

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7636734号
(P7636734)

(45)発行日 令和7年2月27日(2025.2.27)

(24)登録日 令和7年2月18日(2025.2.18)

(51)国際特許分類	F I			
H 0 1 J 37/317(2006.01)	H 0 1 J	37/317	B	
H 0 1 J 37/20 (2006.01)	H 0 1 J	37/20	A	
H 0 1 J 37/147(2006.01)	H 0 1 J	37/147	D	

請求項の数 7 (全18頁)

(21)出願番号	特願2024-33788(P2024-33788)	(73)特許権者	302054866
(22)出願日	令和6年3月6日(2024.3.6)		日新イオン機器株式会社
(65)公開番号	特開2024-173656(P2024-173656 A)	(72)発明者	京都府京都市南区久世殿城町5 7 5 番地 平井 裕也
(43)公開日	令和6年12月12日(2024.12.12)	(72)発明者	滋賀県甲賀市水口町ひのきが丘2 9 番地 趙 維江
審査請求日	令和6年4月1日(2024.4.1)	(72)発明者	滋賀県甲賀市水口町ひのきが丘2 9 番地 大村 俊輔
(31)優先権主張番号	特願2023-89053(P2023-89053)	(72)発明者	滋賀県甲賀市水口町ひのきが丘2 9 番地 中西 昭仁
(32)優先日	令和5年5月30日(2023.5.30)	(72)発明者	滋賀県甲賀市水口町ひのきが丘2 9 番地 佐藤 琢己
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)	(72)発明者	滋賀県甲賀市水口町ひのきが丘2 9 番地 右▲高▼ 孝幸
		審査官	
最終頁に続く			

(54)【発明の名称】 イオン注入装置及びイオン注入方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

イオンビームの進行方向に対して、互いに直交する第1方向と第2方向で、前記イオンビームの角度を計測する角度計測器と、
ビームラインに配置され、前記角度計測器での計測結果に基づいて、前記第1方向における前記イオンビームの角度を補正する角度補正器と、
処理室でウェーハを保持するウェーハ保持装置と、
前記ウェーハ保持装置に連結し、前記第1方向と平行な回転軸周りに前記ウェーハを回転するチルト機構と、
前記第2方向における前記イオンビームの角度情報と前記ウェーハの結晶軸情報と注入レシピ情報に基づいて、前記チルト機構を制御する制御装置とを備える、イオン注入装置。

【請求項2】

前記制御装置により前記チルト機構を制御することで、前記ウェーハの結晶方位と前記ウェーハに照射される前記イオンビームの進行方向とを平行にする、請求項1記載のイオン注入装置。

【請求項3】

前記イオンビームは、前記第1方向に走査されるスポットビームであり、前記角度補正器は、走査された前記スポットビームを偏向する平行化器である、請求項1記載のイオン注入装置。

【請求項4】

前記ウェーハ保持装置は、前記ウェーハの裏面を保持する静電チャックを有する、請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載のイオン注入装置。

【請求項 5】

前記ウェーハの裏面を支持する測定台と、

前記測定台上の前記ウェーハの表面にエネルギー線を照射するエネルギー線源とを備える結晶軸測定装置を有し、

前記測定台には、前記ウェーハの裏面を支持する吸着部材が設けられている、請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載のイオン注入装置。

【請求項 6】

前記吸着部材は、静電チャックである請求項 5 記載のイオン注入装置。

【請求項 7】

イオンビームの進行方向に対して、互いに直交する第 1 方向と第 2 方向で、前記イオンビームの角度を計測することと、

前記イオンビームの角度の計測結果に基づいて、前記第 1 方向における前記イオンビームの角度を補正することと、

前記第 2 方向における前記イオンビームの角度情報とウェーハの結晶軸情報と注入レシピ情報に基づいて、前記第 1 方向を回転軸として前記ウェーハを回転することと、

前記ウェーハに対するイオン注入処理を実施することとを、含む、イオン注入方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

半導体デバイスの製造に使用されるイオン注入装置とイオン注入方法に関する。

【背景技術】

【0002】

イオン注入処理において、ウェーハ面に照射されるイオンビームの照射角度は、所望の角度に設定されている。

例えば、チャネリング現象を利用して、ウェーハ表面から深い領域にイオンを注入する場合には、イオンビームの照射方向が単結晶ウェーハの結晶軸に一致するように、イオンビームの照射角度を設定している。

反対に、ウェーハ表面から浅い領域にイオンを注入する場合には、イオンビームの照射方向が単結晶ウェーハの結晶軸に一致しないように、イオンビームの照射角度を設定している。

【0003】

ウェーハの製造工程であるスライシング工程や研磨工程において、製造誤差や製造不良が発生すると、ウェーハの平面度が低下する。

一般に、単結晶ウェーハの結晶軸は、ウェーハ面に対して垂直な方向にある。しかしながら、ウェーハの平面度が低下することで、結晶軸とウェーハ面との関係にズレが生じる。両者の関係がズレることから、ウェーハ面に対して垂直方向にイオンビームを照射しても、イオンビームの照射方向と結晶軸とが不一致になりうる。

【0004】

炭化珪素のエピタキシャルウェーハは、ベースとなるウェーハ（ベースウェーハ）上にエピタキシャル層が成膜されたウェーハである。

エピタキシャル層は、層内での欠陥の発生を抑制するために、ベースウェーハのウェーハ面に対して約 4 度傾斜した状態で成膜されている。エピタキシャル層の傾斜により、ウェーハの結晶軸の方向（結晶方位）は、ベースウェーハのウェーハ面より約 4 度傾斜する。

このことから、スライシング工程や研磨工程での製造誤差や製造不良がなかったとしても、炭化珪素のエピタキシャルウェーハでは、結晶方位はベースウェーハのウェーハ面に対して垂直にはならない。

【0005】

ウェーハの結晶方位とイオンビームの照射方向との関係を調整するために、種々の技術

10

20

30

40

50

が提案されている。

特許文献 1 には、チャネリング現象を利用したイオン注入処理が開示されている。結晶軸測定装置は、エンドステーションまたはロードロック室に配置されている。イオン注入処理の前段階でのウェーハの姿勢調整において、結晶軸測定装置での測定結果に基づいて、処理室内でウェーハを保持する保持装置の駆動部を制御している。

特許文献 2 には、ウェーハの切断誤差を計算することでウェーハの結晶方位を特定する技術が開示されている。イオン注入処理の前段階でのウェーハの姿勢調整において、特定したウェーハの結晶方位をもとに、チャネリングの影響を考慮して、機械的スキャン駆動部、ビームラインアセンブリ等の 1 つ以上の構成要素を選択的に制御している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【文献】特開 2021-120944

【文献】特表 2007-520885

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

ウェーハに照射される実際のイオンビームは、理想軌道を通り、ウェーハに照射されるとは限らない。

ウェーハに照射されるイオンビームの実際の軌道と理想軌道との間には多少の誤差が生じる場合がある。例えば、ビームラインに残留しているガスとイオンビームとの衝突により、荷電変換が起こり、イオンビームを理想軌道に沿って輸送することが困難となる。また、ビーム光学素子の配置や製造誤差が要因となり、イオンビームの軌道が理想軌道から外れうる。

【0008】

特許文献 1 では、ウェーハに照射されるイオンビームの実際の軌道と理想軌道とのズレについては考慮されていない。また、特許文献 1 では、処理室内のウェーハ駆動部で結晶方位とイオンビームの照射角度との位置関係を調整している。

仮に、特許文献 1 がイオンビームの軌道のズレを測定する手段を備えていたとしても、結晶方位とイオンビームの照射角度との位置関係を調整する手段が、ウェーハ駆動部のみであれば、ウェーハ駆動部の構成や制御が複雑となることが懸念される。

特許文献 2 では、イオンビームの方向データを取得することについて開示されている。機械的スキャン駆動部やビームラインアセンブリの 1 つ又は複数を制御して、ウェーハ面に照射されるイオンビームの照射角度の合わせ込みを実施することが開示されているが、複雑となる制御を如何にして実現するのかは具体的に開示されていない。

【0009】

特許文献 2 のビームラインアセンブリは、イオンビームの輸送を目的として使用されている。ウェーハの切断誤差を考慮し、イオンビームの方向データをもとにビームラインアセンブリでイオンビームの進行方向を調整する際に、所望する進行方向となるようにイオンビームを様々な方向へ移動させてしまうと、本来の目的であるイオンビームの輸送が困難になる。

【0010】

本発明では、装置各部の制御を最適化し、ウェーハに対して所望する角度で高精度にイオン注入処理が実現できる、イオン注入装置とイオン注入方法を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0011】

イオン注入装置は、

イオンビームの進行方向に対して、互いに直交する第 1 方向と第 2 方向で、前記イオンビームの角度を計測する角度計測器と、

ビームラインに配置され、前記角度計測器での計測結果に基づいて、前記第 1 方向にお

10

20

30

40

50

ける前記イオンビームの角度を補正する角度補正器と、
処理室でウェーハを保持するウェーハ保持装置と、
前記ウェーハ保持装置に連結し、前記第1方向と平行な回転軸周りに前記ウェーハを回転するチルト機構と、

前記第2方向における前記イオンビームの角度情報と前記ウェーハの結晶軸情報と注入レシピ情報に基づいて、前記チルト機構を制御する制御装置とを備える。

【0012】

チャネリングイオン注入を実施する上では、

前記制御装置により前記チルト機構を制御することで、前記ウェーハの結晶方位と前記ウェーハに照射される前記イオンビームの進行方向とを平行にする。

【0013】

部材の兼用によるコスト低減を図るため、

前記イオンビームは、前記第1方向に走査されるスポットビームであり、前記角度補正器は、走査された前記スポットビームを偏向する平行化器であることが望ましい。

【0014】

イオン注入時、ウェーハの姿勢を固定し、ウェーハの反りを緩和するために、

前記ウェーハ保持装置は、前記ウェーハの裏面を保持する静電チャックを有することが望ましい。

【0015】

結晶方位の測定を正確に実施するために、

前記ウェーハの裏面を支持する測定台と、

前記測定台上の前記ウェーハの表面にエネルギー線を照射するエネルギー線源とを備える結晶軸測定装置を有し、

前記測定台には、前記ウェーハの裏面を支持する吸着部材が設けられていることが望ましい。

【0016】

より望ましくは、前記吸着部材は、静電チャックである。

【0017】

イオン注入方法は、

イオンビームの進行方向に対して、互いに直交する第1方向と第2方向で、前記イオンビームの角度を計測することと、

前記イオンビームの角度の計測結果に基づいて、前記第1方向における前記イオンビームの角度を補正することと、

前記第2方向における前記イオンビームの角度情報とウェーハの結晶軸情報と注入レシピ情報に基づいて、前記第1方向と平行な回転軸周りに前記ウェーハを回転することと、を含む。

【発明の効果】

【0018】

直交する2方向でイオンビームの角度計測を実施し、一方の角度成分をビームラインで補正する。残りの角度成分の補正は、結晶軸情報と注入レシピ情報とを考慮して、ウェーハ保持装置で実施する。これにより、ウェーハに対して所望する角度で高精度にイオン注入処理が実現できる。

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】イオン注入装置の模式的平面図

【図2】X軸方向での角度計測についての説明図

【図3】X軸方向での角度計測についての説明図

【図4】X軸方向での角度計測についての説明図

【図5】X軸方向での角度補正についての説明図

【図6】ウェーハに照射されるイオンビームの軌道についての説明図

10

20

30

40

50

- 【図 7】 Y 軸方向での角度計測についての説明図
- 【図 8】 Y 軸方向での角度計測についての説明図
- 【図 9】 Y 軸方向での角度計測についての説明図
- 【図 10】 ウェーハの姿勢を調整する機構についての模式的断面図
- 【図 11】 結晶軸測定装置の模式的平面図
- 【図 12】 結晶軸測定装置の配置場所についての説明図
- 【図 13】 イオン注入処理に至る一連の処理を示すフローチャート
- 【図 14】 角度計測器の変形例を示す模式的断面図
- 【図 15】 角度計測器の他の変形例を示す模式的断面図
- 【図 16】 角度計測器の他の変形例を示す模式的断面図
- 【発明を実施するための形態】

10

【0020】

図 1 は、イオン注入装置 I M の構成例を示す模式的平面図である。プラズマチェンバ 1 では、イオンビーム I B のもとになるプラズマが生成される。引出電極 2 が、プラズマチェンバ 1 で生成されたプラズマからビームラインへイオンビーム I B を引出す。

ビームラインは、引出電極 2 から後述する処理室 8 までのイオンビーム I B の輸送経路である。

【0021】

引出電極 2 から引き出されたイオンビーム I B には、複数のイオンが含まれている。質量分析電磁石 3 は、イオンビーム I B から所望するイオンを取り出すため、質量に応じてイオンを選別する。加速管 4 は、質量分析電磁石 3 で選別されたイオンビーム I B を加減速して、所望するエネルギーのイオンビーム I B に変換する。

20

【0022】

加速管 4 の後段には、エネルギー分析電磁石 5 が配置されている。エネルギー分析電磁石 5 は、質量分析電磁石 3 と加速管 4 との間や加速管 4 内での荷電変換によって発生した不要なエネルギー成分のイオンを除去する。

【0023】

イオンビームの進行方向に垂直な平面でイオンビーム I B を切断した際、引出電極 2 から引き出されたイオンビーム I B の切断面は楕円形である。このようなイオンビームは、スポットビームと呼ばれている。

30

エネルギー分析電磁石 5 を通過後、イオンビーム I B は、走査器 6 で一方向に沿って周期的に走査される。この走査によって、見かけ上、走査方向に幅の広いイオンビームに変換される。

【0024】

走査されたイオンビーム I B は、平行化器 7 に入射し、平行化器 7 での磁気的な偏向を経て、イオンビーム I B の走査方向での各場所を通過するイオンビーム I B の進行方向が揃った平行なイオンビーム I B に変換される。平行化器 7 を通過した後のイオンビーム I B の走査方向での幅は、同方向におけるウェーハ W の幅よりも広い。図の Y 軸方向にウェーハ W を移動することで、ウェーハ W の全面へのイオン注入処理が実施される。

【0025】

40

処理室 8 には、ウェーハ保持装置 9 に保持されたウェーハ W が配置されている。ウェーハ保持装置 9 には、駆動機構 13 が連結されている。駆動機構 13 は、イオンビーム I B に対するウェーハ保持装置 9 の姿勢を調整し、ウェーハ W へのイオンビーム I B の照射角度を調整する。

【0026】

図示される X Y Z の各軸は、処理室 8 に入射する理想的なイオンビーム I B の軌道を基準にして描かれている。Z 軸は、イオンビーム I B の進行方向と平行な軸である。X 軸と Y 軸は、Z 軸と互いに直交している。X Y Z の各軸の方向は、ビームラインを輸送されるイオンビームの位置に応じて変化する。イオン注入装置 I M では、走査器 6 でのイオンビーム I B の走査方向は X 軸と平行な関係にある。

50

【0027】

イオン注入装置IMは、X軸とY軸に平行な2つの方向で、イオンビームIBの角度を計測する角度計測器を備えている。角度計測器は、平行化器7と処理室8との間に配置された前段多点ファラデー11と処理室8に配置された後段多点ファラデー12である。

イオンビームIBの照射角度とは、理想的なイオンビームと実際のイオンビームとの角度的な隔たりのことである。

【0028】

制御装置C1と制御装置C2は、データを記憶する記憶機能、データを演算する演算機能、演算結果や入力データをもとに各部を制御する制御機能とを備えている。

制御装置C1は、前段多点ファラデー11と後段多点ファラデー12を制御して、データの読出しを行い、角度情報Vを制御装置C2に出力する。また、制御装置C1は、角度情報Vにもとづいて、平行化器7の磁場強度を調整する。

【0029】

制御装置C2は、角度情報V、注入レシピ情報R、結晶軸情報Mをもとに、駆動機構13を制御する。

図1に示すイオン注入装置IMは、制御装置C1と制御装置C2を別々に備えているが、これらの制御装置を1つの制御装置としてまとめてもよい。

【0030】

注入レシピ情報Rは、イオン注入処理が実施される際のウェーハの設定角度情報を含んでいる。結晶軸情報Mは、ウェーハWの表面に垂直な方向に対する結晶軸の傾斜角度の情報である。

結晶軸情報Mは、種々の方法により制御装置C2に送信される。例えば、イオン注入装置IMに設けられた結晶軸測定装置で結晶軸情報Mを実測し、実測データを制御装置C2に送信する。また、半導体製造工程において、イオン注入工程よりも上流の工程で測定された結晶軸情報Mを制御装置C2に送信してもよい。さらに、ウェーハカセットに貼り付けられているバーコードに結晶軸情報Mを含めておき、イオン注入装置IMでバーコードを読み取ることで結晶軸情報Mを取得し、取得した情報を制御装置C2に送信するようにしてもよい。

【0031】

バーコードからの情報取得については、手動または自動によって実施される。手動の場合、イオン注入装置IMのオペレーターがスキャナーでバーコードの読み取りを実施する。自動の場合、カセットをイオン注入装置に取り付けた際に、取付位置にあるセンサーでバーコードの読み取りを実施する。

自動読み取りについては、次に示す構成でもよい。ウェーハカセットやウェーハごとの結晶軸情報Mをイオン注入装置IMに予め記憶しておく。記憶場所は、制御装置C1もしくは制御装置C2の記憶装置とする。

バーコードから読み取ったカセットやウェーハの情報をもとにして、制御装置C1または制御装置C2が記憶装置から結晶軸情報Mを読み出し、各部の制御を実施する。

【0032】

図2～図4で、X軸方向でのイオンビームIBの角度計測について説明する。前段多点ファラデー11は、駆動軸22に連結されている。駆動軸22は、不図示の駆動源でY軸方向に上下動する。前段多点ファラデー11は、Y軸方向の上側と下側の各領域で異なる構成を備えている。上側領域には、開孔21が形成されている。下側領域には、ファラデーカップFCがX軸方向に複数配置されている。

【0033】

図2は、前段多点ファラデー11での測定を示す。駆動軸22が前段多点ファラデー11を移動することで、イオンビームIBが前段多点ファラデー11のファラデーカップFCに照射する。

図3は、後段多点ファラデー12での測定を示す。図2の状態から駆動軸22が前段多点ファラデー11を下方へ移動する。駆動軸22の移動により、イオンビームIBが前段

10

20

30

40

50

多点ファラデー 1 1 の開孔 2 1 を通過する。開孔 2 1 を通過したイオンビーム I B は、後段多点ファラデー 1 2 のファラデーカップ F C に照射する。

【 0 0 3 4 】

イオンビーム I B の照射角度の算出例としては、次に示す手法を用いる。

前段多点ファラデー 1 1 と後段多点ファラデー 1 2 での測定結果から、X 軸方向でのイオンビーム I B の移動距離 L_x を算出する。この算出結果と Z 軸の方向での前段多点ファラデー 1 1 と後段多点ファラデー 1 2 との離間距離 L_z とを用いて、X 軸方向でのイオンビーム I B の照射角度 θ_x を算出する。

図 4 に、X 軸方向でのイオンビーム I B の移動距離 L_x 、Z 軸の方向での前段多点ファラデー 1 1 と後段多点ファラデー 1 2 との離間距離 L_z 、イオンビーム I B の照射角度 θ_x の関係を示す。図中、破線がイオンビーム I B の実際の軌道を示し、実線がイオンビーム I B の理想軌道を示す。

10

この算出方法は、一例であって、これとは異なる算出方法を用いてもよい。

【 0 0 3 5 】

X 軸方向でのイオンビーム I B の照射角度は、ビームラインに配置されている角度補正器で補正される。このイオン注入装置 I M では、平行化器 7 が角度補正器を兼用している。

平行化器 7 は、電磁石で構成されている。コイルに流す電流量を増減することで、電磁石内に発生する磁場 B の強さが調整できる。磁界内をイオンビーム I B が通過する際、図 5 に示すように、イオンビーム I B はローレンツ力により偏向される。ここでは、イオンビーム I B は正の電荷を有している。

20

【 0 0 3 6 】

図 5 において、実線はイオンビーム I B の理想軌道を示す。平行化器 7 の磁場 B の強さを弱くした場合、一点鎖線で示すように、イオンビーム I B は図の下側に向けて弱く偏向される。平行化器 7 の磁場 B の強さを強くした場合、破線で示すように、イオンビーム I B は図の上側に向けて強く偏向される。

角度計測器である前段多点ファラデー 1 1 と後段多点ファラデー 1 2 での測定結果をもとに、平行化器 7 の磁場を調整して、イオンビーム I B の軌道を理想軌道に近づける。

【 0 0 3 7 】

図 6 には、ウェーハ W に照射されるイオンビーム I B の軌道が描かれている。実線はイオンビーム I B の理想軌道を示す。破線は実際のイオンビームの軌道（イオンビーム I B r の軌道）である。また、一点鎖線は、 θ_y 成分をゼロと仮定してイオンビーム I B r の軌道を X 軸上に描いたときのイオンビームの軌道である。

30

図示される X Y Z 軸の方向は、理想的なイオンビーム I B の軌道（基準軌道）に対して描かれている。

イオンビーム I B r は、基準軌道に対して角度成分（ θ_x 、 θ_y ）を有している。この角度成分は、X 軸方向と Y 軸方向に分解することができる。ウェーハ W に照射される実際のイオンビーム I B の軌道を理想的な軌道に補正する場合、X 軸方向での角度補正以外に、Y 軸方向での角度補正も必要となる。

【 0 0 3 8 】

Y 軸方向における実際のイオンビーム I B r の照射角度を補正するためには、同方向におけるイオンビーム I B r の角度計測が必要となる。図 7 - 図 9 で、Y 軸方向での角度計測について説明する。

40

【 0 0 3 9 】

図 7、図 8 には、図 2、図 3 と同様の前段多点ファラデー 1 1 と後段多点ファラデー 1 2 が描かれている。相違点として、図 7、図 8 では、後段多点ファラデー 1 2 の前方に、Y 軸方向に移動可能なシャッター 2 3 が設けられている。シャッター 2 3 には、不図示の駆動源で上下方向に移動するシャッター駆動軸 2 4 が連結されている。

【 0 0 4 0 】

図 7、図 8 に基づいて、Y 軸方向での角度計測についての一例を説明する。

図 7 において、前段多点ファラデー 1 1 を図の下方向へ移動させつつ、前段多点ファラ

50

デー１１に設けられた全てのファラデーカップＦＣでビーム電流を計測する。

つぎに、図８に示すように、前段多点ファラデー１１を図の下方へ移動させて、後段多点ファラデー１２のファラデーカップＦＣにイオンビームＩＢを照射する。その後、シャッター２３を図の下方向へ移動させつつ、後段多点ファラデー１２に設けられた全てのファラデーカップＦＣでビーム電流を計測する。

【００４１】

各多点ファラデーでの計測結果から、測定位置ごとのビーム電流の変化量をグラフ化し、ビーム電流の変化量のグラフから重心位置を算出する。前段多点ファラデー１１と後段多点ファラデー１２での計測結果から得られた重心位置間の距離 L_y と、Ｚ軸の方向での前段多点ファラデー１１と後段多点ファラデー１２との離間距離 L_z とから、Ｙ軸方向でのイオンビームの照射角度 θ_y を算出する。

10

図９に、前段多点ファラデー１１と後段多点ファラデー１２での計測結果から得られた重心位置間の距離 L_y 、Ｚ軸方向での前段多点ファラデー１１と後段多点ファラデー１２との離間距離 L_z 、イオンビームＩＢの照射角度 θ_y の関係を示す。図中、破線がイオンビームＩＢの実際の軌道を示し、実線がイオンビームＩＢの理想軌道を示す。

【００４２】

図７、図８で算出されたＹ軸方向でのイオンビームの照射角度を、図１０に例示のチルト機構Ｌで補正する。

図１０において、実線が理想的なイオンビームＩＢの軌道を示し、破線が実際のイオンビームＩＢ r の軌道を示す。図示されるＸＹＺ軸の方向は、理想的なイオンビームＩＢの軌道に対して描かれている。ウェーハ保持装置９は、ベース３２とウェーハＷの下面（裏面）を保持する静電チャック３１から構成されている。

20

静電チャック３１によるウェーハＷの支持は、ウェーハＷの支持される面を平坦に保つうえで有利となる。

なお、図１０には描かれていないが、静電チャック３１と併用して、ウェーハＷを機械的に保持するメカニカルクランプ機構を使用してもよい。

【００４３】

ウェーハＷの中心Ｏと一致するベース３２の中心には、回転軸３３が取り付けられている。この回転軸３３は、駆動源３４に連結されている。駆動源３４によって回転軸３３が回転すると、回転軸３３に連結されているベース３２が回転する。このベース３２が回転することで、円形のウェーハＷがその周方向（矢印Ｐの方向）に回転する。これにより、ウェーハＷの周方向での位置が調整される。ウェーハＷの周方向での位置調整のための回転機構をなす、回転軸３３と駆動源３４をツイスト機構Ｋと呼んでいる。

30

なお、ツイスト機構ＫによるウェーハＷの回転方向は、図示される矢印Ｐと反対方向にしてもよい。駆動源３４での回転方向を適宜切り替えることで、ウェーハＷを双方向に回転する構成としてもよい。

【００４４】

駆動源３４は、半円形の部材３９に対して固定されている。半円形の部材３９は、その外周部分に永久磁石３５を複数備えている。

また、半円形の部材３９との対向位置には、半円形の部材３９の形状に沿って湾曲した湾曲部位をもつ台座３８が配置されている。台座３８の湾曲部位には、複数の電磁石３６が並べられている。

40

【００４５】

台座３８の電磁石３６に流す電流の向きや大きさを調整することで、半円形の部材３９を矢印Ｑの方向のいずれかに摺動する。この半円形の部材３９の摺動によって、Ｘ軸周りにウェーハＷが回転し、ウェーハＷに対するイオンビームＩＢ r の照射角度が調整される。

【００４６】

半円形の部材３９、永久磁石３５、電磁石３６、台座３８からなるウェーハＷの回転機構をチルト機構Ｌと呼んでいる。このチルト機構Ｌで、Ｘ軸周りにウェーハＷを回転することで、Ｙ軸方向でのイオンビームＩＢの照射角度を補正する。

50

なお、台座 38 は、ウェーハ駆動軸 37 に連結されており、ウェーハ駆動軸 37 を不図示の駆動源により上下動させることで、ウェーハ W に対するイオン注入処理が実施される。

【0047】

結晶軸測定装置については、従来から知られている X 線回折装置を使用する。検出器は、ウェーハからの反射光や透過光を検出するものであればよい。また、アクチュエータを用いて検出位置を逐次的に変更する構成や 2 次元に配列された検出領域を有する構成を使用してもよい。

【0048】

図 11 は、背面反射ラウエ法を利用した結晶軸測定装置 C の模式的平面図である。測定台 43 に配置されたウェーハ W に対してエネルギー線源 41 から X 線を照射する。検出器 42 は、X 線が通過する開孔が形成されたイメージングプレートである。検出器 42 は、ウェーハ W からの反射光を受光して、X 線回折像を検出する。検出器 42 での検出にあたっては、不図示のレーザー光を検出器 42 の受光面に照射して、検出される信号強度を調整してもよい。

【0049】

撮像装置 44 は、結像レンズを有し、検出器 42 上の回折像を撮影する。結晶軸測定装置 C は演算装置を有し、演算装置が撮影された画像データを解析することで、結晶方位を特定する。

破線で囲まれる各部を 1 つのユニットで構成してもよい。また、ウェーハ W とユニットのいずれか一方の位置を変更するアクチュエータを設け、両者の相対位置を調整可能にしてもよい。

なお、イメージングプレートで回折画像が得られる場合には、撮像装置 44 を省略してもよい。

また、ベースウェーハ上に数度傾斜したエピタキシャル層が形成されているウェーハ W に対して、エネルギー線源 41 から X 線を照射する場合、エピタキシャル層の傾きにに応じてエネルギー線源 41 と検出器 42 を同程度傾けてもよい。

具体的には、エピタキシャル層の傾斜角度が 4 度とすると、エネルギー線源 41 と検出器 42 とを 4 度傾けて、エネルギー線源 41 から射出される X 線が、エピタキシャル層に対して垂直に照射されるように配置する。この構成により、検出器 42 の中央付近で回折像を撮影することができる。

【0050】

半導体製造処理がウェーハ W に施されると、ウェーハ W には多少の反りが発生する。ウェーハ W が反っている場所に対して結晶方位測定を行った場合、結晶方位を正確に測定することが不可能となる。

ウェーハ W は、中心付近が比較的反りの影響を受けにくいとされている。このことから、結晶方位測定を正確に行う上では、ウェーハ W の中心付近にエネルギー線を照射して、結晶方位測定を実施することが望ましい。

【0051】

ウェーハ中心付近での測定に関わらず、結晶方位をより正確に測定するという点では、結晶軸測定装置 C でウェーハを配置する測定台 43 に吸着部材 45 を設けておくことが望ましい。

この吸着部材 45 で、ウェーハ W を吸着することで、ウェーハ W の平面度が改善する。平面度が改善されたウェーハ W に対して結晶方位測定を実施することで、測定の正確性が改善する。

吸着部材 45 の具体例としては、静電チャックや真空吸着部材が挙げられる。静電チャックを使用する場合、その吸着力は、イオン注入時でのウェーハ保持装置 9 の静電チャック 31 による吸着力と同程度とすることが望ましい。

【0052】

結晶軸測定装置の他の例としては、水銀ランプやハロゲンランプ、ヘリウム－ネオンレーザー等のエネルギー線源からの自然光やレーザー光をウェーハ W に照射し、ウェーハ W

10

20

30

40

50

からの透過光や反射光をモニターすることで、結晶方位を特定する装置が挙げられる。

また、イオンビームを利用したラザフォード後方散乱分析法により結晶方位を特定してもよい。さらに、イオンビームの照射角度を変更しつつ、ウェーハへのイオン注入処理を実施した後に、イオンビームの照射角度とウェーハの特性（シート抵抗や残留欠陥等）との関係をグラフ化したものから、結晶方位を特定してもよい。

【0053】

結晶方位の特定にあたっては、試験用のウェーハを用意する。ただし、特別に試験用のウェーハを用意すると、その分の費用が発生する。

費用低減の点から、イオン注入処理が施されるウェーハと同一ロット内のウェーハを使用してもよい。ウェーハの特性は、同一ロット内では類似している。同一ロット内のウェーハを使用する場合、最初にイオン注入処理が施される、1枚目のウェーハに対して結晶方位を特定することが望ましい。

1枚目のウェーハを処理する際に特定された結晶方位の情報を、1枚目以降のウェーハを処理する際に再利用することで、1枚目以降のウェーハについての結晶方位測定が省略できる。これにより、イオン注入装置の生産性が向上する。

結晶方位の情報は、結晶軸情報Mとして、制御装置C1または制御装置C2に記憶する。他のウェーハに対するイオン注入処理時に、制御装置C1または制御装置C2に記憶した結晶軸情報Mを読み出して利用する。

【0054】

図12には、処理室8周辺の装置構成が描かれている。結晶軸測定装置Cをイオン注入装置IMに搭載する場合、結晶軸測定装置Cのメンテナンスを考慮しない場合には、結晶軸測定装置Cを処理室8に配置してもよい。その場合、ウェーハ保持装置9を測定台43として利用することができる。

【0055】

処理室8以外に、ロードロック室51、あるいはアライナー54の配置場所に結晶軸測定装置Cを配置してもよい。これらの場所に結晶軸測定装置Cを配置する場合、処理室8と同様に、これらの場所に元々存在しているウェーハWの支持台を測定台43として利用することができる。

また、結晶方位測定を行う特別な部屋として、結晶軸測定室52を設けてもよい。図12では、結晶軸測定室52の位置は、処理室8に隣接しているが、この位置に限られるものではない。結晶軸測定室52は、アライナー54が配置される場所の隣や上方あるいは下方に設けられてもよい。

【0056】

さらには、ウェーハWが収納されるカセット53の配置場所に、結晶軸測定装置Cを配置してもよい。具体的には、図示される4つのカセット53のうち、1つを排除する。カセット53を排除した場所に、結晶軸測定装置Cを配置する。

【0057】

図13のフローチャートは、イオン注入処理に至るまでの一連の処理を示している。

イオンビームの進行方向に対して互いに直交する2方向（X軸方向、Y軸方向）で、イオンビームの照射角度を角度計測器で測定する（S1）。

ビームラインに配置された角度補正器で、角度測定器で測定されたイオンビームの照射角度のうち、いずれか一方の角度を補正する（S2）。

結晶軸測定装置でウェーハWの結晶軸の方向を測定する（S3）。イオン注入装置IMでの結晶方位測定は必須ではなく、イオン注入装置IM以外の装置で測定された結晶軸情報をイオン注入装置IMへ送信することやカセットに貼り付けられたバーコードからの結晶軸情報を取得すること等を実施してもよい。また、S3の処理は、装置構成に応じて、S1の処理の前やS1とS2で示す処理の間に実施されてもよい。

【0058】

S2の処理で補正されていないイオンビームの角度情報と結晶軸情報と注入レシピ情報をもとに、目標とするウェーハWの姿勢を算出し、算出結果をもとに、チルト機構Lを用

10

20

30

40

50

いてウェーハWの姿勢を調整する（S4）。

ウェーハWの姿勢を調整した後、ウェーハWへのイオン注入処理を実施する（S5）。

【0059】

実際のイオンビームの進行方向と理想的なイオンビームの進行方向とのズレを、直交する2方向の角度成分に分解する。一方の角度成分の補正をビームラインで実施し、他方の角度成分の補正を、結晶軸情報及び注入レシビ情報を考慮して、ウェーハ保持装置9で実施する。

【0060】

ビームライン側での角度補正は、一方向だけの補正であるため、光学素子の構成や制御が単純化でき、ビームラインでの角度補正がイオンビームの輸送に与える影響は小さく、限定的となる。

残りの角度補正は、結晶軸情報と注入レシビ情報とを考慮して、ウェーハ保持装置9で実施する。残りの角度補正は、特定の方向だけの補正で済むため、全ての補正をウェーハ保持装置9で行う場合に比べて、格段にウェーハ保持装置9の構造や制御を簡単にすることができる。

こうした構成のもと、イオン注入を実施することで、イオンビームの輸送に支障なく、ウェーハ駆動部側での負担を減らし、ウェーハに対して所望する角度で高精度にイオン注入処理が実現できる。

ウェーハWの結晶方位とウェーハWに照射されるイオンビームIBの進行方向とを一致させる、チャネル現象を利用したチャネリングイオン注入を実施するにあたっては、特に有用である。

なお、ウェーハWの結晶方位とウェーハWに照射されるイオンビームIBの進行方向とを一致させるとは、ウェーハWの結晶方位とウェーハWに照射されるイオンビームIBの進行方向とを平行にすることである。

【0061】

図13のフローチャートでは、処理S4のウェーハWの姿勢調整にあたり、本実施形態での角度補正に直接かわりがないツイスト機構Kによる調整を省略している。実際のイオン注入処理においては、ツイスト角度の設定が必要であれば、処理S4でのチルト機構Lを用いたウェーハWの姿勢を調整時にツイスト機構Kを用いたウェーハWの姿勢調整も実施すればよい。

【0062】

上記実施形態では、イオン注入装置IMは、スポットビームを使用する枚葉式のイオン注入装置が想定されていたが、複数枚のウェーハを保持するディスクを備えたバッチ式のイオン注入装置にも適用できる。また、イオンビームは、スポットビームに代えて、非走査のリボンビームであってもよい。

また、イオン注入装置IMの構成としては、X軸とY軸とを入れ替えた構成でもよい。この場合、Y軸方向にイオンビームを走査し、X軸方向にウェーハ保持装置9を駆動させて、ウェーハWへのイオン注入処理を実施する。また、チルト機構LによるウェーハWの回転軸は、Y軸と平行な方向とする。

【0063】

上記実施形態では、角度計測器として、前段多点ファラデー11と後段多点ファラデー12を使用する構成について説明したが、直交する2方向（X軸方向とY軸方向）でイオンビームの角度測定を実施できるものであれば、他の構成を使用してもよい。また、直交する2方向を別々の角度計測器を用いて計測してもよく、角度計測に用いる角度計測器の個数についての制限はない。

【0064】

図14-図16は、角度計測器の変形例を示す。

図14は、角度計測器60の模式的断面図である。角度計測器60は、複数のファラデーカップからなる多点ファラデー61とその前方にスリット62が形成された平板とが一体化された箱63で構成されている。スリット62は、Y軸方向に長い。箱63は、駆動

10

20

30

40

50

軸 6 4 に連結している。不図示の駆動源で駆動軸 6 4 を矢印方向へ移動することで、駆動軸 6 4 に連結された箱 6 3 をイオンビーム I B r の照射領域に出し入れする。

【 0 0 6 5 】

多点ファラデー 6 1 で、スリット 6 2 を通して箱 6 3 内に照射されるイオンビーム I B r のビーム電流を検出する。検出されたビーム電流が最大となるファラデーカップの位置を特定し、特定したファラデーカップとスリット 6 2 との距離 a_1 と多点ファラデー 6 1 とスリット 6 2 との距離 a_2 から、X 軸方向でのイオンビーム I B r の照射角度 θ_x を算出する。

【 0 0 6 6 】

図 1 4 で、X 軸と Y 軸の方向を入れ替えて、Y 軸方向でのイオンビーム I B r の照射角度を算出してもよい。この場合、角度計測器 6 0 の移動方向と多点ファラデー 6 1 でのファラデーの並びは、Y 軸方向となる。また、スリット 6 2 の長手方向は、X 軸方向となる。

なお、後述する他の角度計測器の変形例を含め、スリットに代えて、ピンホールを使用してもよい。

【 0 0 6 7 】

図 1 5 は、角度計測器 7 0 の模式的断面図である。角度計測器 7 0 は、スリット 7 2 を有する平板 7 3 とファラデーカップ 7 1 で構成されている。平板 7 3 は駆動軸 7 5 に連結している。ファラデーカップ 7 1 も同様に、駆動軸 7 4 に連結している。2 つの駆動軸 7 4、7 5 は、図の矢印のごとく、平板 7 3 とファラデーカップ 7 1 とを移動する。イオンビーム I B r の照射領域で所定の位置に平板 7 3 を配置する。その後、ファラデーカップ 7 1 を平板 7 3 と平行な方向（X 軸方向）に移動する。この際、スリット 7 2 を通過する実際のイオンビーム I B r のビーム電流を検出し、検出したビーム電流が最大となる位置を特定する。特定された位置から、X 軸方向におけるスリット 7 2 の中心位置までの距離 b_1 を算出する。ここで算出した距離 b_1 とスリット 7 2 とファラデーカップ 7 1 との間の距離 b_2 から、スリット 7 2 を通過するイオンビーム I B r の照射角度 θ_x を算出する。

【 0 0 6 8 】

図 1 4 の実施形態と同じく、図 1 5 の実施形態において X 軸と Y 軸の関係を反対にすれば、Y 軸方向でのイオンビーム I B r の照射角度を算出することができる。

【 0 0 6 9 】

図 1 6 は、角度計測器 8 0 の模式的断面図である。角度計測器 8 0 は、駆動機構 8 2 と駆動機構 8 2 の一端に配置されたファラデーカップ 8 1 から構成されている。駆動機構 8 2 は、X 軸と平行な回転軸周りに回転する。

駆動機構 8 2 を回転しつつ、ファラデーカップ 8 1 で実際のイオンビーム I B r のビーム電流が最大となるときの駆動機構 8 2 の回転角度を特定する。

ファラデーカップ 8 1 とウェーハ保持装置 9 は、駆動機構 8 2 に対して所定角度で取り付けられている。ビーム電流が最大となるときの駆動機構 8 2 の回転角度を特定することで、ウェーハに照射されるイオンビームの照射角度を求めることができる。

【 0 0 7 0 】

イオン注入処理にあたっては、ウェーハ保持装置 9 に不図示のウェーハを保持した後、駆動機構 8 2 を回転し、ウェーハ保持装置 9 とファラデーカップ 8 1 との位置を図示のものから入れ替える。

駆動機構 8 2 の回転角度は、望ましくは 3 6 0 度であるが、これに限定されない。ファラデーカップ 8 1 での計測、ウェーハ W へのイオン注入処理、ファラデーカップ 8 1 とウェーハ保持装置 9 との位置の入れ替え、といった各処理が可能であれば、駆動機構 8 2 の回転角度は 3 6 0 度を下回る角度でも構わない。

【 0 0 7 1 】

上記実施形態では、角度補正器として平行化器 7 を利用する構成について説明したが、ビームラインに角度補正用の光学素子を配置してもよい。また、図 1 のイオン注入装置 I M において、加速管 4 は、加速管 4 内を通過するイオンビーム径を補正するフォーカスレンズを有している。フォーカスレンズは、四重極レンズとして知られる光学素子であり、

10

20

30

40

50

このレンズを角度補正器として利用してもよい。

さらには、一対の電極からなるエネルギーフィルターを角度補正器として、利用してもよい。ここに挙げた光学素子は、いずれもX軸もしくはY軸方向でのイオンビームIBの角度調整が可能な光学素子である。同様の機能を有する光学素子であれば、他の光学素子を利用してもよい。

【0072】

その他、本発明は前記実施形態に限られず、その趣旨を逸脱しない範囲で種々の変形が可能であることは言うまでもない。

【符号の説明】

【0073】

IM イオン注入装置

W ウェーハ

11、12、60、70、80 角度計測器

7 角度補正器

8 処理室

9 ウェーハ保持装置

K ツイスト機構

L チルト機構

V 角度情報

R 注入レシピ情報

M 結晶軸情報

C1、C2 制御装置

10

20

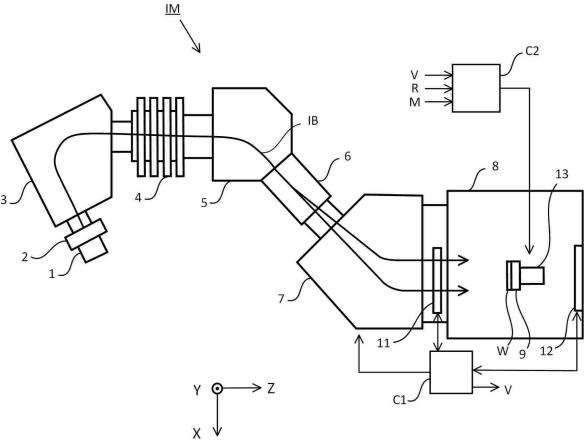
30

40

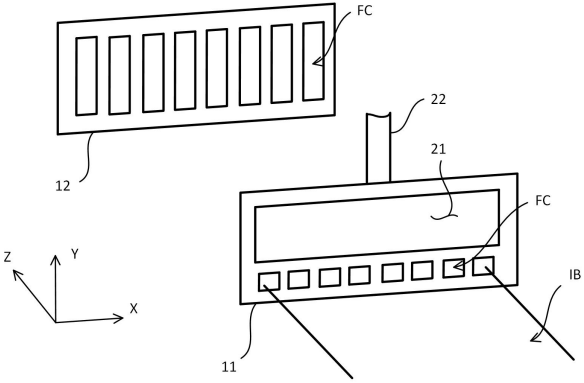
50

【図面】

【図 1】

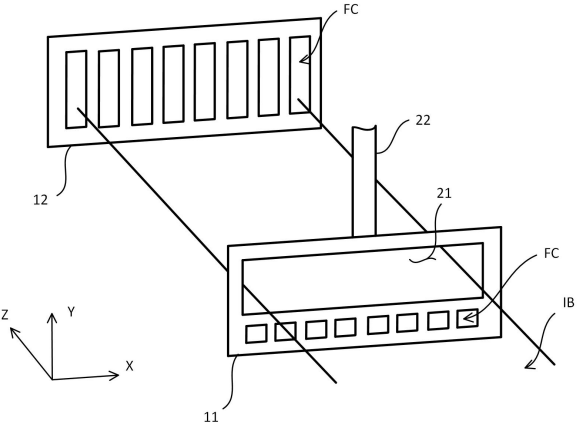


【図 2】

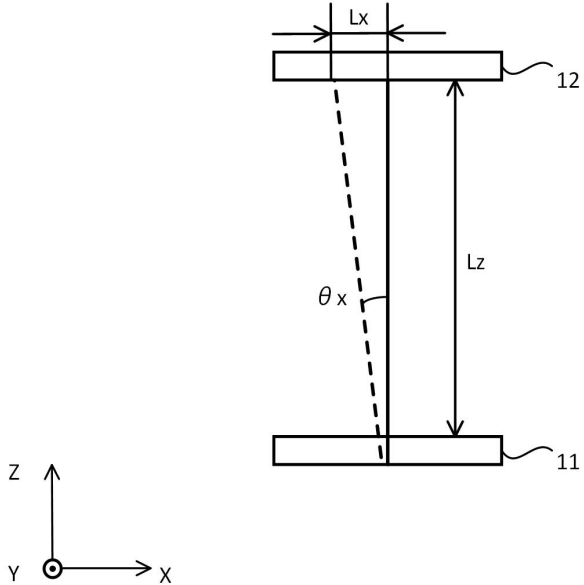


10

【図 3】



【図 4】



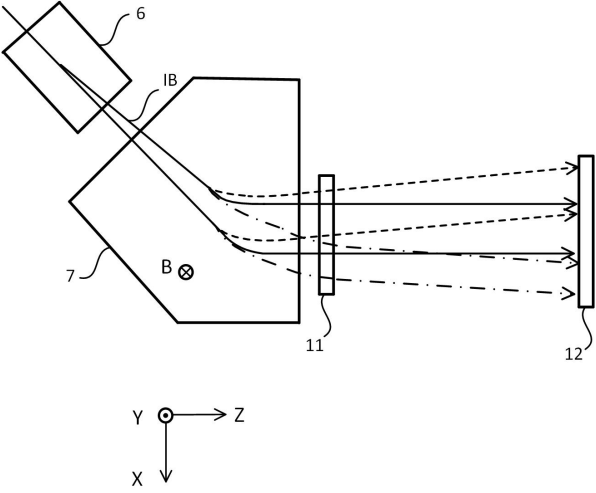
20

30

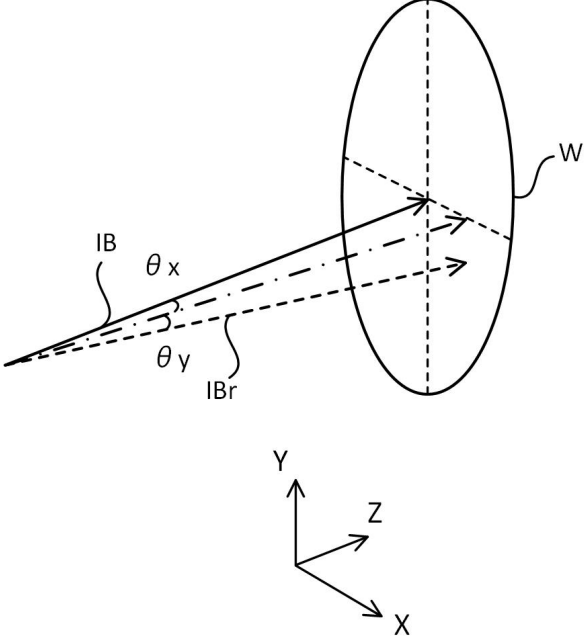
40

50

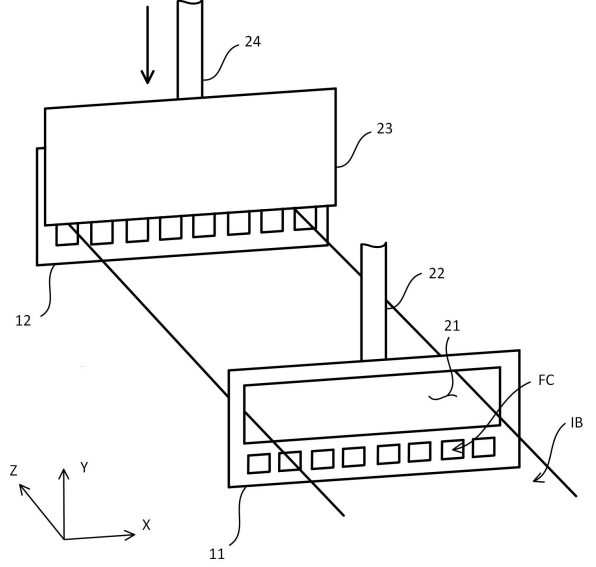
【図 5】



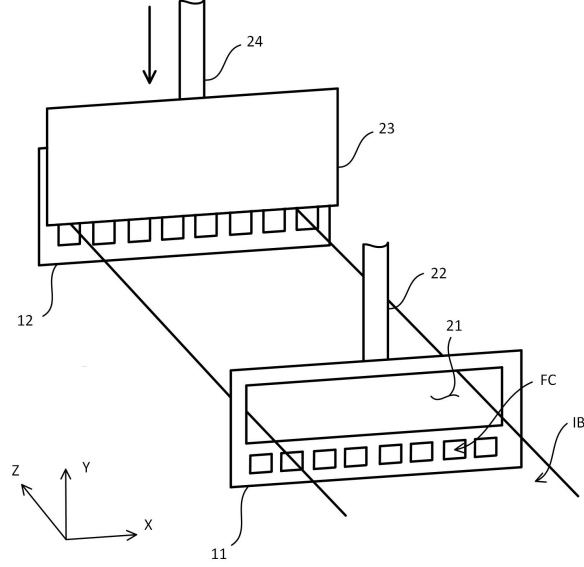
【図 6】



【図 7】



【図 8】



10

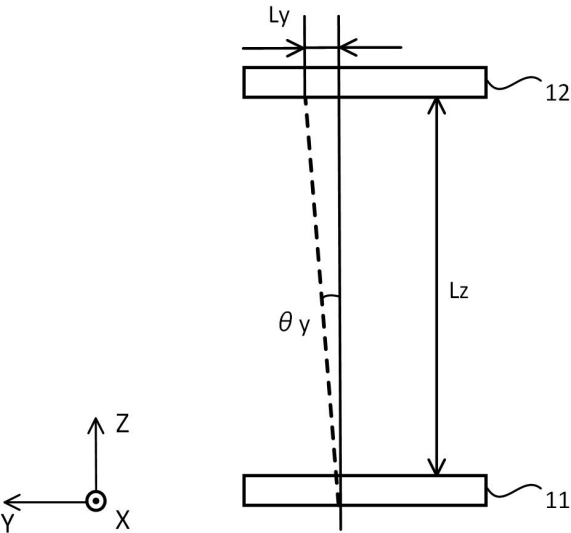
20

30

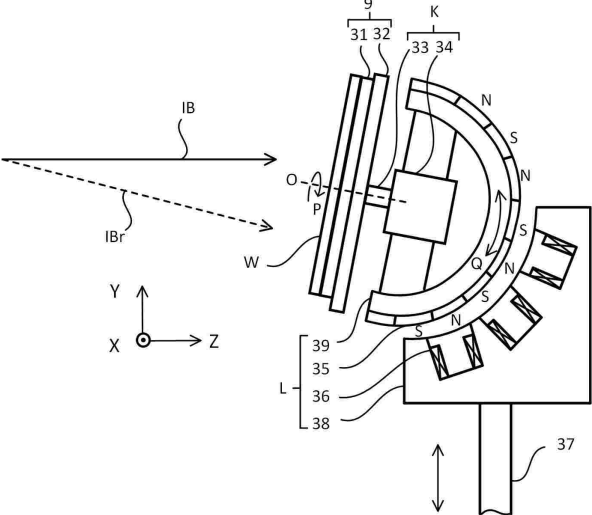
40

50

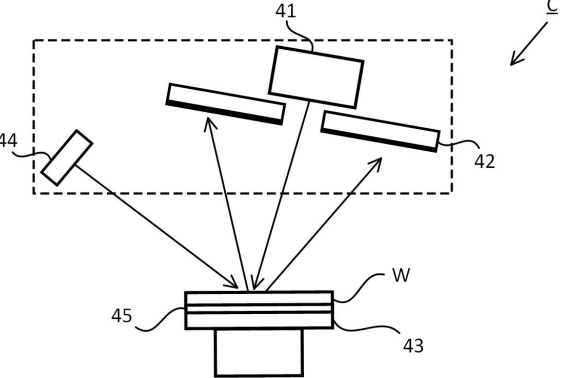
【図 9】



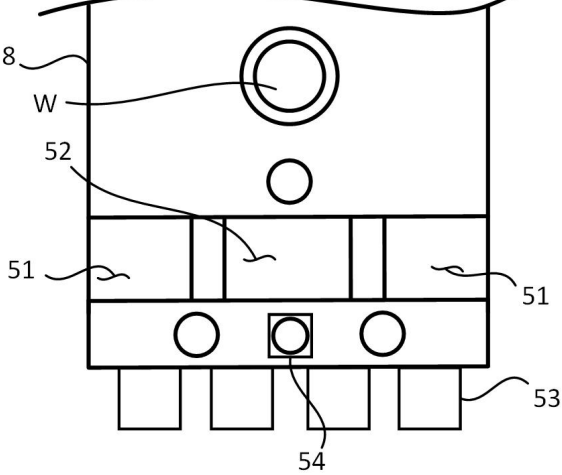
【図 10】



【図 11】



【図 12】



10

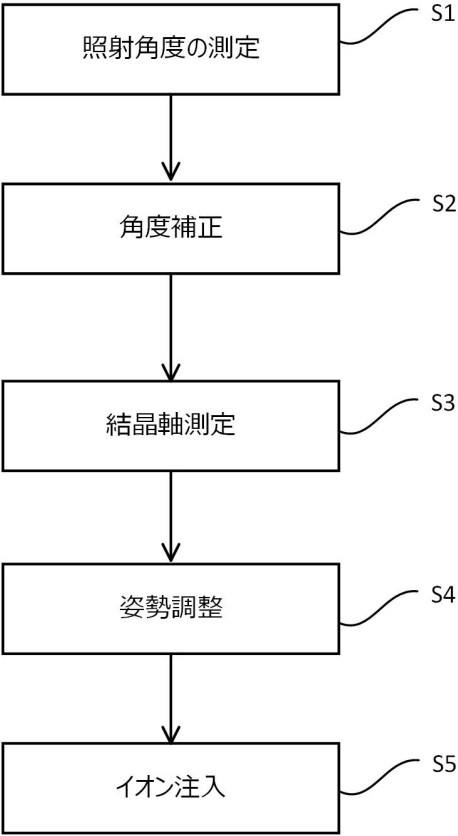
20

30

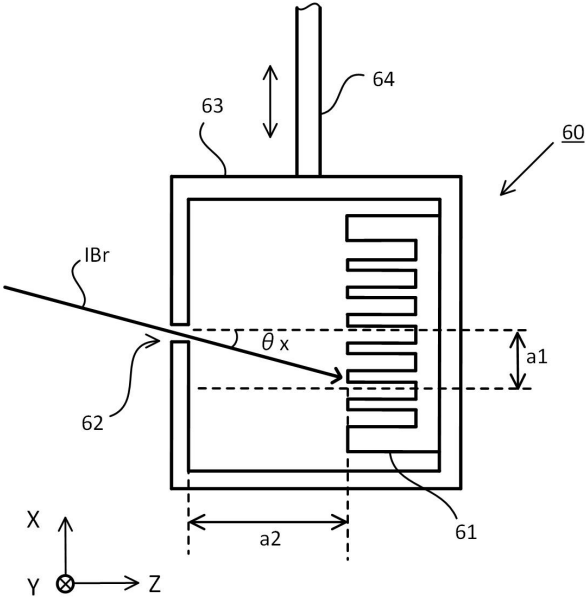
40

50

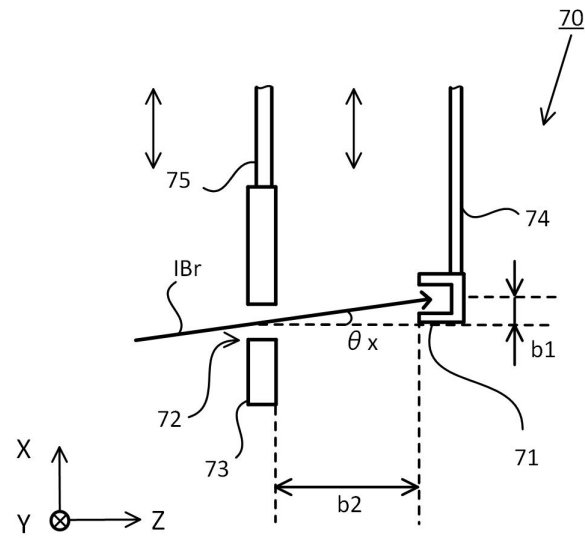
【図 1 3】



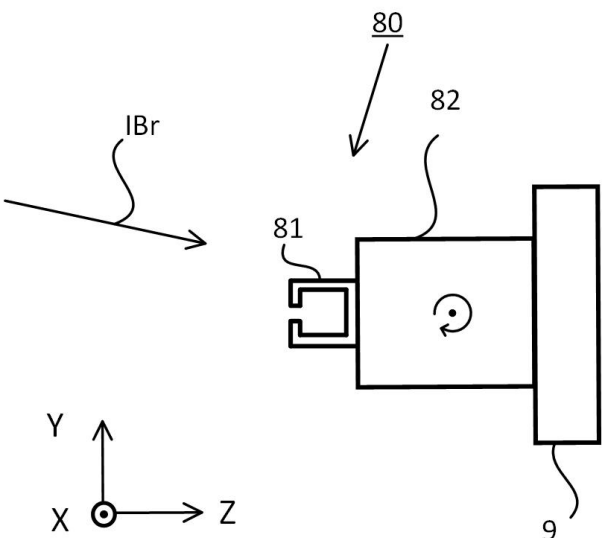
【図 1 4】



【図 1 5】



【図 1 6】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開 2019-139909 (JP, A)
 特開 2021-120944 (JP, A)
 特開 2022-122112 (JP, A)
 特開 2023-066254 (JP, A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
- H01J 37/317
 H01J 37/20
 H01J 37/147