

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2016-526254

(P2016-526254A)

(43) 公表日 平成28年9月1日(2016.9.1)

(51) Int.Cl.

H01J 37/317 (2006.01)
H01L 21/265 (2006.01)

F 1

H01J 37/317
H01L 21/265
H01L 21/265

テーマコード(参考)

5C034

C

603Z

T

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2016-512064 (P2016-512064)
 (86) (22) 出願日 平成26年5月2日 (2014.5.2)
 (85) 翻訳文提出日 平成27年12月25日 (2015.12.25)
 (86) 國際出願番号 PCT/US2014/036551
 (87) 國際公開番号 WO2014/179674
 (87) 國際公開日 平成26年11月6日 (2014.11.6)
 (31) 優先権主張番号 61/819,080
 (32) 優先日 平成25年5月3日 (2013.5.3)
 (33) 優先権主張国 米国(US)
 (31) 優先権主張番号 14/037,218
 (32) 優先日 平成25年9月25日 (2013.9.25)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(71) 出願人 500239188
 ヴァリアン セミコンダクター イクリップメント アソシエイツ 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 01930 グローチェスター ドリー ロード 35
 (74) 代理人 100147485
 弁理士 杉村 憲司
 (74) 代理人 100153017
 弁理士 大倉 昭人
 (74) 代理人 100202326
 弁理士 橋本 大佑

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】イオン注入均一性を制御するための装置及び技術

(57) 【要約】

イオン注入機のイオンビームを制御するシステムは、イオンビームの伝搬方向に垂直な第1の方向に沿って、イオンビームの複数のビーム電流測定を実行する検出器を有する。システムはまた、複数のビーム電流測定に基づいて、第1の方向に沿ったビーム電流の変化を含むビーム電流分布を決定する分析部と、ビーム電流分布がイオンビームの高さが閾値を下回ることを示す場合、第1の方向に沿った高さを調整する調整部と、を有する。

【選択図】図1A

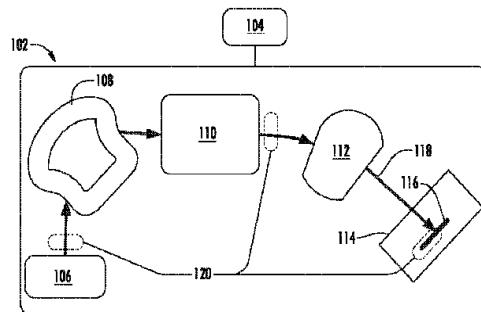


FIG. 1A

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

イオンビームの伝搬方向に垂直な第1の方向に沿って、前記イオンビームの複数のビーム電流測定を実行する検出器と、

前記複数のビーム電流測定に基づいて、前記第1の方向に沿ったビーム電流の変化を含むビーム電流分布を決定する分析部と、

前記ビーム電流分布が前記イオンビームの高さが閾値を下回ることを示す場合、前記第1の方向に沿った前記高さを調整する調整部と、を備える、

イオン注入機のイオンビームを制御するシステム。

【請求項 2】

前記検出器は、前記第1の方向に沿った異なる複数の点それぞれに対して、前記複数のビーム電流測定を同時に記録するマルチ画素検出器からなる、

請求項1に記載のシステム。

【請求項 3】

前記分析部は、前記ビーム電流分布の勾配が過大なビーム電流密度を示す勾配閾値を超えたかどうかを決定する、

請求項1に記載のシステム。

【請求項 4】

超えたと決定された場合、前記調整部は、前記イオンビームをデフォーカスする、

請求項3に記載のシステム。

【請求項 5】

前記分析部は、所定数のビーム調整ループ後にホットスポットの存在が認められる場合、イオン注入過程を終了し、

各ビーム調整ループは、ビーム高さがビーム高さ閾値を下回ると決定するステップと、前記ビーム高さに基づいて前記イオン注入機のパラメータを調整するための信号を送信するステップと、を含む、

請求項3に記載のシステム。

【請求項 6】

前記イオンビームにさらされている間、前記第1の方向に沿って基板を走査する基板スキャナーをさらに備え、

前記分析部は、前記基板スキャナーの走査速度及びステップサイズに基づいて前記閾値を決定する、

請求項1に記載のシステム。

【請求項 7】

イオンビームを発生するイオン源と、

前記イオンビームの伝搬方向に垂直な第1の方向に沿って、前記イオンビームの複数のイオンビーム電流測定を実行する検出器と、

命令を備える少なくとも1つのコンピュータ可読記憶媒体を有するコントローラと、を備え、

前記命令が実行された場合、前記コントローラは、

前記複数のイオンビーム電流測定に基づいて、前記第1の方向に沿ったイオンビーム電流の変化を含むビーム電流分布を決定し、

前記ビーム電流分布に基づいて前記第1の方向に沿ったビーム高さを計算し、

前記計算されたビーム高さが閾値を下回る場合、パラメータ調整を実行するための命令を送信して、前記第1の方向に沿った前記ビーム高さを増大させる、

イオン注入機。

【請求項 8】

前記検出器は、前記第1の方向に沿った異なる複数の点それぞれに対して、複数のビーム電流測定を同時に記録するマルチ画素検出器からなる、

請求項7に記載のイオン注入機。

10

20

30

40

50

【請求項 9】

前記少なくとも1つのコンピュータ可読記憶媒体は命令を備え、前記命令が実行された場合、前記コントローラは、前記ビーム電流分布に基づいてイオンビームのホットスポットを特定する。

請求項7に記載のイオン注入機。

【請求項 10】

前記少なくとも1つのコンピュータ可読記憶媒体は命令を備え、前記命令が実行された場合、前記コントローラは、ホットスポットが認められる場合に、前記イオンビームをデフォーカスするための命令を送信する。

請求項9に記載のイオン注入機。

10

【請求項 11】

前記少なくとも1つのコンピュータ可読記憶媒体は命令を備え、前記命令が実行された場合、前記コントローラは、所定数のビーム調整ループ後にホットスポットが認められる場合に、イオン注入過程を終了し、

各ビーム調整ループは、ビーム高さがビーム高さ閾値を下回ると決定するステップと、決定された前記ビーム高さに基づいて前記イオン注入機のパラメータを調整するための信号を送信するステップと、を含む、

請求項9に記載のイオン注入機。

【請求項 12】

前記イオンビームにさらされている間、前記第1の方向に沿って基板を走査する基板スキャナーをさらに備え、

前記少なくとも1つのコンピュータ可読記憶媒体は命令を備え、前記命令が実行された場合、前記コントローラは、前記基板スキャナーの走査速度及びステップサイズに基づいて前記閾値を決定する、

請求項9に記載のイオン注入機。

20

【請求項 13】

イオンビームの伝搬方向に垂直な第1の方向に沿って、前記イオンビームの複数のイオンビーム電流測定を実行する検出器と、

命令を備える少なくとも1つのコンピュータ可読記憶媒体を有するコントローラと、を備え、

30

前記命令が実行された場合、前記コントローラは、

前記複数のイオンビーム電流測定に基づいて、前記第1の方向に沿ったイオンビーム電流の変化を含むビーム電流分布を決定し、

前記ビーム電流分布に基づいて、前記第1の方向に沿った位置の関数としてのイオン電流の変化を含むイオン電流勾配を計算し、

前記イオン電流勾配が閾値を上回る場合、イオン注入機のパラメータを動的に調整するステップを含む、ビーム調整を実行するための命令を送信する、

イオン注入機。

【請求項 14】

前記検出器は、前記第1の方向に沿った異なる複数の点それぞれに対して、複数のビーム電流測定を同時に記録するマルチ画素検出器からなる、

40

請求項13に記載のイオン注入機。

【請求項 15】

前記少なくとも1つのコンピュータ可読記憶媒体は命令を備え、前記命令が実行された場合、前記コントローラは、前記イオン電流勾配が閾値を上回る場合に、前記イオンビームをデフォーカスするための信号を送信する、

請求項13に記載のイオン注入機。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

50

本出願は、2013年5月3日に出願された米国特許仮出願61/819,080の優先権を主張するものである。

【0002】

本発明は、イオン注入装置、より具体的には、イオン注入装置におけるイオンビームの均一性制御に関する。

【背景技術】

【0003】

半導体エレクトロニクス、太陽電池、及び他のテクノロジーにおける現代の製造は、シリコン及び他の種類の基板をドーピング又は他の改良を行うために、イオン注入機システムに依存している。典型的なイオン注入機システムは、イオンビームを発生し基板にそれを導くことでドーピングを行い、イオンはその表面下で停止する。多くの応用では、スポットビーム又はリボンビームのような、定まった形状及びイオンビーム面積を有するイオンビームが、基板にわたって走査され、イオンビーム領域よりも広範な基板領域に種を注入する。あるいは、基板が、静的ビームに対して走査され、又は、基板とビームの両方が互いに対しても走査される。これらの任意の状況における多くの応用では、基板がその大部分にわたり均一に注入される必要がある。

【0004】

イオンビームがもたらす1つのタイプの不均一性は、「マイクロ不均一性 (micrononuniformity)」と名付けられ、基板上のイオンドーズ量を変化させる規則的なパターンとして現れる。そのようなパターンは、例えば、基板を特定の方向に走査する時に観測されるイオンドーズ量の変化のストライプとして現れる。他の不均一性は、「ホットスポット」のようなイオンビーム内のビーム電流密度の急な変化にも関連付けられる、イオンビーム特性の高頻度な変動に起因する。典型的には、そのような不均一性は基板が加工される後まで検出されない。さらに、所定の応用の要求によっては、コンマ数パーセントかさらに低いイオンドーズ量の不均一性でさえも容認できない。従って、未検出のマイクロ不均一性によって、使用不可能な製品を意図せず製造する可能性がある。本改良が必要とされるのは、これら及び他の検討に関してである。

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0005】

実施形態は、イオンビームを制御するための装置及び方法に関する。1つの実施形態では、イオン注入機のイオンビームを制御するシステムは、イオンビームの伝搬方向に垂直な第1の方向に沿って、前記イオンビームの複数のビーム電流測定を実行する検出器を有する。前記システムはまた、前記複数のビーム電流測定に基づいて、前記第1の方向に沿ったビーム電流の変化を含むビーム電流分布を決定する分析部と、前記ビーム電流分布が前記イオンビームの高さが閾値を下回ることを示す場合、前記第1の方向に沿った前記高さを調整する調整部と、を有する。

【0006】

他の実施形態では、イオン注入機は、イオンビームを発生するイオン源と、前記イオンビームの伝搬方向に垂直な第1の方向に沿って、前記イオンビームの複数のイオンビーム電流測定を実行する検出器と、を有する。前記イオン注入機はまた、命令を備える少なくとも1つのコンピュータ可読記憶媒体を有するコントローラも有し、前記命令が実行された場合、前記コントローラは、前記複数のイオンビーム電流測定に基づいて、前記第1の方向に沿ったイオンビーム電流の変化を含むビーム電流分布を決定し、前記ビーム電流分布に基づいて前記第1の方向に沿ったビーム高さを計算し、前記計算されたビーム高さが閾値を下回る場合、パラメータ調整を実行するための命令を送信して、前記第1の方向に沿った前記イオンビーム高さを増大させる。

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図1A】例示的なイオン注入機を示す。

10

20

30

40

50

【図1B】例示的な制御システムを示す。

【図2】第1の組のイオンビーム条件による基板加工の結果を示す平面図である。

【図3A】イオンビームの進行方向に一般的には垂直な第1の方向に沿って、第1の組の条件により生成されるイオンビームの例示的なビーム電流分布を示す。

【図3B】第1の方向に垂直で、かつ、イオンビームの進行方向に一般的には垂直な第2の方向に沿った、図3Aのイオンビームの例示的なビーム電流分布を示す。

【図4A】イオンビームの進行方向に一般的には垂直な第1の方向に沿って、第2の組の条件により生成されるイオンビームの例示的なビーム電流分布を示す。

【図4B】第1の方向に垂直で、かつ、イオンビームの進行方向に一般的には垂直な第2の方向に沿った、図4Aのイオンビームの例示的なビーム電流分布を示す。 10

【図5A】イオンビーム及び例示的なビーム電流検出器の平面図を示す。

【図5B】図5Aのビーム電流検出器の1つの変形を示す平面図である。

【図6】第1の例示的なロジックフローを示す。

【図7】第2の例示的なロジックフローを示す。

【発明を実施するための形態】

【0008】

ここで述べる実施形態は、イオン注入機でイオンビームを処理又は制御するための装置を提供する。イオン注入機の例は、ビームラインイオン注入機を含む。本実施形態に含まれるイオン注入機は、円又は橢円の一般的な形状を有する断面となる「スポットイオンビーム」を発生するイオン注入機及び細長い断面を有する「リボンイオンビーム」又は「リボンビーム」を発生するイオン注入機を含む。当業者は、スポットビームの断面形状が、不規則な形状も有することを容易に認識できる。本実施形態では、システムは、イオン注入システム（イオン注入機）のイオンビーム均一性を動的に制御するために提供される。システム（ここでは、「制御システム」ともいう）は、イオンビームのイオンビーム電流を測定又はサンプルするために用いる検出器（又は検出システム）と、サンプルされたイオンビーム電流に基づいてイオンビームの不均一性を決定する分析部と、決定された不均一性によりイオン注入機のパラメータを調整する調整部とを有する。イオン注入機に対する調整は、動的な手法で実行される。すなわち、イオンビームがイオン注入機を通じて導かれ、測定される間、イオンビーム特性を制御するパラメータは、動的に調整される。この過程は、不均一性が閾値を下回ったことをサンプルされたイオンビーム電流が示すまで、イオン注入装置のパラメータの調整を通じてイオンビーム特性を調整するよう繰り返し試みる閉ループで実行される。 20

【0009】

従って、本実施形態は、半導体ウエハのような基板に生成されるマイクロ不均一性に対する潜在的な原因をリアルタイムに検出する。これにより、基板加工の完了後にマイクロ不均一性を検出するのみの現在のアプローチよりも利点があり、この利点は、完全なデバイスが一束以上の基板で製造された後か、又は注入過程が完了して拡張オフライン測定が行われた後にもたらされる。基板のマイクロ不均一性パターンを生成する要因である、イオン注入機内の条件をリアルタイムに検出することは、イオンビームを調整又は「チューニング」するための自動閉ループ制御を容易にする。これは、より最適なセットアップ過程及び／又は性能をもたらし、イオン注入機の様々なハードウェア部を用いて、予防保全操作後の不適当な再構築を含む問題を容易に検出する。 30

【0010】

図1Aは、本実施形態に沿って、ビームラインイオン注入機のハードウェア又は構成部を動的に調整するために使用する、ビームラインイオン注入機102及び制御システム104のアーキテクチャ100を示す。ビームラインイオン注入機102は、イオン源106、磁気アナライザ108、コレクターマグネット112、及び基板ステージ114を含む様々な従来の構成部を有する。様々な実施形態では、ビームラインイオン注入機102は、スポットタイプイオンビーム又はリボンビームのようなイオンビーム118を発生させる。ビームラインイオン注入機102は、イオン源106から基板116まで伝搬す 40

る間に、イオンビーム 118 を整形、フォーカス、加速、減速、及び曲げができる、様々に付加的なビーム加工部を有する。例えば、静電スキャナー 110 は、基板 116 に対してイオンビーム 118 を走査するために提供される。

【0011】

ビームラインイオン注入機 102 は、いくつかの実施形態ではファラデー検出器である、1つ以上のビーム電流検出器 120 も有する。検出器 120 は、ビームラインイオン注入機 102 内の様々な位置に配置され、様々な実施形態では静的又は可動的である。ある注入機光学要素に電力を供給する基幹電源の電流出力もモニターされる。すなわち、電源は、「検出器」としての役割も果たす。図 1B でさらに示すとおり、検出器 120 は、制御システム 104 の一部を形成し、ビームラインイオン注入機 102 の1つ以上のパラメータを動的に調整してイオンビーム 118 の変動を低減する。調整されたパラメータは、図 1A に示した構成部に加えて、フォーカス要素、イオンビームレンズ、可動アーチャー、ビームステアリング部のような任意のイオンビーム加工要素を含むビームラインイオン注入機 102 の1つ以上の構成部と関連付けられる。実施形態は、この面に限定されない。

10

【0012】

ここで、図 1B に移って、様々な実施形態に沿った制御システム 104 の詳細を示す。以下で詳説するとおり、制御システムは一般的に検出器を有し、検出器は、それぞれ1つ以上の段階でイオンビームのビーム電流測定を1回以上実行するよう構成される。制御システムは、1回以上のビーム電流測定に基づいてイオンビームの特性を決定するために用いる分析部も有する。制御システムは、イオン注入機のパラメータを調整する調整部も有し、イオンビームの特性の変動によって生成される不均一性を低減する。様々な実施形態では、制御システムは、例えば、分析部の結果に基づいてイオンビームのビームサイズを増大させるようにパラメータを調整する。これは、一般的に未検出となるイオンビームの高頻度な変動の効果を避けるために特に有用である。そのような高頻度な変動は、10 kHz 又はそれよりも高い周波数で起き、特に、イオンビームサイズが閾値を下回り、及び / 又は、イオンビーム電流の勾配が他の閾値よりも大きいという状況で、基板にわたって注入ドーズ量の不均一性を誘起する。制御システム 104、特に、分析部及びビーム調整部は、イオンビームがイオン注入装置で発生する間、イオンビームの変動を動的に低減するよう構成される。特に、第 1 の方向に沿ったイオンビーム電流のビーム高さ及び / 又は勾配の動的な調整が、イオンドーズ量の不均一性を低減するように実行され、実行されない場合、基板が第 1 の方向、すなわち、ビーム高さの方向に沿って走査される時に、不均一性が生じる。

20

【0013】

示した実施形態では、制御システム 104 は、イオンビーム 118 のビーム部分 118A を受信してイオンビーム電流及びイオンビーム電流の変動を測定及び決定し、イオンビーム電流の決定された変動に基づいて適切にビームラインイオン注入機 102 のパラメータを調整するように構成される。制御システム 104 は、1つ以上の検出器 120、分析部 124、及び調整部 126 を有する。様々な実施形態では、検出器 120 によって受信されるビーム部分 118A は、全イオンビーム 118 であるか、又は全イオンビーム 118 に満たない一部のみである。

30

【0014】

制御システム 104 及びその中の構成部は、様々なハードウェア要素、ソフトウェア要素、又は両方の組合せを備える。ハードウェア要素の例は、デバイス、構成部、プロセッサ、マイクロプロセッサ、マイクロコントローラ、回路、回路素子（例えば、トランジスタ、抵抗、コンデンサー、インダクタなど）、集積回路、特定用途向け集積回路（application specific integrated circuits (ASIC)）、プログラマブルロジックデバイス（programmable logic devices (PLD)）、デジタル信号プロセッサ（digital signal processors (DSP)）、フィールドプログラマブルゲートアレイ（field programmable gate array (FPGA)）、メモリ部、ロジックゲート、レジスタ、半導体デバイス、チップ、マイクロチ

40

50

ップ、チップセットなどを含む。ソフトウェア要素の例は、ソフトウェア部、プログラム、アプリケーション、コンピュータプログラム、アプリケーションプログラム、システムプログラム、マシンプログラム、オペレーティングシステムソフトウェア、ミドルウェア、ファームウェア、ソフトウェアモジュール、ルーチン、サブルーチン、関数、メソッド、プロセッサー、ソフトウェアインターフェース、アプリケーションプログラムインターフェース (application program interfaces (API))、命令セット、計算コード、コンピュータコード、コードセグメント、コンピュータコードセグメント、ワード、数値、符号、又はそれらの任意の組合せを有する。実施形態がハードウェア要素及び/又はソフトウェア要素を用いて実装されるか否かの決定は、所定の実装に対して要求される、所望の計算レート、電力レベル、耐熱性、処理サイクルへの割当量、入力データレート、出力データレート、メモリ資源、データバス速度、及び他の設計又は性能の制約のようないくつもの要因に従って変化する。

10

【0015】

以下の議論において、特定の方向に沿ったイオンビーム「高さ」及び「ビーム電流分布」と呼ばれる当該方向に沿った位置の関数としてのビーム電流の変化を検出するための様々な実施形態を開示する。これらの特性の測定は、イオン注入パラメータの調整を実行すべき時を決定するために用いられる。

20

【0016】

いくつかの例では、イオンビームのビーム電流は連続的に測定され、イオンビームからのビーム電流データは、連続的、断続的、又は周期的な方法で分析される。

【0017】

以下でさらに詳述するとおり、制御システム 104 により、リアルタイムにイオンビーム変動を低減することができ、基板加工中のイオンビーム変動に起因する、基板にわたるイオンドーズ量のマイクロ不均一性のような潜在的な問題を防ぐか迅速に排除することができる。特に、様々な実施形態では、制御システム 104 は、ビームサイズ、ビーム形、及び数千 Hz よりも高い周波数の高頻度な変動を含むビーム特性の変動に関連するイオンビームのビーム電流の変動を特定し、低減又は排除するよう動作する。

30

【0018】

図 2 は、イオンビーム 202 の進行方向の下流に見える基板 116 のイオン注入の平面図を示す。この見方では、イオンビーム 202 は、断面によって示すとおりスポットビームの形状を有し、任意の所定の段階で基板 116 に衝突する。イオンビーム 202 は、図 2 に示すとおり、一般的に基板の左から右まで前後に走査される。いくつかのケースでは、走査は、示したデカルト座標系の X 軸（「X 方向」ともいう）に平行な方向で実行される。しかしながら、他の走査パターンも可能である。同時に、基板 116 は、Y 軸に平行な方向に沿って、基板ステージ 114 によって駆動される。一般的に右から左又はその逆のイオンビームの走査は、Y 方向に沿った基板ステージの移動と合わせられ、イオンビーム 202 を基板 116 全体又は基板 116 の所望の大きさ部分に注入できる。Z 方向は、基板 116 でのイオンビーム 202 の伝搬方向を表す。

【0019】

図 2 にさらに示すとおり、イオンビーム 202 は、Y 軸に平行な方向に沿ったビーム高さ H_B 及び X 軸に平行な方向に沿ったビーム幅 W_B によって特徴付けられる。従って、一般的にビーム高さ H_B は、基板移動の方向に平行な方向のイオンビーム 202 の広がりとなる。基板 116 が Y 軸に平行な方向に沿って駆動される一方で、イオンビーム 202 が X 軸に平行な方向に沿って走査される場合、イオンビーム 202 は、ゾーン 204、206 のような一連の注入ゾーンを生成し、これらは基板 116 への均一なイオンの注入をもたらすための設計パターンに従って重なる。

40

【0020】

図 3A 及び 3B は、イオンビーム電流の変動、すなわち、イオンビーム 202 のビーム電流分布 203 を示す。図 3A 及び 3B は、X 及び Y 方向の位置の関数としてビーム電流 (I) をプロットし、イオンビーム 202 の特性のさらなる詳細を提供する。図示したと

50

おり、位置の関数としてのイオンビーム電流は、一般的に、2つの互いに垂直な方向でガウシアン型となる。パラメータビーム幅 W_B 、ビーム高さ H_B は、所定の電流レベル300を超えるイオンビーム202のサイズに基づいて定義される。均一なイオン注入のパターンを生成するためには、ビーム幅 W_B 、ビーム高さ H_B の制御を含む、イオンビーム118の形状及びサイズの制御が重要である。例えば、位置の関数としての電流 I の値の変化は、ゆるやかであることが理想的である。

【0021】

イオンビーム202は、基板116に向かって伝搬する時に、複数の異なるビームライン部に左右されるので、イオンビーム202は、イオン注入機の構成部が最初に作動する時に、ビーム特性を所望の特性から変化又は逸脱させる様々な外乱を受ける。特に、ビームサイズ及びビーム電流分布は、所望のサイズ及びビーム電流分布から変動し、外れる可能性がある。図4A及び4Bは、他のビーム電流分布を示し、イオンビーム202と異なる特性を有する他のイオンビームに対するX及びY方向の位置の関数としてイオンビーム電流(I)をプロットする。図示したとおり、イオンビーム電流分布402、406は、X及びY方向のそれぞれで非ガウシアン型となり、イオンビーム202の対応する W_B 及び H_B とは異なるビーム幅 W_{B2} 、ビーム高さ H_{B2} の値を示す。図4Bに示した特定の例では、 H_{B2} は H_B よりも小さく、均一なイオン注入を達成するために要求される値よりも小さい。さらに、Y方向に沿った位置の関数としての I の変化によって表したビーム電流密度分布は、要求されるよりも大きな傾斜を示す。例えば、イオンビームの中心領域では、鋭いピーク電流がはっきりと表れ、その中心領域について、電流はY方向に沿った位置の変化とともに急速に減少する。同様の特性は、図4Aに示すとおり、X方向でははっきりと表れる。ビーム電流密度分布のこのタイプの鋭い勾配は、基板116がY方向に沿って移動する一方で、イオンビームがX方向に沿って前後に走査される場合に、均一なイオン注入を維持することに対して特に問題となる。

10

20

30

40

【0022】

特に、分布を図4A及び4Bに示したイオンビームの特徴は、領域404のような「ホットスポット」の特性となり、ビーム電流は位置の関数として急速に変化し、単位面積あたりのビーム電流密度は、過大であるか所望の値よりも大きい。そのようなビームが基板にわたって走査される場合、注入される基板の全面積にわたって均一なイオンドーズ量を提供することが困難であるか不可能である。これは、リアルタイムに検出できないことが典型的であるイオンビーム特性の高頻度な変動のケースで特に問題となる。

【0023】

本実施形態に従うと、検出システム及び技術は、ビーム高さ及び/又はホットスポット問題が生じる時をトリガーとして、イオンビームの閉ループ調整を実行するよう提供され、注入ドーズ量の不均一性を低減又は排除する。図5Aは、例示的な検出器500及び検出器によって測定されるイオンビーム502の平面図を示す。このケースでは、イオンビーム502は、(示していない)基板に向けて下流に見た断面内で示される。異なる実装では、検出器500は、イオンビーム502の全て又は全イオンビームに満たない一部のイオンビーム502を受けるよう配置される。図5Aに示すとおり、イオンビーム502は、一般的に上述したようなスポットビームである。例えば、イオンビーム502は、X軸に平行な方向に沿って前後にラスター化する。基板ステージは、Y軸に平行な方向に沿ってイオンビーム502に対して基板を移動させる。基板内で均一な注入ドーズ量を保証するために、検出器500は、(図5Aに H_3 で表した)ビーム高さ及びビーム電流密度勾配を含むイオンビーム502のパラメータを測定するよう構成される。

【0024】

様々な実施形態では、検出器500は、同時に複数のイオンビーム電流測定を実行するように構成される。例えば、検出器500は、個々の電流測定をイオンビームに沿った異なる複数の点で実行する、マルチ画素のプロファイラーとして構成される。1つの例では、説明の目的で、電流は、Y軸に平行な方向、又はこの例の「ビーム高さ」方向に沿って異なる位置に分布する一連のポイントP1からP6で個々に検出される。従って、所定の

50

段階で、又は所定の間隔で、一連の 6 つの異なるイオンビーム電流測定が、異なる位置 P 1 から P 6 に対応して行われる。このタイプの測定はビーム電流分布を生成し、Y 軸に沿った異なる位置に対するイオン電流を記録する。そのような測定は、イオン注入機パラメータの調整がイオンビーム特性を調整するために実行されるべきか否かを決定するため、ビーム高さ (H_3) の情報及びイオンビーム電流密度勾配の情報を抽出する用いられる。もちろん、他の実装では、多くのより分離したビーム電流測定が所定の方向に沿って行われ、ビーム高さ決定の精度を改善する。

【 0 0 2 5 】

図 5 B は、検出器 500 の 1 つの変形を示し、検出器画素 508 の 2 次元アレイが、イオンビーム 502 の細かい部分を受けるよう各々配置される。1 つの実装では、個々のビーム電流は、示した個々の領域 512 - 522 内でサンプルされ、その各々が、複数の画素によりビーム電流を記録する。各領域 512 - 522 は、上述したポイント P 1 - P 6 のような、Y 軸に関する様々な座標に対応する。この手法では、Y 軸に沿ったビーム電流プロファイリングは、イオンビーム 502 の全断面にわたってサンプルするように実行される。さらなる実施形態では、所望の方向に沿ったビーム高さ及び / 又はビーム電流分布を測定するための他の既知の検出器構成が可能である。

10

【 0 0 2 6 】

本実施形態に沿って、ビーム高さ及び / 又はビーム電流分布情報がひとたび収集されると、イオンビーム特性は、閉ループチューニング過程で調整される。例えば、検出器 500 は、図 1 A の検出器 120 の 1 つ以上の位置に配置される。検出器 500 の位置に依存して、分析部 124 は、調整部 126 によって変わるイオン注入機の適切なパラメータを決定する。例えば、調整部 126 がコントローラに含まれるような実施形態では、コントローラは、様々な構成部、可動アパーチャーなどの電源を有する複数のビームライン部に結合される。

20

【 0 0 2 7 】

コントローラは、選択されたパラメータで付加的に事前構成される。当該パラメータは様々な構成部で調整され、必要に応じてイオンビーム高さを増大させ、かつ、ホットスポットの存在を低減するよう試みる。1 つの例では、調整部 126 は、制御信号を送信するよう設計された制御ソフトウェアを有する。当該制御信号により、イオン注入機の選択された 1 つ以上のパラメータを再チューニングして、イオンビーム高さの閾値を超えてビーム高さを増大させる。このように、いくつかの実施形態では、調整部及び / 又は分析部は、検出器 500 の位置に基づいて調整される適切なハードウェア / パラメータの決定を実行する。同様に、制御ソフトウェアは、イオン注入機の選択された 1 つ以上のパラメータを再チューニングして、ホットスポットを減少させるための制御信号を送信するよう設計される。これにより、Y 方向に沿ったビーム電流勾配、すなわち、Y 方向に沿ったビーム電流の変化の割合を低減する。例えば、検出器 500 がフォーカス要素の下流に位置する場合、制御信号は調整部によって送信され、パラメータを調整するようフォーカス要素を導き、ホットスポットが定められた場合にイオンビームをデフォーカスする。いくつかの実施形態では、複数の制御信号は、複数の異なるイオン注入機構成部の各パラメータを調整するために送信される。この複数の制御信号は、異なる実装の異なるイオン注入機構成部に、繰り返し又は平行して送信される。

30

【 0 0 2 8 】

イオンビーム電流の検出、イオンビーム特性の分析、及びイオン注入機パラメータの調整は、イオンビーム特性が容認できる範囲内となるまで、一連のビーム調整閉ループで実行される。1 つの例では、各ビーム調整ループは、検出されたイオンビームのビーム高さが閾値を下回ると決定するステップと、検出されたビーム高さに基づいてイオン注入機の 1 つ以上のパラメータを調整するための信号を送信するステップとを含む。他の例では、各ビーム調整ループは、所定の方向に沿った位置の関数として検出されたビーム電流の変化（ビーム電流勾配）が非常に大きいように決定するステップと、その後続く、検出されたビーム電流勾配に基づいてイオン注入機の 1 つ以上のパラメータを調整するための信号

40

50

を送信するステップとを含む。例えば、フォーカス電極に印加する電圧を調整して、調整したソースマニピュレータのZギャップについて磁気四重極レンズの強度を変え、ビームラインで磁気四重極レンズの強度を調整して、ビーム電流分布を調整する。

【0029】

様々な実施形態では、ホットスポット、又はビーム高さが閾値を下回ることを検出した後、多くのビーム調整ループは、イオンビーム特性を調整するために実行される。いくつかの実施形態では、制御システム104のような制御システムは、例えば、イオンビーム高さが非常に小さいか、又はホットスポットが存続する場合に、所定数のビーム調整ループが実行された後、イオンビーム加工を終了するよう構成される。これは、イオン注入装置が、許容できる範囲内にイオンビーム電流変動をもたらす構成部を自動的に修正することができず、手動による介入が必要であるという、操作者に対する合図となる。1つの特定の実装では、所定数のビーム調整ループ後に、続けて実行されるイオンビーム測定が、選択された1つ以上のパラメータの再チューニングがイオンビーム特性を所望のとおりに改善していないことを示す場合、制御システム104は、イオンビームがウエハステージに入射できないように構成される。例えば、制御システム104は、検出した1つ以上のビーム問題に対する原因が特定され、他の方法によって修正されるまで、ウエハ加工を停止できるインターロックに制御信号を送信する。

10

【0030】

開示したアーキテクチャの新規な態様を実行するための例示的な方法論を代表する1組のフローチャートをここに含める。説明の簡略化のために、ここで示した1つ以上的方法論を、例えば、フローチャート又はフロー図の形式で、一連の動作として図示及び記載するが、方法論は動作の順序に限定されず、いくつかの動作は、これに従って、ここで図示及び記載したものとは異なる順序で生じ、及び／又はここで図示及び記載したもの以外の動作と同時に生じるものと理解及び認識すべきである。例えば、当業者は、あるいは状態図のような相互に関係のある一連の状態又はイベントとして方法論を表わすこともできるということを理解及び認識するであろう。さらに、方法論で示した全ての動作が、新規の実装に対して要求されるわけではない。

20

【0031】

図6は、ビーム電流均一性の制御に対する第1の例示的なフロー600を示す。ブロック602でフローが開始する。ブロック604では、ビーム高さ測定が実行される。ブロック606では、電流密度勾配計算が、検出したイオンビームに対して実行される。電流密度勾配計算は、ビーム高さを決定するために用いる方向と同一の方向に沿って検出したビーム電流に基づく。ブロック608では、任意のホットスポットが検出されるか否かに関する決定を行う。ホットスポットは、閾値を超えた過度な密度勾配に対応する。ホットスポットが検出されない場合、フローはブロック614に進み、イオン注入が現在のイオン注入機パラメータを用いて実行される。ブロック608でホットスポットが検出される場合、フローはブロック610に進む。

30

【0032】

ブロック610では、ビーム調整試行回数が限度を超えたか否かに関する決定を行う。超えていれば、フローはブロック616に進み、イオン注入過程が停止する。限度を超えていない場合、フローはブロック612に進み、イオン注入装置の1つ以上の選択パラメータの調整が実行される。その後、フローは、ブロック604に戻る。

40

【0033】

図7は、ビーム電流均一性の制御に対する第二の例示的なフロー700を示す。ブロック702では、初期パラメータがイオン注入装置のイオンビームを発生させるために設定される。ブロック704では、イオンビームで注入される基板を走査するための基板ステージに対して、走査速度及びステップ高さパラメータを受信する。ブロック706では、ビーム高さ閾値が、受信した走査速度及びステップ高さパラメータに基づいて基板に対して決定される。ブロック708では、イオンビーム電流の複数の測定が、第1の方向に沿った複数のポイントで実行される。ブロック710では、実験的なビーム高さが、複数の

50

測定に基づいて計算される。

【0034】

ブロック710の後、フローはブロック712に進み、実験的なビーム高さがビーム高さ閾値を下回るか否かに関する決定を行う。下回らない場合、フローはブロック718に進み、イオン注入が現在のパラメータを用いて実行される。下回らない場合、フローは、ブロック714に進み、ビーム調整試行回数が限度を超えたか否かに関する決定を行う。超えていれば、フローはブロック720に進み、イオン注入過程が停止する。超えていない場合、フローはブロック716に進み、イオン注入装置の1つ以上の選択パラメータの調整が実行され、ビーム高さが増大する。その後、フローは、ブロック708に戻る。

【0035】

本開示は、ここで記載した所定の実施形態による範囲に限定されるべきではない。事実、ここで述べた実施形態に加えて、本開示の他の様々な実施形態及び本開示に対する修正が、先の記載及び付随した図面から当業者にとって明白であろう。従って、そのような他の実施形態及び修正は、本開示の範囲内にあるものとする。さらに、特定の目的のために、特定の環境で、特定の実装という面で、本開示をここで述べたが、当業者は、その有用性がこれに限定されず、本開示がいくつもの目的のために、いくつもの環境で、好適に実装できることを認識するであろう。従って、以下に明示した請求項は、ここで述べた本開示の全範囲及び精神に鑑みて解釈されるべきである。

10

【図1A】

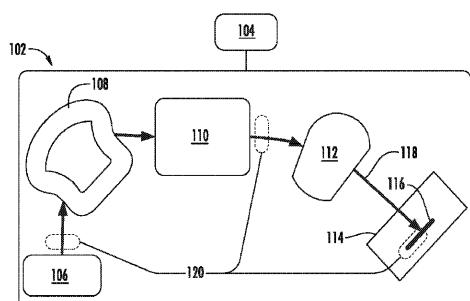


FIG. 1A

【図2】

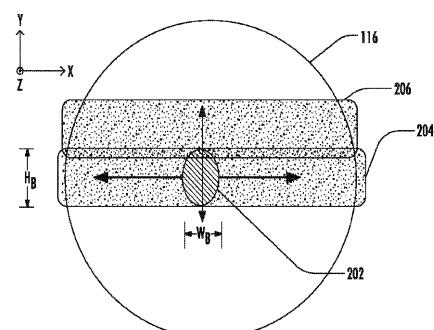


FIG. 2

【図1B】

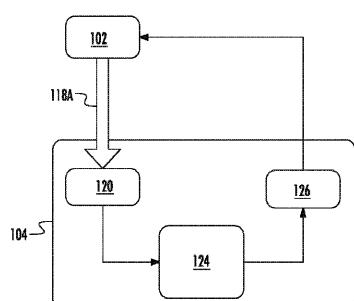
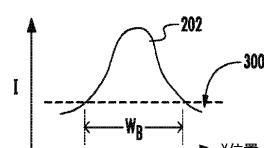
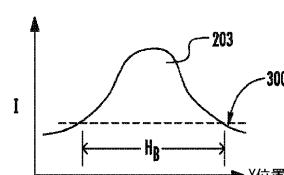


FIG. 1B

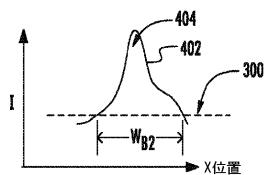
【図3A】



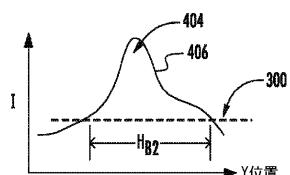
【図3B】



【図 4 A】



【図 4 B】



【図 5 A】

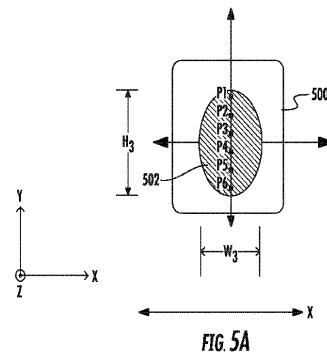


FIG. 5A

【図 5 B】

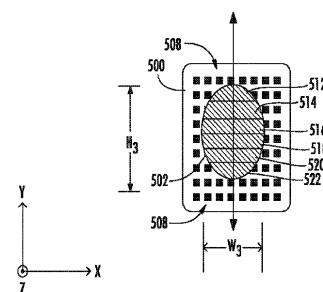
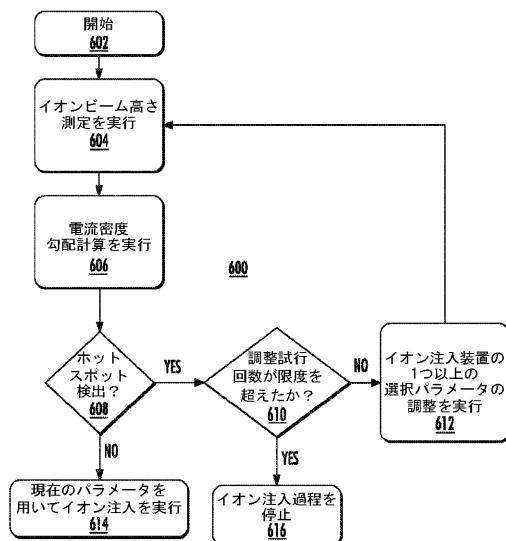
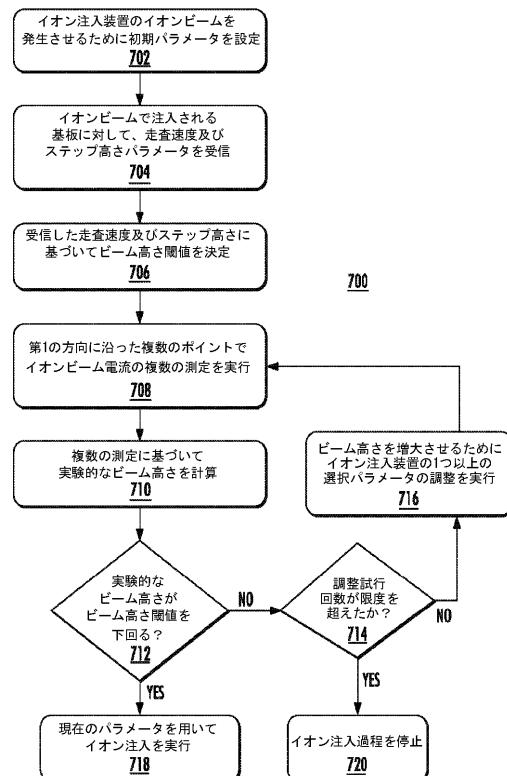


FIG. 5B

【図 6】



【図 7】



【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/US2014/036551
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER H01J 37/304(2006.01)i, H01J 37/317(2006.01)i		
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) H01J 37/304; H01J 37/08; G21G 5/10; H01J 37/317		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Korean utility models and applications for utility models Japanese utility models and applications for utility models		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) eKOMPASS(KIPO internal) & keywords: controlling ion implantation uniformity, beam current measurement, beam current variation, adjusting height of ion beam		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 2008-0073584 A1 (WILLIAM G. CALLAHAN et al.) 27 March 2008 See paragraphs [0033]-[0046]; claims 1-3; and figures 3, 4.	1-15
Y	US 2008-0061250 A1 (ALEXANDER S. PEREL et al.) 13 March 2008 See paragraphs [0022]-[0029], [0050]-[0060]; and figures 1, 5.	1-15
A	US 2009-0272918 A1 (SHU SATOH) 05 November 2009 See paragraphs [0052]-[0056]; and figure 7.	1-15
A	US 6323497 B1 (STEVEN R. WALTHER) 27 November 2001 See column 11, line 18 - column 12, line 8; and figure 4.	1-15
A	US 2009-0242808 A1 (MORGAN D. EVANS) 01 October 2009 See paragraphs [0045]-[0060]; and figures 5, 6.	1-15
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C.		<input checked="" 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 "U" 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		
Date of the actual completion of the international search 04 September 2014 (04.09.2014)		Date of mailing of the international search report 09 September 2014 (09.09.2014)
Name and mailing address of the ISA/KR  International Application Division Korean Intellectual Property Office 189 Cheongsa-ro, Seo-gu, Daejeon Metropolitan City, 302-701, Republic of Korea Facsimile No. +82-42-472-7140		Authorized officer KIM, Do Weon Telephone No. +82-42-481-5560 

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No. PCT/US2014/036551	
---	--

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2008-0073584 A1	27/03/2008	CN 101467227 A JP 2009-540501 A KR 10-2009-0021212 A TW 200802557 A US 7663125 B2 WO 2007-145953 A2 WO 2007-145953 A3	24/06/2009 19/11/2009 27/02/2009 01/01/2008 16/02/2010 21/12/2007 13/03/2008
US 2008-0061250 A1	13/03/2008	US 7423277 B2	09/09/2008
US 2009-0272918 A1	05/11/2009	CN 102460629 A JP 2012-525678 A KR 10-2012-0014185 A TW 201039371 A US 8071964 B2 WO 2010-126470 A1	16/05/2012 22/10/2012 16/02/2012 01/11/2010 06/12/2011 04/11/2010
US 6323497 B1	27/11/2001	CN 1432187 A DE 60117374 D1 EP 1287544 A1 EP 1287544 B1 JP 04822489 B2 JP 2004-513471 A KR 10-0819570 B1 KR 10-2003-0007836 A TW 493211 A WO 01-95363 A1	23/07/2003 27/04/2006 05/03/2003 22/02/2006 24/11/2011 30/04/2004 04/04/2008 23/01/2003 01/07/2002 13/12/2001
US 2009-0242808 A1	01/10/2009	CN 102047391 A CN 102047391 B JP 05552476 B2 JP 2011-517837 A KR 10-2011-0015523 A TW 200943362 A US 7755066 B2 WO 2009-120845 A2 WO 2009-120845 A3	04/05/2011 07/11/2012 16/07/2014 16/06/2011 16/02/2011 16/10/2009 13/07/2010 01/10/2009 23/12/2009

フロントページの続き

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

(72)発明者 スタニスラフ エス トドロフ
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 ジョージ エム ギャンメル
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 リチャード アレン スブレンクル
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 ノーマン イー ハシー
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 フランク シンクレア
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 シュヨンウー チャン
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
(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
(72)発明者 デイヴィッド ロジャー ティンバーレイク
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 カート ティー デッカー - ルッケ
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
F ターム(参考) 5C034 CD01 CD07