型の走査装置 5 4 0 を備えている。エンドエフェクター 5 4 2 は、エンドエフェクター 5 4 2 ひいてはウエハ 5 4 4 を動かすアーム 5 4 6 と連結されており、一位 5 5 0 及び二位 5 5 2 の両極端の間で、第 1 の弓状走査軌道 5 4 8 を通る。アームは、走査装置 5 5 4 の一部である 1 つ又は 2 つ以上のモーター (図示せず) によって駆動されており、少なくともその一部は制御手段 5 3 4 によって制御されればよい。モーターの駆動は、イオンビーム 5 2 6 の中心軸または頂点から角度 5 5 6 でウエハを通してウエハを移動する。当然のことながら、ウエハの移動範囲は、走査されているウエハ 5 4 4 の全長部分又は全幅部分を、ビーム 5 2 6 を通るように移動させるのに十分な大きさであるだけでよい。

【 0 0 3 9 】

また、当然のことながら、走査装置 5 5 4 の 1 つ又は 2 つ以上のモーターは、ウエハ 5 4 4 全体 (高さ) の走査を容易にするために、y 方向において第 2 の走査軌道 5 5 8 に沿ってウエハ 5 4 4 を移動させる。このモーターは、例えば、ウォームギア (worm gear) 、ボールねじ、及び / 又はサーボ型のモーターを含んでもよい。当然のことながら、図 5 のビーム 5 2 6 に対するウエハ 5 4 4 の方向は説明のためであり、ウエハに対する実際のビームの方向はウエハ 5 4 4 に衝突するページ (page) の表面に対して垂直なビームを含む。

【 0 0 4 0 】

図 6 では、例えば、ウエハ 5 4 4 に対するビーム 5 2 6 の実質的な方向をさらに明確に表現する。ここで、ビーム 5 2 6 はウエハ 5 4 4 に衝突するために、ウエハ 5 4 4 の側面に向けられる。この図におけるウエハ 5 4 4 は、ページの平面内、及びページの平面より外の第 1 の弓状軌道に沿って振動する。

【 0 0 4 1 】

当然のことながら、走査装置 5 5 4 (例えば、制御手段 5 3 4 によって制御されるような) では、ウエハ 5 4 4 が第 1 の走査軌道 5 4 8 に沿って振動されると同時に、イオンによってウエハ 5 4 4 を注入するために、第 2 の走査軌道 5 5 8 に沿って移動されるように、ウエハ 5 4 4 を移動させてもよい。

【 0 0 4 2 】

この注入技術によって生じることもある一対の典型的な走査パターンを、図 7 に示す。この図において、第 1 の走査パターン 5 6 0 はウエハ 5 4 4 上に「描かれ (drawn) 」、

10

20

30

40

50

その後第1の走査パターン560を正確に反映するように、第2の走査パターン562がウエハ544上に「描かれ(drawn)」る。具体的には、第1の走査パターン560がウエハ544上に形成され、その後第2の走査軌道558に沿ったウエハ544の移動が、第2の走査軌道が第1の走査軌道560を正確に反映してウエハ544上に形成されるように、(正確なモーメント(moment)で)反転させられる。また、ウエハ544が、第1の走査軌道558に沿ったビーム526を通るウエハ544における各軌道間の第2の走査軌道558に従って、1増加量を指数化される工程及び走査法において、移動させることができる。得られた走査パターン564を、図8に示す。

#### 【0043】

それにも関わらず、イオンはビーム526を介するウエハの各軌道間において、ウエハ544中に不均一に注入されることもある。例えば、図9はウエハを交差する1つの軌道(x軸)に沿ったイオンの濃度(y軸)の座標900を示す。これは、例えば、図8における軌道902と共通であってもよい。この例において、イオンドーズはウエハの中心に対して約4%でドロップされる(例えば、半径0の位置又はウエハの垂直中心線の近傍)。この不均一性は、とりわけ例えば、イオンビーム526を通る軌道であるように、ウエハの複合移動を生じることもある。

#### 【0044】

ウエハ544が、第1の弓状走査軌道548に沿ってビーム526を通して移動されるように、ウエハ544は略中心点566(図5及び6)を回転又は曲げられてもよい。この複合移動は、例えば格子構造とウエハ544の機械的表面との間の方向性、及びイオンビーム526の相関関係を維持するために行なわれればよい。この方法において、ウエハ内544に形成された参照ノッチ568は、第1の走査軌道548に沿ったウエハ544の位置に関わらず、アーム546に対して同じ方向性を有する。また、ウエハ544はポイント566(図6)に関して、さらにはウエハ544の格子構造及び力学的面と、イオンビーム526との間の相関方向性を維持するために傾けられていてもよい(例えば、シェーディング(shading)を軽減させるため、及び/又はチャネリングを制御するため)。

#### 【0045】

したがって、この不均一イオン注入を軽減するために、第2の走査軌道558に沿ったウエハ544の移動は、本発明に係る1つ又は2つ以上の態様及び/又は実施形態に従って、動的調節される。それゆえ、図10を参照する模範的な手順1000は、振子型の注入装置における半導体材料中の不均一イオン注入を軽減するために示す。

#### 【0046】

手順500は一連の動作又は事象として、以下に例示及び説明するとはいえ、当然のことながら、本発明は順序付けられた動作又は事象に沿って説明されるものに限定されない。例えば、ある動作は、本発明に係る1つ又は2つ以上の態様に従って、本明細書において説明された及び/又は記載されたものとは別の動作又は事象によって、様々な順番に、及び/又は同時に起こってもよい。さらに、本発明に従った手順を実行するために、説明されたすべての動作が必要であるとは限らない。

#### 【0047】

方法100は、ウエハの全域における不均一性イオン注入とみなすデータを取得する1002で始まる。この不均一性は、イオンビーム526を通してウエハ544の1つ又は2つ以上の各軌道に対応する。一例として、特に限定されないが、7組のデータは、図8に示される走査パターン564のために得られる。ここで、各組のデータはウエハ544の全域に及ぶ軌道に対応するものであればよい。このように、図9の曲線900は、例えば、図8の軌道902に対応しているデータから描かれればよい。

#### 【0048】

当然のことながら、1002で得られたデータは、測定及び/又はモデル化されてもよい、または作成されてもよい。データは、例えば、ウエハの代わりに、イオン感受性測定部材を代用することによって測定されてもよい。例えば、ファラデーカップ580は、

10

20

30

40

50

図5に示すイオン注入装置500におけるアーム546の末端と接着させることができる。測定部材は、その後、ウエハ544が辿るであろう同じ軌道に沿ってビーム526を通過して移動される。当然のことながら、測定部材の動きはウエハの動きを模倣する。例えば、ウエハの方法に相当し、ウエハとして同じ角振動数で移動される方法において、測定部材は中心点（例えば、点566）の周囲で傾けられる及び／又は曲げられる。

#### 【0049】

イオン吸入、及びそこで得られる変化量は、その後、例えば監視部材（例えば、制御手段534）によって監視され及び／又はマップされる。もう1つの方法として、又はさらなる方法として、不均一性注入データは、不均一性イオン注入をモデル化することによって作成することができる。つまり、ビーム526に対するウエハ544の既知及び／又は

10

#### 【0050】

一旦データが得られた方法1000は、第2の走査軌道（例えば、y方向において）558が不均一性イオン注入データに基づいて調節される1004に進む。当然のことながら、ウエハ544は所定のこの地点から元に戻されてもよく、又は測定部材は不均一性イオン注入を確認するために1004に留まってもよい。一例として、図9に示す点900は、主にコサイン556に相当する。第2の走査軌道558に沿った元の移動又は目的とする移動は、このように、第2の走査軌道558に沿ったウエハ544の動きを調節するためにコサイン（ ）で除される。

20

#### 【0051】

制御手段534及び／又は走査装置554は、第2の走査軌道558に沿った動きを容易にするために、これらの演算を行なうことができる。さらに、制御手段534及び／又は走査装置554は、必ずしも必要ではないが、第2の走査軌道558に沿った元の移動又は目的とする移動が、第2の走査軌道558に沿った移動を調節するために除されることによって、不均一関数を突き止めるために、1つ又は2つ以上の曲線（例えば、図9に示す曲線900）を生成してもよい。「曲線の調整（curve fitting）」方法には、例えば、不均一関数を決定するために、制御手段534及び又は走査装置554を使用してもよい。

30

#### 【0052】

当然のことながら、第2の走査軌道558に沿った元の移動又は目的とする移動は、不均一性がウエハ全体の関数に相当する、（上述のような）1つの関数によって除されてもよい。一方、不均一性がウエハ全体で異なる場合、第2の走査軌道558に沿った元の移動又は目的とする移動は、均一なイオン注入を円滑にするために1つ又は2つ以上の関数によって除されてもよい。例えば、図8において、ウエハ全体に亘る7つの異なる軌道810、812、814、816、818、820、822それぞれが、別の対応する不均一性イオン注入があれば、そのときは、第2の走査軌道558に沿った元の移動又は目的とする移動が、7つの異なる関数F1、F2、F3、F4、F5、F6、F7で除されればよい。

40

#### 【0053】

例えば、軌道810のための第2の走査軌道558に沿った元の移動又は目的とする移動は、軌道810におけるイオン注入を容易に均一にするために、F1で除されてもよい。同様に、軌道812、814、816、818、820、822のための第2の走査軌道558に沿った元の移動又は目的とする移動は、これらの軌道におけるイオン注入を容易に均一にするために、それぞれF2、F3、F4、F5、F6、F7で除されてもよい。しかしながら、同然のことながら、この1対1の対応は必ずしも必要ではなく、場合によってはいくつかの関数が同じ又は類似していてもよい。第2の走査軌道558が調節された後、方法1000は終了する。

#### 【0054】

50

図 1 1 は、図 9 に示す不均一性関数に従って調節される走査パターン 1 1 0 0 を図示する。より具体的には、図 1 1 は図 9 の不均一性関数に従って調節された図 8 の走査パターン 5 6 4 を図示する。

【 0 0 5 5 】

図 1 1 は、第 2 の走査軌道 5 5 8 に沿った移動速度がウエハのエッジ近傍で上昇することを示す。このように、ウエハがエッジ近傍でわずかなドーパントイオンを受け取るように、走査ラインはウエハのエッジにおいて分岐する。当然のことながら、走査ラインは図 1 1 のウエハのエッジに向かって約 4 % 引き伸ばされる。凝縮における約 4 % の減少のための補正は、ウエハの中心に向かって起こる（例えば、曲線 9 0 0 で示す）。基本的にウエハは、ドーパント凝縮はウエハ全体をより均一にするように、ウエハのエッジに向けて約 4 % を下回るドーパントを受け取る。図 1 1 では、工程及び走査法において作成された走査パターン（例えば、図 8 の 5 6 4）は、本明細書に記載されるような不均一性関数によって調節する場合の工程および走査法において作成されてものでなくてもよいことをさらに説明する。例えば、ウエハは第 2 の走査軌道 5 5 8 において移動させなければならないが、また一方ウエハのエッジ近傍で走査ラインの引き伸ばしを容易にするために、第 1 の弓状走査軌道 5 4 8 において移動させなければならない。

【 0 0 5 6 】

さらなる例として、図 1 2 は、y 方向又は第 2 の走査軌道 5 5 8 におけるウエハの移動を調節するために使用され得る、その他の典型的な不均一性曲線 1 2 0 0 を示す。このように、当然のことながら、y 方向又は第 2 の走査軌道 5 5 8 に沿った移動は、どのような不均一性関数によっても調節することができる。例えば、この移動は、第 1 弓状走査軌道 5 4 8 に沿った移動において知られている、再現可能な誤差に起因する不均一性関数に従って、調節することができる。よって、この既知の誤差は計上されるか、又は補正され得る。

【 0 0 5 7 】

同様に、この移動は、イオンビームがウエハ上のパターンニングされたレジストに衝突するときに発生する、ガスの発生に起因する不均一性関数に従って調節することができる。これらの関数は、レジストパターンがウエハ全体に及ぶと知られているので、いくらか予測し得る可能性がある。よって、注入プロセスにおけるガス発生の影響は予測し得る。

【 0 0 5 8 】

また、当然のことながら、y 方向における移動、又は第 2 の走査軌道 5 5 8 に沿った移動は、作業条件の変化（例えば、ビーム電流、気圧変動等の変動）を補正するために、注入プロセス中にオンザフライ（on the fly）で調節され得る。この変化は、例えば、注入プロセス中に（例えば、1 つ又は 2 つ以上のファラデーカップ及び / 又は圧力センサーによって）検出されてもよく、均一性イオン注入へのそれらの影響が明るみに出る、及び / 又はモデル化される。したがって、第 2 の走査軌道 5 5 8 に沿った移動は、1 つ又は 2 つ以上一致する不均一性関数によって調節され得る。

【 0 0 5 9 】

このように、本発明に係る 1 つ又は 2 つ以上の態様及び / 又は実施形態に従って、不均一イオン注入を軽減することができる。すなわち、不均一イオン注入は、材料の外及び / 又は材料の上に製造される、半導体デバイスの性能及び / 又は信頼性に悪影響を及ぼす可能性があるもので望ましくない。これは、材料の中に注入されたドーパント原子が、注入された領域において、材料の電気的特性、電気的性質、及び / 又は挙動を変化させるためである。

【 0 0 6 0 】

本発明は、1 つ又は 2 つ以上の注入に関して示しており、及び / 又は述べているとはいえ、同等の変化及び修正は、本明細書及び添付の図面の見解及び理解に基づいて、当業者がなし得る。本発明はすべての修正及び変化を包含するものであり、特許請求の範囲にのみ限定されるものである。具体的には、上述の部材（集合部（assemblies）、装置、回路等）で行なわれるあらゆる作用に関する事項、当該部材を説明するために使用される用語

(「方法」に関する言及も含む)は、たとえ、本明細書で説明する本発明の典型的な実施における作用を実施する、開示された構造と、構造的に同等ではないとしても、他に指示がなければ、記載された部材の特定の作用を実施するいかなる部材にも相当することを意図する。

【0061】

また、本発明を特定する特徴は、いくつかの実施のうち1つのみについて開示していればよいとはいえ、当該特徴は任意又は特定いずれかの利用にとって望ましく且つ有利であればよいような、その他の実施の1つ又は2つ以上の別の特徴と組み合わせてもよい。さらに、用語「含む(includes)」、「備えている(having)」、「有する(has)」、「ともに(with)」又はそれらの変形が詳細な説明又は特許請求の範囲のいずれかにおいて使用される範囲で、この用語は、ある程度用語「含む(comprising)」と同様に包含されることを意図する。また、本明細書に使用される「典型的な(exemplary)」は、最善というよりは、むしろ単に例示にすぎないことを意味する。

【図面の簡単な説明】

【0062】

【図1】格子構造の一部を例示する斜視図であり、この図において格子構造へ向けられるイオンビームは、格子構造の平面と略平行である。

【図2】図1に示すような格子構造の一部を例示する斜視図であり、この図において格子構造へ向けられるイオンビームは、格子構造の平面と略平行ではない。

【図3】異なる間隔で隔てられ、且つイオン注入中に変化度に影響を及ぼすシャドーイングを受けるように形成された機構を有する半導体基板の部分断面図である。

【図4】図1に示すような格子構造の一部の例を示す斜視図であり、この図において格子構造の力学的面は格子構造と実質的に同一平面上ではない。

【図5】本発明に係る1つ又は2つ以上の態様及び/又は実施形態が実施され得るイオン注入装置の一例を示すブロック図である。

【図6】ウエハに対するイオンビームの方向性を示す側面図である。

【図7】振子型のイオン注入装置によって形成され得る、一对の走査パターンを示す。

【図8】振子型のイオン注入装置によって形成され得る、別の走査パターンを示す。

【図9】ウエハにおける不均一イオン注入を示す曲線を示す。

【図10】本発明に係る1つ又は2つ以上の態様及び/又は実施形態に基づく振子型のイオン注入装置において、不均一イオン注入を軽減させる方法を示すフローチャートである。

【図11】走査パターンの図であり、この図において不均一イオン注入は、本発明に係る1つ又は2つ以上の態様及び/又は実施形態に基づいて軽減されている。

【図12】ウエハにおける不均一イオン注入を示す曲線の別の一例を示す図である。

【図 1】

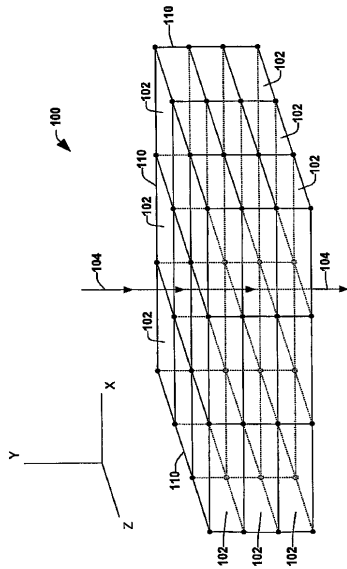


FIG. 1

【図 2】

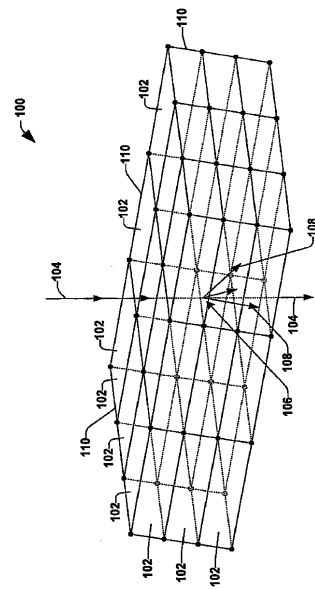


FIG. 2

【図 3】

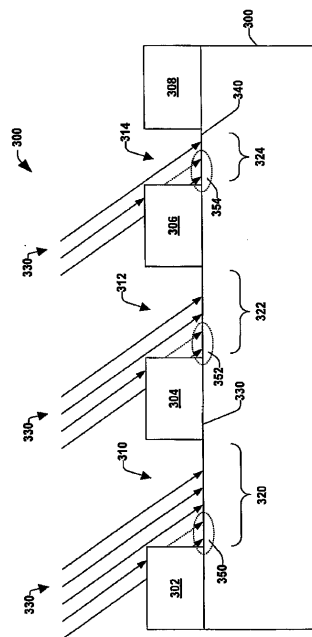


FIG. 3

【図 4】

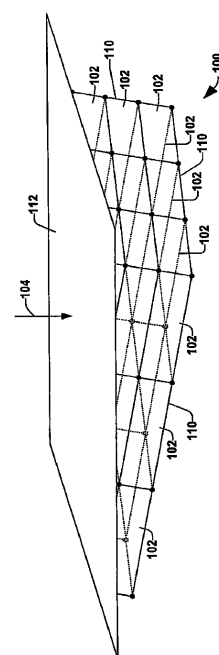
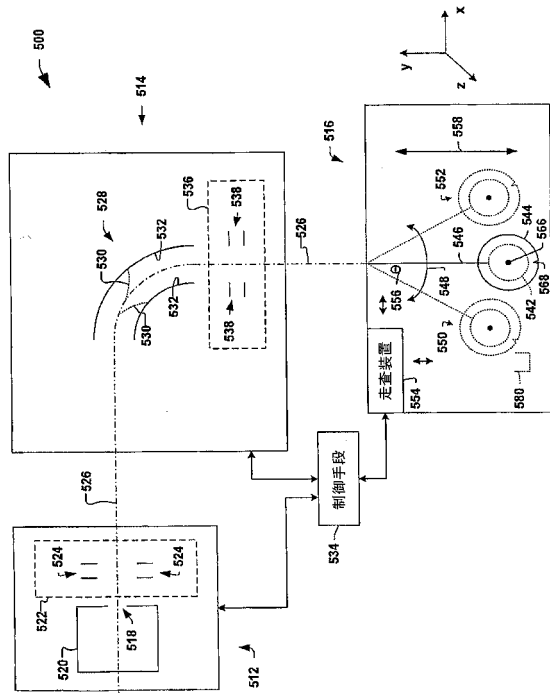


FIG. 4

【図5】



【図6】

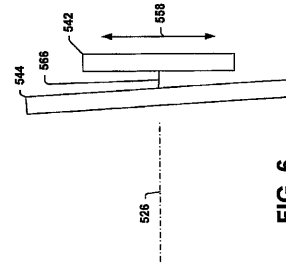


FIG. 6

【図7】

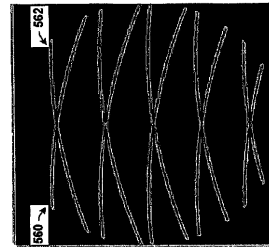


FIG. 7

【図8】

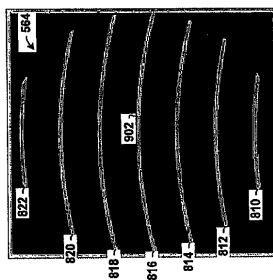
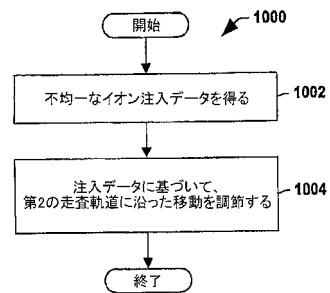
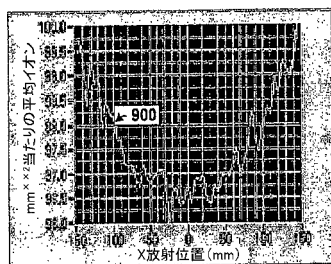


FIG. 8

【図10】



【図9】



【図11】

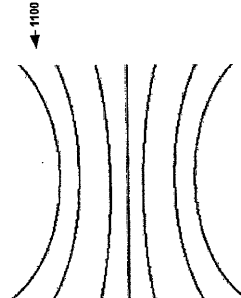
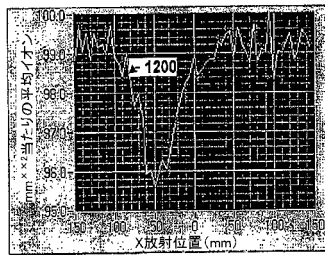


FIG. 11

【図 12】



---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平 1 1 - 0 0 7 9 1 5 ( J P , A )  
特開平 0 2 - 1 6 0 3 5 4 ( J P , A )  
特表 2 0 0 8 - 5 1 3 9 5 7 ( J P , A )  
国際公開第 2 0 0 6 / 0 3 3 8 3 4 ( W O , A 1 )  
特開 2 0 0 0 - 1 0 0 3 7 2 ( J P , A )  
特表平 0 4 - 5 0 1 9 3 3 ( J P , A )  
特開 2 0 0 1 - 0 8 4 9 4 9 ( J P , A )  
特表 2 0 0 7 - 5 3 2 0 0 8 ( J P , A )  
特表 2 0 0 7 - 5 3 2 0 0 9 ( J P , A )  
特表 2 0 0 7 - 5 3 2 0 9 0 ( J P , A )

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H 0 1 L     2 1 / 2 6 5  
H 0 1 J     3 7 / 3 1 7