

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4512382号
(P4512382)

(45) 発行日 平成22年7月28日(2010.7.28)

(24) 登録日 平成22年5月14日(2010.5.14)

(51) Int. Cl. F I
GO 1 N 23/201 (2006.01) GO 1 N 23/201

請求項の数 17 外国語出願 (全 17 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2004-35270 (P2004-35270) (22) 出願日 平成16年2月12日(2004.2.12) (65) 公開番号 特開2004-245840 (P2004-245840A) (43) 公開日 平成16年9月2日(2004.9.2) 審査請求日 平成18年11月7日(2006.11.7) (31) 優先権主張番号 10/364883 (32) 優先日 平成15年2月12日(2003.2.12) (33) 優先権主張国 米国 (US)</p>	<p>(73) 特許権者 502113194 ジョーダン・バレー・セミコンダクターズ ・リミテッド JORDAN VALLEY SEMI CONDUCTORS LTD. イスラエル国ミグダル・ハエメック 10 550, ピー・オー・ボックス 103 (74) 代理人 100081422 弁理士 田中 光雄 (74) 代理人 100098280 弁理士 石野 正弘 (72) 発明者 ボリス・ヨキン イスラエル17512ナザレス・イリト、 ガノット・ストリート7/6番</p>
--	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 小角散乱測定を含むX線反射率測定

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

試料の検査用装置において、

試料の表面上の領域を照射するのに適した放射線源と、

放射線源による上記領域の照射に起因する表面からの放射線を受け取るように、また、受け取られた放射線に反応する信号を発生させるように配置される検出素子アレイであって、アレイ軸を有し、表面に垂直な第1軸に沿って受け取られた放射線を分析するための該アレイ軸が表面に垂直である第1の作動上の配置と、表面に平行な第2軸に沿って受け取られた放射線を分析するための該アレイ軸が表面に平行である第2の作動上の配置との間で回転可能である上記検出素子アレイを有する検出器アセンブリと、

表面に対する仰角に応じて表面の反射率を決定すべく第1の作動上の配置の検出器アセンブリからの信号を処理するために、また、表面の平面における方位角に応じて表面の散乱プロファイルを決すべく第2の作動上の配置の検出器アセンブリからの信号を処理するために連結される信号処理装置と、を有することを特徴とする試料の検査用装置。

【請求項2】

上記放射線源が、上記領域の方へX線ビームを放射するのに適したX線源を備え、また、上記検査用装置が、上記検出素子アレイが上記第1の作動上の配置にある場合には、試料の表面の上記領域に収束する円錐状放射線を規定するために上記X線ビームを調節するように、また、上記検出素子アレイが上記第2の作動上の配置にある場合には、実質的に上記X線ビームを平行にするように適合させられるX線光学部品を有することを特徴とす

る請求項 1 記載の装置。

【請求項 3】

上記 X 線光学部品が、上記試料の表面に対する角度範囲を調節するために調整可能であるシャッタアセンブリを有し、上記角度範囲内において上記 X 線ビームが上記表面に入射することを特徴とする請求項 2 記載の装置。

【請求項 4】

上記信号処理装置が、上記試料の基板の上にある表面層に起因する上記散乱プロファイルを決定するように適合させられ、上記シャッタアセンブリが、上記 X 線ビームが上記表面に入射する角度範囲が表面層から外部への全反射の第 1 臨界角により、また、上記基板から外部への全反射の第 2 臨界角により制限されるように調節可能であり、上記第 2 臨界角が上記第 1 臨界角より大きいことを特徴とする請求項 3 記載の装置。

10

【請求項 5】

上記検出素子アレイが、リニアアレイを有し、上記リニアアレイにおける検出素子が、上記アレイ軸に垂直であり上記検出素子アレイのピッチよりかなり大きい横寸法を有することを特徴とする請求項 1 記載の装置。

【請求項 6】

上記検出素子アレイが、検出素子の 2 次元マトリクスを有し、上記検出器アセンブリが、上記アレイ軸に垂直な方向に沿って上記検出素子アレイのそれぞれの列における上記検出素子アレイの検出素子のピニングを行うように適合させられることを特徴とする請求項 1 記載の装置。

20

【請求項 7】

上記信号処理装置が、上記試料の基板の上にある多孔質表面層に起因する反射率及び散乱プロファイルを決定するように、また、反射率及び散乱プロファイルに基づいて、多孔質表面層内部に位置する孔の 1 つ若しくはそれ以上の特性を評価するように適合させられることを特徴とする請求項 1 記載の装置。

【請求項 8】

上記 1 つ若しくはそれ以上の特性が、上記孔の密度及び平均サイズを有することを特徴とする請求項 7 記載の装置。

【請求項 9】

試料の検査用方法において、
試料の表面上の領域を照射するステップと、
アレイ軸を有する検出素子アレイを、放射線源による上記領域の照射に起因する表面からの放射線を受け取り、受け取られた放射線に反応する第 1 信号を発生させるために上記表面に垂直な第 1 軸に沿って受け取られた放射線を分析するように、該アレイ軸が表面に垂直に位置調整される第 1 の作動上の配置に配列するステップと、

30

上記検出素子アレイを、放射線源による上記領域の照射に起因する表面からの放射線を受け取り、受け取られた放射線に反応する第 2 信号を発生させるために上記表面に平行な第 2 軸に沿って受け取られた放射線を分析するように、該アレイ軸が表面に平行になるように該検出素子アレイを回転することによる第 2 の作動上の配置に配列するステップと、

上記表面に対する仰角に応じて表面の反射率を決定するために第 1 信号を処理するステップと、

40

上記表面の平面における方位角に応じて上記表面の散乱プロファイルを決定するために第 2 信号を処理するステップと、を有することを特徴とする試料の検査用方法。

【請求項 10】

上記領域を照射するステップが、上記領域の方へ X 線ビームを指向させるステップを有し、該 X 線ビームを指向させるステップが、上記検出素子アレイが第 1 の作動上の配置にある場合には、円錐状光線を上記領域に収束するように指向させるステップを有し、上記検出素子アレイが第 2 の作動上の配置にある場合には、実質的に X 線ビームを平行にするステップを有することを特徴とする請求項 9 記載の方法。

【請求項 11】

50

上記X線ビームを指向させるステップが、上記検出素子アレイが第2の作動上の配置にある場合には、X線ビームが上記表面に入射する角度範囲が、上記試料の基板の上にある表面層から外部への全反射の第1臨界角により、また、上記基板から外部への全反射の第2臨界角により制限されるように上記X線ビームを制限するステップを有し、上記第2臨界角が上記第1臨界角より大きいことを特徴とする請求項10記載の方法。

【請求項12】

上記第1信号を処理するステップが、上記アレイが第2の作動上の配置にある場合には、上記ビームを制限するのに使用するために、第1及び第2臨界角を決定するステップを有することを特徴とする請求項11記載の方法。

【請求項13】

上記第1及び第2信号を処理するステップが、上記試料の基板の上にある多孔質表面層に起因する反射率及び散乱プロファイルを決定するステップと、反射率及び散乱プロファイルに基づいて、上記多孔質表面層内部に位置する孔の1つ若しくはそれ以上の特性を評価するステップと、を有することを特徴とする請求項9記載の方法。

【請求項14】

上記1つ若しくはそれ以上の特性が、上記孔の密度及び平均サイズを含んでいることを特徴とする請求項13記載の方法。

【請求項15】

上記領域を照射するステップが、ウエハの表面に薄膜層を堆積するために使用されるチャンバ内部で半導体ウエハを照射するステップを有し、第1及び第2の作動上の配置に検出素子アレイを配列するステップが、上記チャンバ内部でウエハの表面から放射線を受け取るステップを有することを特徴とする請求項9記載の方法。

【請求項16】

マイクロ電子デバイスを製造するクラスターツールにおいて、上記クラスターツールが、堆積ステーションと、検査ステーションと、信号処理装置と、を有し、

上記堆積ステーションが、半導体ウエハの表面に薄膜層を堆積するように適合させられ、

上記検査ステーションが、

ウエハの表面上の領域を照射するのに適した放射線源と、

放射線源による上記領域の照射に起因する表面から放射線を受け取るように、また、受け取られた放射線に反応する信号を発生させるように配置される検出素子アレイであって、アレイ軸を有し、表面に垂直な第1軸に沿って受け取られた放射線を分析するための該アレイ軸が表面に垂直である第1の作動上の配置と、表面に平行な第2軸に沿って受け取られた放射線を分析するための該アレイ軸が表面に平行である第2の作動上の配置との間で回転可能である上記検出素子アレイを備えた検出器アセンブリと、を有し、

上記信号処理装置が、堆積ステーションにより堆積された薄膜層の品質を評価できるように、表面に対する仰角に応じて表面の反射率を決定すべく第1の作動上の配置の検出器アセンブリからの信号を処理するために、また、表面の平面における方位角に応じて表面の散乱プロファイルを決定すべく第2の作動上の配置の検出器アセンブリからの信号を処理するために連結されることを特徴とするマイクロ電子デバイスを製造するクラスターツール。

【請求項17】

マイクロ電子デバイス製造用装置において、

半導体ウエハを受け取るのに適した製造チャンバと、

上記チャンバ内部で半導体ウエハの表面上に薄膜層を堆積するのに適した堆積装置と、

上記チャンバ内部でウエハの表面の領域を照射するのに適した放射線源と、

放射線源による領域の照射に起因する表面からの放射線を受け取るように、また、受け取られた放射線に反応する信号を発生させるように配置された検出素子アレイであって、アレイ軸を有し、表面に垂直な第1軸に沿って受け取られた放射線を分析するための該アレイ軸が表面に垂直である第1の作動上の配置と、表面に平行な第2軸に沿って受け取ら

10

20

30

40

50

れた放射線进行分析するための該アレイ軸が表面に平行である第2の作動上の配置との間で回転可能である上記検出素子アレイを有する検出器アセンブリと、

堆積ステーションにより堆積された薄膜層の品質を評価できるように、表面に対する仰角に応じて表面の反射率を決定すべく第1の作動上の配置の検出器アセンブリからの信号を処理するために、また、表面の平面における方位角に応じて表面の散乱プロファイルを決定すべく第2の作動上の配置の検出器アセンブリからの信号を処理するために連結される信号処理装置と、を有することを特徴とするマイクロ電子デバイス製造用装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、概括的には、分析機器に関するものであり、特に、X線を使用する薄膜分析のための機器及び方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

X線反射率測定(XRR)は、基板上に堆積された薄膜層の厚さ、密度及び表面品質を測定するよく知られた技術である。従来のX線反射率計は、多数の会社により、中でもテクノス(Technos)(日本国大阪府)、シーメンス(Siemens)(独国、ミュンヘン)及びビード・サイエンティフィック・インストゥルメンツ(Bede Scientific Instrument)(英国、ダラム)により販売されている。上記のX線反射率計は、典型的には、かすり入射で、すなわち、試料の表面に対して小角で、ほぼ試料の外部での全反射角(total external reflection angle)で、X線ビームを試料に照射することにより作動する。角度に応じて試料から反射されるX線強度の測定は、干渉縞パターンをもたらし、上記パターンは、縞パターンを作り出す原因である膜層の特性を決定するために分析される。X線強度測定は、一般に、比例計数管、又は、典型的には、フォトダイオードアレイ(photodiode array)又は電荷結合素子(CCD)であるアレイ検出器(array detector)のような位置検知形検出器を使用して行われる。

【0003】

膜厚を決定するためにX線データを分析する方法は、例えば、コミヤ(Komiya)等に対し発行された米国特許第5740226号に記載されており、その開示事項は、引用することによりここに組み込まれる。角度に応じてX線反射率を測定した後に、平均反射率曲線が、縞の分布範囲(spectrum)に適合させられる。平均曲線は、減衰、バックグラウンド(background)及び膜の表面粗さを表す式に基づくものである。適合させられた平均反射率曲線は、その後、縞の分布範囲の振動成分を導き出すことに使用される。この成分は、膜厚を見出すためにフーリエ変換される。

【0004】

コッペル(Koppel)に対し発行された米国特許第5619548号は、反射率測定に基づくX線厚み計を記載しており、その開示事項は、引用することによりここに組み込まれる。湾曲反射X線モノクロメータ(curved reflective X-ray monochromator)が、試料の表面上にX線を集束させるために使用される。フォトダイオード検出器アレイのような位置検知形検出器が、表面から反射されるX線を検知し、反射角に応じて強度信号を生じさせる。角度に依存する信号は、厚さ、密度及び表面粗さを有する試料上の薄膜層の構造特性を決定するために分析される。

【0005】

バートン(Barton)等に対し発行された米国特許第5923720号はまた、湾曲結晶モノクロメータに基づくX線分光計を記載しており、その開示事項は、引用することによりここに組み込まれる。上記モノクロメータは、漸減対数らせん(tapered logarithmic spiral)形をしており、試料表面上に従来技術のモノクロメータより微細な焦点を実現すると記載されている。試料表面から反射される、又は回折されるX線が、位置検知形検出器により受け取られる。

【0006】

10

20

30

40

50

X線反射率測定はまた、例えば、米国特許出願公開第2001/0043668A1号にハヤシ(Hayashi)等により記載されるように、半導体ウエハ上に製作した薄膜層を検査するために、堆積炉内部にそのまま(in situ)使用されてもよく、その開示事項は、引用することによりここに組み込まれる。上記炉は、X線の入射及び取り出し窓を側壁に備えている。薄膜が堆積される基板は、入射窓を通して照射され、基板から反射されるX線は、X線取り出し窓を通して検知される。

【0007】

小角X線散乱(SAXRS)は、表面層特性のためのもう1つの方法である。例えば、パリル(Parrill)等により「GISAXS - 微小角入射X線散乱(Glancing Incidence Small Angle X-ray Scattering)」ジャーナル・ディ・フィジック第4巻3号(Journal de Physique I V 3)(1993年12月)、ページ411~417に記載されており、引用することによりここに組み込まれる。この方法では、入射X線ビームが、表面から外部に全反射される。表面領域内部のエバネッセント波(evanescent wave)が、上記領域内部の微細構造により散乱される。散乱エバネッセント波の測定が、これらの構造について情報を提供し得る。例えば、パリル等は、表面上の膜成長に関連する島(island)についてサイズ情報を決定するためにこの技術の使用を記載している。

【0008】

小角X線散乱は、シリコンウエハ上に形成された低誘電率誘電体材料(low-k dielectric material)の表面層の中の孔(pore)の特徴を決定するためにこのように使用され得る。ナノポーラスシリケート(Nano-porous silicate)及びポリマ(polymer)は、0.25ミクロン以下の(sub-0.25 μ m)技術を有するマイクロ電子デバイスに使用するための魅力ある材料であると考えられるが、孔の大きさ及び密度に関する非破壊特性評価が、これまでは困難な課題となっていた。多孔質低誘電率材料の特性を示す散乱X線反射率の使用は、例えば、ワーミングトン(Wormington)によりセマテック・ゲート・スタック・エンジニアリング・ワークショップ(Sematech Gate Stack Engineering Workshop)(2002年5月2日、テキサス州オースティン(Austin))において紹介された“X線反射率を使用する低誘電率材料の孔サイズ分布特性”に説明されており、引用することによりここに組み込まれる。同様の方法が、イトウ(Ito)によりインターナショナル・セマテック・ウルトラ・ローケー・ワークショップ(International Sematech Ultra Low-k Workshop)(2002年6月6日~7日、カリフォルニア州サンフランシスコ)において紹介された“低誘電率薄膜の孔サイズ分布を決定するX線散乱方法”に説明されており、引用することによりここにまた組み込まれる。

【0009】

小角X線散乱による評価の下で試料を照射するために使用されるX線光学部品の配置(configuration of X-ray optics)は、典型的には、X線反射率測定に使用されるものとは異なる。例えば、イワサキ(Iwasaki)は、米国特許出願公開第2001/0028699A1号に小角散乱システムにおいて使用するX線光学部品装置及び多層膜ミラー(multilayer mirror)を記載しており、その開示事項は、引用することによりここに組み込まれる。多層膜ミラーは、2つの焦点を有する楕円形の反射面を有している。従って、焦点の一方における線源(source)からのX線ビームは、小角散乱測定法において高精度を付与すると考えられる方法で、他方の焦点においてスポット(spot)に焦点を合わせられる。

【特許文献1】米国特許第5740226号明細書

【特許文献2】米国特許第5619548号明細書

【特許文献3】米国特許第5923720号明細書

【特許文献4】米国特許出願公開第2001/0043668号明細書

【特許文献5】米国特許出願公開第2001/0028699号明細書

【非特許文献1】「Journal de Physique I V 3」、1993年12月発行、p411~417

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

10

20

30

40

50

本発明は、X線反射率と小角X線散乱とを組み合わせた測定を試料に行う方法及びシステムを提供する。これらの方法及びシステムは、例えば、低誘電率多孔質誘電体のような多孔質材料(porous material)の特性評価に有利である。X線反射率測定及び小角X線散乱は、それらが提供する情報に関して互いに補足し合うけれども、単一のシステムを使用して、両方の種類の測定を行うことに固有の問題がある。試料の照射に関して、小角X線散乱の正確な測定のためには、平行にされたビームが有利である。これに対して、X線反射率測定は、大きい収束角を備えた集中ビームを有利に使用し、その結果、反射率測定が、数度の範囲にわたって同時に行われ得る。検出側では、小角X線散乱は、典型的には、試料の表面の平面内における方位角に応じた散乱を調査しており、X線反射率測定は、表面の平面に垂直な仰角に応じて反射X線を測定することに基づいている。

10

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明の実施形態は、X線反射率と小角X線散乱の両方の要求を有利に及び効率良く満たすために新しいX線光学部品(X-ray optics)及び検出アセンブリ(detection assembly)を使用する。これらの実施形態では、X線検査装置は、試料の表面の小領域を照射するように設定される放射線源を有している。X線光学部品は、行われる測定の形式に依存して、ビームの角度の幅及び高さを調整するために、放射線ビームを制御する。検出アセンブリは、照射された領域から反射される、又は散乱される放射線を受け取るために配置されている検出素子アレイ(array of detector elements)を有している。上記アレイは、2つの作動上の配置(operative configuration)をとり、1つにおいて、アレイ素子(element of the array)が試料面に垂直である第1軸に沿って放射線を分析し、もう1つにおいて、素子が上記面に平行である第2軸に沿って放射線を分析する。適切な配置が、行われる測定の形式において、機械的に又は電子的に選択される。典型的には、第1軸がX線反射率測定のために選択され、第2軸が小角X線散乱のために選択される。

20

【0012】

ここに記載されている本発明の実施形態は、主に、薄膜、特に半導体ウエハ上に形成された膜に対するX線測定を向上させることに関するものであるが、本発明の原理は、他の形式の放射線に基づく分析はもちろん、コロイドの分析のように、X線反射率及び散乱の他の適用において同様に使用され得る。

【0013】

従って、本発明の実施形態に基づいて、試料の検査用装置が提供されており、上記装置は、試料の表面上の領域を照射するのに適した放射線源と、放射線源による上記領域の照射に起因する表面からの放射線を受け取るように、また、受け取られた放射線に反応する信号を発生させるように配置される検出素子アレイであって、表面に垂直な第1軸に沿って受け取られた放射線を分析する第1の作動上の配置、及び表面に平行な第2軸に沿って受け取られた放射線を分析する第2の作動上の配置をとる上記検出素子アレイを有する検出器アセンブリ(detector assembly)と、表面に対する仰角に応じて表面の反射率を決定すべく第1の作動上の配置の検出器アセンブリからの信号を処理するために、また、表面の平面における方位角に応じて表面の散乱プロファイル(profile)を決定すべく第2の作動上の配置の検出器アセンブリからの信号を処理するために連結される信号処理装置と、を有している。

30

40

【0014】

典型的には、放射線源は、上記領域の方へX線ビームを放射するのに適したX線源を備えており、上記装置は、アレイが第1又は第2の作動上の配置にあるかに依存するビームの横寸法を調節するのに適したX線光学部品を有している。X線光学部品は、アレイが第1の作動上の配置にある場合には、試料の表面の上記領域に収束する円錐状放射線を規定するためにビームを調節するように、また、アレイが第2の作動上の配置にある場合には、実質的にビームを平行にするように適合させられ得る。

【0015】

付加的に、又はその代わりに、X線光学部品は、試料の表面に対する角度範囲を調節す

50

るために調整可能であるシャッタアセンブリ(shutter assembly)を有しており、その内部でX線ビームが上記表面に入射する。典型的には、信号処理装置が、試料基板の上にある表面層に起因する散乱プロファイルを決めるように適合させられており、シャッタアセンブリは、X線ビームが表面に入射する角度範囲が、表面層から外部への全反射の第1臨界角により、また基板から外部への全反射の第2臨界角によりほぼ拘束されるように調整可能であり、ここにおいて、第2臨界角は、第1臨界角より大きい。

【0016】

本発明の1つの実施形態では、検出素子アレイは、アレイ軸を有しており、上記アレイは、アレイ軸が第1の作動上の配置において表面に垂直である、及びアレイ軸が第2の作動上の配置において表面に平行であるように回転可能である。上記アレイが、リニアアレイ(linear array)を含んでいてもよく、検出素子が、アレイ軸に垂直でありアレイのピッチ(pitch)よりかなり大きい横寸法を有してもよい。代わりに、アレイが、検出素子の2次元マトリクス(two-dimensional matrix)を有してもよく、検出器アセンブリが、アレイ軸に垂直な方向に沿ってアレイのそれぞれの列における検出素子のビンニングを行う(bin)ように適合させられてもよい。

10

【0017】

本発明の1つの実施形態では、信号処理装置が、試料基板の上にある多孔質表面層に起因する反射率及び散乱プロファイルを決めるように、また、反射率及び散乱プロファイルに基づいて、多孔質表面層内部に位置する孔の1つ若しくはそれ以上の特性を評価するように適合させられてもよい。典型的には、1つ若しくはそれ以上の特性は、孔の密度及び平均サイズを含んでいる。

20

【0018】

本発明の実施形態に基づいて、試料の検査方法がまた提供されており、上記検査方法は、試料の表面上の領域を照射するステップと、放射線源による領域の照射に起因する表面からの放射線を受け取り、受け取られた放射線に反応する第1信号を発生させるために、表面に垂直な第1軸に沿って受け取られた放射線を分析する第1の作動上の配置に検出素子アレイを配列するステップと、放射線源による領域の照射に起因する表面からの放射線を受け取り、受け取られた放射線に反応する第2信号を発生させるために、表面に平行な第2軸に沿って受け取られた放射線を分析する第2の作動上の配置に検出素子アレイを配列するステップと、表面に対する仰角に応じて表面の反射率を決定するために第1信号を処理するステップと、表面の平面における方位角に応じて表面の散乱プロファイルを決めるために第2信号を処理するステップと、を有する。

30

【0019】

1つの実施形態では、上記領域を照射するステップは、ウエハ表面に薄膜層を堆積するために使用されるチャンバ(chamber)内部で半導体ウエハを照射するステップを含んでおり、第1及び第2の作動上の配置に検出素子アレイを配列するステップは、上記室内部でウエハ表面からの放射線を受け取るステップを含んでいる。

【0020】

本発明の1つの実施形態に基づいて、マイクロ電子デバイスを製造するクラスターツール(cluster tool)がまた提供されており、上記クラスターツールは、堆積ステーション(deposition station)と、検査ステーション(inspection station)と、信号処理装置と、を有しており、上記堆積ステーションは、半導体ウエハの表面に薄膜層を堆積するように適合させられており、上記検査ステーションは、ウエハの表面上の領域を照射するのに適した放射線源と、放射線源による領域の照射に起因する表面からの放射線を受け取るように、また、受け取られた放射線に反応する信号を発生させるように配置された検出素子アレイであって、表面に垂直な第1軸に沿って受け取られた放射線を分析する第1の作動上の配置及び表面に平行な第2軸に沿って受け取られた放射線を分析する第2の作動上の配置をとる上記アレイを有する検出器アセンブリと、を有しており、上記信号処理装置は、堆積ステーションにより堆積された薄膜層の品質を評価できるように、表面に対する仰角に応じて表面の反射率を決定すべく第1の作動上の配置の検出器アセンブリからの信号を処

40

50

理するために、また、表面の平面における方位角に応じて表面の散乱プロファイルを設定すべく第2の作動上の配置の検出器アセンブリからの信号を処理するために連結される。

【0021】

本発明の1つの実施形態に基づいて、マイクロ電子デバイスを製造するための装置が更に提供されており、上記装置は、半導体ウエハを受け取るのに適した製造チャンバ(production chamber)と、上記チャンバ内部で半導体ウエハの表面上に薄膜層を堆積するのに適した堆積装置と、上記チャンバ内部でウエハの表面の領域を照射するのに適した放射線源と、放射線源による領域の照射に起因する表面からの放射線を受け取るように、また、受け取られた放射線に反応する信号を発生させるように配置された検出素子アレイであって、表面に垂直な第1軸に沿って受け取られた放射線を分析する第1の作動上の配置及び表面に平行な第2軸に沿って受け取られた放射線を分析する第2の作動上の配置をとる上記アレイを有する検出器アセンブリと、堆積ステーションにより堆積された薄膜層の品質を評価できるように、表面に対する仰角に応じて表面の反射率を設定すべく第1の作動上の配置の検出器アセンブリからの信号を処理するために、また、表面の平面における方位角に応じて表面の散乱プロファイルを設定すべく第2の作動上の配置の検出器アセンブリからの信号を処理するために連結される信号処理装置と、を有している。

10

【0022】

本発明は、添付図と合わせて取り上げられる、その実施形態の以下の詳細な記述からより完全に理解されるであろう。

【0023】

本発明の実施形態に基づいて、X線反射率(XRR)及び小角散乱(SAXS)測定用システム20を概略的に表わしている図1及び図2が参照されている。図1は、システムの側面図であり、図2は、平面図である。システム20は、小角X線散乱測定に必要とされる特徴及び機能が付加された上述の米国特許出願第09/833902号に記載されているX線反射率測定システムと同様である。

20

【0024】

半導体ウエハのようなシステム20により評価される試料が、位置及び方位の正確な調整を可能とする可動ステージ(motion stage)24に取り付けられる。典型的には、好適な単色光学部品(monochromatizing optics)(不図示)を備えたX線源26が、試料22上の小領域28を照射する。例えば、オックスフォード・インストゥルメンツ(カリフォルニア州スコッツバリー(Scotts Valley))により製造されているX線管XTF5011が、この目的のために使用されてもよい。上記光学部品は、集束ビーム27で領域28上にX線管から放射線を集束させる。線源26に使用され得る多数の異なる光学上の配置が、米国特許第6381303号に記載されており、その開示事項は、引用することによりここに組み込まれている。例えば、上記光学部品は、ニューヨーク州アルバニー(Albany)にあるエクソオーエス(XOS Inc.)により製造されているダブルベント集束結晶光学部品(Double-Bent Focusing Crystal Optic)のような湾曲結晶モノクロメータを有してもよい。他の好適な光学部品が、上述の米国特許第5619548号及び第5923720号に記載されている。更に可能な光学上の配置は、当業者に明らかである。システム20において反射及び散乱測定用の典型的なX線エネルギー源は、約8.05キロ電子ボルト(8.05keV)(CuKa1)である。代わりに、5.4キロ電子ボルト(5.4keV)(CrKa1)のような他のエネルギー源が、使用されても良い。

30

40

【0025】

ダイナミック・ナイフエッジ(dynamic knife edge)36及びシャッタ38が、垂直方向(すなわち、試料22の平面に垂直)においてX線の入射ビーム27の角度範囲を制限するために使用されており、スリット39が、水平にビームを制限するために使用され得る。ナイフエッジ、シャッタ及びスリットが共に、ビーム27の横寸法を調整するために、シャッタアセンブリとして機能を果たしている。図1及び図2におけるシャッタアセンブリの配置は、一例として示されており、以下に説明されるように、ビーム27の横寸法を制御するX線光学部品の代わりとなる配置が、当業者に明らかであり、本発明の範囲内にあ

50

ると考えられる。

【 0 0 2 6 】

X線反射率測定におけるナイフエッジ36及びシャッタ38の使用が、上述の米国特許出願第09/833902号に詳細に記載されている。簡単に言えば、ゼロ度(0°)近くの低角の反射の光学的検出のために、シャッタ38が、入射ビーム27の範囲の外部に引き下げられ、ナイフエッジ36が、領域28の上に位置付けられ、ビームの有効な垂直断面を縮小するために下げられる。その結果、領域28上に入射するX線スポットの外側の寸法が、減少させられる。これに対して、より弱く、高角の反射の有効な検出のためには、ナイフエッジ36が、ビーム27から引き出され、シャッタ38が、ビームの小角部分を遮るように位置付けられる。(代わりに、シャッタが、反射ビーム29の小角部分を遮るように位置付けられてもよい。)このようにして、強い小角の反射ではなく、試料22から高角の反射のみが検出器アレイに達し、これにより、高角の測定の信号/バックグラウンドの比が高まる。

10

【 0 0 2 7 】

X線反射率測定のためには、ビーム27が、領域28上に収束するように集束されることが好都合であるのに対し、小角X線散乱測定は、好ましくは、狭い入射ビーム、典型的には、ほぼ平行にされているビームを使用して行われる。このため、ナイフエッジ36及びシャッタ38が、垂直方向において、試料の外部への全反射の臨界角以下のビーム27の狭い部分のみが、領域28に入射するように位置付けられる。この目的のためにナイフエッジとシャッタの最適な位置付けは、図4に関連して以下に説明される。同時に、スリット39が、図2に示されるように、狭い水平の範囲のみ入ることを可能とするように閉められる。スリット幅は、以下に説明されるように、小角X線散乱測定の範囲及び分解能を最適化するために選択される。最適幅は、線源26により発生されるようなビーム27の特性に依存する。(ある幅、典型的には、約100マイクロメートル(100µm)以下では、更に幅を小さくすることにより改善が得られない。)X線反射率測定の間中、スリット39は、完全な円錐状の収束光線が入ることを可能とし、それにより反射率測定の信号/ノイズの比を増大させるために、典型的には、大きく開いている。

20

【 0 0 2 8 】

試料22から反射される及び/又は散乱されるX線ビーム29は、検出器アセンブリ30により集められる。典型的には、X線反射率に関し、アセンブリ30は、試料の外部への全反射の臨界角より下及び上の両方の垂直(射角 -)方向における約0度と3度との間の反射角の範囲にわたって、反射X線を集める。小角X線散乱に関して、アセンブリ30は、水平(方位角 -)方向における同様の角度の範囲にわたって散乱X線を集める。(図を明瞭化するために、図に示した角度は、図1において試料22の平面の上方にある線源26及び検出器アセンブリ30の射角と同様に誇張されている。)

30

【 0 0 2 9 】

アセンブリ30は、以下に説明されるように、CCDアレイのような検出器アレイ32を有している。図を簡略化するために、検出素子の単一の列のみが、比較的少数の検出素子を備えて図に示されているが、アレイ32は、通常、リニアアレイ又はマトリクス(2次元)アレイのどちらかとして配置される多数の素子を有している。アセンブリ30は、アレイと試料との間に、検出器アレイの前に配置されるベリリウム(Beryllium)のような好適なX線透過物質で作られる窓34をさらに有している。更に、アレイ32の作用、特にX線反射率測定及び小角X線散乱測定の両方を行うときの使用の詳細が、図3A及び図3Bに関して以下に記載される。

40

【 0 0 3 0 】

信号処理装置40は、所定のエネルギーにおいてまたはエネルギー範囲を超えて、角度に応じて試料22から反射される又は散乱されるX線光子束の分布42を測定するために、アセンブリ30の出力を分析する。典型的には、試料22は、領域28において薄膜のような1つ若しくはそれ以上の薄い表面層を有しており、その結果、射角に応じた分布42が、層の間の界面からの反射されたX線波(X-ray wave)の間での干渉効果のために振動

50

構造を示す。方位角に応じた散乱X線の分布は、試料22の表面層において孔のような微細構造を示している。処理装置40は、以下に記載される分析方法を使用して、層の厚さ、密度、表面品質及び孔サイズのような試料の1つ若しくはそれ以上の表面層の特性を決定するために、角度分布の特性を分析する。

【0031】

図3A及び図3Bはそれぞれ、本発明の実施形態に係る第1及び第2の作動上の配置におけるアレイ32の概略正面図である。図3Aに示した第1の配置は、X線反射率用に使用され、図3Bに示した第2の配置は、小角X線散乱測定用に使用される。アレイ32は、2つの軸、つまりX線反射率用に試料22の平面に垂直な第1軸と、小角X線散乱用に試料平面に平行な第2軸のどちらかに沿って入射光を分析するように位置調整され得るアレイ軸を備えて、検出素子46の単一の列を有するようにこれらの図に示されている。素子46は、高いアスペクト比を有している、すなわち、アレイ軸に対する横方向の幅が、軸に沿うピッチよりかなり大きい。アレイ32が、アレイ軸に沿う各角度の増分についての比較的広い領域にわたりX線光子を集めることができるので、高アスペクト比は、システム20の信号/ノイズの比を高めるのに有効である。素子46の寸法が、単に一例として図に示されているが、本発明の原理は、好適な検出器装置の用途の必要性及び有用性に依存して、より小さい又はより大きいアスペクト比の素子を使用して用いられてもよい。

10

【0032】

上述のように、アレイ32が、日本国浜松市にあるハママツ(Hamamatsu)により生産されている型式S7032-1008のような線形CCDアレイ又はマトリクスアレイのどちらかを有してもよい。この後者のアレイは、全体サイズが25.4×6mmで、1044×256画素(ピクセル:pixel)を有している。ハママツによりこの目的のために与えられる専用の機器を使用して、ラインビニングモード(line-binning mode)で作動されることができ、その結果、上記アレイの各列において複数の検出素子は、高アスペクト比を備えた単一の素子として有効に機能する。この場合には、アレイ32は、物理的に検出素子の2次元的マトリクスを有しているが、図3A及び図3Bに示されるように、アレイは、機能上、検出素子の単一の列の形態をとる。

20

【0033】

アレイ32は、その代わりに、好適な読み出し回路を備えたPINダイオードのアレイを有してもよく、或いは、米国特許第6389102号に記載されるように、集積処理電子機器(integrated processing electronics)を有してもよく、その開示事項は、引用することによりここに組み込まれている。この特許はまた、アレイの別の特徴を記載しており、アレイの検出特性を高めるのに適合させられ得る(1次元又は2次元の両方の)アレイ及びマスクング(masking)の様々な幾何学的配置を有している。これらの特徴は、同様に本特許出願のアセンブリ30に適用できる。いずれにしても、これらの検出器の形式は、一例としてここに記載されており、あらゆる好適な形式、寸法及び数を有する検出器が使用されることが理解されるであろう。

30

【0034】

アレイ32は、アセンブリ30における好適な位置決め機器(不図示)を使用して、機械的に図3A及び図3Bの異なる作動上の軸間で切り替えられ得る。上記機器は、行われる測定形式に依存して、垂直及び水平軸の間で90度だけアレイを回転させる。回転点が、アレイ32の中心近くであるならば、小角X線散乱測定用に(試料22の平面により近く)下方へ、また、X線反射率用に上方へアレイを移動する必要があり得る。その代わりに、回転点が、試料の表面近くに固定されてもよく、それによりアレイの垂直の移動は必要とされない。この場合には、小角X線散乱の配置において、アレイ32は、入射ビーム27の軸について中心に配置されなくてもよい。しかし、小角X線散乱は、一般に入射ビーム軸について対称であるので、実質的に、情報は、両方ではなく軸の1つの側面に対して散乱された放射線を測定することにより失われることはない。

40

【0035】

他の手段が、その代わりに、アレイ32の第1及び第2の作動上の配置の間で切り替え

50

るために使用されてもよい。例えば、アセンブリ 30 が、垂直及び水平の両方の方向におけるアレキ 32 の素子 46 のビニングを行うことができるならば、作動上の軸の間の切替は、単にビニング方向 (binning direction) を切り替えることにより電子的に成し遂げられ得る。原則的に、試料 22 を機械的に回転させることもまた可能であるが、このオプション (option) は、10 - 12 インチ (10-12") 半導体ウエハのような大きい試料については現実的ではない。

【0036】

図 4 は、本発明の 1 つの実施形態に係るシステム 20 を使用して行われた X 線反射率測定のプロットである。上記プロットは、仰角 θ の関数としてアレキ 32 により受け取られる反射 X 線の強度を示している。上部曲線 50 は、ベアシリコンウエハ (bare silicon wafer) から測定される反射を示しており、下部曲線 52 は、低誘電率多孔質誘電体膜が形成されているウエハからの反射を示している。両方の曲線は、 0.2 度 (0.2°) よりわずかに大きく、 θ_2 として図に記されている角度においてショルダ部 (shoulder) を有している。この角度は、シリコンから外部での全反射の臨界角におおよそ一致する。臨界角より上では、主に低誘電率膜の上側及び下側の面からの反射のために、曲線 52 は、振動構造を示す。この振動の周期及び振幅が、低誘電率膜、或いはその下にある他の薄膜層の厚さ及び表面品質を決定するために分析される。例えば、高速フーリエ変換 (FFT) が、関連する振動の特性を導き出すために使用され得る。曲線 52 のような X 線反射率の信号を分析する方法が、上記の米国特許出願第 09 / 833902 号により詳細に記載されている。

【0037】

臨界角、つまり反射率曲線においてショルダ部の位置は、X 線が反射する材料の密度により主に決定される。ウエハ上に堆積される多孔質低誘電率誘電体層は、シリコン基板よりかなり低い密度を有するので、多孔質層の臨界角は、下にあるシリコンのそれよりかなり小さい。従って、曲線 52 において、もう 1 つのショルダ部が、多孔質層の臨界角に相当する θ_1 として図に記されるより小さい角度で見られる。 θ_1 の値に基づいて、処理装置 40 は、多孔質材料の全体の密度を決定することができる。誘電体材料 (孔がない場合) の固有の密度が、典型的に知られているので、多孔質層の体積単位当りの孔の全容積は、 θ_1 の測定された値に基づいて、誘電体材料の既知の固有の密度と見積もられた多孔質層全体の密度との間の差分として導き出され得る。

【0038】

X 線反射率により測定された θ_1 と θ_2 の値はまた、小角 X 線散乱測定を行うためにナイフエッジ 36 とシャッタ 38 の最も望ましい設定を示している。 θ_1 より下では、試料 22 に入射する X 線は、実質的に、上の多孔質層の中へ浸透せず、それにより小角 X 線散乱信号にあまり寄与しない。 θ_2 より上では、入射光は、シリコン基板の方へ浸透し、その結果、これらの高い角度における放射線もまた、小角 X 線散乱測定にあまり寄与しない。従って、小角 X 線散乱測定を行うのに備えて、処理装置 40 (又はシステム 20 のオペレータ) は、典型的には、シャッタが θ_1 より下の角度において入射光を遮断し、ナイフエッジが θ_2 より上の角度において入射光を遮断するように、シャッタ 38 とナイフエッジ 36 の位置を調節する。 θ_1 と θ_2 の間の範囲外の入射光は、小角 X 線散乱信号を高めることなく、空気からの寄生散乱 (parasitic scattering) と、試料 22 及びシステム 20 の他の要素とのために、バックグラウンドを増加させる傾向があるのみである。

【0039】

その代わりに、シャッタ 38 とナイフエッジ 36 の位置を動的に調節する代わりに、固定幅の水平スリットが、小角 X 線散乱測定の間中、入射光の角度範囲を制限するために使用されてもよい。発明者は、例えば、試料の表面に対して 0.10 度と 0.23 度との間の仰角範囲の進入を可能とするスリットが、多孔質低誘電率誘電体膜の小角 X 線散乱測定に効果があることを見出している。

【0040】

図 5 A は、本発明の 1 つの実施形態に係る上記の方法においてシステム 20 を使用して

10

20

30

40

50

得られた小角 X 線散乱測定結果の概略プロットである。その結果は、X 線散乱測定技術で見られるように、運動量移動パラメータ Q の関数として表示される。 $(Q = 4 \sin \theta / \lambda)$ 、単位は \AA^{-1} (inverse Angstrom)、 θ は方位角、 λ は X 線波長であり、本実施例においては、 1.54 オングストローム (\AA) の 2 つの測定が図に示されており、上部曲線 60 が、上に多孔質低誘電率誘電体層を有するウエハから、 Q の関数として散乱測定を示しており、下部曲線 62 が、ベアシリコンウエハからの散乱を示している。曲線 60 が、曲線 62 によって標準化される、すなわち、曲線全体が、両方の曲線において中央のピークが等しい高さを有するように合わせられる。低誘電率層の中の孔からの散乱効果は、約 0.02\AA^{-1} と約 0.12\AA^{-1} との間の範囲において、曲線 62 に対する曲線 60 の高さで評価され得る。

10

【0041】

図 5 B は、図 5 A の測定により付与される正味の小角 X 線散乱信号を示す概略プロットである。データ点 64 は、 Q の各値において曲線 60 と 62 との測定される差分に相当する。曲線 66 は、データ点 64 に対するパラメトリック曲線への適合 (parametric fit) を示している。適合のパラメータは、孔の密度 C 、孔の平均サイズ R_0 、及び平均値について孔サイズ分布の幅 σ を有している。上述のように、多孔質層全体の密度、つまり孔の全容積は、図 4 に示した X 線反射率測定から導き出され得る。この情報が、平均孔サイズの正確な評価を得るために、曲線 66 の適合に対する入力として使用され得る。

【0042】

実質的には、従来技術で知られているあらゆる適合方法が、曲線 66 をデータ点 64 に適合させるために使用され得る。適合の目的は、実験結果に対して以下の式により与えられるような散乱強度 $I(Q)$ の分布に最適に適合する C 、 R_0 、及び σ の値を見出すことである。

20

$$I(Q) = C \int_{R_{\min}}^{R_{\max}} dR \cdot [F^2(Q, R)] \cdot n(R) \quad (1)$$

ここで、 R は孔サイズであり、 R_{\max} 及び R_{\min} は、実践的な最大及び最小のサイズ限界である。 F は、球状の孔を仮定し、以下に与えられる散乱形状因子である。

$$F(Q, R) = 3 \cdot V(R) \cdot \frac{\sin(QR) - QR \cdot \cos(QR)}{(QR)^3} \quad (2)$$

30

孔サイズの分布 $n(R)$ が、ギニエ近似に基づいて、正規分布として近似され得る。

$$n(R) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \cdot \exp \left\{ - \frac{\left(\frac{R}{R_0} - 1 \right)^2}{2 \cdot \sigma^2} \right\} \quad (3)$$

その代わりに、対数正規分布のような他の分布が採用されてもよい。

$$n(R) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma \cdot R} \cdot \exp \left\{ - \frac{\log^2 \frac{R}{R_0}}{2 \cdot \sigma^2} \right\} \quad (4)$$

40

散乱結果を処理する代替の方法と同様に、適合手順の詳細は、当業者に明らかである。

【0043】

上記のように、システム 20 は、マイクロ電子デバイスを製造する過程において、半導体ウエハ上に形成される薄膜の検査に特に有用である。この目的のために、システム 20 は、半導体製造設備において、独立したオフライン式の検査ステーションとして配備され得る。その代わりに、上記の原理に基づく検査システムが、インライン式の測定及び監視

50

のために半導体製造設備と一体化されてもよい。この種のインラインシステム(inline system)の2つの例が、以下に説明される。本発明の原理に基づく検査性能を統合する代替の設備構成が、本特許出願を読んだ場合に、当業者に明らかであり、本発明の範囲内であると考えられる。

【0044】

図6は、本発明の1つの実施形態に基づいて、半導体デバイス製造に使用するクラスターツール70の概略平面図である。クラスターツールは、半導体ウエハ77上に薄膜を堆積する堆積ステーション72、検査ステーション74、及び当業者に知られるように洗浄ステーション(cleaning station)のような他のステーション76を有する複数のステーションを含んでいる。検査ステーション74が構成されており、上記のように、システム20と同様の方法で作動する。ロボット78が、システム制御装置80の制御の下でステーション72, 74, 76...の間でウエハ77を移動する。ツール70の運転が、制御装置80に連結されたワークステーション82を使用するオペレータにより制御され、且つ監視されてもよい。

【0045】

検査ステーション74は、ツール70の堆積ステーション72及び他のステーションにより行われる生産プロセスにおいて選択されたステップの前後で、ウエハのX線検査を行うために使用される。上記検査は、X線反射率測定、又は小角X線散乱のどちらか、又は両方を有してもよい。1つの典型的な実施形態では、堆積ステーション72が、ウエハ上に多孔質低誘電率誘電体層のような多孔質薄膜を作るために使用され、検査ステーション74が、上記のように、X線反射率と小角X線散乱の両方の評価を行う。この配置は、制御装置、或いはワークステーション82を使用して、プロセスの偏差の早期検出及びウエハの生産におけるプロセスのパラメータの都合のよい調整及び評価を可能にする。

【0046】

図7は、本発明のもう1つの実施形態に基づいて、半導体ウエハの製造及びそのまま検査するシステム90の概略側面図である。システム90は、当技術分野において公知であるように、ウエハ77上に薄膜を作るために、堆積装置94を含む真空チャンバ92を有している。ウエハは、チャンバ92内部の可動ステージ24に取り付けられる。上記チャンバは、典型的には、X線窓96を有しており、上記窓は、上記米国特許出願公開第2001/0043668A1号に記載されている形式であってもよい。X線源26は、上記のように、窓96の1つを介してウエハ77上の領域28を照射する。図1に示したシャッタ、ナイフエッジ、及びスリットは、簡略化のために図7から省略されているが、典型的には、この種の要素は、線源26の中へ、又はチャンバ92内部に一体化される。

【0047】

領域28から反射される、又は散乱されるX線は、窓96のもう1つを介して検出器アセンブリ30の中のアレイ32により受け取られる。アレイは、典型的には、X線反射率又は小角X線散乱測定のどちらかを行うために、垂直及び水平の方向の間で回転させられ得る。処理装置40は、検出器アセンブリ30から信号を受け取り、チャンバ92内部で生産中に薄膜層の特性を評価するために信号を処理する。この評価の結果は、システム90により作り出される膜が、厚さ、密度及び多孔質等の所望の特性を有するように堆積装置94を制御するのに使用され得る。

【0048】

上記の実施形態は、半導体ウエハ上の低誘電率誘電体層の多孔質特性を決定することを主に取り扱っているが、本発明の原理が、他の形式の放射線に基づく分析における場合と同様に、X線だけでなく、他の電離放射線バンドも使用して、他のX線反射率及び散乱の用途においても同様に使用され得る。従って、当然のことながら、上述の実施形態は、一例として引用されており、本発明は、上記に示され記載されているものに特に限定されるものではないことが理解されるであろう。それどころか、本発明の範囲は、上記記載を読んだ場合に当業者に明らかである、また、従来技術に開示されていない変形及び変更はもちろん、上記に記載されている様々な特徴の組み合わせ及び部分的組み合わせ(subcombin

10

20

30

40

50

ation)の両方を有する。

【図面の簡単な説明】

【0049】

【図1】本発明の1つの実施形態に係るX線反射率及び散乱測定用システムの概略側面図である。

【図2】小角X線散乱測定用に使用される配置における図1のシステムの概略平面図である。

【図3A】本発明の1つの実施形態に係るX線反射率用に配列された検出器アレイの概略正面図である。

【図3B】本発明の1つの実施形態に係る小角X線散乱用に配列された検出器アレイの概略正面図である。

【図4】本発明の1つの実施形態に係る小角X線散乱測定用に使用される仰角範囲の選択を示すX線反射率測定の概略プロットである。

【図5A】本発明の1つの実施形態に係るペアシリコンウエハにおける及び多孔質誘電体層により覆われたウエハにおける方位角に応じて測定されるX線散乱の概略プロットである。

【図5B】本発明の1つの実施形態に係る図5Aの散乱測定間の差分及びその差分のパラメトリック曲線への適合を示す概略プロットである。

【図6】本発明の1つの実施形態に係る検査ステーションを有する半導体装置の製造用クラスターツールの概略平面図である。

【図7】本発明の1つの実施形態に係るX線検査性能を備えた半導体処理チャンバの概略側面図である。

【符号の説明】

【0050】

20 システム

22 試料

24 可動ステージ

26 X線源

27 入射ビーム

28 小領域

29 反射ビーム

30 検出器アセンブリ

32 素子アレイ

34 窓

36 ナイフエッジ

38 シャッタ

39 スリット

40 処理装置

42 プロファイル

46 検出素子

50 上部曲線

52 下部曲線

60 上部曲線

62 下部曲線

64 データ点

66 曲線

70 クラスターツール

72 堆積ステーション

74 検査ステーション

76 他のステーション

10

20

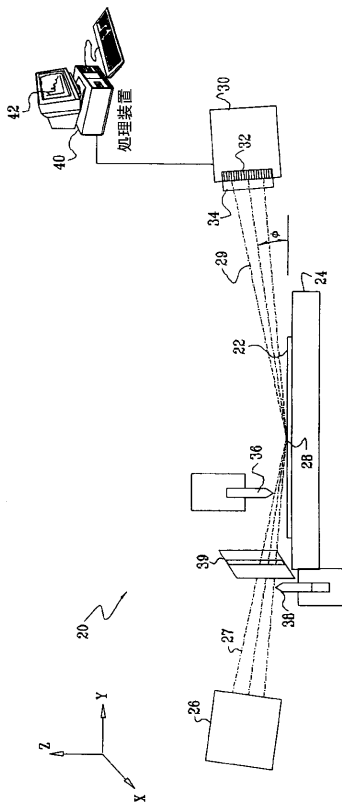
30

40

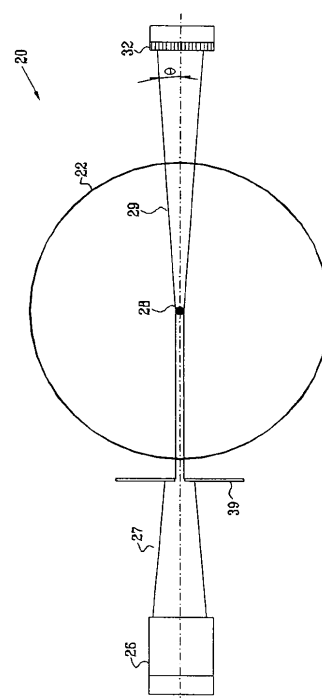
50

- 77 ウエハ
- 78 ロボット
- 80 コントローラ
- 82 ワークステーション
- 90 システム
- 92 真空チャンバ
- 94 堆積装置
- 96 X線窓

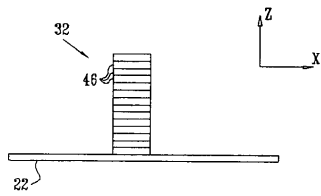
【図1】



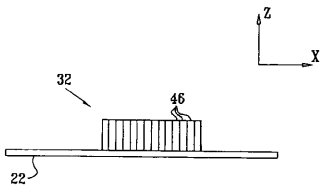
【図2】



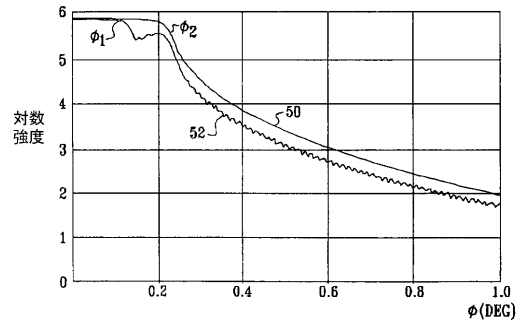
【図3A】



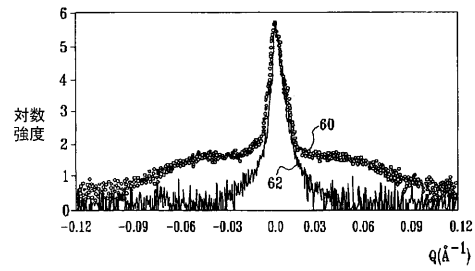
【図3B】



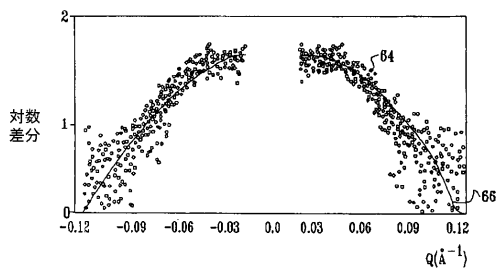
【図4】



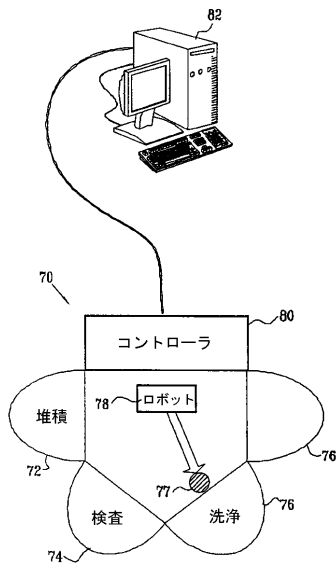
【図5A】



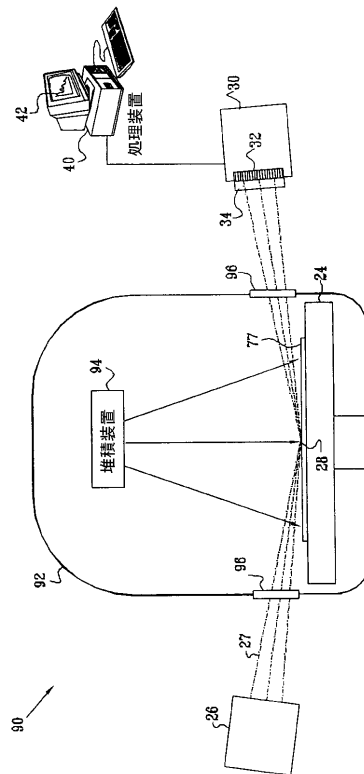
【図5B】



【図6】



【図7】



フロントページの続き

- (72)発明者 アレキサンダー・ディコポルツェフ
イスラエル、ハイファ、ズフィット・ストリート17/3番
- (72)発明者 ツァチ・ラファエリ
イスラエル、ジバット・シムシット、ユバリム・ストリート44番
- (72)発明者 アモス・グバーツマン
イスラエル17910モシャブ・ジッポリ

審査官 越柴 洋哉

- (56)参考文献 特開平07-098285(JP,A)
特開平07-092112(JP,A)
特開平06-160312(JP,A)
特開2003-004670(JP,A)
特開平10-185846(JP,A)
特開2002-310947(JP,A)
特開2001-349849(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01N23/00-23/227