

明 細 書

発明の名称： X線検査装置

技術分野

[0001] この発明は、半導体製造分野等、基板上に多数の薄膜を積層した多層膜構造の素子を製造する技術分野に好適なX線検査装置に関する。

背景技術

[0002] 半導体等、基板上に多数の薄膜を積層した多層膜構造の素子は、成膜する薄膜の膜厚、密度、結晶性などの状態によって特性が変化する。近年、これらの素子の微細化・集積化が進み、その傾向は顕著になってきている。このため、成膜した薄膜の状態を、正確に測定できる薄膜検査装置が求められている。

[0003] この種の検査装置として、従来より断面透過電子顕微鏡（TEM）による直接計測や、光干渉やエリプソメトリを利用した膜厚検査装置や、光音響式装置などが知られている。断面透過電子顕微鏡（TEM）では、製造工程に組み込みリアルタイムに検査対象の薄膜を検査する、いわゆるインラインでの検査ができず、しかも検査用に製造ラインから抜き取った製品は、検査後に廃棄されているのが実情であった。また、光干渉やエリプソメトリを利用した膜厚検査装置や、光音響式装置は、インラインでの検査には適するものの、数nmの薄い膜の測定には精度が不足している。

[0004] 半導体デバイスメーカーにとっては、使い捨てにされる検査用ウエーハ（ブランケットウエーハ）が、コスト面で大きな負担となっている。特に、近年では半導体ウエーハの大口径化が進展しており、一枚のブランケットウエーハにかかるコストも高価格化してきている。

[0005] 本出願人は、このような事情に鑑み、成膜製品の製造工程に組み込み、製品そのものを直接検査し、ウエーハを使い捨てることなく数nmの薄い膜でも十分な精度で検査可能とするインライン型のX線薄膜検査装置を、先に提案した（特許文献1を参照）。

先行技術文献

特許文献

- [0006] 特許文献1：特開2006-153767号公報
特許文献2：特開2013-210377号公報
特許文献3：国際公開WO2004/114325号

発明の開示

発明が解決しようとする課題

- [0007] さらに、今日の先端LSI (Large-Scale Integration) の技術分野では、SiGeや化合物半導体の格子歪み、応力、組成比、膜厚等の厳密な測定が必要になっている。またLEDや半導体レーザ(LD)などの光学系デバイスに用いられるIII-V族、II-VI族等の化合物半導体薄膜や、MEMS等に用いられる圧電薄膜についても、その結晶性を厳密に測定するニーズが増しており、これらに対応するX線検査装置の開発が要求されている。
- [0008] これらの用途に対応し、かつインラインで高効率な検査を実現するためには、例えば、X線回折におけるインプレーン(In-plane)回折を捉えたX線回折測定やロッキングカーブ(Rocking Curve)測定等を、高精度かつ高スループットに測定できることが必須である。しかし、従来のインライン型X線検査装置には、これらインプレーン(In-plane)回折を捉えたX線測定を高精度に実施できるものがなかった。
- [0009] 本発明の目的は、製造工程に組み込み、上記のインプレーン回折を捉えたX線測定を、高精度かつ高効率に測定できるインライン型のX線検査装置を提供することにある。

課題を解決するための手段

- [0010] すなわち、本発明のX線検査装置は、
検査対象となる試料を配置する試料配置部と、
試料配置部を移動させる試料配置部位置決め機構と、
独立して旋回する第1、第2の旋回部材を含むゴニオメータと、

第1の旋回部材に搭載され、あらかじめ設定した測定点へX線を集光して照射するX線照射ユニットと、

第2の旋回部材に搭載された二次元X線検出器と、を備えている。

[0011] ここで、ゴニオメータは、

測定点を通り水平方向に延びる θs 軸を中心に、第1の旋回部材を旋回させ、試料配置部に配置された試料に対するX線照射ユニットからのX線の入射角を設定する θs 旋回機構と、

θs 軸と一致する θd 軸を中心に、第2の旋回部材を旋回させ、X線検出器の走査角を設定する θd 旋回機構と、を含んでいる。

[0012] また、試料配置部位置決め機構は、

試料配置部に配置された試料の表面と直交する ϕ 軸を中心に、試料配置部を回転させる ϕ 回転機構と、

試料配置部及び ϕ 軸を、 θs 軸及び θd 軸と直角に交叉するX方向へ直線移動させるX移動機構と、

試料配置部及び ϕ 軸を、X方向と直角に交叉するY方向へ直線移動させるY移動機構と、

試料配置部を、当該試料配置部に配置された試料の表面と直交するZ方向へ移動させるZ移動機構と、

測定点で θs 軸及び θd 軸と直交しかつ水平方向に延びる χ 軸を中心に、試料配置部及び ϕ 軸を回転させる χ 回転機構と、

測定点で χ 軸と直交しかつ試料配置部に配置された試料の表面と平行に延びる $\chi \omega$ 軸を中心に、試料配置部及び ϕ 軸を回転させるとともに、 χ 回転機構により χ 軸周りに回転させられる $\chi \omega$ 回転機構と、を含んでいる。

[0013] さらに、X線照射ユニットは、X線の光軸と直角に交叉しかつ θs 軸と平行な横方向へX線を集光するとともに、X線の光軸と直角に交叉しかつ θs 軸とも直角に交叉する縦方向にもX線を集光する構成としてある。

[0014] 上述した構成の本発明に係るX線検査装置によれば、 χ 回転機構を駆動して、試料配置部に配置された試料の表面を鉛直配置した状態で、試料表面に

X線照射ユニットからの集光X線を照射するとともに、 θ_s 旋回機構により試料に対するX線の入射角を変化させることで、インプレーン回折のロッキングカーブ測定を実施することができる。

[0015] ここで、また、試料表面から一定範囲の回折角度であらわれる回折X線は、二次元X線検出器により一括して検出することができるので、高いスループットでの測定を実現することができる。

[0016] しかも、試料表面には、X線照射ユニットで集光されたX線が微小スポットに照射されるので、その微小スポットからあらわれる回折X線を検出することで、高分解能でかつ高精度な測定を実現することができる。

[0017] 上述したX線照射ユニットは、測定点において、横方向及び縦方向へそれぞれ100 μm 以内の半値幅にX線を集光させる構成であることが好ましい。

[0018] また、Y移動機構は、 χ 回転機構により試料配置部を水平に配置した状態で、当該試料配置部を移動させる方向（Y方向）が θ_s 軸及び θ_d 軸と平行となるように構成することが好ましい。このような構成をもって、当該Y方向へ試料配置部を移動（水平移動）させることにより、あらかじめ設定してある試料交換位置へ試料配置部を配置する試料交換機構としての機能を、Y移動機構が兼ね備えることが可能となる。

[0019] そして、Y移動機構により試料配置部を移動させる方向（すなわち、Y方向）を、第1の旋回部材の旋回中心となる θ_s 軸や、第2の旋回部材の旋回中心となる θ_d 軸と平行になるように構成したことで、第1の旋回部材に搭載されたX線照射ユニットの旋回軌道や、第2の旋回部材に搭載された二次元X線検出器の旋回軌道に干渉することなく、試料配置部を試料交換位置へ水平移動させることができる。そのため、成膜製品の製造工程に組み込みリアルタイムに検査対象の薄膜を検査する、いわゆるインラインでのX線検査が実現可能となる。

[0020] 一方、Y移動機構が試料交換機構としての機能を備えることで、Y方向への移動距離が長くなり、その結果、Y移動機構が大形化することは否めない

。そこで、本発明のX線検査装置では、Y移動機構の上に ϕ 回転機構を搭載するようにして、 ϕ 回転機構の駆動に必要なトルクの軽減を図っている。これにより、 ϕ 回転機構の小形化と小さな電力での円滑な駆動を実現することができる。

[0021] 本発明のX線検査装置は、試料配置部位置決め機構と、第1, 第2の旋回部材を含むゴニオメータと、X線照射ユニットとを制御して、インプレーン回折のロッキングカーブ測定を実施する制御機能を含む制御部を備えた構成とすることもできる。

[0022] そのとき、制御部は、

χ 回転機構を駆動して、試料配置部に配置された試料の表面を鉛直配置し、

、
Z移動機構を駆動して、試料配置部に配置された試料の被検査箇所を測定点の高さに合わせるとともに、

ϕ 回転機構、X移動機構及びY移動機構を駆動して、試料の被検査箇所を測定点にあらかじめ設定した向きで位置決めし、

さらに、 θs 旋回機構及び $\chi \omega$ 回転機構を駆動して、X線照射ユニットからのX線を、試料の表面に対して平行に近い方向から照射するとともに、

θs 旋回機構と連動して θd 旋回機構を駆動し、試料からブラッグの法則に従ってあらわれる回折X線を検出する位置へ二次元X線検出器を配置し、

かつ、 θs 旋回機構を駆動して、試料に対するX線の入射角を変化させて、インプレーン回折のロッキングカーブ測定を実施する制御機能を含む、構成とする。

[0023] また、制御部は、次のように構成することもできる。

すなわち、制御部は、

χ 回転機構を駆動して、試料配置部に配置された試料の表面を鉛直配置し、

、
Z移動機構を駆動して、試料配置部に配置された試料の被検査箇所を測定点の高さに合わせるとともに、

ϕ 回転機構、X移動機構及びY移動機構を駆動して、試料の被検査箇所を測定点にあらかじめ設定した向きで位置決めし、

さらに、 θs 旋回機構を駆動して、X線照射ユニットからのX線を、試料の表面に対して平行に近い方向から照射するとともに、

θs 旋回機構と連動して θd 旋回機構を駆動し、試料からブラッグの法則に従ってあらわれる回折X線を検出する位置へ二次元X線検出器を配置し、

かつ、 ϕ 回転機構を駆動するとともに、その駆動にX移動機構及びY移動機構を連動させることで、試料の被検査箇所を測定点に保持しつつ、試料に対するX線の入射角を変化させて、インプレーン回折のロッキングカーブ測定を実施する制御機能を含む、構成とすることもできる。

[0024] さらにまた、制御部は、次のように構成することもできる。

すなわち、制御部は、

χ 回転機構を駆動して、試料配置部に配置された試料の表面を鉛直配置し、

Z移動機構を駆動して、試料配置部に配置された試料の被検査箇所を測定点の高さに合わせるとともに、

ϕ 回転機構、X移動機構及びY移動機構を駆動して、試料の被検査箇所を測定点にあらかじめ設定した向きで位置決めし、

さらに、 θs 旋回機構及び $\chi \omega$ 回転機構を駆動して、X線照射ユニットからのX線を、試料の表面に対して平行に近い方向から照射するとともに、

θs 旋回機構と連動して θd 旋回機構を駆動し、試料からブラッグの法則に従ってあらわれる回折X線を検出する位置へ二次元X線検出器を配置し、

X線照射ユニットから試料へ集光して入射されるX線の集光角度の範囲で、インプレーン回折のロッキングカーブ測定を実施する制御機能を含む、構成とすることもできる。

[0025] このように構成すれば、 θs 旋回機構を駆動して試料に対するX線の入射角を変化させたり、 ϕ 回転機構を駆動して試料を面内方向（ ϕ 方向）に微小回転させたりすることなく、短時間でインプレーン回折のロッキングカーブ測

定を実施することができ、高いスループットでの測定を実現することができる。

[0026] また、本発明のX線検査装置は、試料配置部位置決め機構と、第1、第2の旋回部材を含むゴニオメータと、X線照射ユニットとを制御して、インプレーン回折測定を実施する制御機能を含む制御部を備えた構成とすることもできる。

[0027] ここで、制御部は、

χ 回転機構を駆動して、試料配置部に配置された試料の表面を鉛直配置し、

Z 移動機構を駆動して、試料配置部に配置された試料の被検査箇所を測定点の高さに合わせるとともに、

ϕ 回転機構、X 移動機構及びY 移動機構を駆動して、試料の被検査箇所を測定点にあらかじめ設定した向きで位置決めし、

さらに、 θ_s 旋回機構及び χ ω 回転機構を駆動して、X線照射ユニットからのX線を、試料の表面に対して平行に近い方向から照射するとともに、

θ_s 旋回機構と連動して θ_d 旋回機構を駆動し、試料の表面からブラッグの法則に従ってあらわれる回折X線を検出する位置へ二次元X線検出器を配置して、インプレーン回折測定を実施する制御機能を含む、構成とする。

[0028] また、本発明のX線検査装置は、試料配置部位置決め機構と、第1、第2の旋回部材を含むゴニオメータと、X線照射ユニットとを制御して、極点測定を実施する制御機能を含む制御部を備えた構成とすることもできる。

[0029] そのとき、制御部は、

χ 回転機構を駆動して、試料配置部に配置された試料の表面を、 χ 軸を中心に回転させることにより、極点測定のあおり角 α を 0° から 90° までの範囲内で設定するとともに、

ϕ 回転機構を駆動して、試料配置部に配置された試料の表面を、 ϕ 軸を中心に回転させることにより、極点測定の面内回転角 β を設定して、極点測定を実施する制御機能を含む、構成とする。

[0030] 上述した本発明によれば、製造工程に組み込みインラインにて、インプレーン回折を捉えたX線測定を、高精度かつ高効率に測定することができる。

図面の簡単な説明

[0031] [図1]図1 Aは、本発明の実施形態に係るX線検査装置の全体構造を示す正面図である。図1 Bは、同じく側面図である。

[図2]図2 Aは、本発明の実施形態に係るX線検査装置の主要構造を模式的に示す正面図である。図2 Bは、同じく側面図である。

[図3]図3は、試料配置部位置決め機構による試料配置部の移動方向を模式的に示す図である。

[図4]図4 Aは、本発明の実施形態に係るX線照射ユニットの構成を模式的に示す正面図である。図4 Bは、同じく底面図である。

[図5]図5は、図4 A及び図4 Bに示したX線照射ユニットの斜視図である。

[図6]図6 Aは、図4 A、図4 B及び図5に示したX線照射ユニットに含まれる第1のX線光学素子と第2のX線光学素子とを拡大して示す正面図である。図6 Bは、同じく底面図である。

[図7]図7 Aは、X線照射ユニットから半導体ウエーハの検査面に照射したX線の軌道と、当該検査面から反射してX線検出器に入射する回折X線の軌道とを模式的に示す正面図である。図7 Bは、図7 Aにおける測定点Pの部分拡大して示す平面図である。

[図8]図8は、本発明の実施形態に係るX線検査装置の制御系（制御部）を示すブロック図である。

[図9]図9は、インプレーンX線回折測定を説明するための概念図である。

[図10]図10 Aは、本発明の実施形態に係るX線検査装置によるインプレーンX線回折測定の実施手順を説明するための、図2に対応する正面図である。図10 Bは、同じく側面図である。

[図11]図11は、本発明の実施形態に係るX線検査装置によるインプレーンX線回折測定の実施手順を説明するための、図3に対応する模式図である。

[図12]図12は、インプレーン回折のロッキングカーブ測定を説明するため

の概念図である。

[図13]図13は、極点測定を説明するための概念図である。

[図14]図14Aは、本発明の実施形態に係るX線検査装置の他の構成例を模式的に示す正面図である。図14Bは、同じく側面図である。

符号の説明

- [0032] S : 試料、P : 測定点、
10 : 試料台、11 : 試料配置部、
20 : ゴニオメータ、21 : ゴニオメータ本体、22 : 第1の旋回アーム、
23 : 第2の旋回アーム、
30 : 位置決め機構、31 : ϕ 回転機構、32 : X移動機構、33 : Y移動機構、34 : Z移動機構、35 : χ 回転機構、36 : $\chi\omega$ 回転機構、
40 : X線照射ユニット、41 : X線管、42 : 第1のX線光学素子、43 : 第2のX線光学素子、44 : 集光スリット、
50 : X線検出器、
100 : 中央処理装置、101 : XGコントローラ、102 : 位置決めコントローラ、103 : ゴニオコントローラ、104 : 計数制御回路、110 : 記憶部、201 : 操作部、202 : 表示部、203 : 通信部

発明を実施するための最良の形態

- [0033] 以下、この発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。

[X線検査装置の基本構成]

図1A、図1Bは、本発明の実施形態に係るX線検査装置の全体構造を示す図である。図2A、図2Bは、同装置の主要構造を模式的に示す図である。

これらの図に示すように、本発明の実施形態に係るX線検査装置は、試料台10、ゴニオメータ20、試料配置部位置決め機構（以下、単に「位置決め機構」と称することもある）30、X線照射ユニット40、X線検出器50を備えている。

- [0034] 試料台10の上面には試料配置部11が形成されている。検査対象となる

半導体ウエーハ（試料S）は、この試料配置部11に配置される。試料台10は、位置決め機構30によって駆動される。X線検査装置にはあらかじめ測定点Pが設定してある。そして、位置決め機構30によって試料台10を駆動することで、試料配置部11に配置した試料Sの被測定箇所が、当該測定点Pに位置決めされる。

[0035] 試料配置部11には、試料Sを固定する機構（図示せず）が装備されている。この試料固定機構により、後述するように試料配置部11の表面（試料台10の上面）を鉛直配置したときも、試料配置部11からの試料Sの脱落が防止される。

試料Sの固定機構としては、例えば、試料配置部11の表面に複数の吸引ノズルを開口させ、当該吸引ノズルの中空部内を真空ポンプ等の吸引装置によって真空吸引することで、試料配置部11の表面に試料Sを吸着する構成を採用することができる。勿論、これ以外の公知の試料固定機構を採用してもよい。

[0036] ゴニオメータ20は、ゴニオメータ本体21に θ_s 旋回機構と θ_d 旋回機構とを内蔵している。

θ_s 旋回機構は、あらかじめ設定された測定点Pを通り水平方向に延びる θ_s 軸を中心に、第1の旋回アーム（旋回部材）22を図2Aの矢印 θ_s の方向へ旋回させる。この第1の旋回アーム22には、X線照射ユニット40が搭載してある。そして、第1の旋回アーム22の移動により、試料Sに対するX線照射ユニット40からのX線の入射角が設定される。

[0037] また、 θ_d 旋回機構は、あらかじめ設定された測定点Pを通り水平方向に延びる θ_d 軸を中心に、第2の旋回アーム（旋回部材）23を図2Aの矢印 θ_d の方向へ旋回させる。この第2の旋回アーム23には、X線検出器50が搭載してある。そして、第1の旋回アーム22の移動により、X線検出器50の走査角が設定される。すなわち、第1の旋回アーム22の移動により、試料Sの表面からブラッグの法則に従ってあらわれる回折X線を検出する位置へX線検出器50が配置される。

上述した θs 軸と θd 軸は、同軸上の旋回中心軸となっている。

[0038] 位置決め機構30は、試料配置部11を各方向へ移動させるための ϕ 回転機構31、X移動機構32、Y移動機構33、Z移動機構34、 χ 回転機構35、 $\chi\omega$ 回転機構36を含んでいる。

図3は、位置決め機構30による試料配置部11の移動方向を模式的に示す図である。同図と図2A、図2Bを参照して、位置決め機構30を説明する。

ϕ 回転機構31は、試料配置部11に配置された試料Sの表面と直交する ϕ 軸を中心に、試料配置部11を図の矢印 ϕ の方向へ回転させる、

X移動機構32は、試料配置部11及び ϕ 軸を、 θs 軸及び θd 軸と直角に交叉するX方向へ直線移動させる。

Y移動機構33は、試料配置部11及び ϕ 軸を、X方向と直角に交叉するY方向へ直線移動させる。

Z移動機構34は、試料配置部11を、当該試料配置部11に配置された試料Sの表面と直交するZ方向へ移動させる。

χ 回転機構35は、測定点Pで θs 軸及び θd 軸と直交しかつ水平方向に延びる χ 軸を中心に、試料配置部11及び ϕ 軸を図の矢印 χ の方向へ回転させる。

$\chi\omega$ 回転機構36は、測定点Pで χ 軸と直交しかつ試料配置部11に配置された試料の表面と平行に延びる $\chi\omega$ 軸を中心に、試料配置部11及び ϕ 軸を図の矢印 $\chi\omega$ の方向へ回転させる。さらに、この $\chi\omega$ 回転機構36は、 χ 回転機構35により χ 軸周りに図の矢印 χ の方向へ回転させられる。

[0039] さて、X線検査装置には、あらかじめ試料交換位置（図示せず）が設定してある。試料台10の上面に形成した試料配置部11は、この試料交換位置へ搬送される。試料交換位置では、ロボットアーム等の試料交換装置（図示せず）により、検査済みの試料Sが試料配置部11から取り出されるとともに、検査対象となる新たな試料Sが試料配置部11へ配置される。

本実施形態のX線検査装置では、Y移動機構33が、試料配置部11を試

料交換位置へ移動させるための試料交換機構として機能する構成としてある。

[0040] ここで、 χ 回転機構35により試料配置部11を水平に配置した状態で、当該試料配置部11を移動させる方向（Y方向）が、 θ s軸及び θ d軸と平行になるように構成してある。そして、当該方向への試料配置部11の移動経路上に試料交換位置が設定してある。

このように、 θ s軸及び θ d軸と平行な方向へ試料配置部11を移動させることで、X線照射ユニット40を搭載した第1の旋回アーム22や、X線検出器50を搭載した第2の旋回アーム23と干渉することなく、試料配置部11を試料交換位置まで移動させることが可能となる。

[0041] 一方、Y移動機構33が試料交換機構としての機能を備えることで、Y方向への移動距離が長くなり、その結果、Y移動機構33が大形化することは否めない。そこで、本実施形態のX線検査装置では、Y移動機構33の上に ϕ 回転機構31を搭載するようにして、 ϕ 回転機構31の駆動に必要となるトルクの軽減を図っている。これにより、 ϕ 回転機構31の小形化と小さな電力での円滑な駆動を実現することができる。

[0042] 本実施形態のX線検査装置では、図1A～図2Bに示すように、 χ 回転機構35の上に $\chi\omega$ 回転機構36、X移動機構32、Y移動機構33、Z移動機構34、 ϕ 回転機構31及び試料台10を搭載した構成としてある。具体的には、 χ 回転機構35によって $\chi\omega$ 回転機構36を χ 軸周りに回転させる構成としてある。この $\chi\omega$ 回転機構36の上に、X移動機構32及びY移動機構33が搭載してある。さらに、Y移動機構33の上に、Z移動機構34を搭載してある。さらに、このZ移動機構34の上に、 ϕ 回転機構31を搭載してある。さらに、この ϕ 回転機構31の上に、試料台10を搭載した構成としてある。

[0043] X線照射ユニット40は、X線管から発生したX線を、特定の波長の特性X線に単色化するとともに、一箇所に集光させる機能を有している。

X線照射ユニット40は、あらかじめ設定してある測定点PにX線を集光

して照射するように、X線の照射軌道が調整されている。測定点Pには、既述したように、試料配置部11に配置した試料Sの被測定箇所が位置決めされる。

なお、X線照射ユニット40の詳細構造については後述する。

[0044] X線検出器50には、二次元X線検出器を採用している。二次元X線検出器は、二次元で構成された面状のX線検出部を有しており、試料Sの表面からあらわれた回折X線を、この面状のX線検出部に一括して記録することができる。したがって、比例計数管(PC)やシンチレーションカウンタ(SC)等の一次元X線検出器と比較して、測定に要する時間を短縮できるという特徴を有している。

[0045] また、近年では、X線検出部に、100 μ m以下という非常に小さいピクセルサイズのシリコン半導体素子を多数配列し、これらの半導体素子により高い位置分解能をもって短時間で高精度にX線を検出することができる二次元半導体検出器も開発されている。この種の二次元半導体検出器をX線検出器50として採用することで、製造工程におけるインラインでの高効率でかつ高精度なX検査を実現することが可能となる。

[0046] [X線照射ユニットの構成例]

次に、X線照射ユニットについて、図4A～図7Bを参照して詳細に説明する。

図4A～図7Bに示すX線照射ユニット40は、X線管41と、第1のX線光学素子42と、第2のX線光学素子43と、集光スリット44（スリット部材）とを構成要素として含んでいる。これらの各構成要素は、図示しないユニット本体に内蔵されている。ユニット本体は、第1の旋回アーム22に搭載することができるコンパクトな寸法形状としてある。

なお、集光スリット44は、図7Aにのみ表示してあり、図4A、図4B及び図5では省略してある。

[0047] X線管41には、例えば、ターゲット上での電子線焦点サイズが ϕ 100 μ m程度の微小焦点X線管球を用いることができる。ターゲット材料として

は、銅（Cu）、モリブデン（Mo）、鉄（Fe）、コバルト（Co）、タングステン（W）、クロム（Cr）、銀（Ag）、金（Au）などを必要に応じて選択することができる。

特に、ターゲット材料として銅（Cu）を用いれば、後述する第1，第2のX線光学素子42，43により、高い角度分解能を有するCu-K α 1の特性X線のみを取り出すことができる。したがって、このCu-K α 1の特性X線を試料に照射することで、良好なスループットでのX線薄膜検査が実現可能となる。

[0048] 第1，第2のX線光学素子42，43は、X線管41から放射されたX線a1を入射し、特定波長の特性X線のみを取り出すとともに、当該取り出した特性X線a2を試料台10に配置された試料の表面上に集光させる機能を有している。

[0049] 図4A～図7Bに示すように、第1のX線光学素子42と第2のX線光学素子43は、X線が入射し且つ特性X線を反射させる表面（以下、単に「表面」という）42a，43aを互いに直交して配置してある。そして、図7Aに示すように、これら第1のX線光学素子42と第2のX線光学素子43は、特定波長の特性X線a2を試料台10に配置された試料の表面上で四角形状の微小スポットとなるように集光する。なお、図7Bは、試料（半導体ウエーハ）の表面における特性X線a2が集光する位置を模式的に示した拡大平面図である。

[0050] なお、本実施例では、第1のX線光学素子42と第2のX線光学素子43を、互いに1辺が接するSide-by-Side方式で配置したが、これに限定されず、Kirkpatrick-Baez（KB）と呼ばれる直列方式で配置することもできる。

[0051] 試料台10に配置された試料の表面において、第1，第2のX線光学素子42，43で反射して取り出された特性X線が集光する位置が測定点Pとなる。このように測定点Pへ特性X線を集光させるために、各X線光学素子42，43の表面42a，43aは、凹面状に湾曲して形成してある。

[0052] ここで、第1のX線光学素子42は、X線の光軸に直交し θ s軸と直交する縦方向にX線を集光する。

一方、第2のX線光学素子43は、X線の光軸に直交し θ s軸と平行な横方向にX線を集光する。

[0053] さらに、第1のX線光学素子42は、高い結晶性を有する結晶材料で構成してある。換言すると、第1のX線光学素子42は、固有のロッキングカーブ幅（すなわち、平行ビームを反射することができる角度範囲）が極めて小さい結晶材料によって構成してある。このように固有のロッキングカーブ幅が極めて小さい結晶材料としては、格子欠陥や不純物の極めて少ない完全結晶に相当する結晶材料が該当する。

[0054] 本実施形態では、固有のロッキングカーブ幅が 0.06° 以下の結晶材料によって構成してある。かかる結晶材料から取り出された特性X線a2を使用することで、X線薄膜測定において 0.06° 以下の高い角度分解能を得ることができる。

結晶材料としては、例えば、Ge(1 1 1)やSi(1 1 1)を使用することができる。Ge(1 1 1)を用いた場合は、 0.06° 以下のロッキングカーブ幅が得られる。また、Si(1 1 1)を用いた場合は、 0.02° 以下のロッキングカーブ幅が得られる。

[0055] さらに、第1のX線光学素子42によれば、測定点Pにおいて、縦方向へ $100\mu\text{m}$ 以内の半値幅にX線を集光させることができる。

また、第1のX線光学素子42は、特定波長の特性X線のみを取り出して単色化する機能を有している。

[0056] 一方、第2のX線光学素子43は、多層膜ミラーによって構成してある。この第2のX線光学素子43は、特定波長の特性X線のみを取り出して単色化する機能を有している。ここで、第2のX線光学素子43からは、第1のX線光学素子42で取り出される特性X線と同じ波長の特性X線が取り出されるように調整されている。

さらに、第2のX線光学素子43によれば、測定点Pにおいて、横方向へ

100 μm 以内の半値幅にX線を集光させることができる。

[0057] 図6A, 図6Bに拡大して示すように、X線管41から出射して第2のX線光学素子43の表面43aに入射したX線b1は、このX線光学素子43で単色化されて反射し、横方向に集光するように進んで、次に第1のX線光学素子42の表面42aへ入射する。そして、第1のX線光学素子42の表面42aに入射したX線b2は、このX線光学素子42でも単色化されて反射し、縦方向に集光するように進んで、図4A, 図4Bに示す測定点Pへ照射される。

[0058] 一方、X線管41から出射して第1のX線光学素子42の表面42aに入射したX線c1は、このX線光学素子42で単色化されて反射し、縦方向に集光するように進んで、次に第2のX線光学素子43の表面43aへ入射する。そして、第2のX線光学素子43の表面43aに入射したX線c2は、横方向に集光するように進み、図4A, 図4Bに示す測定点Pへ照射される。

[0059] このように、X線管41から出射してきたX線a1は、第1のX線光学素子42の表面42aと第2のX線光学素子43の表面43aとでそれぞれ1回ずつ反射し、その過程で特定波長の特性X線a2のみが取り出され、当該特性X線a2が測定点Pへ集光する。

[0060] なお、上述した特許文献2及び特許文献3には、完全結晶とマルチレイヤ光学部品を組み合わせた構成のX線ビーム調整システムが開示されている。しかし、これらの文献には、半導体ウエーハを検査対象の試料とするX線検査装置に最適化された構成は開示されていない。

[0061] 集光スリット44は、第1, 第2のX線光学素子42, 43で反射してきた特性X線a2を、上述した縦方向の両側から一部遮蔽するように配置してある。この集光スリット44は、第1, 第2のX線光学素子42, 43で反射してきた集光X線a2の縦方向の集光を制限する機能を有している。

[0062] 上述した構成のX線照射ユニット40を第1の旋回アーム22に搭載したX線検査装置によれば、第1のX線光学素子42、第2のX線光学素子43

及び集光スリット44によってX線を微小領域へ集光させることができる。したがって、半導体ウエーハの表面における極めて微小な検査領域にX線を照射して薄膜測定を実施することが可能となる。しかも、第1のX線光学素子42は、固有のロッキングカーブ幅が極めて小さい結晶材料によって構成してあるので、かかる結晶材料で取り出された特性X線a2を使用することで、X線薄膜測定において極めて高い角度分解能を得ることができる。

[0063] [X線検査装置の制御系]

図8はX線検査装置の制御系（制御部）を示すブロック図である。

X線照射ユニット40の制御は、XG（X-ray Generator）コントローラ101が実行する。

位置決めコントローラ102は、位置決め機構30を駆動制御する。

ゴニオメータ20は、ゴニオコントローラ103によって駆動制御される。

XGコントローラ101、位置決めコントローラ102、ゴニオコントローラ103の各構成部は、中央処理装置（CPU）100から送られてくる設定情報に基づいてそれぞれ作動する。ここで、設定情報は、レシピとして、あらかじめ記憶部110に記憶されており、中央処理装置（CPU）100が読み出して上記各構成部に出力する。

X線検出器50は、計数制御回路104によって制御される。

これらの各構成部及び中央処理装置100は、コンピュータによって構成され、あらかじめ記憶部110にインストールされて制御用プログラムに従ってそれぞれの制御動作を実行する。

[0064] また、X線検査装置は、装置の動作に必要な各種設定をオペレータが入力するためのキーボードやマウス等からなる操作部201を備えている。さらに、X線検査装置は、液晶ディスプレイ等で構成された表示部202と、ネットワーク経由してのデータ通信を実行する通信部203とを備えている。

[0065] [インプレーンX線回折測定]

次に、上述した構成のX線検査装置が備えるインプレーンX線回折測定の

機能について説明する。

インプレーンX線回折測定は、図9に示すように、薄膜試料Sの表面すれすれにX線aを入射し、薄膜試料Sにおける表面と直交する結晶格子面で、ブラッグの法則に従って回折してくる回折X線bを測定する手法である。このインプレーンX線回折測定により、薄膜試料Sの表面と直交する方向の結晶の大きさや配向性に関する情報を得ることができる。

[0066] 図8に示した制御系（制御部）は、位置決め機構30と、ゴニオメータ20と、X線照射ユニット40とを制御して、インプレーン回折測定を実施する制御機能を含んでいる。

すなわち、図8に示した制御系（制御部）における記憶部110には、インプレーンX線回折測定を実施するための制御プログラムがあらかじめインストールされている。さらに、記憶部110には、インプレーンX線回折測定に必要な設定情報が、レシピとしてあらかじめ記憶されている。中央処理装置（CPU）100は、当該制御プログラムに従い、必要な設定情報を読み出して、制御系の各構成部に出力する。

[0067] 具体的には、図10A、図10B及び図11に示すように、試料配置部11に配置された試料Sの表面を鉛直配置した状態で、インプレーン回折測定を実施することができる。

すなわち、位置決めコントローラ102が、位置決め機構30を構成する χ 回転機構35を駆動制御して、試料配置部11に配置された試料Sの表面を鉛直配置する。

[0068] 次いで、位置決めコントローラ102が、Z移動機構34を駆動制御して、試料配置部11に配置された試料Sの被検査箇所を測定点Pの高さに合わせる。さらに、位置決めコントローラ102が、 ϕ 回転機構31、X移動機構32及びY移動機構33を駆動制御して、試料Sの被検査箇所を測定点Pにあらかじめ設定した向きで位置決めする。

[0069] さらに、位置決めコントローラ102が、 $\chi\omega$ 回転機構36を駆動制御して、X線照射ユニット40からの入射X線aが試料Sの表面に対してすれす

れの角度 ($\Delta\omega$) で入射するように調整する。このように、試料 S の表面に対して X 線 a の入射方向に微小角度を設定するのは、試料 S の表面から吸収の少ない状態で X 線を結晶格子面に照射させるためである。

[0070] 併せて、ゴニオコントローラ 103 が、ゴニオメータ 20 の θ_s 旋回機構を駆動制御して、試料 S に対する X 線照射ユニット 40 からの X 線 a の入射角を設定する。

[0071] この状態で、XG コントローラ 101 が、X 線照射ユニット 40 を制御して、試料 S に向けて X 線 a を照射する。試料 S の内部では、試料表面と直交する結晶格子面においてブラッグの法則に従って X 線が回折する。そして、試料 S の表面から回折 X 線 b があらわれる。

ゴニオコントローラ 103 は、ゴニオメータ 20 の θ_d 旋回機構を駆動制御して、試料 S の表面からあらわれた回折 X 線 b を検出する位置へ X 線検出器 50 を配置する。X 線検出器 50 は、計数制御回路 104 によって制御され、回折 X 線 b を検出する。

[0072] 本実施形態の X 線検査装置によれば、X 線照射ユニット 40 により高い分解能で微小面積に集光する X 線 a を試料 S へ照射できるので、その集光角度範囲の X 線 a の束を一括して試料 S に照射して X 線回折測定を実施することができる。そして、X 線検出器 50 として二次元 X 線検出器を採用したことで、集光角度範囲の X 線 a の束に対応し一定の角度範囲で回折してきた回折 X 線 b の束を一括して検出することができ、測定時間の短縮化を実現することができる。

[0073] [インプレーン回折のロッキングカーブ測定]

次に、上述した構成の X 線検査装置が備えるインプレーン回折のロッキングカーブ測定の機能について説明する。

[0074] インプレーン回折は、既述したとおり、図 9 に示すように、薄膜試料 S における表面と直交する結晶格子面に X 線を入射したとき、同格子面においてブラッグの法則に従って生じる回折現象である。

かかるインプレーン回折に着目してロッキングカーブ測定を実施すること

で、試料Sの面内に配向性がある試料において、その配向性を評価することができる。すなわち、図12に示すように、試料Sを面内方向(ϕ 方向)に微小回転させてロッキングカーブ測定を実施することで、その回転方位の結晶方位のばらつきの程度を評価することができる。

具体的には、薄膜試料Sにおける表面と直交する結晶格子面に対して θ の角度でX線を入射させたとき、ブラッグの法則に従って当該格子面からX線が回折してくる方向(入射X線の光軸に対して 2θ の角度方向)にX線検出器50を固定する。この状態で、試料Sを面内方向(ϕ 方向)に微小回転させてロッキングカーブ測定を実施する。

[0075] 図8に示した制御系(制御部)は、位置決め機構30と、ゴニオメータ20と、X線照射ユニット40とを制御して、インプレーン回折のロッキングカーブ測定を実施する制御機能を含んでいる。

すなわち、図8に示した制御系(制御部)における記憶部110には、インプレーン回折のロッキングカーブ測定を実施するための制御プログラムがあらかじめインストールされており、かつ同測定に必要となる設定情報がレシピとしてあらかじめ記憶されている。中央処理装置(CPU)100は、当該制御プログラムに従い、必要な設定情報を読み出して、制御系の各構成部に出力する。

[0076] 具体的には、図10A、図10B及び図11に示すように、試料配置部11に配置された試料の表面を鉛直配置した状態で、インプレーン回折のロッキングカーブ測定を実施することができる。

すなわち、位置決めコントローラ102が、位置決め機構30を構成する χ 回転機構35を駆動制御して、試料配置部11に配置された試料の表面を鉛直配置する。

[0077] 次いで、位置決めコントローラ102が、Z移動機構34を駆動制御して、試料配置部11に配置された試料Sの被検査箇所を測定点Pの高さに合わせる。さらに、位置決めコントローラ102が、 ϕ 回転機構31、X移動機構32及びY移動機構33を駆動制御して、試料Sの被検査箇所を測定点P

にあらかじめ設定した向きで位置決めする。

[0078] さらに、位置決めコントローラ102が、 χ 回転機構36を駆動制御して、X線照射ユニット40からの入射X線が試料Sの表面に対してすれすれの角度($\Delta\omega$)で入射するように調整する。

併せて、ゴニオコントローラ103が、ゴニオメータ20の θ_s 回転機構を駆動制御して、試料Sに対するX線照射ユニット40からのX線aの入射角を設定する。それとともに、ゴニオコントローラ103が、ゴニオメータ20の θ_d 回転機構を駆動制御して、試料Sからブラッグの法則に従ってあらわれる回折X線を検出する位置へ、X線検出器50を配置する。

[0079] この状態で、XGコントローラ101が、X線照射ユニット40を制御して、試料Sに向けてX線aを照射する。そして、計数制御回路104がX線検出器50を制御して、試料Sの表面からあらわれた回折X線bをX線検出器50によって検出する。

[0080] さらに、ゴニオコントローラ103が、ゴニオメータ20の θ_s 回転機構を駆動制御して、試料Sに対するX線の入射角を変化させる。この入射角の変更動作は、図12において試料Sを面内方向(ϕ 方向)に微小回転させる動作に相当する。この動作をもって、インプレーン回折のロッキングカーブ測定を実施する。

[0081] また、図12において試料Sを面内方向(ϕ 方向)に微小回転させる動作は、位置決めコントローラ102によって、図10A、図10B及び図11に示した ϕ 回転機構31を駆動制御するとともに、その駆動にX移動機構32及びY移動機構33を連動させるように制御することで、実現することもできる。

[0082] 上述した構成の本実施形態に係るX線検査装置は、試料台10の直下に ϕ 回転機構31を設置してあるので(図2A、図2B参照)、X移動機構32とY移動機構33を駆動制御して試料Sの被測定箇所を測定点Pに位置決めしたとき、試料Sとともに ϕ 回転機構31がXY方向に移動して、 ϕ 軸が測定点Pから偏心してしまうことがある。そのため、測定点Pから偏心した ϕ

軸を中心に微小回転させたときの測定点Pにおける回転角を、当該偏心の無い状態での回転角に修正する必要がある。

そこで、 ϕ 回転機構31とともにX移動機構32及びY移動機構33を連動して駆動制御することで、 ϕ 方向への回転動作を修正している。

[0083] また、本実施形態のX線検査装置によれば、X線照射ユニット40により高い分解能で微小面積に集光するX線aを試料Sへ照射できるので、その集光角度範囲のX線aの束を一括して試料Sに照射してX線回折測定を実施することができる。そして、X線検出器50として二次元X線検出器を採用したことで、集光角度範囲のX線aの束に対応し一定の角度範囲で回折してきた回折X線bの束を一括して検出することができる。したがって、図12に示したように、試料Sを面内方向（ ϕ 方向）に微小回転させることなく、短時間でインプレーン回折のロッキングカーブ測定方法を実施することも可能となる。

[0084] 一般に、基板結晶に薄膜結晶をエピタキシャル成長させた試料Sを対象としてのロッキングカーブ測定方法では、試料表面に対するX線の入射角度 θ を 2° 以上の範囲で変化させている。したがって、X線照射ユニット40から試料表面に照射するX線は、集光スリット44により 2° 以上の集光角度に設定し、当該 2° 以上の角度範囲のX線を試料の表面に照射することが好ましい。

なお、前述したように、試料Sを面内方向（ ϕ 方向）に微小回転させてインプレーン回折のロッキングカーブ測定を実施する場合は、スリット等を設けて、試料Sに照射するX線の絞り込むようにすればよい。

[0085] [インプレーン回折のロッキングカーブ測定の具体的実施例]

本発明に係るX線検査装置は、例えば、基板上に形成されたSiGe（シリコンゲルマニウム）エピタキシャル薄膜等に対し、インプレーン回折を用いたロッキングカーブ測定を実施することが可能である。

[0086] 例えば、本発明に係るX線検査装置によれば、シリコン基板上に形成した、 SiO_2 薄膜上のSiGe薄膜（SGOI: SiGe on Insulator）を測定対

象として、次のようにしてインプレーン回折のロッキングカーブ測定を実施することができる。

[0087] 例えば、SGOIは、Si(100)面が基板表面に平行なシリコン基板上にSiGe薄膜を結晶成長させ、次に酸素イオンを照射し、これを適切な条件で高温処理することにより、シリコン基板とSiGe膜の間にSiO₂膜を形成させることにより作製される。

[0088] このように作製されたSGOIのSiGeは、SiO₂膜の存在により横方向の格子定数がSiより緩和している。一方で、SiO₂膜の形成条件が適正でないと、転位が発生する恐れがある。すなわち、SGOIの結晶品質を評価・管理するためには、SiGeの横方向の格子定数を高精度に測定することが極めて重要である。

[0089] つまり、基板表面に垂直な格子面に対してのX線回折を評価できること、すなわちインプレーン回折測定ができることが極めて大きい意義を持つことが分かる。

[0090] さらに、SiGe薄膜の膜厚は数十nm程度と非常に薄いため、高入射角ではX線が透過してしまい十分な回折線が得られない。

これに対して、インプレーン回折であればX線を基板表面に対してすれすれに入射するので、十分な回折線を検出できデータの精度を確保できるというメリットがある。

[0091] 基板表面に垂直なSiGe格子面の一例として、SiGe(400)についてロッキングカーブ測定を実施するには、次のような手順で行えばよい。

試料台10の上にSGOIが形成された基板(試料S)を配置して固定し、 χ 回転機構35を駆動して基板を水平面に対しておおよそ垂直に位置させる。X線入射方向と完全に平行にするとX線が入射できないので、 χ 回転機構35又は $\chi\omega$ 回転機構36を駆動調整して、X線が基板に対してすれすれに入射できるよう基板を配置する。

[0092] 次に、X移動機構32とY移動機構33を駆動して測定ポイントを決めた

後、 ϕ 回転機構31又はゴニオメータ20を駆動調整して、Si結晶格子面(400)において、X線がブラッグ反射する角度に基板及びX線照射ユニット40を設定する。

[0093] このように設定することで、Si基板結晶の(400)面から反射してくる回折X線と、そこからわずかにずれた方向にSiGe(400)面から反射してきた回折X線のピーク強度が検出される。X線検出器50は、Si基板結晶からの回折X線とSiGeからの回折X線が一括して検出できるよう配置する。

[0094] X線照射ユニット40は、高い分解能で微小面積に集光する単色X線を表面に照射できるので、当該集光角度範囲のX線の束を一括して基板に照射することができる。したがって、X線照射ユニット40、X線検出器50、基板などを走査することなく、極めて短時間にロッキングカーブ測定を行うことができる。

[0095] もちろん、X線源からのX線に対し、ビームスリット等で発散角を絞るとともに、X線源が搭載されたゴニオメータを走査することによってもロッキングカーブの測定は可能である。

[0096] 一方、上述したように本実施形態に係るX線検査装置では、X線検出器50に二次元検出器を用いているので、X線源に合わせてX線検出器50を走査することは必須ではない。また、試料の測定点を回転中心として ϕ 回転機構31、X移動機構32及びY移動機構33を駆動調整して走査することによってもロッキングカーブ測定は可能である。

[0097] 本発明のX線検査装置によれば、以上のようにして、SiGeエピタキシャル薄膜等に対し、インプレーン回折でのロッキングカーブ測定を高精度かつ高速に行うことができ、当該薄膜の結晶品質の分析・管理に極めて重要な役割を果たすことが可能である。

[0098] [極点測定]

次に、上述した構成のX線検査装置が備える極点測定の機能について説明する。

極点測定では、図13に示すように、試料Sのある結晶格子面に着目し、試料Sのあおり角 α と面内回転角 β の2つのパラメータを変化させ、試料Sに対してさまざまな方向からX線を入射させて、結晶格子面から回折してきた回折X線を測定する。そして、どの α 、 β の位置で回折線が観測されるかを、 α 、 β をパラメータとする極点図に回折X線の強度分布を描いて分析する測定手法が、極点測定である。

この極点測定により、薄膜材料、特に多結晶薄膜の結晶方位やその配向性などを評価することができる。

[0099] 図8に示した制御系（制御部）は、位置決め機構30と、ゴニオメータ20と、X線照射ユニット40とを制御して、極点測定を実施する制御機能を含んでいる。

すなわち、図8に示した制御系（制御部）における記憶部110には、極点測定を実施するための制御プログラムがあらかじめインストールされている。さらに、記憶部110には、極点測定に必要となる設定情報がレシピとしてあらかじめ記憶されている。中央処理装置（CPU）100は、当該制御プログラムに従い、必要な設定情報を読み出して、制御系の各構成部に出力する。

[0100] 具体的には、位置決めコントローラ102が、位置決め機構30を構成する χ 回転機構35を駆動制御して、試料配置部11に配置された試料Sの表面を、 χ 軸を中心に回転させることにより、極点測定のあおり角 α を 0° から 90° までの範囲内で変化させる。

また、位置決めコントローラ102が、位置決め機構30を構成する ϕ 回転機構31を駆動制御して、試料配置部11に配置された試料Sの表面を、 ϕ 軸を中心に回転させることにより、極点測定の面内回転角 β を変化させる。

このようにして、一定位置に固定したX線照射ユニット40をXGコントローラ101が制御して、試料Sに向けてX線aを照射する。そして、試料から回折してきた回折X線を一定の位置でX線検出器50が検出するように

、計数制御回路 104 が X 線検出器 50 を制御する。

[0101] なお、本発明は上述した実施形態に限定されるものではなく、その他にも種々の変形実施や応用実施が可能であることは勿論である。

例えば、上述した実施形態の X 線検査装置は、半導体製造ラインを流れる半導体ウエーハを検査対象としていたが、これに限らず、例えば、半導体製造ラインの後工程において半導体素子の微小部位を被測定部位とした X 線検査にも適用することが可能である。

[0102] また、上述した実施形態では、インプレーン X 線回折測定、インプレーン回折のロッキングカーブ測定及び極点測定の機能について説明したが、本発明の X 線検査装置は、これらの測定のみならず、通常の X 線回折測定やロッキングカーブ測定、X 線反射率測定、逆格子マップ測定など実施できることは勿論である。

[0103] また、図 2 A，図 2 B に示した X 線検査装置では、X 移動機構 32 を、Y 移動機構 33 と χ 回転機構 36 の間に設けた構成としたが、図 14 A，図 14 B に示すように、X 移動機構 32 を χ 回転機構 35 の下に設け、試料台 10、 ϕ 回転機構 31、Z 移動機構 34 及び Y 移動機構 33、のみならず、 χ 回転機構 36 及び χ 回転機構 35 も X 方向へ直線移動させる構成とすることもできる。

請求の範囲

[請求項1]

検査対象となる試料を配置する試料配置部と、
前記試料配置部を移動させる試料配置部位置決め機構と、
独立して回転する第1、第2の回転部材を含むゴニオメータと、
前記第1の回転部材に搭載され、あらかじめ設定した測定点へX線を集光して照射するX線照射ユニットと、
前記第2の回転部材に搭載された二次元X線検出器と、を備え、
前記ゴニオメータは、
前記測定点を通り水平方向に延びる θ s軸を中心に、前記第1の回転部材を回転させ、前記試料配置部に配置された試料に対する前記X線照射ユニットからのX線の入射角を設定する θ s回転機構と、
前記 θ s軸と一致する θ d軸を中心に、前記第2の回転部材を回転させ、前記X線検出器の走査角を設定する θ d回転機構と、を含み、
前記試料配置部位置決め機構は、
前記試料配置部に配置された試料の表面と直交する ϕ 軸を中心に、前記試料配置部を回転させる ϕ 回転機構と、
前記試料配置部及び ϕ 軸を、前記 θ s軸及び θ d軸と直角に交叉するX方向へ直線移動させるX移動機構と、
前記試料配置部及び ϕ 軸を、前記X方向と直角に交叉するY方向へ直線移動させるY移動機構と、
前記試料配置部を、当該試料配置部に配置された試料の表面と直交するZ方向へ移動させるZ移動機構と、
前記測定点で前記 θ s軸及び θ d軸と直交しかつ水平方向に延びる χ 軸を中心に、前記試料配置部及び ϕ 軸を回転させる χ 回転機構と、
前記測定点で前記 χ 軸と直交しかつ前記試料配置部に配置された試料の表面と平行に延びる $\chi\omega$ 軸を中心に、前記試料配置部及び ϕ 軸を回転させるとともに、前記 χ 回転機構により前記 χ 軸周りに回転させられる $\chi\omega$ 回転機構と、を含み、

X線照射ユニットは、

X線の光軸と直角に交叉しかつ前記 θ s軸と平行な横方向へX線を集光するとともに、X線の光軸と直角に交叉しかつ前記 θ s軸とも直角に交叉する縦方向にもX線を集光する構成とした、

ことを特徴とするX線検査装置。

[請求項2]

前記X線照射ユニットは、前記測定点において、前記横方向及び縦方向へそれぞれ100 μ m以内の半値幅にX線を集光させる構成であることを特徴とする請求項1のX線検査装置。

[請求項3]

前記Y移動機構は、前記 χ 回転機構により前記試料配置部を水平に配置した状態で、当該試料配置部を移動させる方向(Y方向)が前記 θ s軸及び θ d軸と平行となるように構成してあり、当該Y方向へ前記試料配置部を移動させることにより、あらかじめ設定してある試料交換位置へ前記試料配置部を配置する試料交換機構として機能することを特徴とする請求項1又は2のX線検査装置。

[請求項4]

前記試料配置部位置決め機構と、前記第1、第2の旋回部材を含むゴニオメータと、前記X線照射ユニットとを制御して、インプレーン回折のロックングカーブ測定を実施する制御機能を含む制御部を備え、

前記制御部は、

前記 χ 回転機構を駆動して、前記試料配置部に配置された試料の表面を鉛直配置し、

前記Z移動機構を駆動して、前記試料配置部に配置された試料の被検査箇所を前記測定点の高さに合わせるとともに、

前記 ϕ 回転機構、X移動機構及びY移動機構を駆動して、前記試料の被検査箇所を前記測定点にあらかじめ設定した向きで位置決めし、

さらに、前記 θ s旋回機構及び χ ω 回転機構を駆動して、前記X線照射ユニットからのX線を、前記試料の表面に対して平行に近い方向から照射するとともに、

前記 θ s 旋回機構と連動して前記 θ d 旋回機構を駆動し、前記試料からブラッグの法則に従ってあらわれる回折 X 線を検出する位置へ前記二次元 X 線検出器を配置し、

かつ、前記 θ s 旋回機構を駆動して、前記試料に対する X 線の入射角を変化させて、インプレーン回折のロッキングカーブ測定を実施する制御機能を含む、

ことを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか一項に記載の X 線検査装置。

[請求項 5]

前記試料配置部位置決め機構と、前記第 1, 第 2 の旋回部材を含むゴニオメータと、前記 X 線照射ユニットとを制御して、インプレーン回折のロッキングカーブ測定を実施する制御機能を含む制御部を備え、

前記制御部は、

前記 χ 回転機構を駆動して、前記試料配置部に配置された試料の表面を鉛直配置し、

前記 Z 移動機構を駆動して、前記試料配置部に配置された試料の被検査箇所を前記測定点の高さに合わせるとともに、

前記 ϕ 回転機構、X 移動機構及び Y 移動機構を駆動して、前記試料の被検査箇所を前記測定点にあらかじめ設定した向きで位置決めし、

さらに、前記 θ s 旋回機構を駆動して、前記 X 線照射ユニットからの X 線を、前記試料の表面に対して平行に近い方向から照射するとともに、

前記 θ s 旋回機構と連動して前記 θ d 旋回機構を駆動し、前記試料からブラッグの法則に従ってあらわれる回折 X 線を検出する位置へ前記二次元 X 線検出器を配置し、

かつ、前記 ϕ 回転機構を駆動するとともに、その駆動に前記 X 移動機構及び Y 移動機構を連動させることで、前記試料の被検査箇所を前記測定点に保持しつつ、前記試料に対する X 線の入射角を変化させて

、インプレーン回折のロッキングカーブ測定を実施する制御機能を含む、

ことを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか一項に記載の X 線検査装置。

[請求項 6]

前記試料配置部位置決め機構と、前記第 1, 第 2 の旋回部材を含むゴニオメータと、前記 X 線照射ユニットとを制御して、インプレーン回折のロッキングカーブ測定を実施する制御機能を含む制御部を備え、

前記制御部は、

前記 χ 回転機構を駆動して、前記試料配置部に配置された試料の表面を鉛直配置し、

前記 Z 移動機構を駆動して、前記試料配置部に配置された試料の被検査箇所を前記測定点の高さに合わせるとともに、

前記 ϕ 回転機構、X 移動機構及び Y 移動機構を駆動して、前記試料の被検査箇所を前記測定点にあらかじめ設定した向きで位置決めし、

さらに、前記 θ_s 旋回機構及び $\chi \omega$ 回転機構を駆動して、前記 X 線照射ユニットからの X 線を、前記試料の表面に対して平行に近い方向から照射するとともに、

前記 θ_s 旋回機構と連動して前記 θ_d 旋回機構を駆動し、前記試料からブラッグの法則に従ってあらわれる回折 X 線を検出する位置へ前記二次元 X 線検出器を配置し、

前記 X 線照射ユニットから前記試料へ集光して入射される X 線の集光角度の範囲で、インプレーン回折のロッキングカーブ測定を実施する制御機能を含む、

ことを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか一項に記載の X 線検査装置。

[請求項 7]

前記試料配置部位置決め機構と、前記第 1, 第 2 の旋回部材を含むゴニオメータと、前記 X 線照射ユニットとを制御して、インプレーン

回折測定を実施する制御機能を含む制御部を備え、

前記制御部は、

前記 χ 回転機構を駆動して、前記試料配置部に配置された試料の表面を鉛直配置し、

前記 Z 移動機構を駆動して、前記試料配置部に配置された試料の被検査箇所を前記測定点の高さに合わせるとともに、

前記 ϕ 回転機構、 X 移動機構及び Y 移動機構を駆動して、前記試料の被検査箇所を前記測定点にあらかじめ設定した向きで位置決めし、

さらに、前記 θ_s 旋回機構及び χ 回転機構を駆動して、前記 X 線照射ユニットからの X 線を、前記試料の表面に対して平行に近い方向から照射するとともに、

前記 θ_s 旋回機構と連動して前記 θ_d 旋回機構を駆動し、前記試料の表面からブラッグの法則に従ってあらわれる回折 X 線を検出する位置へ前記二次元 X 線検出器を配置して、インプレーン回折測定を実施する制御機能を含む、

ことを特徴とする請求項1乃至3のいずれか一項に記載の X 線検査装置。

[請求項8]

前記試料配置部位置決め機構と、前記第1、第2の旋回部材を含むゴニオメータと、前記 X 線照射ユニットとを制御して、極点測定を実施する制御機能を含む制御部を備え、

前記制御部は、

前記 χ 回転機構を駆動して、前記試料配置部に配置された試料の表面を、前記 χ 軸を中心に回転させることにより、極点測定のあおり角 α を 0° から 90° までの範囲内で設定するとともに、

前記 ϕ 回転機構を駆動して、前記試料配置部に配置された試料の表面を、前記 ϕ 軸を中心に回転させることにより、極点測定の面内回転角 β を設定して、極点測定を実施する制御機能を含む、

ことを特徴とする請求項1乃至3のいずれか一項に記載の X 線検査

装置。