

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5469091号
(P5469091)

(45) 発行日 平成26年4月9日(2014.4.9)

(24) 登録日 平成26年2月7日(2014.2.7)

(51) Int.Cl.

F I

H O 1 J 37/317 (2006.01)

H O 1 J 37/317 Z

H O 1 L 21/265 (2006.01)

H O 1 J 37/317 A

H O 1 J 37/317 B

H O 1 L 21/265 G O 3 A

H O 1 L 21/265 V

請求項の数 23 (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2010-540796 (P2010-540796)
 (86) (22) 出願日 平成20年12月18日 (2008.12.18)
 (65) 公表番号 特表2011-509504 (P2011-509504A)
 (43) 公表日 平成23年3月24日 (2011.3.24)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2008/087406
 (87) 国際公開番号 W02009/085939
 (87) 国際公開日 平成21年7月9日 (2009.7.9)
 審査請求日 平成23年12月19日 (2011.12.19)
 (31) 優先権主張番号 12/005,991
 (32) 優先日 平成19年12月28日 (2007.12.28)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(73) 特許権者 500239188
 ヴァリアン セミコンダクター イクイッ
 プメント アソシエーツ インコーポレイ
 テッド
 アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 O
 1 9 3 O グローチェスター ドリー ロ
 ード 3 5
 (74) 代理人 100147485
 弁理士 杉村 憲司
 (74) 代理人 100149700
 弁理士 高梨 玲子
 (74) 代理人 100147692
 弁理士 下地 健一

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 軸傾斜を用いて改善された大傾斜注入角度性能

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

2つの直交する次元を有するイオンビームを準備する準備工程であって、前記イオンビームが複数のイオンビームレットを具え、かつ前記イオンビームの一方の次元における前記ビームレット間の平行度が他方の次元よりも高い工程(工程a)と、

平坦な表面を有するワークピースを、前記平行度が高い方の次元に実質的に垂直な軸について傾斜させる傾斜工程であって、前記ワークピースの平坦な表面と前記イオンビームに垂直な平面との間に角度を形成する形成工程(工程b)と、

前記ワークピースを前記イオンビームにさらす露光工程(工程c)と、

前記ワークピースを時計回りまたは反時計周りに回転させる回転工程(工程d)とを具えることを特徴とする大傾斜注入を行う方法。

【請求項 2】

前記回転は、前記ワークピースの平坦な表面に垂直な軸の周りで行われる請求項1に記載の方法。

【請求項 3】

前記ワークピースの全体が前記イオンビームに露光されるように、前記ワークピースを前記次元に実質的に垂直な方向に動かす工程をさらに具える請求項1に記載の方法。

【請求項 4】

前記イオンビームが幅次元およびより小さい高さ次元を有し、かつ前記高い平行度は、前記幅次元にある請求項1に記載の方法。

10

20

【請求項 5】

前記傾斜工程によって形成される角度は、約 5 ～ 60 度の範囲である請求項 1 に記載の方法。

【請求項 6】

前記露光工程および前記回転工程は、複数回行われる請求項 1 に記載の方法。

【請求項 7】

前記回転の角度が約 90 度である請求項 1 に記載の方法。

【請求項 8】

前記回転の角度が約 180 度である請求項 1 に記載の方法。

【請求項 9】

前記回転の角度が、360 度を前記回転工程が行われる回数で除した角度であると定義される請求項 6 に記載の方法。

10

【請求項 10】

前記イオンビームが走査イオンビームを含む請求項 1 に記載の方法。

【請求項 11】

前記イオンビームがリボンビームを含む請求項 1 に記載の方法。

【請求項 12】

前記イオンビームの幅が、前記傾斜工程によって形成された角度に基づいて変化する請求項 10 に記載の方法。

【請求項 13】

2つの直交する次元を有するイオンビームを準備する準備工程であって、前記イオンビームが複数のイオンビームレットを具え、かつ前記イオンビームの一方の次元における前記ビームレット間の平行度が他方の次元よりも高い工程(工程 a)と、

20

平坦な表面を有するワークピースを、前記平行度が高い方の次元に実質的に垂直な軸について傾斜させる傾斜工程であって、前記ワークピースの平坦な表面と前記イオンビームに垂直な平面との間に角度を形成する形成工程(工程 b)と、

前記イオンビームに対して前記ワークピースの方向を合わせる配向工程であって、前記ワークピースの一部分を前記ビームによって露光されるべき位置に配置する配向工程(工程 c)と、

前記ワークピースを前記イオンビームにさらす露光工程(工程 d)と
を具えることを特徴とするワークピースの一部分を注入する方法。

30

【請求項 14】

前記イオンビームが幅次元およびより小さい高さ次元を有し、かつ前記高い平行度は、前記幅次元にある請求項 13 に記載の方法。

【請求項 15】

前記一部分がハ口注入を受ける請求項 13 に記載の方法。

【請求項 16】

前記一部分が片側埋め込みストラップ注入を受ける請求項 13 に記載の方法。

【請求項 17】

前記一部分がソース ドレイン拡張注入を受ける請求項 13 に記載の方法。

40

【請求項 18】

前記注入が、非平面デバイス構造の一部分上で行われる請求項 13 に記載の方法。

【請求項 19】

前記ワークピースを時計回りまたは反時計周りに回転させる回転工程をさらに具える請求項 13 に記載の方法。

【請求項 20】

前記回転は、前記ワークピースの平坦な表面に垂直な軸の周りで行われる請求項 19 に記載の方法。

【請求項 21】

前記配向工程、前記露光工程および前記回転工程は、複数回行われる請求項 19 に記載

50

の方法。

【請求項 2 2】

前記配向工程は、前記ワークピースを時計回りまたは反時計回りに回転させることによって行われる請求項 1 3 に記載の方法。

【請求項 2 3】

前記配向工程は、前記ワークピースを前記ワークピースの平坦な表面に垂直な軸の周りで回転させることによって行われる請求項 2 2 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

イオン注入器は、半導体ウェーハの製造において一般に利用されている。イオン源は、ワークピースにその後方向付けられる、正電荷を有するイオンのビームを作り出すのに用いられる。イオンがワークピースに当たるとき、イオンは、これらイオンが衝突した領域においてワークピースの特性を変化させる。この変化は、ワークピースの特定の領域が、適切に「ドーピングされる」ことを可能にする。ドーピング領域の構成は、ワークピースの機能性を規定し、導電性インターコネクットの使用を通して、これらワークピースは複雑な回路に変換される。

【0002】

多くの用途において、イオンビームは、ワークピースに対し、このワークピースの平面に垂直な方向に当たる。図 1 は、3 次元 X, Y, Z におけるワークピース 100 の代表的な方向を示す。多くの用途において、イオンビーム(図示せず)は、ワークピース 100 に対し、Z 軸に実質的に平行な方向に方向付けられる。この方法において、イオンビームは、X 軸および Y 軸において、ワークピースに実質的に垂直である。イオンビームは、イオンビームレットのセットであると考えられ、各ビームレットは、XZ 平面において単一のラインを具える。ビームのすべてがワークピースに実質的に垂直であることが重要であるとともに、個々のビームレットのそれぞれも、X および Y 軸のいずれもの軸においてワークピースに垂直であるということも同じように重要である。図 2 a は、複数のビームレット 210 から形成されるイオンビーム 200 を示す。説明のために数本だけが示されているが、イオンビームは、任意数のビームレットからなることができる。この図において、ビームレット 210 の全ては互いに平行である。対照的に、図 2 b は、ワークピースに実質的に垂直なイオンビーム 250 を示す。しかしながら、その成分であるイオンビームレット 270 は、互いに平行ではなく、その結果として、これらビームレットのいくつかは、ワークピースに垂直ではない。

20

30

【0003】

イオンビームが 3 次元の構成要素であるので、平行性は、種々の次元において存在する。例えば、イオンビームレットは、X 次元(すなわち、XZ 平面)で平行とされることができる。この次元において、Y 次元におけるずれは考慮されない。同様に、イオンビームレットは、Y 次元(すなわち YZ 平面)で平行とされることができ、X 次元におけるずれは考慮されない。当業者にとって、イオンビームのイオンビームレットが、一の次元に直交する次元(すなわち高さ)における平行性を示すことなく、一の次元(すなわち幅)における平行性を見せることができるということは明らかである。この問題は従来良く知られていた一方で、ワークピース支持体の機械的な動きがワークピースの全ての部分を確実にビームに露光することから、重要であるとは考えられていなかった。

40

【0004】

特許文献 1 は、参照することによりここに取り入れられ、イオンビームレット間で所望の平行度を維持する装置および方法を開示する。当業者であれば、平行性は、典型的に、磁石のような角度補正器を介して制御されることを認めるであろう。しかしながら、ビームレット平行性のための光学設定は、90°以外の入射角で発生する可能性がある。これを補正するため、ワークピースは、Y 軸に平行なラインについて傾斜される。図 3 に示さ

50

れるように、イオンビームは、角度補正器 330 から出る。角度補正器 330 によって作り出された磁場のために、イオンビーム 300 のビームレット 310 は、互いに平行になる。しかしながら、それらの入射角は、ワークピース 320 に直交していない。これを修正するために、ワークピース 320 は、角度 340 でラインの周りに旋回される。この方法において、イオンビーム 300 は、ワークピース 320 に垂直に当たる。

【0005】

ある用途は、イオンビームがワークピースに大傾斜角のような 90° 以外の入射角で当たることを要求する。一の実施形態において、ハ口またはポケット注入のような大傾斜注入は、ゲートデバイスの端部の下部にドーパントポケットを作り出すのに用いられる。図 4 は、基板 420 の上にゲート領域 410 を具える代表的なトランジスタ構造 400 を示す。ソース領域 430 およびドレイン領域 440 は、ゲート領域 410 の両側に位置する。ソースおよびドレイン領域をゲート領域の端部の下方に拡張するために、イオンビームは、参照符合 450 a および 450 b の矢印で示されるような大きな傾斜角で基板に激突する。この傾斜角は、典型的に、5 ~ 60 度の範囲である。

【0006】

この大傾斜角注入は、種々の次元においてワークピースを操作することによって得られる。図 5 は、従来技術における、これらステップを実行する好ましい方法を説明する。図 5 は、実質的に X Y 平面に沿ったワークピース 500 を示す。イオンビーム 510 は、Z 軸に実質的に平行であり、ワークピース 500 に垂直である。上述したとおり、ワークピース 500 は、Y 軸に平行なラインの周りに旋回され、イオンビームがワークピースに 90° で当たることを確実にする。大傾斜注入を達成するため、ワークピースは、その後、X 軸に平行なラインの周りに旋回される。ワークピースは、その後、従来の方法で、イオンビーム 510 によって走査される。伝統的に、ビームは、静電的にまたは磁石を用いることによって、X 方向の前後に走査され、ワークピースは、ビームに対して Y 方向に移動される。磁気または静電スキュンは、通常、高速走査と称され、機械スキュンは、低速走査と称される。代案は、高速走査をリボンビームで置き換え、かつ高速静電または磁気スキュンを、機械スキュン(2D 機械スキュン)で置き換えることを含む。ワークピースが走査された場合、ワークピースは、図 4 に示されるように、450 a のような大傾斜角で注入される。

【0007】

イオンを、図 4 に示される 450 b によって表される入射角で注入するために、ワークピースを再び回転させる必要がある。この場合、ワークピースは、ワークピースの表面に垂直なラインの周りに回転されるのが好ましい。180° の回転は、450 b によって表される入射角を生じさせるのに必要とされる。

【0008】

この 3 つの別個の軸の周りの動きの組み合わせは、ワークピースが、大傾斜角で注入されることを可能にする。上述した正確な動きにもかかわらず、±0.5 度の範囲内での角度の精度を得ることは難しい。それ故に、60° の注入角は、実際は 59.5° と 60.5° との間とすることができる。ジオメトリが寸法を減少させ続けるので、これら角度の各々、特に入射角の正確な制御を有することは、より重要になってきている。それ故に、従来のプロセスにおけるずれの量は、受け入れ難いほど高くなってきている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0009】

【特許文献 1】米国特許番号第 6,437,350 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

従来技術の問題は、本発明により解決される。本発明は、大傾斜角注入のための方法および装置を含み、結果として、従来得られなかった角度の精度をもたらす。

【課題を解決するための手段】

【0011】

幅および高さ次元を有するイオンビームが複数の個別のビームレットで構成される。これらビームレットは、典型的に、これら二つの次元の一つでより正確に制御され、その結果、ビームレット間で高い平行度を示す。それ故に、角度誤差を最小化するため、半導体ワークピースのようなワークピースは、高い平行度を有する次元に、実質的に垂直なラインについて傾斜される。ワークピースは、その後、注入され、ワークピースの表面に直交するラインの周りに回転される。プロセスは、大傾斜注入が全ての所望の領域において実行されるまで繰り返されることのできる。

【0012】

一の実施形態において、ビームレットの方向は、イオンビームの幅に沿って高い平行度を示す。したがって、ワークピースは、幅に直交する軸について傾斜される。別の実施形態において、高い平行度は、イオンビームの高さに沿って発生する。この実施形態において、ワークピースは、高さに直交する軸について傾斜される。

【0013】

さらなる実施形態において、走査イオンビームが用いられる。このビームの幅は、要求された傾斜角に基づいて変化され、ビーム幅は、傾斜角が増加するにつれて減少する。

【0014】

さらなる実施形態において、ハ口注入および片面埋め込みストラップのようなワークピースの部分は、選択的に注入される。ウェーハは、高い平行度を有する次元に垂直な軸について傾斜される。ワークピースは、その後、イオンビームが当たるような位置にその位置を向けるよう操作される。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】図1は、半導体ワークピースの方向を説明するのに用いられる座標系を示す。

【図2】図2aは、複数のイオンビームレットを具えるイオンビームの第1の例を示し、図2bは、複数のイオンビームレットを具えるイオンビームの第2の例を示す。

【図3】図3は、従来技術において実行されていた、イオンビームレットの平行性を最大化するためのワークピースの動きを示す。

【図4】半導体デバイスおよび種々の大傾斜注入角の例を示す。

【図5】従来技術の大傾斜注入プロセスにおけるXおよびY軸について傾斜されるワークピースを示す。

【図6】図6は、本発明を実施するのに好適なイオン注入器の概略図の例を示す。

【図7】図7a～7dは、それぞれ、第1～4プロセスステップ中に示されるような2つのトランジスタ構造の代表を含むワークピースを示す。

【図8】図8aは、イオンビームレットに平行でかつ同一平面上にある理想的なイオンビームを示し、図8bは、イオンビームレットに平行であるが、同一平面上にないイオンビームを示す。

【図9】図9は、本発明に従うトレンチ構造の一つの壁の注入を示す。

【図10】図10は、ソースドレイン拡張部を有するトランジスタの側面を示す。

【発明を実施するための形態】

【0016】

上述したとおり、半導体ウェーハのようなワークピースにイオンを注入するには、イオンビームが用いられる。代表的なイオン注入器600のブロック図が図6に示される。イオン源610は、ヒ素またはホウ素のような所望の種のイオンを発生する。これらイオンはビーム状に形成され、その後、ソースフィルタ620を通過する。ソースフィルタは、イオン源の近くに配置されるのが好ましい。ビーム中のイオンは、コラム630で所望のエネルギーレベルまで加速/減速される。開口部645を有する質量解析磁石640は、イオンビームから不要な成分を取り除くのに用いられ、結果として所望のエネルギーおよび質量特性を有するイオンビーム650が分割開口部645を通過する。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 7 】

ある実施形態において、イオンビーム 6 5 0 はスポットビームである。このシナリオにおいて、イオンビームはスキャナ 6 6 0、好ましくは静電スキャナを通過する。このスキャナは、イオンビーム 6 5 0 を屈折させて走査ビーム 6 5 5 を作り出し、個々のビームレット 6 5 7 は、走査源 6 6 5 から分岐する軌道を有する。ある実施形態において、スキャナ 6 6 0 は、走査装置と連通している分離した走査板を具える。走査装置は、走査板に適用される、振幅および周波数成分を有する正弦、鋸歯または三角の波形のようなスキャン電圧波形を作り出す。好適な実施形態において、走査波形は、典型的にほぼ三角波(一定の傾斜)に非常に近く、すべての位置で走査ビームをほぼ同じ時間だけ放置する。三角形からのずれは、ビームを均一にするのに用いられる。結果として得られる電場は、イオンビームを図 6 に示すように分岐させる。

10

【 0 0 1 8 】

角度補正器 6 7 0 は、分岐するイオンビームレット 6 5 7 を実質的に平行な軌道を有するビームレットのセットに屈曲させるよう構成される。好ましくは、角度補正器 6 7 0 は、ギャップを形成するよう離れて配置される電磁コイルおよび磁極片を具え、イオンビームレットは、このギャップを通過する。コイルは、ギャップの中に磁場を作り出すよう電圧が印加され、加えられた磁場の強さおよび方向に従ってイオンビームレットが屈折される。磁場は、電磁コイルを通る電流を変化させることによって調整される。代案として、平行化レンズのような他の構造も、この機能を実行するのに利用されることができる。

20

【 0 0 1 9 】

ビームスキャナ 6 6 0 および角度補正器 6 7 0 がプレートを含み、この間をイオンビームレットが通過するということを留意することは重要である。この配置のために、ビームは、プレートのセットの間に規定される平面内に厳重に制御されることができる。しかしながら、限定された制御は、上記平面に直交する次元において可能である。それ故に、角度補正器 6 7 0 に関し、プレートは、好ましくは X Z 平面(図 1 の座標系によって規定される)内に存在するギャップを作り出すように間隔が空けられる。したがって、ビームレット制御は、この次元において最も厳格に制御され、個々のイオンビームレットが X 次元において互いに平行となるよう、角度補正器が個々のイオンビームレットの方向を変えることを可能にする。個々のイオンビームレットは、Y 方向において制御されず、X 次元におけるものよりも平行性は低くなる。平行とは、典型的に、いずれの場所においても等距離で、決して交わらないものとして定義される。「平行度」という用語は、イオンビームのセットがどの程度平行に近づくかについて表すのに用いられる。「より高い平行度を有する次元」という単語は、イオンビームレットがより平行に近づく次元を意味するのに用いられる。言い換えれば、この次元において、イオンビームレットは、より小さな分岐を示し、より厳格に制御される。図 6 に示されるシステムにおいては、ビームスキャナ 6 6 0 および角度補正器 6 7 0 の動作のために、より高い平行度を有する次元は X 次元となる。

30

【 0 0 2 0 】

角度補正器 6 7 0 の後、走査ビームはワークピースを目標とする。ワークピースは、ワークピース支持体に取り付けられる。ワークピース支持体は、種々の動き度を提供する。例えば、ワークピース支持体は、ワークピースの中心を通過するラインの周りに回転することができ、3 つの主軸のいずれかに平行である。それ故に、X 軸に平行なラインの周りを旋回することによって、ワークピース支持体は、ワークピースの傾斜を可能にし、ワークピースの上半分は、下半分に対して、イオン源に近づくかまたはイオン源から離れて傾けられる。同様に、Y 軸に平行なラインの周りを旋回することによって、ワークピース支持体は、ワークピースの傾斜を可能にし、ワークピースの左半分は、右半分に対して、イオン源に近づくかまたはイオン源から離れて傾けられる。最後に、ワークピース支持体は、ワークピースの表面に垂直なラインの周りを回転することができ、時計回りまたは反時計回りのワークピース表面の動きを作り出す。これら動きは、相互排他的ではなく、ワークピース支持体は、同時に方向の任意の組み合わせで操作されることができる。加えて、

40

50

ワークピース支持体は、平行移動、典型的にはY方向への移動も提供し、ワークピース全体をイオンビームに露光させる。上述したように、ワークピースは、Y軸に平行なラインについて傾斜されることができ、イオンビームレットの平行性を最大化する。これは、上述したようなワークピース支持体の傾斜を介して得られる。また、ハ口注入に用いられる大傾斜入射角を得るために、ワークピースは、典型的に、図5に示されるようなワークピース支持体の傾斜によって、X軸に平行なラインについて傾斜される。

【0021】

大傾斜角注入は、典型的に、4ステップ工程を介して得られる。図7aは、2つのトランジスタ710, 720を有する代表的なワークピース700を示し、トランジスタ710は長手方向を垂直方向に方向付けられ、トランジスタ720は、長手方向を水平方向に方向付けられる。2つのトランジスタのみが示されるが、当業者であれば、ワークピースが任意の数のトランジスタを含むことができるということは明らかである。

【0022】

従来技術において、図5に示されるように、ワークピース支持体(したがってワークピース)は、大傾斜入射を予期してX軸に実質的に平行なラインの周りに旋回される。図7a~dに関し、この旋回の結果として、ワークピースの上部が(紙面の)後方へ傾けられ、下部が(紙面から)前へ傾けられるということを仮定する。工程の第1ステップの間、ワークピースは、図7aに示されるように方向付けられたトランジスタが与えられる。それ故に、ワークピースがイオンビームに露光されるとき、イオンはトランジスタ720の下側のゲートエッジ721に沿って注入される。高い入射角のため、これらイオンは、ゲートデバイスの真下に突き通る。トランジスタの720の上側のゲートエッジ722は、そのゲート構造がイオンビームをブロックするので注入されない。ハ口注入は、ゲートの幅に沿った領域ではなく、ゲートの長さに沿った領域に主に関係するので、この時、トランジスタ710に向けられたイオンビームは重要ではない。

【0023】

工程の第2ステップにおいて、ワークピースは90°時計回りに、例えば、ワークピース表面に垂直なライン、好ましくはワークピースの中心を通るラインの周りに回転される。それ故に、2つのトランジスタは、図7bに示されるように、ワークピース上に現れるであろう。この工程ステップの間、ワークピースがイオンビームに露光されているとき、イオンはトランジスタ710の下側のゲートエッジ711に沿って注入される。トランジスタの710の上側のゲートエッジ712は注入されない。ハ口注入は、ゲートの幅に沿った領域ではなく、ゲートの長さに沿った領域に主に関係するので、この時、トランジスタ720に向けられたイオンビームは重要ではない。

【0024】

工程の第3ステップにおいて、ワークピースは再び90°時計回りに回転される。それ故に、2つのトランジスタは、図7cに示されるように、ワークピース上に現れるであろう。この工程ステップの間、ワークピースがイオンビームに露光されているとき、イオンはトランジスタ720の上側のゲートエッジ722に沿って注入される。トランジスタの720の下側のゲートエッジ721は注入されない。再び、この時、トランジスタ710に向けられたイオンビームは重要ではない。

【0025】

最後に、工程の第4ステップにおいて、ワークピースは再び90°時計回りに回転される。それ故に、2つのトランジスタは、図7dに示されるように、ワークピース上に現れるであろう。この工程ステップの間、ワークピースがイオンビームに露光されているとき、イオンはトランジスタ710の上側のゲートエッジ712に沿って注入される。トランジスタの710の下側のゲートエッジ711は注入されない。再び、この時、トランジスタ720に向けられたイオンビームは重要ではない。

【0026】

それ故に、この4つのステップを実行することによって、ワークピースの表面に垂直な軸の周りで4回転することで、全てのトランジスタのゲートエッジは、それらの方向の軸

10

20

30

40

50

に関係なく、注入されることができる。水平に方向付けられたトランジスタ 720 がステップ 1 および 3 の間注入され、一方で垂直に方向付けられたトランジスタ 710 が工程ステップ 2 および 4 の間注入されるということに留意すべきである。

【0027】

上述したように、角度補正器 670 はプレートを具え、これらの間を、イオンビームレットが通過する。上記のように、この構成のために、ビームは、プレートのセット間に規定される平面内に厳格に制御されることができる。しかしながら、限定された制御は、上記平面に直交する次元において可能である。それ故に、イオンビームレットが X 次元(すなわち XZ 平面)において互いに平行である一方で、これらビームレットは、Y 次元(すなわち YZ 平面)において互いに平行ではない可能性がある。図 8a は、走査イオンビーム 800 の例を示し、この走査イオンビーム 800 は、多くのビームレット 810 を具える。角度補正器 670 が、平行に近いビームレットの分岐を形成したという点に留意すべきである。実際、特許文献 1 で説明された検出技術を用いて、イオンビームレットの角度のずれを、 $\pm 1^\circ$ 以内で非常に厳格に制御することは可能である。しかしながら、この制御のレベルは、Y 次元においては可能ではない。図 8b は、イオンビーム 820 を示すが、ビームレット 830 が XZ 平面内で平行のように見せながら、Y 次元で平行ではないことを説明する。個々のビームレットが、それらの軌道に Y 成分を有することができ、Y 次元(すなわち YZ 平面)にイオンビームの平行性におけるずれにつながるということに留意すべきである。ずれが著しく大きいものではないものの、XZ 平面内に存在するずれよりもずいぶん大きい。それ故に、イオンビーム 820 は、X 次元において高い平行度を示す。さらにまた、図 6 に記載されたシステムは、Y 次元におけるずれを測定または制御する機構を有さない。

【0028】

図 7a ~ d に関し、重要な角度は、イオンビームの入射角度およびワークピースの X 軸に平行なラインの周りの旋回に基づいているという点に留意すべきである。それ故に、この角度の正確さは、Y 次元におけるイオンビームの平行性および傾斜機構の正確性によって決定される。上記のように、Y 次元におけるイオンビームの平行性は制御されることができず、この次元における平行性のずれは、個々のイオンビームレットが度合い(degree)と同程度の軌道における分岐を有するという結果になる。

【0029】

前に説明したとおり、図 6 に示されるイオン注入器は、X 次元(すなわち XZ 平面)性を非常に高い度合いまで制御および測定する能力を有する。その結果として、Y 軸に実質的に平行なラインの周りの角運動は、正確に制御された測定値および角度分布をもたらす。この特徴は、従来技術において、イオンビームが確実にワークピースを Y 軸に対して垂直に当たるよう利用される。この特徴は、本発明においても同様に、大傾斜角度注入中の正確に制御された入射角を発生させるよう用いられる。本発明は、高い平行度を有するイオンビームの次元に垂直な軸について傾斜する。

【0030】

図 7a ~ d に戻り、ワークピースが現在、垂直軸について傾斜されると仮定すると、ワークピースの左側が紙面奥方向に傾斜し、ワークピースの右側が紙面手前方向に傾斜することになり、ハ口注入のための要求された入射角を作り出す。工程の第 1 ステップの間、ワークピースは図 7a において見られる方向で示される。それ故に、ワークピースがイオンビームに露光されるとき、イオンはトランジスタ 710 の右のゲートエッジ 711 に沿ってまたは下に注入される。トランジスタ 710 の左のゲートエッジ 712 は、そのゲート構造がイオンビームをブロックするので注入されない。ハ口注入は、ゲートの幅に沿った領域ではなく、ゲートの長さに沿った領域に主に関係するので、この時、トランジスタ 720 に向けられたイオンビームは重要ではない。

【0031】

工程の第 2 ステップにおいて、ワークピースは 90° 時計回りに、例えば、ワークピース表面に垂直なラインの周りに回転される。それ故に、2 つのトランジスタは、図 7b に

示されるように、ワークピース上に現れるであろう。この工程ステップの間、ワークピースがイオンビームに露光されているとき、イオンはトランジスタ720の右のゲートエッジ722に沿って注入される。トランジスタの720の左のゲートエッジ721は注入されない。この時、トランジスタ710に向けられたイオンビームは重要ではない。

【0032】

工程の第3ステップにおいて、ワークピースは再び90°時計回りに回転される。それ故に、2つのトランジスタは、図7cに示されるように、ワークピース上に現れるであろう。この工程ステップの間、ワークピースがイオンビームに露光されているとき、イオンはトランジスタ710の左のゲートエッジ712に沿って注入される。トランジスタの710の右のゲートエッジ711は注入されない。再び、この時、トランジスタ720に向けられたイオンビームは重要ではない。

10

【0033】

最後に、工程の第4ステップにおいて、ワークピースは90°時計回りに回転される。それ故に、2つのトランジスタは、図7dに示されるように、ワークピース上に現れるであろう。この工程ステップの間、ワークピースがイオンビームに露光されているとき、イオンはトランジスタ720の左のゲートエッジ721に沿って注入される。トランジスタの720の右のゲートエッジ722は注入されない。再び、この時、トランジスタ710に向けられたイオンビームは重要ではない。

【0034】

水平に方向付けられたトランジスタ720がステップ2および4の間注入され、一方で垂直に方向付けられたトランジスタ710が工程ステップ1および3の間注入されるということに留意すべきである。

20

【0035】

これら2つの技術の間の違いは重大である。前者の技術において、入射角度は、Y次元(YZ平面)におけるイオンビームの平行性およびワークピース支持体の動きの正確性に基づく。後者の技術において、入射角度は、X次元(XZ平面)におけるイオンビームレットの平行性およびワークピース支持体の動きの正確性に基づく。ワークピース支持体は、両方の軸に等しく正確であるので、エラーの差異は、完全に、入射するイオンビームの特徴に起因する。上述したように、このビームは、XZ平面内で非常に厳格に制御および測定される。しかしながら、Y次元においては制御も測定もされない。それ故に、前者の技術の角度誤差の大きさは、後者の技術のものの何倍にもなりうる。さらにまた、後者の技術は、X次元におけるイオンビームの平行性が既に測定および制御可能であるから、将来の改善を可能とする。それ故に、平行性の改善は、大傾斜注入の角度誤差を減少させることの効果に対応する。

30

【0036】

本発明は、90°の4回転からなる注入のみに限定されるものではない。回転数および回転量は、いずれも換えられることができる。例えば、すべてのトランジスタが単一の方法を有するトポロジは、従来技術において知られている。このトポロジを有するワークピースを用いることで、上述した注入は、各180°の2回転により得ることができる。このシナリオにおいて、2つのワークピースは、図7aに示されるように注入され、全てのトランジスタはトランジスタ710と同じ方向に方向付けられる。ワークピースは、その後、180°回転され、結果として図7cに示される構成をもたらす。全てのトランジスタが同じ方向に方向付けられているので、全てのトランジスタは2つの回転で注入されることができる。

40

【0037】

別の実施形態において、ワークピースのトポロジは、種々のトランジスタが2よりも多い垂直方向に方向付けられるようなものとすることができ、したがって、ワークピースは、4よりも多い方向に注入されなければならない。例えば、ワークピースが、n注入が要求されるよう方向付けられたトランジスタを有する場合、ワークピースは、n回だけ回転されるのが好ましく、各回転は、360/n度である。それ故に、8つの等しい間隔を

50

空けられた方向に方向付けられたトランジスタを有するワークピースは、各 45° の8回転を必要とするであろう。固定された量によってトランジスタの方向を互いからオフセットすることが好ましいとはいえ、それは必要とされない。言い換えれば、6回転が要求される状況において、トランジスタが 0° 、 60° 、 120° 、 180° 、 240° 、 300° および 360° に方向付けられることは好ましい。それ故に、6回転、各 60° は、トランジスタを注入するのに役立つであろう。しかしながら、トランジスタは、 0° 、 30° 、 120° 、 180° 、 210° および 300° のような不規則な間隔で方向付けられ得る。そのような場合、ワークピースの回転の量は、一定ではない。

【0038】

上述した記述は、平面のワークピースを仮定し、かつこのワークピースの表面に垂直な回転軸を使用する。しかしながら、本発明はそれほど限定されない。一部の例では、ワークピースは、平面ではないかもしれないし、または、より大きな関連性の軸とされるかもしれない。この開示は、イオンビームに対するワークピースの注入領域の時計回りまたは反時計回りの動きが含まれることを意味するのに、「回転」という用語を用いる。ワークピースの平坦な表面に垂直な軸の使用が回転の好適な方法であるとはいえ、他の軸も可能である。注入されるべき表面が、イオンビームに対する時計回りまたは反時計回りの動きを経験する限り、この操作は、「回転」と見なされる。「傾斜」という単語は、ワークピースの表面に実質的に平行な軸について、好ましくは、ワークピースの平坦な表面によって規定される平面内にある軸についての動きについて言及する。

【0039】

前述した高い精度の大傾斜注入プロセスを利用することができる追加の工程特性がある。ソースドレイン拡張法は、当業者に知られたプロセスであり、本発明を用いて実行されることができる。図10は、ソースドレイン拡張部を有するトランジスタの側面図を示す。基板1020は、ゲート1010の両側にドーブされ、ソース1030およびドレイン1040を形成する。スペーサ1050は、ゲート1010の両側に形成され、これらソースおよびドレイン領域をゲートから分離する。トランジスタの性能を改善するため、ソースおよび/またはドレイン領域を、ゲート領域1010の近くおよびおそらく下まで拡張することが望まれるであろう。ソース拡張部1060は、ゲート1010の近くまでドーブされたソース領域1030を延ばし、ドレイン拡張部1070は、ゲート1010の近くまでドーブされたドレイン領域1040を延ばす。これら拡張領域の各々は、ここで説明された大傾斜注入を用いて注入されることができる。

【0040】

また、ダブルまたはトリプルゲートトランジスタ(図示せず)のような他のデバイス構造も可能であり、ビーム入射角度の正確な制御が、イオン注入の使用のために重大な許可成分とすることができる。そのようなデバイスは、非平面とすることができる。そのようなデバイスにおいて、大傾斜注入は、デバイスの異なる部分を選択的にドーブするのに必要とされ、そのような注入工程は、それ故にこの発明から恩恵を受ける。

【0041】

加えて、高い正確性の大傾斜注入を要求するが、複数の回転を必要としない特定の工程ステップがある。そのようなステップの一つは、片面埋め込みストラップとして知られ、米国特許第6426526号およびその他において説明される。片面埋め込みストラップは、典型的に、ダイナミックRAM(DRAM)セルの製造において用いられ、高い傾斜角で実行されるべき注入を必要とする。典型的に、トレンチがワークピースに存在し、トレンチの1つの壁にだけ注入される必要がある。ワークピースのトポロジーは、大傾斜角注入とともに、これを可能性にする。図9は、この操作の一例を示す。トレンチ910は、ワークピース900に形成される。大傾斜角を用いるイオンビーム940は、ワークピース900に露光される。トレンチ910のトポロジーは、近くの壁930を影に隠れた状態にし、したがってイオンビーム940には露光されない。しかしながら、遠い壁920は、イオンビームに露光され、したがって注入される。

【0042】

10

20

30

40

50

この工程ステップおよび多くの他のステップを実行するため、そのようなハ口注入は、注入されるべきワークピースの垂直部分がイオンビームに露光されるべき位置にあるよう、ワークピースの方向を合わせるのに必要である。言い換えれば、Y軸についての傾斜を過程すると、遠い壁920は、トレンチ910の左側にあるよう方向付けられなければならない。同様に、上記ハ口注入の記載は、ワークピースが、注入されるべきウェーハの部分がビームに露光されるべき位置にあるよう適切に方向付けられたと仮定した。好適な実施形態において、ワークピースが高い平行度を有するイオンビームの次元に垂直な軸について傾斜されるときに露光されるよう、注入されるべき部分は位置付けられる。この技術の使用は、これら操作の正確に制御された注入角を提供する。

【0043】

本発明の一つの結果は、減少されたビーム利用である。イオン注入器600のスクアナ660は、注入されるべきワークピースの幅よりも大きな幅の走査イオンビームを作り出す。ワークピース支持体の並進運動は、Y次元におけるワークピースの動きに関与し、イオンビームがワークピース全体を走査するようにする。X軸周りの大傾斜旋回は、ワークピースによって要求される機械的動きの範囲を減少させるが、ワークピースの効果的な幅には影響を及ぼさない。

【0044】

本発明は、Y軸の周りにワークピースを旋回させることによって、注入のためにイオンビームに提示されるワークピースの効果的な幅に重大に影響を与えることができる。イオンビームに垂直に提示されるときにワークピースが直径Dを有する場合、効果的な直径 $D \cos(\theta)$ を有するであろう。ここで、 θ は、注入の角度である。所望の注入の角度が、 60° のように大きい場合、ワークピースの効果的な直径は、著しく減少する(例えば、 $D \cos(\theta)$ または $D/2$)。それ故に、イオンビームのエネルギーおよび重要な部分は、幅広のビームがワークピースに影響を与えないため、役に立たない。これを補うため、スクアナに適用される波形は、注入の角度の関数として修正されることができ、それ故に、非常に幅広い走査イオンビームを作り出し、無駄なくワークピースの効果的な幅を走査する。そのような修正は、注入の角度(θ)の関数としての波形の振幅を修正することによって実行されることができる。

【0045】

上記記載が、走査イオンビームがスポットイオンビームから生じるということを表現するものの、本発明は、この実施形態に制限されない。代案としてリボンビームが使用されることができる。米国特許番号5,350,926号は、厳格に制御されたリボンビームを用いるシステムを開示する。リボンビームシステムは、多くの図6で示されたものと同じ構成部品を具える。しかしながら、イオンビームは、リボンの形状で生じるので、種々の構成部品、大部分はとりわけイオンスクアナは、もはや必要とされない。しかしながら、リボンビームシステムは、その幅に沿ったリボンビームの平行性に同様に関係している。それ故に、リボンビームシステムは、まだ、補正磁石または静電並行化レンズのような一種の平行化デバイスを使用する。再び、走査イオンビームに関して記載されたとおり、リボンビームは、典型的に、一つの次元においてより厳格に制御される。リボンビームシステムは、典型的に、XZ平面内の1回分の均一性および平行性を制御し、Y次元と関連するレンズとなる。それ故に、従来のリボンビームシステムは、制御された平行化に関し、走査イオンビームと同様な特徴を有するイオンビームを製造するであろう。

【0046】

本発明は、イオンビームが、一の次元において、他の次元よりも厳格に測定および制御され(すなわち、一の次元が他の次元よりも高い平行度を有する)、これを適切な傾斜軸を決定するのに用いるという事実を利用する。最も従来のイオンビーム注入システムにおいて、ビームは、その幅(X次元またはXZ平面と称される)に沿ってより厳格に制御される。それ故に、好適な傾斜角が、平行性の最も厳格な制御および高い度合いの平面に直交するので、最も正確な角度注入は、Y軸周りのワークピースを傾斜させることによって起こる。しかしながら、本発明は、この実施形態に限定されない。例えば、追加の平行化レン

10

20

30

40

50

ズは、上述したシステムに加えられることができ、Y次元におけるイオンビームの平行性を、X次元におけるイオンビームレットの平行性よりも厳格に制御されたレベルまで改善する。このシナリオにおいて、X軸の周りでワークピースを旋回させることは利点である。それ故に、ワークピースは高い平行度を処理する次元に垂直な軸について傾斜される。

【0047】

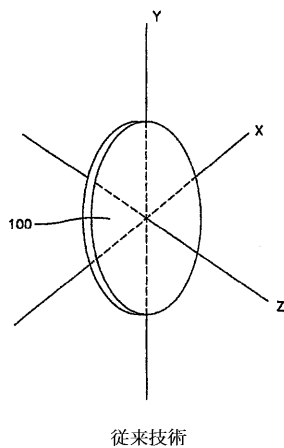
イオンビームが、高い平行度を有する一の次元を有するという事実を利用することによって、種々の注入プロセスの正確性を大きく向上させることが可能である。八口注入および片側埋め込みストラップのような従来のプロセスの状態の多くは、大傾斜角で実行されるべき注入を高い精度で要求する。ワークピースを高い平行度を有する次元に垂直な軸の周りに傾斜させることによって、これらプロセスの角度の正確性は、大きく改善されること

10

【0048】

本発明は、上述した特定の実施形態に関連して説明されたが、当業者であれば多くの変形および修正が可能であるということは明らかである。したがって、この開示で示された実施形態は、例示であって限定されるものではない。種々の実施形態は、本発明の範囲から逸脱することなく想像することができる。

【図1】



【図2a】

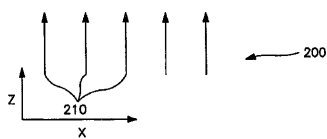


FIG. 2a

【図2b】

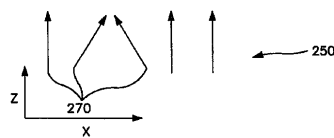
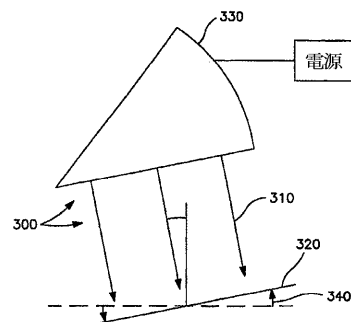


FIG. 2b

【図3】



【図 4】

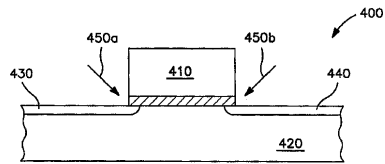
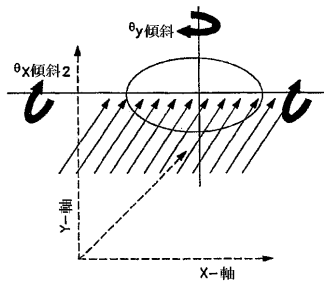


FIG. 4

【図 5】



【図 6】

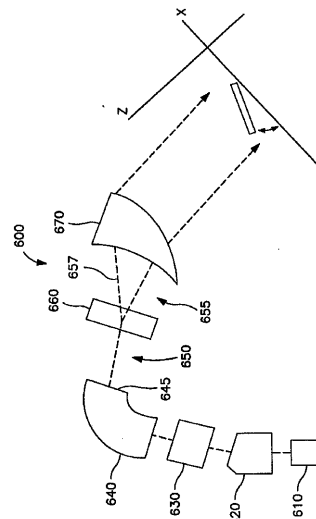


FIG. 6

【図 7 a】

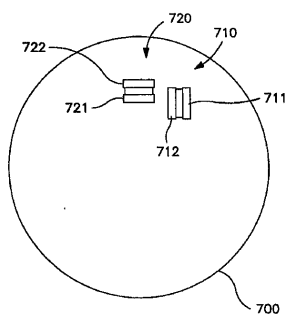


FIG. 7a

【図 7 c】

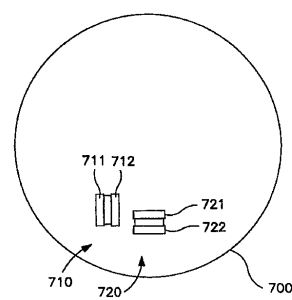


FIG. 7c

【図 7 b】

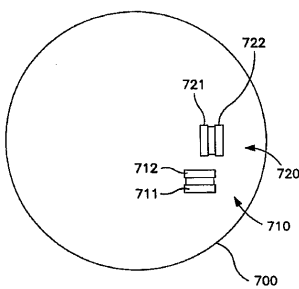


FIG. 7b

【図 7 d】

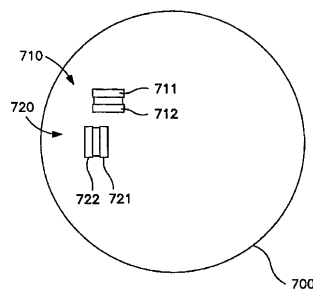


FIG. 7d

【 図 8 a 】

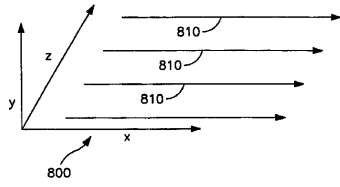


FIG. 8a

【 図 8 b 】

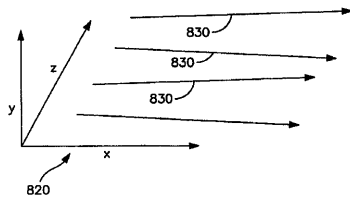


FIG. 8b

【 図 9 】

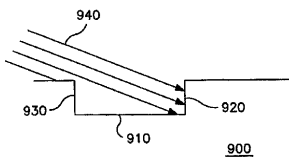


FIG. 9

【 図 1 0 】

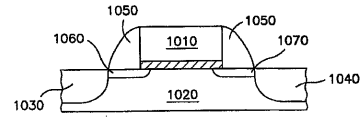


FIG. 10

フロントページの続き

(72)発明者 アトゥル ガプタ

アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 01930 グローチェスター ドリー ロード 35

(72)発明者 ジョセフ シー オルソン

アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 01930 グローチェスター ドリー ロード 35

審査官 桐畑 幸 廣

(56)参考文献 特表2004-511880(JP,A)

特表2005-533353(JP,A)

特開昭62-145729(JP,A)

実開平05-053116(JP,U)

特開2007-258365(JP,A)

特開平11-284150(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01J 37/317

H01L 21/265