

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5722861号  
(P5722861)

(45) 発行日 平成27年5月27日(2015.5.27)

(24) 登録日 平成27年4月3日(2015.4.3)

(51) Int.Cl. F I  
GO 1 N 23/223 (2006.01) GO 1 N 23/223

請求項の数 8 外国語出願 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2012-227103 (P2012-227103)	(73) 特許権者	506243655
(22) 出願日	平成24年10月12日 (2012.10.12)		ジョーダン バリー セミコンダクターズ
(62) 分割の表示	特願2007-340602 (P2007-340602)		リミテッド
原出願日	平成19年12月28日 (2007.12.28)		イスラエル国, ミグダル ヘメク, ポスト
(65) 公開番号	特開2013-15539 (P2013-15539A)	(74) 代理人	100099759
(43) 公開日	平成25年1月24日 (2013.1.24)		弁理士 青木 篤
審査請求日	平成24年10月18日 (2012.10.18)	(74) 代理人	100092624
(31) 優先権主張番号	180482		弁理士 鶴田 準一
(32) 優先日	平成19年1月1日 (2007.1.1)	(74) 代理人	100102819
(33) 優先権主張国	イスラエル (IL)		弁理士 島田 哲郎
(31) 優先権主張番号	12/003, 215	(74) 代理人	100119987
(32) 優先日	平成19年12月20日 (2007.12.20)		弁理士 伊坪 公一
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100141254
			弁理士 榎原 正巳

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 検査方法及び検査装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

X線ビームを使用してサンプルを照射する段階であって、前記X線ビームは、前記サンプルの表面上においてスポットを画定するべく合焦される、段階と、

前記表面上の特徴部を横断する複数の非平行スキャンラインを有する2次元スキャンパターンに沿って前記スポットをスキャンするべく、前記サンプル及び前記X線ビームの中の少なくとも1つをシフトさせる段階と、

前記スポットがそれぞれ異なった程度で前記特徴部と重なる、前記スキャンパターンに沿った複数の場所において前記X線ビームに反応して前記サンプルから放射される蛍光X線の個々の強度を計測する段階であって、前記個々の強度を計測する段階は、前記スキャンパターンの第1のラインに沿った第1の複数の場所において前記X線ビームに反応して前記サンプルから放射される蛍光X線の個々の強度を計測するとともに、前記蛍光X線の強度が最大値を有する前記第1のラインの上の場所を見出すことと、前記第1のラインと非平行であるとともに前記蛍光X線の強度が最大値を有した前記第1のラインの上の場所を通過する前記スキャンパターンの第2のラインに沿った第2の複数の場所において前記X線ビームに反応して前記サンプルから放射される蛍光X線の個々の強度を計測することと、を有する段階と、

前記スキャンパターン上における前記放射蛍光X線の強度の修正された値を演算するべく、前記第1の複数の場所及び前記第2の複数の場所において計測された前記強度を処理する段階と、

前記修正された値に基づいて前記特徴部の厚さを推定する段階と、  
を有する検査方法。

【請求項 2】

前記修正された値は、前記スキャンパターン上における前記放射蛍光 X 線の最大値である請求項 1 記載の方法。

【請求項 3】

前記強度を処理する段階は、前記場所の関数として計測された前記個々の強度に対して曲線をフィッティングする段階を有する請求項 2 記載の方法。

【請求項 4】

前記強度を処理する段階は、前記特徴部のエリアにわたって強度関数を積分する段階を有する請求項 2 記載の方法。

10

【請求項 5】

前記サンプルは、その上部にスクライブラインが画定された半導体ウエハを有しており、前記特徴部は、前記スクライブライン内において前記ウエハ上に形成された金属試験ターゲットを有しており、前記サンプル及び前記 X 線ビームの中の少なくとも 1 つをシフトさせる段階は、前記スクライブラインを横断して前記スポットをスキャンする段階を有する請求項 1 記載の方法。

【請求項 6】

前記サンプル及び前記 X 線ビームの中の少なくとも 1 つをシフトさせる段階は、前記スクライブラインを横断して前記スポットをスキャンする段階の前に前記 X 線ビームを前記ウエハとアライメントさせる段階と、前記スクライブラインを横断して前記スポットをスキャンする際に前記試験ターゲットに対する前記 X 線ビームのアライメントの調節を停止する段階と、を有している請求項 5 記載の方法。

20

【請求項 7】

前記サンプル及び前記 X 線ビームの中の少なくとも 1 つをシフトさせる段階は、前記 X 線ビームの焦点深度を変更する段階を有しており、前記個々の強度を計測する段階は、複数の異なる焦点深度において前記個々の強度を判定する段階を有する請求項 1 記載の方法。

【請求項 8】

サンプルの表面上においてスポットを画定するべく合焦される X 線ビームによって前記サンプルを照射するべく構成された X 線源と、

30

前記表面上の特徴部を横断する複数の非平行スキャンラインを有する 2 次元スキャンパターンに沿って前記スポットをスキャンするべく前記サンプル及び前記 X 線ビームの中の少なくとも 1 つをシフトさせるべく結合されたモーションアセンブリと、

前記スポットがそれぞれ異なった程度で前記特徴部と重なる、前記スキャンパターンに沿った複数の場所において前記 X 線ビームに応答して前記サンプルから放射される蛍光 X 線の個々の強度を計測するべく構成された検出器アセンブリと、

前記蛍光 X 線の強度が最大値を有する前記スキャンパターンの第 1 のラインの上の場所を見出し、前記第 1 のラインと非平行であるとともに前記蛍光 X 線の強度が最大値を有した前記第 1 のラインの上の場所を通過する前記スキャンパターンの第 2 のラインに沿って前記スポットを前記モーションアセンブリによってスキャンさせ、前記スキャンパターン上における前記放射蛍光 X 線の強度の修正された値を演算するべく前記スキャンパターンの前記第 1 のライン及び前記第 2 のラインに沿った前記複数の場所において計測された前記強度を処理し、かつ、前記修正された値に基づいて前記特徴部の厚さを推定するべく構成されたプロセッサと、

40

を有する検査装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、一般に、非破壊検査に関するものであり、更に詳しくは、基板上の非常に小

50

小さな特徴部の特性を計測する方法及びシステムに関するものである。

【背景技術】

【0002】

半導体ウエハを試験する方法として、蛍光X線(X-Ray Fluorescence: XRF)計測、更に具体的には、マイクロ蛍光X線(即ち、合焦された狭い励起ビームを使用したXRF)が益々注目されるようになってきている。XRF自体は、サンプルの基本的な組成を判定するための周知の技法である。XRFアナライザは、一般に、サンプルを照射するX線源と、この照射に応答してサンプルから放射される蛍光X線を検出するX線検出器と、を含んでいる。サンプル内のそれぞれの元素は、その元素の特性を示すエネルギー帯域内の蛍光X線を放射する。検出された蛍光X線を分析することにより、検出された光子のエネルギー、即ち、等価的に波長を見出し、この分析に基づいて、サンプルの定性的及び/又は定量的な組成を判定している。

10

【0003】

例えば、特許文献1は、サンプルを分析するXRFアナライザ及び方法について開示しており、この開示内容は、本引用により、本明細書に包含される。このアナライザは、X線ビーム源を含んでおり、これは、モノリシックなポリキャピラリーオプティクスを介して、(直径が50µmのレベルの)小さなスポットをサンプル上に照射している。この照射により、サンプルが蛍光X線光子を放射することになる。蛍光X線光子を採取するべく、スポットの周りには、半導体検出器のアレイが配置されている。アナライザは、サンプルの分析に適した電気パルスを生成する。

20

【0004】

半導体ウエハを試験するためのマイクロ蛍光X線の使用法については、特許文献2に記載されており、この開示内容は、本引用により、本明細書に包含される。この特許は、サンプルの表面上における凹部内の材料の堆積及び/又は除去を試験する非破壊法について記述している。励起ビームを凹部近傍のサンプルの領域上へ向け、その領域から放射される蛍光X線の強度を計測する。計測した強度に応答し、凹部内に堆積された材料の量を判定している。

【0005】

マイクロ蛍光X線の別のアプリケーションについては、非特許文献1において、Lankosz他が記述しており、この内容は、本引用により、本明細書に包含される。著者らは、コリメートされたマイクロビームを使用するマイクロ蛍光X線分析法について記述している。この方法は、イオンスパッタリング法によって生成された薄膜の厚さ及び均一性を試験するべく適用されている。

30

【0006】

更に別の例として、特許文献3は、サンプルの表面に加えられた材料を試験する方法について記述しており、この開示内容は、本引用により、本明細書に包含される。励起ビームをサンプルの領域上へ向け、その領域から放射される蛍光X線の強度を計測している。スキャン対象である特徴部の計測XRFプロファイルを生成するべく、ビームを表面上の特徴部にスキャン可能である。蛍光X線の計測強度と、励起ビームの既知の強度断面と、に基づいて、領域内の材料分布を推定している。この方法は、励起ビームのビーム幅よりも微細な空間分解能を実現するとされている。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】米国特許第6,108,398号明細書

【特許文献2】米国特許第6,351,516号明細書

【特許文献3】米国特許第7,245,695号明細書

【非特許文献】

【0008】

【非特許文献1】「Research in Quantitative X-ray

50

Fluorescence Microanalysis of Patterned Thin Films」(Lankosz他著、Advances in X-ray Analysis、43、1999年、497～503頁)

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

半導体ウエハなどの基板上の微細な特徴部のX線に基づいた分析の際には、しばしば、十分な精度によって対象の特徴部にビームをマッチングさせることが困難である。このような特徴部とX線ビームの正確なアライメントに、過剰な時間を所要している場合も存在する。更には、いくつかの状況においては、X線ビームを慎重にアライメントしても、対象の特徴部とビームの間のオーバーラップが不完全である場合も存在する。

10

【課題を解決するための手段】

【0010】

この種の問題点を克服するべく、後述する本発明の実施例は、サンプル上のターゲット特徴部に対する照射X線ビームの複数の異なる相対位置におけるサンプルからのX線放射の強度を計測している。(特徴部の厚さなどの)特性を更に正確に表している修正された放射値を付与するべく、対応する強度計測値を処理している。

本発明のいくつかの実施例は、励起ビームの直径よりも小さな特徴部からのX線放射を計測する方法及びシステムを提供している。励起ビームと比べて特徴部のサイズが小さいため、特徴部に入射するビームの一部に起因し、結果的に、対象の放射信号が周辺領域からのバックグラウンド放射と混合することになる。この問題は、高エネルギーの狭いX線ビームを生成するべくすぐに利用可能なX線源及びオプティクスが欠如していることに起因し、例えば、高エネルギーのXRFアプリケーションにおいて特に顕著である。

20

【0011】

尚、後述する実施例は、半導体ウエハの表面上に形成された小さな金属バンプ及びパッドからのXRF計測について具体的に説明しているが、本発明の原理は、その他のタイプのサンプルにおけるXRF計測、並びに、その他の放射線の放射計測の分野にも同様に適用可能である。

【0012】

従って、本発明の一実施例によれば、検査方法が提供されており、この方法は、第1直径及び第1入射強度を具備した中央スポットと、第1直径よりも大きな第2直径と第1入射強度よりも小さな第2入射強度を具備した中央スポットを取り囲む光輪と、を含むX線ビームを使用し、第1照射位置においてサンプルを照射する段階であって、第1照射位置においては、中央スポットは、サンプルの表面上の特徴部に入射しており、特徴部は、第2直径よりも小さな第3直径を具備している、段階と、第1照射位置においてX線ビームにตอบสนองしてサンプルから放射されるX線の第1放射強度を計測する段階と、中央スポットが特徴部から外れた状態に変位する第2照射位置においてX線ビームがサンプルを照射するように、サンプル及びX線ビームの中の少なくとも1つをシフトさせる段階と、第2照射位置においてX線ビームにตอบสนองしてサンプルから放射されるX線の第2放射強度を計測する段階と、特徴部の特性を判定するべく、第1及び第2放射強度を比較する段階を含んでいる。

30

40

【0013】

いくつかの実施例においては、第1及び第2放射強度を計測する段階は、サンプルから放射される蛍光X線を計測する段階を含んでいる。通常、蛍光X線を計測する段階は、サンプル内の所与の元素の特性を示す選択されたX線輝線における蛍光X線を計測する段階を含んでおり、第1及び第2放射強度を比較する段階は、特徴部内部の所与の元素の濃度を判定する段階を含んでいる。開示された実施例においては、特徴部は、第1及び第2元素を含んでおり、蛍光X線を計測する段階は、第1及び第2元素の特性をそれぞれ示す第1及び第2X線輝線における放射強度を計測する段階を含んでおり、濃度を判定する段階は、特徴部内部の第1元素の濃度を判定するべく第1及び第2放射強度の比率を演算する

50

段階を含んでいる。

【0014】

いくつかの実施例においては、サンプルは、半導体ウエハを含んでおり、特徴部は、半導体ウエハの表面上に形成された複数のバンプの中の1つのバンプを含んでおり、光輪がバンプの中の複数のものを同時に照射する。開示された実施例においては、サンプル及びX線ビームの中の少なくとも1つをシフトさせる段階は、中央スポットがバンプの中の2つのものの間の場所において半導体ウエハ上に入射するように、サンプル及びX線ビームの中の1つ又は複数のものを変位させる段階を含んでいる。更には、又は、この代わりに、本方法は、バンプの高さを計測する段階を含んでおり、この場合に、第1及び第2放射強度を比較する段階は、バンプの組成を判定する際に、強度と共に、計測された高さを使用する段階を含んでいる。通常、バンプは、第1及び第2金属元素を含んでおり、第1及び第2放射強度を比較する段階は、第2金属元素に対する第1金属元素の相対濃度を判定する段階を含んでいる。

10

【0015】

又、本発明の一実施例によれば、検査装置が提供されており、この装置は、第1直径及び第1入射強度を具備した中央スポットと、第1直径よりも大きな第2直径と第1入射強度よりも小さな第2入射強度を具備した中央スポットを取り囲む光輪と、を含むX線ビームによってサンプルを照射するべく構成されたX線源と、中央スポットがサンプルの表面上の特徴部に入射し、特徴部が第2直径よりも小さな第3直径を具備している第1照射位置及び中央スポットが特徴部から外れた状態に変位する第2照射位置においてX線源がサンプルを照射するように、X線源及びサンプルの中の1つ又は複数のものを移動させるべく結合されたモーションアセンブリと、第1照射位置においてX線ビームにตอบสนองしてサンプルから放射されたX線の第1放射強度と、第2照射位置においてX線ビームにตอบสนองしてサンプルから放射されたX線の第2放射強度と、を計測するべく構成された検出器アセンブリと、特徴部の特性を判定するために第1及び第2放射強度を比較するべく構成されたプロセッサと、を含んでいる。

20

【0016】

開示された実施例においては、X線源は、X線管と、X線管によって放射された放射線を受光及び合焦するべく構成された1つ又は複数のキャピラリーと、を含んでいる。

【0017】

本発明の一実施例によれば、検査方法が更に提供されており、この方法は、サンプルの表面上においてスポットを画定するべく合焦されるX線ビームを使用してサンプルを照射する段階と、表面上の特徴部を横断するスキャン経路に沿ってスポットをスキャンするべくサンプル及びX線ビームの中の少なくとも1つをシフトさせる段階と、スポットがそれぞれ異なった程度で特徴部と重なるスキャン経路に沿った複数の場所においてX線ビームにตอบสนองしてサンプルから放射される蛍光X線の個々の強度を計測する段階と、スキャン経路上における放射蛍光X線の強度の修正された値を演算するべく、複数の場所において計測された強度を処理する段階と、修正された値に基づいて特徴部の厚さを推定する段階と、を含んでいる。

30

【0018】

開示された実施例においては、修正された値は、スキャン経路上における放射蛍光X線の最大値である。強度を処理する段階は、場所の関数として計測された個々の強度に対して曲線をフィッティングする段階を包含可能である。

40

【0019】

いくつかの実施例においては、サンプルは、その上部にスクライプラインが画定された半導体ウエハを含んでおり、この場合に、特徴部は、スクライプライン内においてウエハ上に形成された金属試験ターゲットを含んでおり、この場合に、サンプル及びX線ビームの中の少なくとも1つをシフトさせる段階は、スクライプラインを横断してスポットをスキャンする段階を含んでいる。サンプル及びX線ビームの中の少なくとも1つをシフトさせる段階は、スクライプラインを横断してスポットをスキャンする段階の前にX線ビーム

50

をウエハとアライメントさせる段階と、スクライプラインを横断してスポットをスキャンする際に試験ターゲットに対するX線ビームのアライメントの調節を停止する段階と、を包含可能である。

【0020】

一実施例においては、サンプル及びX線ビームの中の少なくとも1つをシフトする段階は、2次元スキャンパターンにおいて特徴部を横断してスポットをスキャンする段階を含んでいる。更には、又は、この代わりに、サンプル及びX線ビームの中の少なくとも1つをシフトさせる段階は、X線ビームの焦点深度を変更する段階を含んでおり、個々の強度を計測する段階は、複数の異なる焦点深度において個々の強度を判定する段階を含んでいる。

10

【0021】

本発明の一実施例によれば、検査装置が更に提供されており、この装置は、サンプルの表面上においてスポットを画定するべく合焦されるX線ビームによってサンプルを照射するべく構成されたX線源と、表面上の特徴部を横断するスキャン経路に沿ってスポットをスキャンするためにサンプル及びX線源の中の少なくとも1つをシフトさせるべく結合されたモーションアセンブリと、スポットがそれぞれ異なった程度で特徴部と重なるスキャン経路に沿った複数の場所においてX線ビームにตอบสนองしてサンプルから放射された蛍光X線の個々の強度を計測するべく構成された検出器アセンブリと、スキャン経路上における放射蛍光X線の強度の修正された値を演算するべく複数の場所において計測された強度を処理すると共に、修正された値に基づいて特徴部の厚さを推定するべく構成されたプロセッサと、を含んでいる。

20

本発明については、添付図面との関連において、その実施例に関する以下の詳細な説明を参照することにより、更に十分に理解することができよう。

【図面の簡単な説明】

【0022】

【図1】本発明の一実施例によるマイクロ蛍光X線計測システムの概略図である。

【図2】X線ポリキャピラリーオプティクスと、このオプティクスによって基板上に形成されたX線スポットの概略側面図である。

【図3A】本発明の一実施例によるX線ビームによって照射された状態における金属バンプがその上部に形成された半導体基板の概略平面図である。

30

【図3B】図3Aに示されている基板及びバンプの概略断面図である。

【図4】本発明の一実施例に従って基板上的バンプ内部の金属濃度を計測する方法を概略的に示すフローチャートである。

【図5】本発明の一実施例による基板上的ターゲット特徴部におけるX線ビームのスキャン経路を示す半導体基板の概略平面図である。

【図6】本発明の一実施例によるサンプルを照射するX線ビームの場所の関数としてのサンプルからの蛍光X線放射強度の概略プロットである。

【発明を実施するための形態】

【0023】

(システムの説明)

40

図1は、本発明の一実施例によるマイクロ蛍光X線アナライザ20の概略図である。アナライザ20の態様については、前述の米国特許第6,108,398号に詳細に記述されている。アナライザ20は、ウエハ製造プロセスにおける不良を識別するために、後述する方法を使用して半導体ウエハ22などのサンプルを検査するべく構成されている。

【0024】

アナライザ20は、通常、当技術分野において既知の高電圧電源26によって駆動されるX線管24などの励起源を有している。X線管は、適切なエネルギーレンジ及びパワー束(power flux)を具備したX線をX線オプティクス28内に放射している。オプティクスは、例えば、ポリキャピラリーアレイを有することができる。或いは、この代わりに、当技術分野において既知のように、単一キャピラリー又はその他の適切なオブ

50

ティクスを使用することも可能である。オプティクス 28 は、X 線ビームをサンプル 22 の表面上の小さな領域 30 上に合焦している。照射された領域は、蛍光 X 線を放射し、これらの蛍光 X 線は、通常、領域 30 に向かって傾斜した状態で領域 30 の周りに配列された検出器のアレイ 32 を有する検出器アセンブリによって採取される。採取された光子に応答し、検出器 32 は、電気信号を生成し、これらの電気信号は、信号プロセッサ 34 に伝達される。検出器は、任意のタイプのものであってよいが、本発明者らは、高エネルギー X 線計測の場合には、後述するように、Si(Li) (リチウム - ドリフトシリコン) 検出器が良好な結果を付与することを見出した。

【0025】

或いは、この代わりに、本明細書に記述されている方法を実装するべく、任意の適切な励起源、電源、合焦オプティクス、及び検出システムを有する当技術分野において既知のその他のタイプの蛍光アナライザを使用することも可能である。

【0026】

プロセッサ 34 は、通常、当技術分野において既知のように、エネルギー分散パルス処理システムを有しており、これは、光子エネルギーの関数として検出器によって採取された X 線光子の強度スペクトルを判定している。或いは、この代わりに、波長分散検出及び処理システムを使用することも可能である。X 線管 24 からの X 線によって励起された照射領域内のそれぞれの化学元素は、特徴的なスペクトル線において X 線を放射する。所与の元素の特性を示すスペクトル線の強度は、領域 30 内のその元素の質量に比例している。従って、プロセッサ 34 は、計測した強度スペクトルを使用することにより、領域 30

【0027】

図 1 に示されているように、アナライザ 20 を使用してウエハ 22 上の領域 30 を検査する。アナライザ 20 は、X 線ビームがウエハ表面上の所望の地点に入射するように、ウエハ及び励起源のいずれか又は両方を移動させるためのモーションアセンブリを有している。一実施例においては、モーションアセンブリは、モーションステージ 35 などの移動可能なプラットフォームを有しており、X 線ビームに対してウエハを相対移動できるように、この上部にウエハが取り付けられている。ステージ 35 は、通常、ウエハの (X - Y) プレーン内におけるウエハ 22 の正確な並進運動を実行しており、且つ、ウエハの高さ (Z) を調節することも可能である。或いは、この代わりに、ウエハを適切な固定された取付具に取り付けると共に、X 線管 24、オプティクス 28、及び検出器 32 の中の 1 つ又は複数のものを移動させることにより、X 線ビームがウエハをスキャンするようにすることも可能である。

【0028】

アナライザ 20 は、反射、回折、及び / 又は小角度散乱などのその他のメカニズムに起因してウエハ 22 から放射された X 線を採取及び処理するべく更に構成することも可能である。この種の多機能システムについては、例えば、米国特許第 6,381,303 号及び第 6,895,075 号、並びに、米国特許出願公開第 2006/0062351 号に記述されており、これらの内容は、本引用により、本明細書に包含される。

【0029】

図 2 は、X 線オプティクス 28 と領域 30 の概略側面図である。オプティクス 28 は、ハウジング 42 内にモノリシックなポリキャピラリーアレイ 40 を有している。この種のオプティクスは、例えば、X-Ray Optical Systems, Inc. (Albany, New York) 社から入手可能である。軟 X 線領域においては、ア

10

20

30

40

50

レイ 40 内のガラスキャピラリーは、X線が、通常は直径が約 20  $\mu\text{m}$  である小さなスポット 44 に合焦されるように、X線管 24 からのX線を効果的に閉じ込めて導波している。しかしながら、X線エネルギーの増大に伴って、15 ~ 20 keV 以上においては、多少のX線がキャピラリーから逃避し、直径が約 1 mm の光輪 46 をスポット 44 の周りに形成することになる（図 2 及び図 3 A においては、表現を簡潔にするべく、スポット 44 及び光輪 46 の境界は、明瞭なものとして示されているが、実際には、スポット及び光輪は、略ガウスの形状を具備しており、ぼやけた境界を有している。尚、本明細書に引用されている概略直径は、スポット及び光輪の半値全幅 (Full Width at Half Maximum: FWHM) を意味している。例えば、25 ~ 35 keV のレンジの実験においては、本発明者らは、オブティクス 28 によって伝送されるX線エネルギーの約 2 / 3 が光輪 46 内に逃避することを見出した。換言すれば、高エネルギーレンジにおいては、アナライザ 20 内の励起ビームは、相対的に低強度を有する光輪 46 によって取り囲まれた相対的に高強度の中央スポット 44 を有している。これらの中央スポット及び光輪の両方が、これらがその上部に入射しているウエハ 22 上の特徴部からの蛍光X線の放射を引き起こしているのである。

#### 【 0 0 3 0 】

(高エネルギーX線を使用したハンダバンプの評価)

図 3 A 及び図 3 B は、本発明の一実施例に従ってアナライザ 20 のX線ビームによって照射されるウエハ 22 のエリアの細部を概略的に示している。図 3 A は、平面図であり、図 3 B は、図 3 A のライン I I I B - I I I B に沿って取得した断面図である。この例においては、複数のハンダバンプ 50 がウエハ上の基板 52 上に形成されている。この種のバンプは、一般に、半導体チップを (チップの製造が完了した後に) 回路基板に装着する際に使用されている。一般的な製造プロセスにおいては、バンプは、直径が約 150  $\mu\text{m}$  であり、基板 52 の表面上に約 80 ~ 100  $\mu\text{m}$  だけ突出している。チップの装着対象である回路基板との良好な接着及び電気的な接触のために、バンプ 50 は、通常、錫 (Sn) と、数パーセントの銀 (Ag) から製造されている。錫バンプ内部における銀のパーセンテージは、限度に近接した状態に維持されることが望ましい。

#### 【 0 0 3 1 】

銀の特性を示す XRF 輝線の強度を錫の輝線の強度と比較することにより、バンプ 50 内部の銀の濃度をアナライザ 20 内において計測可能であるが、この観点において、いくつかの問題に遭遇することになる。(3 keV に近接した Ag La 及び Sn La 線近傍などの) 軟X線レンジにおいては、図 3 A に示されているように、オブティクス 28 は、X線エネルギーのほとんどすべてをバンプ 50 よりも直径が小さいスポット 44 内に合焦する能力を有している。しかしながら、これらのエネルギーは、バンプの金属材料内において強力に吸収され、従って、バンプ表面の下には、10  $\mu\text{m}$  未満しか貫通しない。バンプ内部の銀の分布は、深さに伴って均一ではないということが実験的に判明している。従って、La 線を使用して実行可能な浅い計測は、銀のバルク濃度を正確に表してはいない。

#### 【 0 0 3 2 】

22.1 keV における Ag Ka 線及び 25.2 keV における Sn Ka 線などの硬X線は、バンプ 50 の深さ全体を貫通する能力を有しており、従って、銀濃度の正確なバルク計測に使用可能である。しかしながら、この場合には、X線ビーム内の大部分のエネルギーは、光輪 46 にわたって拡散し、スポット 44 内に集中するのは、一部 (前述のように、約 1 / 3) のみである。従って、図 3 A に示されているスポット構成における Ag Ka と Sn Ka の XRF 強度の比較は、単一バンプ内の銀濃度を直接的に付与することにはならず、スポット 44 と光輪 46 のエリア全体における相対的な濃度の加重平均となる。

#### 【 0 0 3 3 】

この種の平均化された計測値を使用することにより、スポット 44 及び光輪 46 内に位置したバンプ 50 のグループ内の実際の平均銀濃度を推定可能である。このために、X線ビームの強度プロファイルを、対象エネルギーにおけるスポット 44 及び光輪 46 を横断する半径方向の位置の関数として較正する。スポット及び光輪のエリアにおける銀及び錫

10

20

30

40

50



濃度のパラメトリックモデルを、ビームプロファイルと、光輪のエリア内に位置しているバンプの実際の既知の場所に基づいて構築する（所与の1つのウエハ又は所与のタイプの複数のウエハ上の複数の同一ダイの同一位置において領域30の計測を実行する場合には、スポット44及び光輪46内におけるバンプの場所は、すべての計測において同一となり、従って、同一モデルを反復的に使用可能である）。次いで、プロセッサ34は、銀濃度を見出すべく、このモデルのパラメータをAgKa及びSnKa輝線（及び/又はその他の線）の計測強度にフィッティングしている。この方法は、高スループットという利点を具備しており、この結果、プロセッサは、単一の計測において、複数のバンプにおける平均金属濃度を判定可能である。

#### 【0034】

図4は、本発明の一実施例に従って単一バンプ50内部の銀濃度を計測する方法を概略的に示すフローチャートである。この実施例においては、アライメント段階60において、プロセッサ34は、（図3Aに示されているように）スポット44が特定のバンプ50上においてセンタリングされるように、ステージ35を駆動している。次いで、初期X線計測段階62において、プロセッサは、X線源24及び検出器32を作動させ、AgKa及びSnKa線におけるXRF放射の強度を計測している。或いは、この代わりに、又は、これに加えて、その他の輝線、特に約100µm以上の貫通深度を有する高エネルギー線を使用することも可能である。

#### 【0035】

次いで、プロセッサ34は、シフト段階64において、スポット44が基板52上に位置するように、ステージ35をシフトさせている。図3A及び図3Bに示されている前述の例においては、約100~150µmのシフトにより、スポットは、中央バンプから外れ、バンプの間の基板のエリアに移動することになる。但し、光輪46内に位置しているバンプの総数は、大きくは変化しない。プロセッサは、反復計測段階66において、X線源及び検出器を作動させ、この新しい位置において段階62のXRF強度計測を反復している。この新しい位置においては、計測されたXRF放射強度に対する光輪46の寄与度は、段階62と略同一となるが、スポット44の寄与度は無視可能である（必要に応じて、光輪の寄与度を更に正確に判定するべく、段階64及び66を2つ以上の複数の異なる位置において反復し、計測値を平均化することも可能である）。従って、段階62及び66において計測された強度間の差は、段階62においてスポット44によって励起されたバンプ50の部分の強度寄与度に略等しい。

#### 【0036】

AgKa及びSnKa線は、バンプ50内部における異なる吸収深度を具備している。従って、対応するXRF線の計測強度に基づいて所与のバンプ内部の錫に対する銀の相対濃度を正確に計算するには、基板52上のバンプの高さを考慮することが望ましい。実際には、本発明者らは、バンプの高さが略±10µmだけ変化可能であることを見出した。これらの高さの変動を判定及び補償するには、任意選択により、高さ計測段階68において、段階62において計測したバンプの高さを計測可能である。

#### 【0037】

このための1つの可能性は、SnLa及びSnKa線などの異なる貫通深度を具備した2つの異なる線におけるXRF放射の強度を計測及び比較するという方法である。SnLa放射は、バンプの表面近傍において吸収され、従って、バンプの高さの影響を受けにくい。一方、SnKa放射は、バンプをすべて貫通し、従って、SnKa強度は、バンプの高さに比例している。従って、SnKa及びSnLa放射強度を比較することにより、バンプの高さの尺度が得られることになる。或いは、この代わりに、又は、これに加えて、X線管上の高電圧を40~50keVのレンジにわたって変化させ、AgKa/SnKa強度比率における変化を観察し、これにより、バンプの高さの別の標識を得ることも可能である。

#### 【0038】

更には、この代わりに、光学三角測量や当技術分野において既知のその他の方法などの

10

20

30

40

50

高さを計測するその他の方法を段階 6 8 において使用することも可能である。

【 0 0 3 9 】

プロセッサ 3 4 は、濃度演算段階 7 0 において、段階 6 2 及び 6 6 において実行した A g K a 及び S n K a 計測を使用し、スポット 4 4 によって照射されたバンプ内部の銀濃度を判定している。このために、プロセッサは、前述のように、スポット 4 4 の寄与度を弁別するべく、段階 6 6 において計測したスペクトル線の強度を段階 6 2 において計測したも  
10  
ものから減算し、これにより、対象の単一バンプ内部の濃度を判定している。A g K a 及び S n K a 線の間の強度比率を濃度に変換する際には、プロセッサは、段階 6 8 において計測したバンプの高さを考慮可能である。銀濃度は、第 1 の原理に基づいて、強度比率及びバンプの高さから導出可能である。或いは、この代わりに、又は、これに加えて、異なる既知の濃度比率のバンプを使用することにより、強度比率と濃度の関係を予め較正することも可能である。又、この種の較正を使用することにより、バンプ内部に存在し得る銅などのその他の元素を考慮（し、且つ、必要に応じて、その影響を相殺）することも可能である。

【 0 0 4 0 】

通常、プロセッサ 3 4 は、段階 7 0 において実行した銀濃度計測結果をプロセッサ 3 4 に接続された（図示されてはいない）モニタなどの適切な出力装置を介してユーザーに出力している。ユーザーは、計測された濃度を製造プロセスレシビが必要としているターゲット濃度と比較する。濃度が、予め定義された範囲を超過してターゲットと異なっている  
20  
場合には、ユーザーは、プロセスパラメータを調節可能である。或いは、この代わりに、又は、これに加えて、アナライザ 2 0 は、バンプ 5 0 の製造に使用される製造ステーションと統合することも可能であり、この結果、プロセッサ 3 4 は、必要に応じて、プロセスパラメータを調節するべく、製造ステーションに制御フィードバックを自動的に付与可能である。

【 0 0 4 1 】

（不完全なビームアライメントによるパッドの厚さの計測）

前述の実施例は、X 線源によって形成されるスポットがウエハ上の対象のターゲット特徴部と正確にアライメントしていることを前提としていた。このようなアライメントは、例えば、米国特許第 6 , 3 4 5 , 0 8 6 号又は米国特許第 7 , 0 2 3 , 9 5 4 号に記述されているものなどの光学画像生成法を使用することにより、実現可能であり、これらの開  
30  
示内容は、本引用により、本明細書に包含される。

【 0 0 4 2 】

一方、いくつかのアプリケーションにおいては、光学的な又はその他の手段によるターゲット特徴部上における X 線スポットの正確なアライメントが、望ましくないか、又は実現不可能である。しかしながら、このようなアライメントが欠如した状態においては、X 線スポットは、ターゲット特徴部に部分的にしかオーバーラップしなくなる（又は、まったくオーバーラップしなくなってしまう）。この問題は、X 線スポットの直径がターゲット特徴部の幅と同じレベルである場合に、特に深刻なものとなる。X 線スポットの一部がターゲット特徴部とオーバーラップしなければ、入射 X 線エネルギーの一部が「浪費」されることになり、結果的に得られる特徴部からの放射（X R F 放射など）が、スポットが  
40  
特徴部と適切にアライメントされている場合よりも相対的に弱いものになる。この弱い放射は、その厚さなどの特徴部の特性の不正確な推定に結び付く。この不完全なアライメントという問題は、後述するように、サンプル表面上における X 線ビームの適切なスキニング及びスキャン経路に沿った複数の場所における計測放射強度の処理により、克服可能である。

【 0 0 4 3 】

図 5 は、本発明の一実施例に従って基板上的 X 線ビームによって形成されたスポット 8 4 のスキャン経路 8 6、8 8 を示す半導体基板 8 2 の概略平面図である。以前の実施例と同様に、この実施例は、アナライザ 2 0（図 1）を使用して基板 8 2 を照射し、これからの X R F 放射を検出することにより、実現可能である。スキャン経路 8 6 及び 8 8 は、基  
50

板上に堆積された金属パッド80などのターゲット特徴部を横断している。この種の金属パッドは、例えば、半導体ウエハ上における電氣的な接触点として使用されており、その金属の厚さが規定のレンジ内にあることが重要である。スキャンは、前述のように、ステージ35を使用して基板を並進運動させるか、或いは、この代わりに、X線源、オプティクス、及び検出器をシフトさせることにより、実現可能である。

#### 【0044】

図5に示されている例においては、パッド80は、基板82上においてスクライプライン89内に形成された試験パッドである。試験パッドは、対象のウエハのダイ内において、機能可能な接触パッドと同時に、且つ、同一のプロセスにより、形成されており、この結果、試験パッドの厚さは、機能可能なパッドの厚さの良好な尺度を付与している。この例においては、スクライプラインの幅は、約50 $\mu\text{m}$ であると仮定されており、スポット84は、20~30 $\mu\text{m}$ の直径(半値全幅(FWHM))を有する略ガウスプロファイルを具備している。但し、これらの寸法は、一例として付与されているものに過ぎず、この実施例の原理は、広範な寸法のX線ビーム及びこのビームが入射するターゲット特徴部にわたって適用可能である。更には、パッド80は、図5には、略正方形であるものとして示されているが、実際には、スクライプライン内の特徴部の寸法は、隣接するダイ内の回路の形状によって制約されないため、パッドは、スクライプラインに沿って細長くすることが可能である。或いは、この代わりに、必要な変更を加えることにより、図5を参照して後述する方法をダイエリア内の機能可能なパッドに対して同様に適用することも可能である。

#### 【0045】

スキャン経路86及び88を生成するべく、まず、基板82をX線源24及びオプティクス28によって形成された(スポット84によって表された)ビームの焦点と概略的にアライメントさせる。このアライメントは、例えば、規定の基準マークに基づいた光学的及び/又は機械的なアライメントを使用して実現可能である。次いで、スポット84が、経路86と、次いで、経路88に沿って、スクライプラインを横断してスキャンするように、ステージ35によって基板を移動させる。通常、スキャンは、経路88に沿ったA、B、C、D、Eとマーキングされた場所などのそれぞれのスキャン経路上における一連の場所のそれぞれにおいて短時間だけ停止する。それぞれの場所において、検出器32は、パッド80及び基板82の周辺領域から放射されたXRF光子を採取し、この検出器によって生成された結果的に得られた電気信号をプロセッサ34によって収集及び処理している。プロセッサは、更に後述するように、スキャン経路における放射蛍光X線の強度の修正された値を演算するべく、異なる場所において計測されたXRF強度を使用している。

#### 【0046】

具体的には、プロセッサ34は、検出器32からの信号を使用することにより、パッド80の形成に使用された金属の特性を示すXRF線における放射光子の数をカウントしている。スポット84の任意の所与の場所において放射される光子の数は、そのスポット内の金属の量に比例しており、この金属の量は、パッドの厚さと、その所与の場所においてスポットが実際にオーバーラップしているパッドの面積と、に比例している。一般的には、スキャンの際の時間及び労力を節約するべく、ステージ35は、初期のアライメントに使用された基準点からの推測航法により、スキャン経路に沿って基板82を並進運動させており、スキャンの際に、パッド80とスポット84のアライメントを再チェック又は調節してはいない。従って、スポットがパッドと完全にオーバーラップする時期と、スポットの所与の場所におけるXRF光子の低カウントが、不十分なパッドの厚さ又はスポットとパッド間の不十分なオーバーラップのいずれに起因したものであるのかを先験的に正確に知ることは不可能である。図5に示されている例においては、経路86及び88は、スクライプライン89に垂直の方向においてパッド80を横断するものと意図されているが、スキャン軸は、ミスアライメントされている。従って、スポット84が完全にパッド80とオーバーラップしているのは、スキャン経路88上のCとマーキングされた場所においてのみであり、パッドと完全にオーバーラップするスポットの場所が1つも存在してい

10

20

30

40

50

ない経路 86 に沿ったスキャンなどのスキャンが存在可能である。

【0047】

これらの問題点を克服するべく、スポット 84 は、パッド 80 のエリア上において 2 次元パターンにおいてスキャン可能である。従って、例えば、スキャン 86 及び 88 は、恐らくは、更なる平行スキャン経路と共に、平行スキャンラインのラスタパターンの一部を形成可能である。或いは、この代わりに、スパイラルパターンなどのその他の 2 次元スキャンパターンを使用することも可能である。

【0048】

別の例として、スポット 84 は、恐らくは、4 × 4 グリッドであるポイントの正方形又は矩形のグリッドなどの場所のマトリックスのそれぞれに配置可能である。グリッドポイントにおける XRF 強度の計測値を適切な関数にフィッティングすることにより、パッドの厚さを判定すると共に、パッドとの関係におけるスポット 84 の位置決め誤差を推定可能である。

10

【0049】

更に別の例においては、2 次元スキャンは、直交する（或いは、さもなければ、平行ではない）一連の 1 次元スキャンを有することができる。この場合には、まず、スポット 84 を X 軸に沿ってスキャンし、XRF 強度の最大値とこの最大値と関連付けられた場所を見出すべく、後述するように、プロセッサ 34 によって 1 次元フィットを実行する。次いで、X 軸スキャンにおいて見出された最大値の場所を通過する Y 方向のラインに沿って、スポットをスキャンする。最大値が収束するか、或いは、予め定義された回数 of スキャンの実行などのなんらかのその他の基準が満足される時点まで、必要に応じて、Y 方向スキャンの最大値の場所を通過するラインに沿って新しい X 方向スキャンを実行可能である（以下同様）。適切な関数をすべての計測ポイントに対してフィッティングすることにより、パッドの厚さを判定可能である。

20

【0050】

更には、この代わりに、又は、これに加えて、基板上における X 線ビームの焦点深度を変化させ、且つ、従って、スポット 84 のサイズを変化させるべく、2 次元又は高さの変動を含む 3 次元スキャンパターンにおいて、ステージ 35 を駆動することも可能である。2 次元のケースについて前述した連続した直交スキャン法を、高さのスキャンを含むように拡張可能である。基板の上方におけるオプティクス 28 の最適な高さにおいて、基板上のスポットのサイズが極小化され、この結果、パッドのエッジを超えた基板上へのスポットの拡散に起因して浪費される X 線ビームのエネルギー量を低減することも可能である。

30

【0051】

これに加えて、又は、この代わりに、前述のように、パッド 80 がスクライブライン 89 に沿って細長くなっている場合には、アライメント要件を緩和可能である。この場合には、スクライブラインを横断する概略的にアライメントされた 1 次元スキャンにより、スポット 84 とパッドの間の良好なオーバーラップが結果的に得られる相対的に大きな可能性が存在している。従って、2 次元スキャンパターンに対するニーズを除去可能である。更には、1 次元スキャンがターゲット特徴部に完全にオーバーラップしていない場合にも、結果的に得られる XRF 計測の精度は、後述する演算方法によって向上することになる。

40

【0052】

図 6 は、本発明の一実施例による基板との関係におけるスポット 84 の場所の関数としての基板 82 上のパッド 80 からの蛍光 X 線放射強度の概略プロットである。尚、図 6 のプロット内のデータは、経路 88 に沿ったスキャンにおいて収集されたものと仮定されている。それぞれのデータポイント 90 は、スポット 84 が図 5 に示されている対応する場所（A、B、C、D、E）に入射した際にプロセッサ 34 によってカウントされた光子の数を示している。

【0053】

50

プロセッサ 34 は、曲線 92 をデータポイント 90 に対してフィッティングしている。スポット 84 が略円形の形状であり、パッド 80 のエッジが真っ直ぐであることから、曲線 92 は、放物線になると予想される。曲線 92 の最大値は、パッド 80 からの放射蛍光 X 線の強度の修正された値を与えており、これは、スポットがパッド上において最適にアライメントされた際に検出器 32 から受信されるであろう信号を表している。2次元スキャンの場合には、データは、放物面などの多次元曲線に対してフィッティング可能である。

【0054】

或いは、この代わりに、プロセッサは、任意のその他の適切なタイプの関数をデータポイントに対してフィッティング可能であり、或いは、当技術分野において既知のその他の演算方法により、適切な修正された値を見出すことも可能である。例えば、所与のポイント (X, Y) におけるパッドの厚さ T は、次のように、強度関数を積分することによって評価可能である。

【0055】

【数1】

$$T(X, Y) = \alpha \cdot \int_{u=0}^{u=a} \int_{w=0}^{w=b} \text{spot}(u-X, w-Y) du dw$$

【0056】

この式においては、パッドは、それぞれ、X 及び Y 軸に沿って寸法 a x b を具備していると仮定されており、X - Y 原点は、対象のパッドの左下隅に配置されている。所与の場所 (X<sub>0</sub>, Y<sub>0</sub>) における X 線スポット強度は、I (X, Y) = Spot (X - X<sub>0</sub>, Y - Y<sub>0</sub>) であり、これは、比例定数と共に、実験的に計測可能である。Z 軸についても、類似の関数を計測及び計算可能である。

【0057】

この修正された XRF 値に基づいて、プロセッサ 34 は、パッド 80 内に堆積されている金属の厚さを推定している。厚さが規定の限度外にある場合には、プロセッサは、厚さを補正するべく、プロセスパラメータを自動的に調節可能である。或いは、この代わりに、又は、これに加えて、プロセッサは、厚さの出力読み取り値を提供可能であり、この結果、オペレータは、製造プロセスを監視し、任意の必要な調節を実行可能である。

【0058】

(結論)

前述の方法は、(半導体ウエハ上の特定タイプの構造内における特定元素の濃度の) 特定タイプの計測に関するものであるが、本発明の原理は、サンプルの表面上におけるその他のタイプの微細な特徴部の XRF 計測と、その他のタイプの X 線放射計測を使用するその他のサンプル特性の判定に、一般的に適用可能である。例えば、前述の方法は、必要な変更を加えることにより、半導体の製造、並びに、地質学、フォレンジクス (forensics)、及び考古学などのその他の分析の領域における Ru、Rh、Pd、Cd、及び In などのその他の重い元素のマイクロ分析に適用可能である。

【0059】

従って、前述の実施例は、一例として引用されたものであり、本発明は、以上において図示及び説明された内容に限定されるものではないことを理解されたい。むしろ、本発明の範囲は、以上の説明を参照した際に当業者が想起すると共に、従来技術には開示されていない前述の様々な特徴部の組み合わせ及びサブ組み合わせ、並びに、その変形及び変更を含んでいる。

10

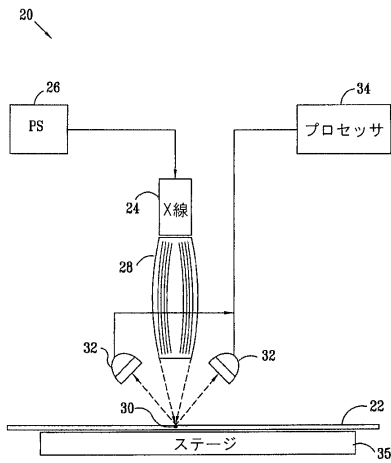
20

30

40

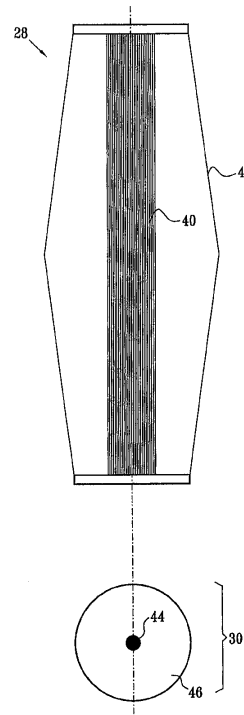
【図1】

図1



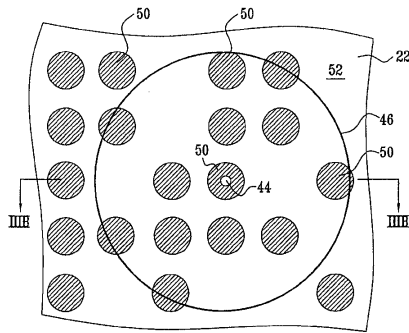
【図2】

図2



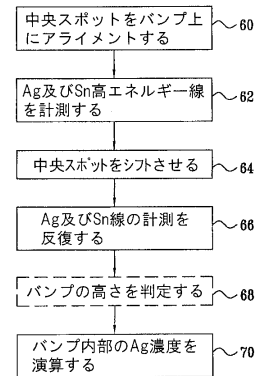
【図3A】

図3A



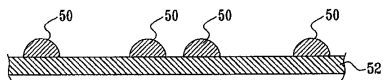
【図4】

図4



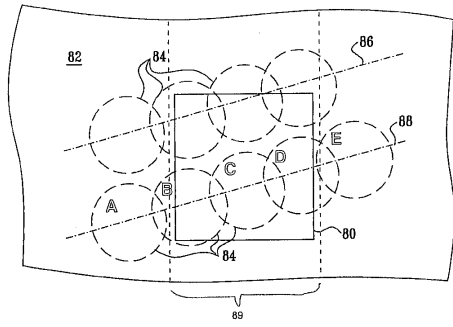
【図3B】

図3B



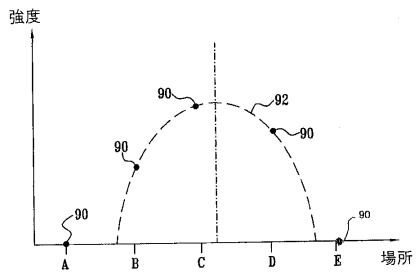
【 図 5 】

図5



【 図 6 】

図6



## フロントページの続き

- (74)代理人 100114177  
弁理士 小林 龍
- (72)発明者 イサック マゾール  
イスラエル国,ハイファ,ハグ ストリート 29
- (72)発明者 デイビッド ベルマン  
イスラエル国,キルヤット ティボン,ハブラディム ストリート 17
- (72)発明者 ボリス ヨクヒン  
イスラエル国,ナザレス イリット 17000,ガンノット ストリート 7/6
- (72)発明者 アレクサンダー トカー  
イスラエル国,ハイファ,ハニタ ストリート 52

審査官 比嘉 翔一

- (56)参考文献 特開平06-273146(JP,A)  
特開昭62-137508(JP,A)  
特開昭62-115312(JP,A)  
米国特許出願公開第2006/0274886(US,A1)  
米国特許第04590603(US,A)  
米国特許第04718075(US,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)  
G01N 23/00-23/227  
G01B 15/00-15/08  
JSTPlus(JDreamIII)