

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5216739号
(P5216739)

(45) 発行日 平成25年6月19日(2013.6.19)

(24) 登録日 平成25年3月8日(2013.3.8)

(51) Int.Cl.		F I	
HO 1 J 37/244	(2006.01)	HO 1 J 37/244	
HO 1 J 37/20	(2006.01)	HO 1 J 37/20	C
HO 1 J 37/26	(2006.01)	HO 1 J 37/26	
HO 1 J 37/317	(2006.01)	HO 1 J 37/317	D

請求項の数 26 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2009-237830 (P2009-237830)	(73) 特許権者	501387839 株式会社日立ハイテクノロジーズ 東京都港区西新橋一丁目2 4 番 1 4 号
(22) 出願日	平成21年10月15日(2009.10.15)	(74) 代理人	100100310 弁理士 井上 学
(65) 公開番号	特開2011-86470 (P2011-86470A)	(74) 代理人	100098660 弁理士 戸田 裕二
(43) 公開日	平成23年4月28日(2011.4.28)	(72) 発明者	富松 聡 茨城県ひたちなか市大字市毛882番地 株式会社 日立ハイ テクノロジーズ 那珂事業所内
審査請求日	平成24年2月9日(2012.2.9)	(72) 発明者	大西 毅 茨城県ひたちなか市大字市毛882番地 株式会社 日立ハイ テクノロジーズ 那珂事業所内 最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 荷電粒子線装置、及び膜厚測定方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

電子線を照射する電子線光学系と、試料を載置する試料台と、透過電子を検出する透過電子検出器を有する荷電粒子線装置において、

前記透過電子検出器の検出部が複数の領域に分割されており、

当該複数の領域における第1の領域が検出した透過電子線と第2の領域が検出した透過電子線の強度比を演算する演算機構と、

前記試料の膜厚を表示する表示装置と、を備えることを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項2】

請求項1記載の荷電粒子線装置において、

前記演算機構は、散乱角の小さな透過電子線を検出する領域が検出した透過電子線強度を、散乱角の大きな透過電子線を検出する領域が検出した透過電子線強度により除することを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項3】

請求項1記載の荷電粒子線装置において、

前記演算機構は、前記第1の領域、及び/又は前記第2の領域が検出した透過電子線検出が所定条件となった場合に、前記第1の領域、及び/又は前記第2の領域を変更することを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項4】

請求項1記載の荷電粒子線装置において、

10

20

前記演算機構は、電子線が照射されている箇所における試料の構成元素に基づいて、前記第1の領域、及び/又は前記第2の領域を変更することを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項5】

請求項1記載の荷電粒子線装置において、

前記試料の構成元素を検出する分光検出器を備えることを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項6】

請求項5記載の荷電粒子線装置において、

前記分光検出器がX線検出器であることを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項7】

請求項1記載の荷電粒子線装置において、

前記試料の構成元素を入力する入力装置を備えることを特徴とする荷電粒子線装置。

10

【請求項8】

請求項1記載の荷電粒子線装置において、

前記表示装置は、前記試料の所望領域における平均膜厚を表示することを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項9】

請求項1記載の荷電粒子線装置において、

前記表示装置は、前記試料の所望領域における膜厚分布を表示することを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項10】

請求項1記載の荷電粒子線装置において、

前記試料に対してイオンビームを照射するイオンビーム光学系を備えることを特徴とする荷電粒子線装置。

20

【請求項11】

請求項10記載の荷電粒子線装置において、

前記イオンビーム光学系は、前記演算機構の出力に基づいてイオンビームの照射を制御することを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項12】

請求項10記載の荷電粒子線装置において、

イオンビームと電子線を同時に照射できることを特徴とする荷電粒子線装置。

30

【請求項13】

請求項10記載の荷電粒子線装置において、

イオンビーム加工により元試料から分離された試料片を移送する移送機構を備えることを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項14】

試料の膜厚測定方法であって、

電子線光学系により、試料に電子線を照射し、

検出部が複数の領域に分割された透過電子検出器により、前記試料を透過した透過電子線を検出し、

演算装置により、前記複数の領域における第1の領域が検出した透過電子線と第2の領域が検出した透過電子線の強度比を演算し、

表示装置により、前記試料の膜厚を表示する膜厚測定方法。

40

【請求項15】

請求項14記載の膜厚測定方法において、

前記演算機構により、散乱角の小さな透過電子線を検出する領域が検出した透過電子線強度を、散乱角の大きな透過電子線を検出する領域が検出した透過電子線強度により除することを特徴とする膜厚測定方法。

【請求項16】

請求項14記載の膜厚測定方法において、

前記第1の領域、及び/又は前記第2の領域が検出した透過電子線検出が所定条件とな

50

った場合に、前記第 1 の領域、及び / 又は前記第 2 の領域を変更することを特徴とする膜厚測定方法。

【請求項 1 7】

請求項 1 4 記載の膜厚測定方法において、

電子線が照射されている箇所における試料の構成元素に基づいて、前記第 1 領域、及び / 又は前記第 2 領域を変更することを特徴とする膜厚測定方法。

【請求項 1 8】

請求項 1 4 記載の膜厚測定方法において、

分光検出器により、前記試料の構成元素を検出することを特徴とする膜厚測定方法。

【請求項 1 9】

請求項 1 8 記載の膜厚測定方法において、

前記分光検出器が X 線検出器であることを特徴とする膜厚測定方法。

10

【請求項 2 0】

請求項 1 4 記載の膜厚測定方法において、

入力装置により、前記試料の構成元素を前記演算装置に入力することを特徴とする膜厚測定方法。

【請求項 2 1】

請求項 1 4 記載の膜厚測定方法において、

前記試料の所望領域における平均膜厚を表示することを特徴とする膜厚測定方法。

【請求項 2 2】

請求項 1 4 記載の膜厚測定方法において、

前記試料の所望領域における膜厚分布を表示することを特徴とする膜厚測定方法。

20

【請求項 2 3】

請求項 1 4 記載の膜厚測定方法において、

イオンビーム光学系により前記試料に対してイオンビームを照射し、前記試料に薄膜を形成することを特徴とする膜厚測定方法。

【請求項 2 4】

請求項 2 3 記載の膜厚測定方法において、

前記イオンビーム光学系は、前記演算機構の出力に基づいてイオンビームの照射を制御することを特徴とする膜厚測定方法。

30

【請求項 2 5】

請求項 2 3 記載の膜厚測定方法において、

イオンビーム照射による前記試料への薄膜形成と、電子線照射による薄膜測定とを同時に実施することを特徴とする膜厚測定方法。

【請求項 2 6】

請求項 2 3 記載の膜厚測定方法において、

イオンビーム加工により元試料から分離された試料片の膜厚を測定することを特徴とする膜厚測定方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

40

【0 0 0 1】

本発明は、膜厚モニタが可能な荷電粒子線装置に関する。

【背景技術】

【0 0 0 2】

微細化が進む半導体デバイスの検査、解析に対するニーズが高まっている。その中でも不良原因を特定するための不良解析においては、デバイス内部の欠陥を直接観察することが必須技術となっている。これらの観察のためには、デバイスの観察目的位置を正確に微細加工する必要がある。従来、この正確な微細加工を行う装置として使用されてきたのは、集束イオンビーム (Focused Ion Beam、以下 F I B) 加工装置である。この F I B では、サブミクロンオーダーに集束したイオンビームを静電偏向走査し、試料に照射すること

50

により、目標位置を正確に加工することができる。このため、解析用の断面形成や解析用試料の作製等にFIBは用いられる。

【0003】

高分解能観察には、透過型電子顕微鏡(Transmission Electron Microscope、以下TEM)や走査透過型電子顕微鏡(Scanning Transmission Electron Microscope、以下STEM)等が使用される。このTEMやSTEMで試料を観察するためには、試料を電子線が透過する厚さ、例えば100nm程度にまで薄く加工する必要がある。近年のデバイスの微細化により、薄膜試料内に観察目標位置が正確に入るよう試料作製するためには、試料薄膜の膜厚管理が重要となってきた。

【0004】

薄膜の厚さをモニタする技術としては、例えば、特許第3223431号公報(特許文献1)や特許第3221797号公報(特許文献2)に記載されている技術がある。これらは、FIBで加工する薄膜に電子線を照射し、その透過電子量を検出することで加工薄膜の膜厚をモニタする。また、特許第3119959号公報(特許文献3)には、FIBで加工する薄膜に電子線を照射し、電子線の照射強度と透過強度を検出し、この強度比から膜厚をモニタすることが記載されている。また、特開2006-127850号公報(特許文献4)には、FIBで加工する薄膜に電子線を照射し、透過電子検出器や散乱電子検出器により検出した信号輝度変化から所望膜厚と判断することが記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特許第3223431号公報

【特許文献2】特許第3221797号公報

【特許文献3】特許第3119959号公報

【特許文献4】特開2006-127850号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

本願発明者が膜厚モニタについて鋭意検討した結果、次のような知見を得るに至った。

【0007】

電子線を加工試料の膜厚モニタに使用することは、局所的な領域の膜厚情報が得られるため、大変有効である。しかし、同じ膜厚であっても、透過電子量は試料を構成する材質によって異なる。このため、正確な膜厚情報を得るためには、試料材質情報を加味した膜厚算出手段が必要となる。

【0008】

また、照射する電子線の照射量は電子源の状態により変化するため、必ずしも一定ではない。この照射量変化により、透過電子量も変動を受ける。このため、正確な膜厚情報を得るためには、照射量変化の影響をキャンセル可能な膜厚算出手段が必要となる。

【0009】

本発明の目的は、外部条件による誤差を抑制し、正確な膜厚モニタが可能な荷電粒子線装置を提供することに関する。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明は、試料に電子線を照射し、透過電子線の散乱角に応じた領域ごとの信号を個別に検出し、上記個別の信号強度をお互いに演算し、正確な膜厚を算出することに関する。

【発明の効果】

【0011】

本発明により、薄膜試料を正確な膜厚に加工することが可能となり、構造観察や元素分析等の精度を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

10

20

30

40

50

【 0 0 1 2 】

【図 1】荷電粒子線装置の構成例を示す図。

【図 2】同心円型の分割型透過電子検出器の構成例を示す図。

【図 3】ライン型の分割型透過電子検出器の構成例を示す図。

【図 4】分割型透過電子検出器への試料透過電子の受光の様子を示す図。

【図 5】厚い試料の試料透過電子の広がりを説明する図。

【図 6】薄い試料の試料透過電子の広がりを説明する図。

【図 7】透過電子検出器の受光領域による信号強度の膜厚依存性を示す図。

【図 8】透過電子検出器の受光領域による規格化した信号強度の膜厚依存性を示す図。

【図 9】照射電子ビーム強度変化による B F 1 信号強度の膜厚依存性を示す図。

10

【図 10】照射電子ビーム強度変化による D F 3 信号強度の膜厚依存性を示す図。

【図 11】除算信号の膜厚依存性と膜厚算出を説明する図。

【図 12】原子量が小さい材質試料の試料透過電子の広がりを説明する図。

【図 13】原子量が大きい材質試料の試料透過電子の広がりを説明する図。

【図 14】試料構成元素の違いによる B F 1 信号強度の膜厚依存性を示す図。

【図 15】試料構成元素の違いによる B F 2 信号強度の膜厚依存性を示す図。

【図 16】透過電子検出器の適切な受光領域選択を説明する図。

【図 17】透過電子検出器の適切な受光領域選択を説明する図。

【図 18】加工試料の元素マッピング像を示す図。

【図 19】加工試料の元素入力方法を示す図。

20

【図 20】カーソルポイント指定による数値膜厚表示の例を示す図。

【図 21】カーソルポイント指定によるメータ膜厚表示の例を示す図。

【図 22】カーソルポイント指定によるポップアップ膜厚表示の例を示す図。

【図 23】領域指定による数値膜厚表示の例を示す図。

【図 24】領域指定によるメータ膜厚表示の例を示す図。

【図 25】領域指定によるポップアップ膜厚表示の例を示す図。

【図 26】膜厚マッピング像表示の例を示す図。

【図 27】透過電子検出器の受光領域の G U I 表示例を示す図。

【図 28】透過電子検出器の受光領域の複数領域加算の G U I 表示例を示す図。

【図 29】微小試料片摘出機能付き荷電粒子線装置の構成例を示す図。

30

【図 30】微小試料片の摘出手順を説明する図。

【図 31】微小試料の薄膜加工を説明する図。

【図 32】ガスイオンビーム付き荷電粒子線装置の構成例を示す図。

【図 33】ガスイオンビームによる仕上げ加工を説明する図。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 3 】

実施例では、電子線を照射する電子線光学系と、試料を載置する試料台と、検出部が複数の領域に分割されている透過電子を検出する透過電子検出器と、複数の領域における第 1 の領域が検出した透過電子線と第 2 の領域が検出した透過電子線の強度比を演算する演算機構と、試料の膜厚を表示する表示装置と、を備える荷電粒子線装置を開示する。

40

【 0 0 1 4 】

また、実施例では、電子線光学系により、試料に電子線を照射し、検出部が複数の領域に分割された透過電子検出器により、試料を透過した透過電子線を検出し、演算装置により、複数の領域における第 1 の領域が検出した透過電子線と第 2 の領域が検出した透過電子線の強度比を演算し、表示装置により、試料の膜厚を表示する試料の膜厚測定方法を開示する。

【 0 0 1 5 】

また、実施例では、散乱角の小さな透過電子線を検出する領域が検出した透過電子線強度を、散乱角の大きな透過電子線を検出する領域が検出した透過電子線強度により除することを開示する。

50

【 0 0 1 6 】

また、実施例では、前記第 1 の領域、及び / 又は前記第 2 の領域が検出した透過電子線検出が所定条件となった場合に、前記第 1 の領域、及び / 又は前記第 2 の領域を変更することを開示する。

【 0 0 1 7 】

また、実施例では、電子線が照射されている箇所における試料の構成元素に基づいて、前記第 1 の領域、及び / 又は前記第 2 の領域を変更することを開示する。

【 0 0 1 8 】

また、実施例では、試料の構成元素を検出する分光検出器を備えることを開示する。また、好ましくは、当該分光検出器は X 線検出器である。

10

【 0 0 1 9 】

また、実施例では、試料の構成元素を入力する入力装置を開示する。また、入力装置により、試料の構成元素を演算装置に入力することを開示する。

【 0 0 2 0 】

また、実施例では、試料の所望領域における平均膜厚を表示することを開示する。

【 0 0 2 1 】

また、実施例では、試料の所望領域における膜厚分布を表示することを開示する。

【 0 0 2 2 】

また、実施例では、試料に対してイオンビームを照射するイオンビーム光学系を備える荷電粒子線装置を開示する。また、当該イオンビーム光学系により試料に対してイオンビームを照射し、試料に薄膜を形成することを開示する。

20

【 0 0 2 3 】

また、実施例では、演算機構の出力に基づいてイオンビームの照射を制御することを開示する。

【 0 0 2 4 】

また、実施例では、イオンビームと電子線を同時に照射できる荷電粒子線装置を開示する。また、イオンビーム照射による試料への薄膜形成と、電子線照射による薄膜測定とを同時に実施することを開示する。

【 0 0 2 5 】

また、実施例では、イオンビーム加工により元試料から分離された試料片を移送する移送機構を備える荷電粒子線装置を開示する。また、イオンビーム加工により元試料から分離された試料片の膜厚を測定することを開示する。

30

【 0 0 2 6 】

以下、上記及びその他の新規な特徴と効果について図面を参酌して説明する。尚、図面は発明の理解のために用いるものであり、権利範囲を減縮するものではない。また、各実施例は適宜組み合わせることが可能であり、この組み合わせも本明細書では開示している。

【 実施例 1 】

【 0 0 2 7 】

本実施例では、イオンビームで加工する試料の膜厚を正確にモニタすることが可能な荷電粒子線装置について説明する。

40

【 0 0 2 8 】

図 1 に、荷電粒子線装置の構成例を示す。本実施例における荷電粒子線装置は、試料 101 を載置する可動の試料ステージ 102 と、試料 101 の観察や加工位置を特定するために試料ステージ 102 の位置を制御する試料位置制御装置 103 と、試料 101 にイオンビーム 104 を照射して加工を行うイオンビーム光学系 105 と、イオンビーム光学系 105 を制御するイオンビーム光学系制御装置 106 と、試料 101 からの 2 次電子を検出する二次電子検出器 107 を有する。二次電子検出器 107 は、二次電子検出器制御装置 108 により制御される。電子線 109 を試料 101 に照射する電子線光学系 110 は、電子線光学系制御装置 111 により制御される。試料 101 を透過した透過電子線 11

50

2を検出する透過電子検出器113は、透過電子検出器制御装置114により制御される。また、電子線109の照射により試料101から励起されるX線を検出するX線検出器115は、X線検出器制御装置116により制御される。試料位置制御装置103、イオンビーム光学系制御装置106、二次電子検出器制御装置108、電子線光学系制御装置111、透過電子検出器制御装置114、及びX線検出器115等は、中央処理装置117により制御される。中央処理装置117としては、例えば、パーソナルコンピュータやワークステーションが一般的に使用される。また、中央処理装置117からの出力を画像表示する表示装置118を有する。試料ステージ102、イオンビーム光学系105、二次電子検出器107、電子線光学系110、透過電子検出器113、及びX線検出器115等は、真空容器119内に配置される。この構成により、イオンビーム光学系105で形成されたイオンビーム104を試料ステージ102上に載置された試料101に照射して加工し、その試料101の厚さを透過電子検出器113の信号でモニタする。

10

【0029】

尚、本実施例における荷電粒子線装置では、イオンビーム光学系105が垂直方向に配置され、電子線光学系110が斜め方向に配置されているが、光学系の配置形態はこれに限られない。例えば、イオンビーム光学系105を斜め方向に配置し、電子線光学系110を垂直方向に配置してもよい。また、イオンビーム光学系105と電子線光学系110の双方を斜めに配置してもよい。

【0030】

ここで、透過電子検出器113の具体的構成例を説明する。図2は、同心円形状に領域分割された検出領域を有する検出器である。ここでは、5つの領域201~205に分割した例を示しているが、2分割以上であれば本実施例を実施することは可能である。検出器206の位置は、図1の透過電子検出器制御装置114により制御され、試料101が存在しない場合の電子線109が直接照射される位置が検出器206の中心の領域201に位置するように位置決めする。配線207等は、各々の領域の信号を透過電子検出器制御装置114に送るためのものである。この検出器206は、例えば半導体検出器等で構成される。この場合、各々の領域201~205の間はそれぞれ絶縁されており、お互いに信号が混入しないようになっている。半導体検出器に透過電子線112が照射されると、電子のエネルギーに依存した電子-正孔対が形成される。例えばシリコンの半導体検出器の場合、室温での電子-正孔対の生成エネルギーは3.6 eV程度であるため、透過電子線112のエネルギーが30 kVであれば、1つの電子で8000個程度の電子-正孔対が生成されることになる。この電子-正孔対を、電流として、配線207を介して検出し、透過電子量をモニタする。この検出器206は、必ずしも1層で形成する必要は無く、例えば領域201の部分に穴を開け、2層目に検出器を持たせることにより、1層目の穴を通った電子だけを正確に検出することも可能となる。また、図2のように必ずしも同心円状で無くても良い。例えば図3のように領域301~305で構成し、領域301が図2の領域201に相当するように位置決めすることにより、中心付近の信号を領域301が検出し、外側の信号を領域305が検出するようにしても良い。この構造の場合は、構造が単純で、狭いスペースにも配置しやすいという長所がある。一方、図2の同心円状の場合は、外側の信号量が多いという長所がある。

20

30

40

【0031】

この検出器206に試料101を透過した透過電子線112がどのように照射されるかについて、図4を用いて説明する。図4は、検出器206を、その中心を通る断面から見た図である。試料101に照射された電子線109は、試料との相互作用により広がった透過電子線112となり、検出器206のそれぞれの領域201~205に照射される。このうち、中心付近の領域201に照射される電子線は、試料101内での散乱の影響を比較的受けずに透過してきた電子線である。この比較的散乱を受けていない信号で試料を画像化したものを、一般的に明視野像(Bright Field像、以下BF像)と呼ぶ。一方、外側の領域205に照射される電子線は、試料101内で大きく散乱を受けた電子線である。この大きく散乱を受けた信号で試料を画像化したものを、一般的に暗視野像(Dark Fie

50

Id像、以下DF像)と呼ぶ。ただし、このBFとDFの境界は物理的に決まったものではなく、相対的なものである。例えば、本実施例の場合は、便宜上、領域201, 202をBF、領域203~205をDFとし、それぞれ、領域201をBF1、領域202をBF2、領域203をDF1、領域204をDF2、領域205をDF3と呼ぶこととする。

【0032】

ここで、透過電子線の分布と試料の膜厚の関係について、図5及び図6を用いて説明する。図5は比較的厚い試料の場合である。この場合は、電子線109が試料501を透過する間に多くの原子との相互作用をすることから、電子線が散乱される確率が比較的大きくなるため、透過電子線502が広がり、より外側の領域205にも多くの電子線が照射されることとなる。一方、図6のように試料601が比較的薄い場合には、試料原子との相互作用が少ないことから、電子線が直進する確率が比較的に大きくなるため、中心付近の領域201, 202等の信号強度が大きくなる。尚、図5や図6では、あたかも電子線の境界線のように照射領域を表現しているが、電子線がこの内側のみに照射されるわけではなく、あくまでも膜厚の厚いものと薄いものの比較として内側の強度が強くなる傾向がそうでないかを視覚的に分かりやすく表現したに過ぎず、実際の電子線は領域201~205にある割合で分布する。

【0033】

図7及び図8に、透過電子検出器の受光領域による信号強度の膜厚依存性を示す。図7は、BF1(領域201の信号)の信号強度701とDF3(領域205の信号)の信号強度702を分かりやすく代表的に示している。図5や図6でも説明したとおり、BF1の信号強度701は膜厚が薄くなる(グラフ上左側に行く)に従って増加して行き、一方DF3の信号強度702は膜厚が薄くなる(グラフ上左側に行く)に従って減少していく。図8は5つの領域とも記載したものであり、ある膜厚T0の信号量でそれぞれの信号を規格化したものである。この場合、BF1信号強度801は膜厚減少により単調的に増加、BF2信号強度802は膜厚減少の途中でピークを有し、DF1信号強度803, DF2信号強度804、及びDF3信号強度805は膜厚減少により単調的に減少している。ただし、後述するように、この傾向は元素に依存するものであり、変化する。例えばDF1が膜厚減少により必ず単調的に減少するとは限らず、あくまである元素(例えばシリコン)の場合、図8に示すように単調的に減少するとの理解が必要である。この一連の説明では、ある元素(例えばシリコン)で図7及び図8の傾向があるという条件の下で行う。ここで、図7の傾向が保証されれば、例えばBF1の信号値から膜厚を逆算することが可能となる。しかし、この信号強度701の絶対値は電子線109の強度により変動する。電子線109の強度は、図1の電子線光学系110の条件等で変動する。レンズ強度等、電子線光学系制御装置111で制御できるものによる電子線強度変化はある程度見積もることはできても、電子源の予期せぬ状態変化等で電子線強度が変動する場合も多く、照射電子線強度を一定に保つことは大変困難である。このため、照射電子線強度が弱くなるとBF1信号は、図9に示すように、信号強度901から信号強度902のように信号強度が減少する。この場合は、例えBF1信号が取得できても、信号強度901と信号強度902のどちらが正しいか分からないため、正しい膜厚を算出することはできない。

【0034】

照射電子線の強度変動を検出するために、仮に、試料101への電子線照射を遮って電流検出器等を入れ、電子線109の変化を取得した場合は、透過信号を同時には取得できないため、リアルタイムの膜厚モニタはできなくなる。また、電子源と試料との間に機械的に検出器を入れる場合は、機械的挿入に時間が掛かってしまう。電磁偏向を用いて電子線を大きく偏向し、照射電子の検出器に電子線を照射する方法も考えられるが、大きな電子線偏向は、その後の試料への再照射時に照射位置ずれの要因となる可能性がある。このため、照射電子線の強度変動を取得せずに、照射電子線の強度変動による膜厚算出誤差を抑制する方法が求められる。

【0035】

10

20

30

40

50

ここでDF3信号に着目してみると、図10に示すように、照射電子線強度が弱くなると、信号強度1001から信号強度1102のように信号強度が減少する。このとき、照射電子量減少による信号強度901から信号強度902への減少比と、信号強度1001から信号強度1002への減少比は等しくなる。このため、BF1信号をDF3信号で除算すれば、電子線109の変動をキャンセルできる。この除算信号の膜厚依存性のグラフを図11に示す。上記の通り、除算することにより、照射電子強度の変動影響は無視できる。また、BF1信号やDF3信号等は、図2の検出器により同時に取得することが可能であるため、照射とリアルタイムに除算結果を取得することが可能となる。さらに、図8に示したように、膜厚減少により信号が単調に増加するBF1を、単調に減少し、かつ最も変化率の大きいDF3で除算することにより、図8に示すどの信号よりも急峻に変化する信号強度1101を得ることができる。膜厚に対して急峻に信号が変化するということは、より膜厚分解能が高くなるということの意味する。即ち、得られたBF1/DF3強度がAであれば、これから膜厚Tが高精度で算出できる。

【0036】

ただし、上述したように、試料膜厚と透過電子線の関係は、ある特定した元素に対して成り立つものであるため、透過電子線からの試料膜厚算出には、試料の構成元素を考慮する必要がある。透過電子線の分布と試料構成元素の関係について、図12、及び図13を用いて説明する。図12は、比較的軽い(原子量が小さい)元素の試料の場合である。この場合は、電子線109が試料1201を透過する間に原子量が軽い原子と相互作用することから、電子線が散乱される確率が比較的小さくなる。透過電子線1202が直進する確率が比較的大きくなるため、中心付近の領域201や領域202等の信号強度が大きくなる。一方、図13のように試料1301が比較的重い(原子量が大きい)元素の場合には、試料原子との相互作用が大きいため、電子線が比較的広がり、より外側の領域205にも多くの電子線が照射されることになる。尚、この図12や図13では、あたかも電子線の境界線のように照射領域を表現しているが、電子線がこの内側のみに照射されるわけではなく、あくまでも試料構成元素の軽いものと重いものの比較として内側の強度が強くなる傾向かそうでないかを視覚的に分かりやすく表現したに過ぎず、実際の電子線は領域201~205にある割合で分布する。

【0037】

図14及び図15に、試料構成元素の違いによる信号強度の膜厚依存性を示す。図14は、BF1(領域201の信号)の信号強度を示す。図14では、試料材質がカーボン(原子量12.01)の場合の信号強度1401、シリコン(原子量28.09)の場合の信号強度1402、及びタングステン(原子量183.9)の場合の信号強度1403を示している。図12や図13でも説明したとおり、原子量が大きくなるに従って信号量が減少していることが分かる。次に、BF2(領域202の信号)の信号強度を図15に示す。カーボンの信号強度1501やシリコンの信号強度1502は途中でピークを有する。このため、仮に、このBF2信号を膜厚モニタに使用すると、例えばカーボンの場合一つの信号強度Aに対して、膜厚がT1、T2と2つ逆算され、どちらが正しいか判別できない。これは、図11を用いて説明したような信号での除算を用いても、途中でピークがある場合は発生する。一方、タングステンの場合はBF2の信号強度1503は途中でピークを持たないため、膜厚モニタに使用することが可能となる。このように、試料の構成元素によって、使用できる領域と使用できない領域201~205が変わることになる。ただし、上記のカーボンのBF2信号のようにT1、T2と2つの膜厚が算出された場合に、近傍に別の元素の領域があれば、イオンビーム加工で急激な膜厚分布が生じないという前提条件等から、別の元素の近傍領域の膜厚算出結果に近い方を選択するというフィルタリング等による膜厚算出も可能である。即ち、試料の構成元素によって、膜厚モニタに使用する最適な領域を領域201~205から選択することが重要となる。例えば、図16はカーボンの場合を示しているが、DF3(領域205の信号)の信号強度1601は、薄い領域1602では信号強度がほぼゼロに近くなる。この場合は、図11のようにこのDF3信号を分母に使用すると発散してしまい、膜厚モニタができなくなる。一方、その

10

20

30

40

50

一つ内側のDF2(領域204の信号)の信号強度1603は薄い領域1602でも十分な信号強度があり、図11のDF3の代わりに除算の分母に使用することが望ましい。このように、例えば予め定めた信号強度Acよりも実際の信号が小さくなる領域では、別の(例えばより内側の)領域を分母に使用するという使用法が大変有効である。これは、予め元素に対して除算に使用する領域を取り決めておいてもよく、また、予め定めた信号強度Acよりも小さくなった場合に領域を変更するという使用法も可能である。同様に、図17はタングステンの場合に問題が生じる例で、BF1(領域201の信号)の信号強度1701は厚い領域1702では信号強度がほぼゼロに近くなる。この場合は、図11のように、このBF1信号を分子に使用するとほぼゼロとなり、膜厚モニタができなくなる。一方、その一つ外側のBF2(領域202の信号)の信号強度1703は厚い領域1702でも十分な信号強度があり、図11のBF1の代わりに除算の分子に使用することが望ましい。このように、例えば予め定めた信号強度Awよりも実際の信号が小さくなる領域では別の(例えばより外側の)領域を分子に使用するという使用法が大変有効である。これは予め元素に対して除算に使用する領域を取り決めておいてもよく、また、予め定めた信号強度Awよりも小さくなった場合に領域を変更するという使用法も可能である。

10

【0038】

上記の元素情報を基にした信号強度の選択は、膜厚モニタの前に元素情報を得る必要がある。元素情報は、例えば図1のX線検出器115の信号から得ることが可能である。即ち、電子線109を試料101に照射してその照射領域から発生するX線を検出することにより、その領域の元素を特定することが可能であるから、試料101の断面上で電子線109を走査することにより、図18に示すような元素マッピング像を取得することが可能となる。ここでは、例えば元素毎に色分けして表示され、領域1801, 領域1802, 領域1803, 領域1804、及び領域1805は、それぞれ異なる元素で構成されている。ここでは図示しないが、元素毎に1枚ずつ含有密度をコントラスト等により表示してもよい。このマッピング像を取得するためのX線検出と、例えば図2の透過電子線検出器における各領域201~205の信号検出は、同時に行うことが可能であるため、元素情報を取得し、最適な検出領域を領域201~205から選択し、演算処理することにより、ほぼリアルタイムで膜厚を算出することが可能となる。ここではX線検出による元素情報取得を記載したが他の手段、例えば電子エネルギー損失分光や反射電子エネルギー分光等を利用する場合でも同様に元素情報を得ることが可能であり、膜厚モニタ情報として利用可能である。

20

30

【0039】

また、試料101が、半導体デバイス等のように、設計上、構成元素が判明している場合もある。この場合は、元素を予めユーザ指定することも可能である。例えば、電子線109の走査により、二次電子、反射電子、又は透過電子で形成した像上で、図19の領域1901や領域1902をGUI上で指定し、例えば領域1901の構成元素を、元素入力領域1903にユーザが入力する。ここでは、プルダウンメニューからシリコン(Si)を選択した例を示している。こうすることで、例えば領域1901の膜厚をモニタするためにはシリコンに最適な検出領域を領域201~205から自動的に選択(例えば分子に領域201と分母に205を選択等)することが可能となる。このように、元素種を手動入力することにより、図1のX線検出器115やX線検出器制御装置116を装置構成から外すこともできる。

40

【0040】

以上では、説明を簡単にするために、照射電子のエネルギーは一定の場合(例えば30kV)を仮定しているが、実際は照射電子のエネルギーを変えることも可能である。実際透過電子量は照射電子のエネルギーにより変化し、検出器206の領域201~205の信号比自体も変化する。即ち、図7, 図8, 図9, 図10, 図11, 図14, 図15, 図16, 図17等に示した信号強度も照射電子のエネルギーにより変わる。傾向としては、照射電子のエネルギーが低くなれば、透過電子全体の信号強度も低くなるが、領域201~205が同じ割合で低くなるわけではなく、領域201側(中心付近)の透過電子量の

50

減少がより大きい。このため、照射電子のエネルギーを変える場合には、図7, 図8, 図9, 図10, 図11, 図14, 図15, 図16, 図17等に相当する検量線も変え、演算に使用する領域201~205も、照射電子のエネルギーにより変えることが望ましい。ただし、演算に最適な領域選択の方針は、上述してきたものと同じである。膜厚減少に対して単調に増加する信号で最も変化率が高い領域と、膜厚減少に対して単調に減少する信号で最も変化率が高い領域を選択して、除算する場合は、最も膜厚変化に対して敏感な信号を得ることが可能であるため、領域選択として最適である。ただし、信号強度が小さくなりすぎる領域や元素では、第2候補の領域に領域選択を変えることも、上述してきたものと同じである。こうすることにより、照射電子のエネルギーを変えた場合にも正確な膜厚モニタが実現できる。

10

【0041】

ここで、上記の方法で膜厚情報を取得する場合の、膜厚の表示方法について図20~図26に示す。

【0042】

図20の二次電子像2001は、試料101の断面像である。ここでは二次電子像を用いているが、二次電子像に限定されるものではなく、透過電子像、反射電子像、又は元素マッピング像等でもよく、電子線109の走査で得られた試料101の像であることが望ましい。これは、膜厚モニタに使用する電子線109と同一の偏向走査情報を有することから、膜厚モニタに指定する領域の位置誤差が生じないためである。ここで、膜厚をモニタしたい位置をカーソル2002で指定すると、膜厚表示領域2003に上記方法で算出された膜厚が表示される。

20

【0043】

また、図21のメータ表示領域2101では、カーソル位置の膜厚の値を振れる針が示すように構成されている。二次電子像等の上でカーソルを移動させ、カーソル移動による針の振れ具合を見ることにより、位置による膜厚の変化を視覚的に認識できる。また、メータ表示領域2101を用いて、イオンビーム104による加工と同時に膜厚モニタ行くと、加工により膜厚が減少していく様子をメータの針の振れにより視覚的に認識できるため、加工の進行状況を理解しやすい。

【0044】

また、図22のようなポップアップ表示も可能である。ポップアップ2201は、カーソル位置の近傍に表示される吹き出しであり、二次電子像等のカーソル位置に対応した膜厚を、吹き出し内部に数値として表示する。これにより、二次電子像2001から目を離さずに膜厚を認識することができる。

30

【0045】

以上は、カーソルにより指示したポイントの膜厚情報の表示について説明したが、ある面積を持った領域の平均情報を知りたいという場合もある。この表示例を図23~図25に示す。

【0046】

図23に、領域指定による数値膜厚表示の例を示す。図23のモニタ領域2301が情報を平均する領域であり、サイズや位置が変更可能である。例えば、サイズはドラッグ操作により設定可能であり、位置はカーソルやキーボードの十字キー等で変更可能である。この領域の膜厚が膜厚表示領域2302に表示される。尚、図24のようなメータ表示や、図25のようなポップアップ表示としてもよい。イオンビームの断面加工では、あまり面内の急峻な膜厚変化が生じにくいいため、特にイオンビームにより作製した膜厚を測定する場合、このような面積平均の膜厚表示を用いると、図20~図22のようなポイントデータよりも安定した情報を得ることができる。

40

【0047】

また、例えば図26に示すように、算出された膜厚をコントラストや擬似カラー等に割り当てて、二次電子像等に対応する領域の膜厚分布を、コントラスト変化や色変化により、膜厚分布表示領域2601に表示してもよい。この場合、位置による膜厚分布を一望す

50

ることができる。膜厚は、例えばコントラストバー 2602 と膜厚分布表示領域 2601 のコントラスト見比べて認識することが可能である。図 26 の例では、上方向が薄く、下に行くにつれて厚くなっている様子が分かる。尚、膜厚分布表示領域 2601 上にカーソルや平均領域を持っていくことにより、図 20 ~ 図 25 のように、正確な数値等を表示するようにしてもよい。この場合、全体傾向と詳細数値を両方認識することが可能となる。

【0048】

以上のように、膜厚モニタに使用する透過電子線の検出器 206 の領域 201 ~ 205 は元素等や膜厚（信号量）に応じて自動的に選択されるが、どの領域が選択されているかをユーザに示すことも重要である。また、領域 201 ~ 205 の中でどの領域を使用するかをユーザが指定できることも望ましい。そこで、透過電子検出器の受光領域の GUI 表示例を図 27 に示す。

10

【0049】

図 27 の分子使用領域表示部 2701 は、演算の分子に使用する領域を表示しており、図 27 の例では領域 201 を選択した BF1 信号となっている。一方、分母使用領域表示部 2702 は、演算の分母に使用する領域を表示しており、この例では領域 205 を選択した DF3 信号となっている。このように選択されている検出器の領域を表示する一方で、この分子使用領域表示部 2701 や分母使用領域表示部 2702 の領域をカーソルで選択することにより、検出器の領域をユーザが指定することも可能となっている。さらに、図 28 の分母使用領域表示部 2801 の例に示すように、複数の領域の加算を分母等にも使用することも可能である。分子使用領域表示部も同様である。

20

【0050】

このように選択された各領域 201 ~ 205 の信号間の演算処理は、この例では透過電子検出器制御装置 114 が有する半導体デバイスにて行っている。このため、高速のリアルタイム処理が可能である。しかし、このようにハード的に演算を行わなくとも、例えば、中央処理装置 117 上にて、ソフト処理として演算することも可能である。この場合は、様々な演算処理のバリエーションをプログラム変更で追加することも可能となる。

【0051】

以上のように、本実施例の荷電粒子線装置では、イオンビーム加工する試料の膜厚を正確にモニタすることが可能となるため、高精度な観察や、分析試料の作製が可能となる。

【実施例 2】

30

【0052】

本実施例では、イオンビーム加工により元試料から微小試料片を抽出可能な荷電粒子線装置について説明する。以下、実施例 1 との相違点を中心に説明する。

【0053】

図 29 に、微小試料片抽出機能付き荷電粒子線装置の構成例を示す。元試料台 2901 は、例えば半導体ウェーハやチップ若しくは塊のような元試料 2902 を載置することができる。この元試料 2902 から試料片を抽出するためのプローブ 2903 は、プローブ駆動機構 2904 の先端に保持されている。プローブ制御装置 2905 によりプローブ位置等は制御される。イオンビームアシストデポジションやイオンビームアシストエッチングのために使用するアシストガスを供給するアシストガス源 2906 は、ガス源制御装置 2907 により制御される。プローブ制御装置 2905 やガス源制御装置 2907 等は中央処理装置 117 により制御される。尚、プローブの代わりに、試料片を挟み込めるマイクロフォークや、試料片を掴めるマイクロマニピュレータを用いてもよい。

40

【0054】

ここで、イオンビーム加工により抽出された微小試料片からの薄膜作製について、図 30 及び図 31 を用いて説明する。図 30 は、微小試料片の抽出フローを示したものである。

【0055】

(a, b) 始めに、元試料台 2901 に載置された元試料 2902 における所望断面の周り（3 辺方向）に、イオンビーム 3001 により 3 つの矩形穴 3002, 3003, 3

50

004加工を行う。

【0056】

(c)次に、元試料台2901を傾斜させ、溝3005加工を行うことにより、支持部3006のみで元試料2902に支持された試料片3007を作製する。

【0057】

(d, e)次に、元試料台2901の傾斜を元に戻し、プローブ駆動機構2904によりプローブ2903先端を試料片3007に接触させる。そして、アシストガス源2906からデポジションガス3008を供給しながらプローブ先端を含む領域にイオンビーム3001照射を行うことにより、デポジション膜3009(本実施例の場合はタングステン膜)を形成し、試料片3007とプローブ2903を固定する。

10

【0058】

(f, g)試料片3007とプローブ2903を固定した後に、支持部3006をイオンビーム加工で除去することにより、元試料2902から試料片3007を分離する。

【0059】

(h)分離された試料片3007をプローブ駆動によりサンプルキャリア3010に接触させる。このサンプルキャリア3010は、図29の試料ステージ102に載置されている。そこで、接触部に上記と同様の方法でデポジション膜3011を形成し、試料片3007とサンプルキャリア3010を固定する。

【0060】

(i)試料片3007とサンプルキャリア3010を固定した後に、プローブ先端をイオンビーム加工し、プローブを分離することにより、試料片3007をプローブから独立させる。

20

【0061】

次に、薄膜の作製について図31を用いて説明する。

【0062】

(a, b)所望断面に平行にイオンビーム3001を照射し所望断面近傍まで加工する。

【0063】

(c)さらに反対側もイオンビーム3001を照射し所望断面近傍まで加工する。

【0064】

上記(b), (c)を繰り返しながら両面を少しずつFIB加工し、目標薄膜に仕上げる。この薄膜加工の加工中、又は加工の合間に、実施例1で示したように電子線をこの薄膜部に照射し、膜厚をモニタすることで、所望膜厚の薄膜試料を作製することが可能となる。さらに、上記図31(b), (c)の薄膜加工を自動で行う場合、予め設定した膜厚になるまで図31(b), (c)の加工を自動で繰返し、予め設定した膜厚と膜厚モニタ情報が一致すれば加工、即ちイオンビーム照射を止める。

30

【0065】

本実施例で示したような試料片は薄いサンプルキャリア3010に保持することが可能であるため、膜厚モニタ用の電子線透過を遮蔽する可能性が少なくなり、正確な膜厚モニタを容易に行うことが可能となる。これは実施例1で説明したX検出による元素情報取得にも効果があり、近傍領域に散乱電子が照射されることにより、間違った元素情報が得られてしまう可能性が少なくなるため、正確な膜厚測定が実現できる。さらに、大きな元試料から、所望の観察部に関する正確な膜厚の試料を加工するといった作業を、一つの真空試料室中で行うことが可能であるため、大気と反応して変質するような試料の場合も確実に薄膜試料を作製することが可能であり、加工スループットも向上できる。

40

【実施例3】

【0066】

本実施例では、薄膜仕上げ加工にガスイオンビームを用いる荷電粒子線装置について説明する。以下、実施例1や実施例2との相違点を中心に説明する。

【0067】

50

図32に、ガスイオンビーム付き荷電粒子線装置の構成例を示す。試料101にガスイオンビームを照射するガスイオンビーム光学系3201は、ガスイオンビーム光学系制御装置3202により制御される。ガスイオンビーム光学系制御装置3202は、中央処理装置117から他の制御装置装置と同様に制御される。

【0068】

現状、薄膜加工に用いられるイオンビーム104としては、ガリウムイオンビームが一般的に使用されている。ガリウムイオンビームの集束性が優れており、微細加工に有効なためである。しかし、ガリウム自体は重金属であるため、加工した試料にガリウムが残ることは、分析等にとって好ましくない。さらに、ビームを微細に集束させるためには高加速性が必要であるが、高加速のイオンビームで加工した場合、ダメージ層と呼ばれる層が形成される。例えば加工する試料がシリコン結晶の場合、30kV程度の加速のガリウムイオンビームにて試料を加工すると、シリコン結晶が崩れ、片面につき30nm程度のアモルファス層が形成されてしまう。

10

【0069】

このような重金属汚染層やダメージ層を除去するためには、低加速のガスイオンビームで仕上げ加工をすることが有効である。ガスイオンとしては、例えばアルゴンやキセノン等がよく用いられる。これらガスイオンを、例えば1kVやそれ以下の低加速で薄膜に照射し、仕上げ加工する。

【0070】

この様子を表したものが図33である。ガスイオンビーム3301を試料薄膜に照射し、領域3302に照射する。現状、ガスイオンビームの照射領域をガリウムイオンビームのように小さく絞れることは難しいため、ガリウムイオンビームで薄膜作製した後に、最終仕上げとしてガスイオンビームを広く照射する。この場合、ガスイオンビームの照射位置はガリウムイオンビームのように正確に位置決めすることが難しいため、照射位置管理では無く時間管理で加工を制御する。ここで、実施例1や実施例2で説明した透過電子による膜厚モニタを行うことにより、ガスイオンビーム照射中や照射間に膜厚情報を取得することが可能となる。予め設定した膜厚と膜厚モニタ情報が一致した場合にガスイオンビーム照射を止めること等により、仕上げ加工管理が実現できる。

20

【0071】

本実施例で示したような装置構成とすることにより、仕上げ加工の終点制御も可能となるため、より高品位の薄膜作製が実現できる。

30

【産業上の利用可能性】

【0072】

本発明は、半導体デバイスの不良解析や構造解析技術の向上に貢献する。また、半導体デバイスのみならず、鉄鋼、軽金属、ポリマー系高分子、生体試料等の高分解能観察にも本発明は利用可能である。

【0073】

尚、上述の実施例では、イオンビーム加工と膜厚モニタが一体となった装置により、正確な膜厚の試料を作製できるメリットを説明したが、イオンビーム光学系を外した構成においても膜厚のモニタは可能であり、本発明は、他のイオンビーム装置で作製した試料や、機械的研磨や化学的研磨等で作製した試料の膜厚を測定する装置にも利用可能である。

40

【符号の説明】

【0074】

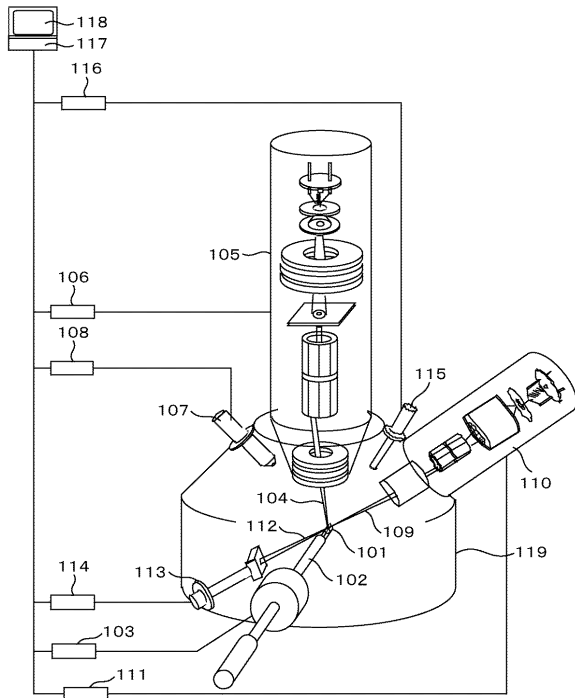
- 101, 501, 601, 1201, 1301 試料
- 102 試料ステージ
- 103 試料位置制御装置
- 104, 3001 イオンビーム
- 105 イオンビーム光学系
- 106 イオンビーム光学系制御装置
- 107 二次電子検出器

50

1 0 8	二次電子検出器制御装置	
1 0 9	電子線	
1 1 0	電子線光学系	
1 1 1	電子線光学系制御装置	
1 1 2	, 5 0 2 , 1 2 0 2 透過電子線	
1 1 3	透過電子検出器	
1 1 4	透過電子検出器制御装置	
1 1 5	X線検出器	
1 1 6	X線検出器制御装置	
1 1 7	中央処理装置	10
1 1 8	表示装置	
2 0 1 ~ 2 0 5 , 3 0 1 ~ 3 0 5 , 1 8 0 1 ~ 1 8 0 5 , 1 9 0 1 , 1 9 0 2 , 3 3 0 2	領域	
2 0 6	検出器	
7 0 1 , 7 0 2 , 8 0 1 ~ 8 0 5 , 9 0 1 , 9 0 2 , 1 0 0 1 , 1 0 0 2 , 1 1 0 1 , 1 4 0 1 ~ 1 4 0 3 , 1 5 0 1 ~ 1 5 0 3 , 1 6 0 1 , 1 6 0 3 , 1 7 0 1 , 1 7 0 3	信号強度	
1 6 0 2	薄い領域	
1 7 0 2	厚い領域	
1 9 0 3	元素入力領域	20
2 0 0 1	二次電子像	
2 0 0 2	カーソル	
2 0 0 3 , 2 3 0 2	膜厚表示領域	
2 1 0 1	メータ表示領域	
2 2 0 1	ポップアップ	
2 3 0 1	モニタ領域	
2 6 0 1	膜厚分布表示領域	
2 6 0 2	コントラストバー	
2 7 0 1	分子使用領域表示部	
2 7 0 2 , 2 8 0 3	分母使用領域表示部	30
2 9 0 2	元試料	
2 9 0 3	プローブ	
2 9 0 4	プローブ駆動機構	
2 9 0 5	プローブ制御装置	
2 9 0 6	アシストガス源	
2 9 0 7	ガス源制御装置	
3 0 0 2 ~ 3 0 0 4	矩形穴	
3 0 0 5	溝	
3 0 0 6	支持部	
3 0 0 7	試料片	40
3 0 0 8	デポジションガス	
3 0 0 9 , 3 0 1 1	デポジション膜	
3 0 1 0	サンプルキャリア	
3 2 0 2	ガスイオンビーム光学系制御装置	
3 3 0 1	ガスイオンビーム	

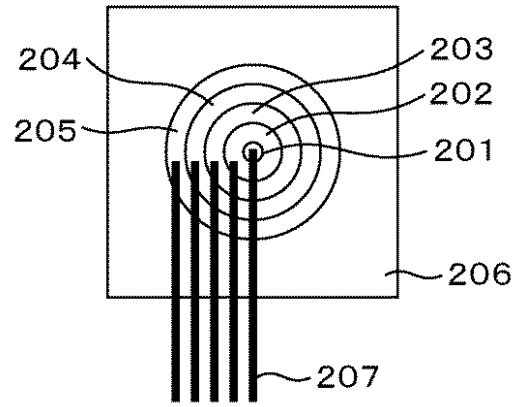
【図1】

図1



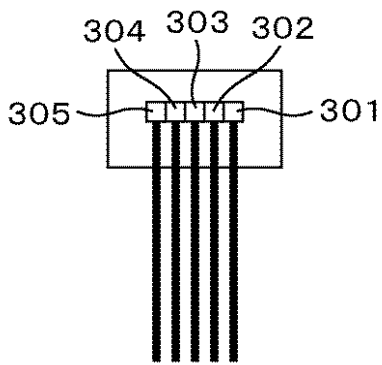
【図2】

図2



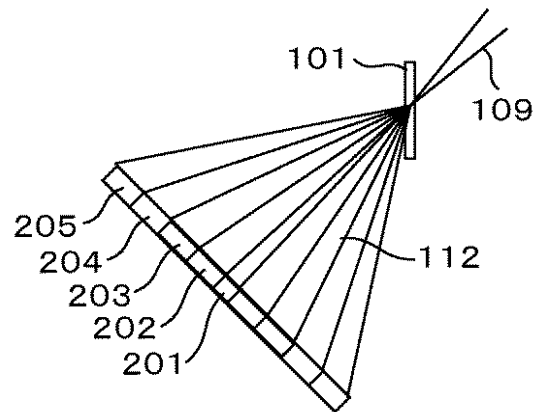
【図3】

図3



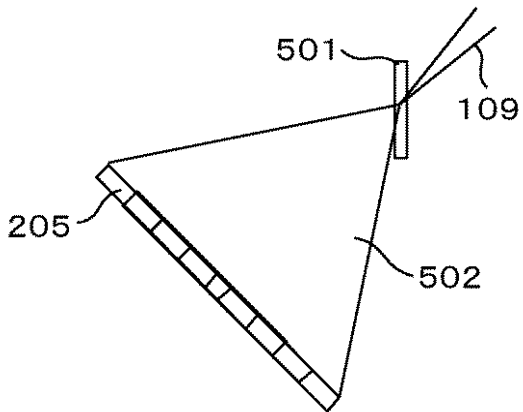
【図4】

図4



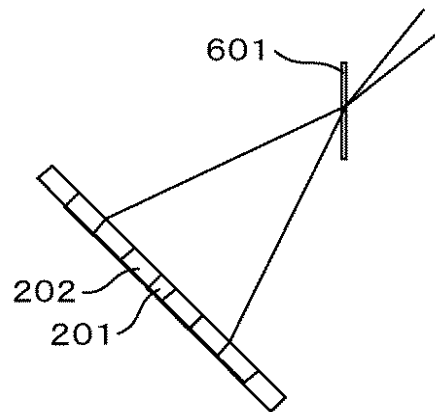
【 図 5 】

図 5



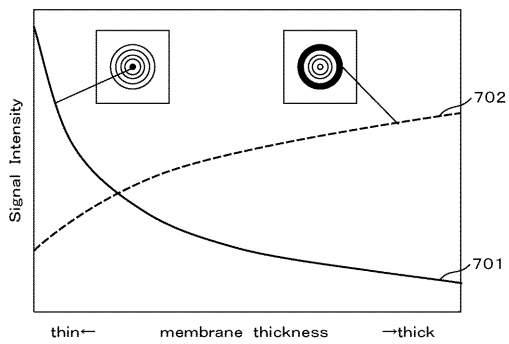
【 図 6 】

図 6



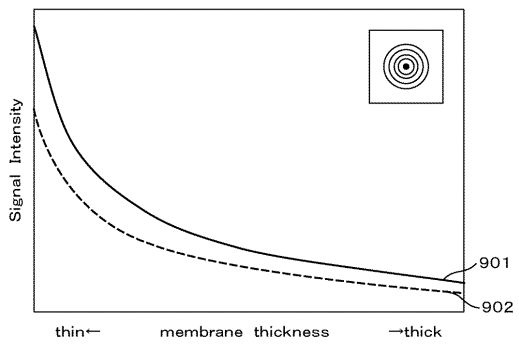
【 図 7 】

図 7



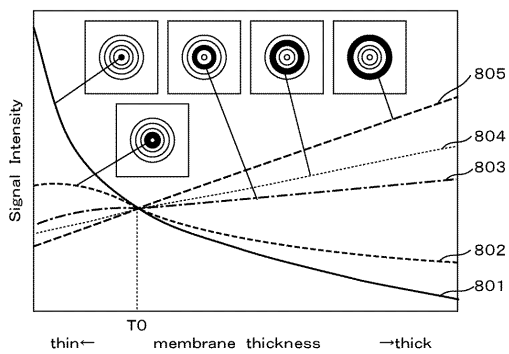
【 図 9 】

図 9



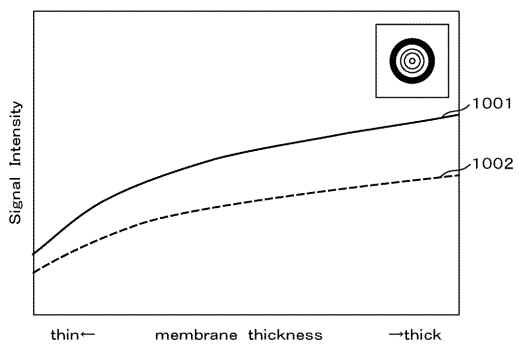
【 図 8 】

図 8



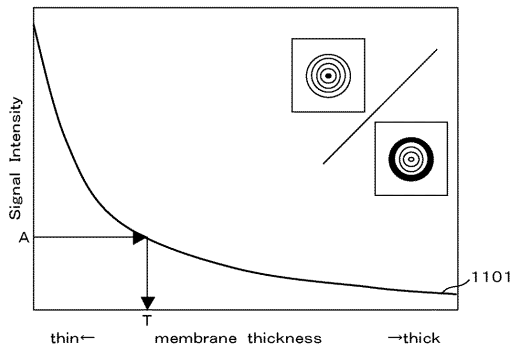
【 図 10 】

図 10



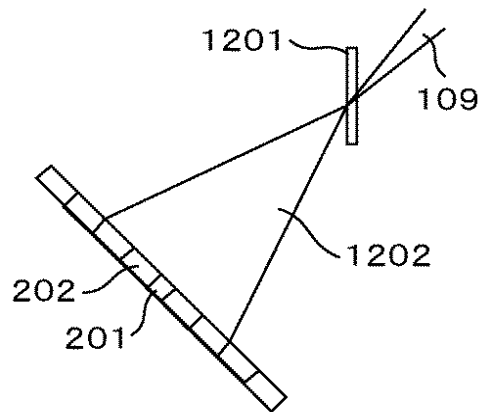
【 11 】

11



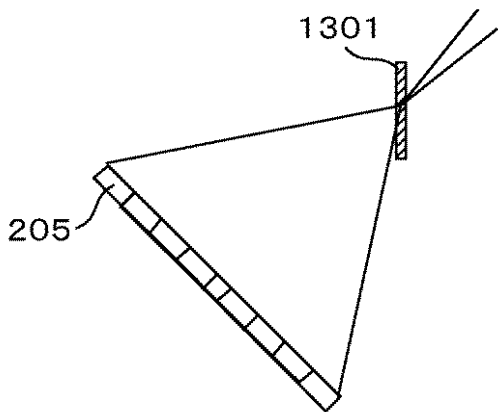
【 12 】

12



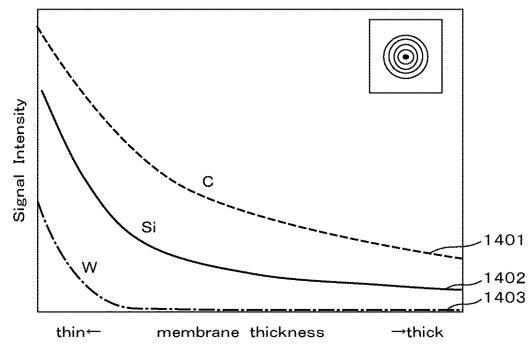
【 13 】

13



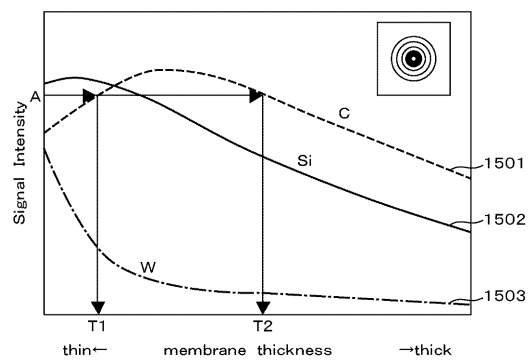
【 14 】

14



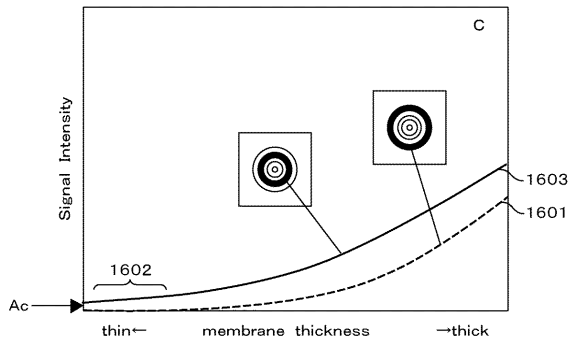
【 15 】

15



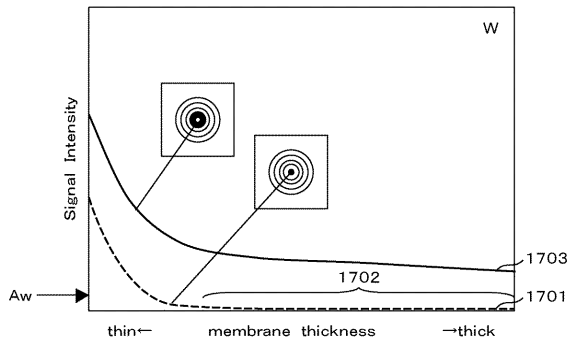
【 図 16 】

図 16



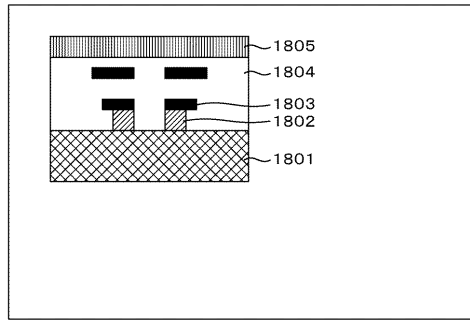
【 図 17 】

図 17



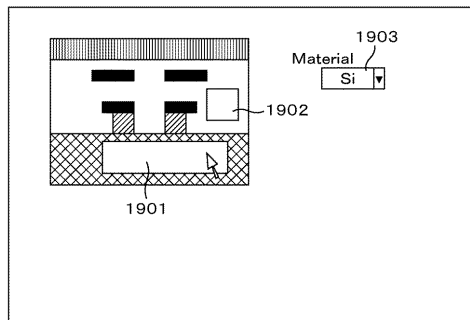
【 図 18 】

図 18



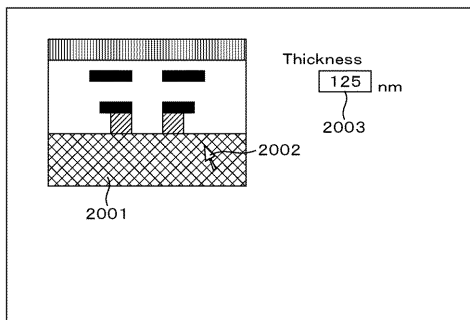
【 図 19 】

図 19



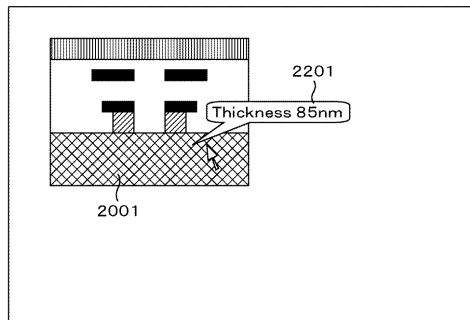
【 図 20 】

図 20



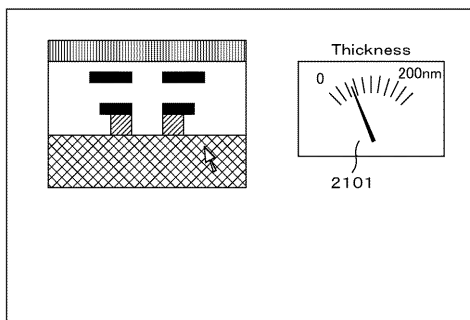
【 図 22 】

図 22



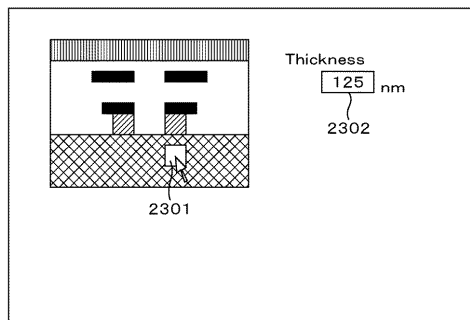
【 図 21 】

図 21



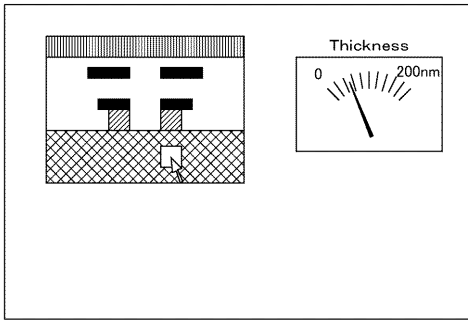
【 図 23 】

図 23



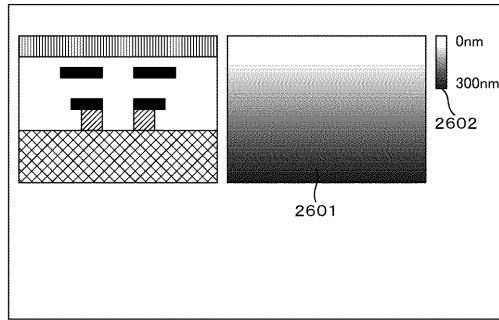
【図 24】

図 24



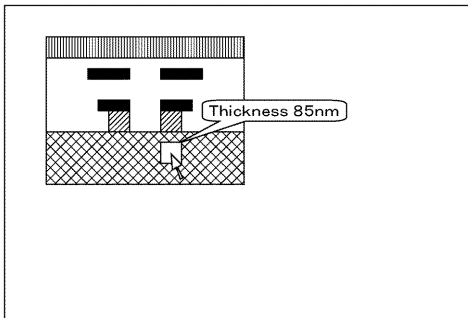
【図 26】

図 26



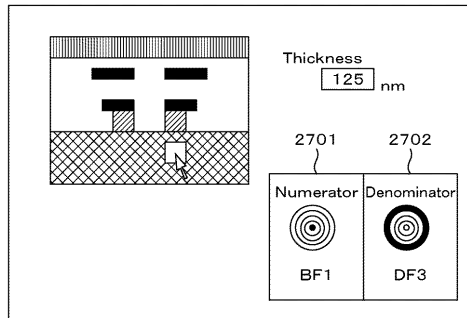
【図 25】

図 25



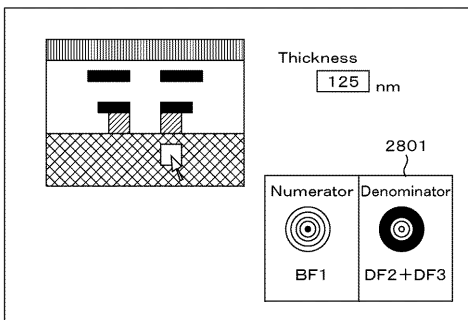
【図 27】

図 27



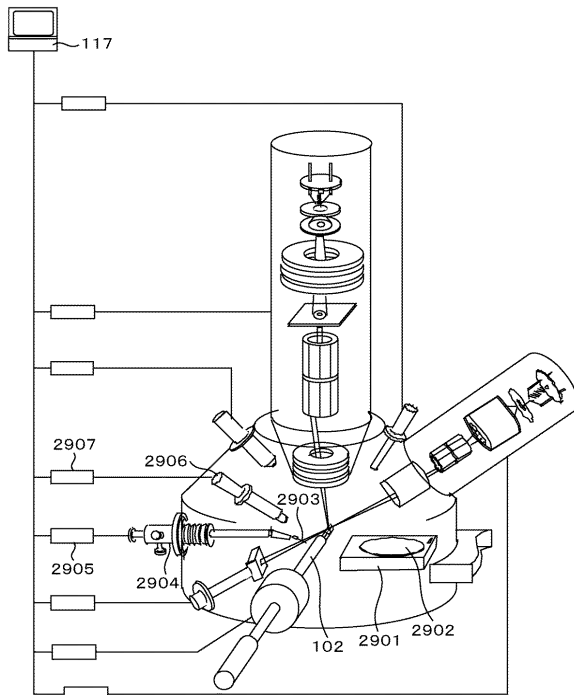
【図 28】

図 28



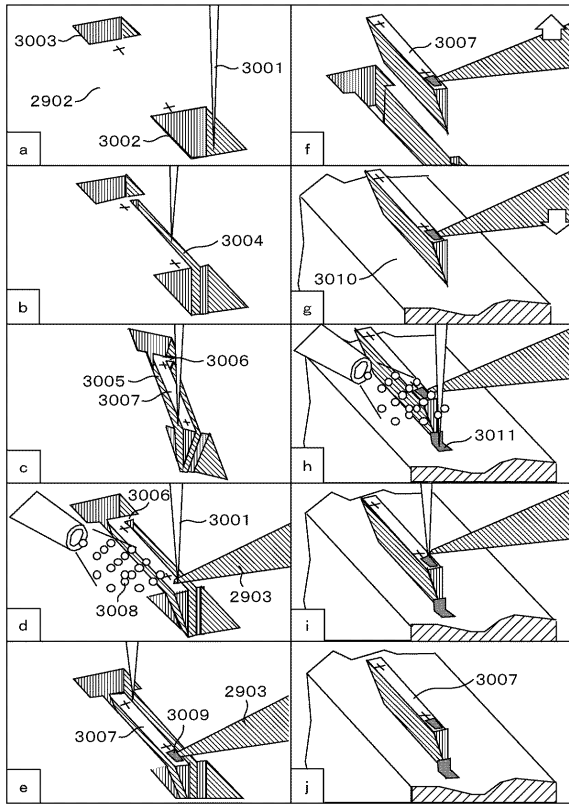
【図 29】

図 29



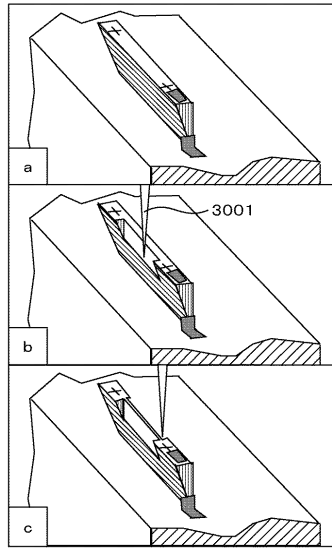
【図 30】

図 30



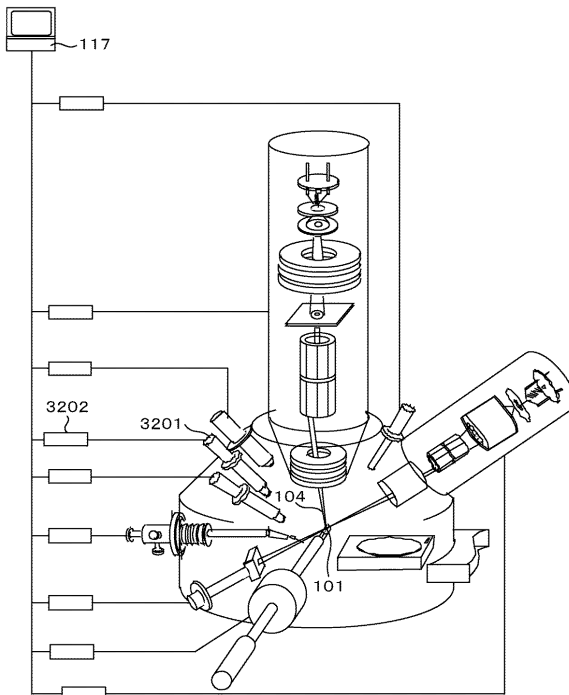
【図 31】

図 31



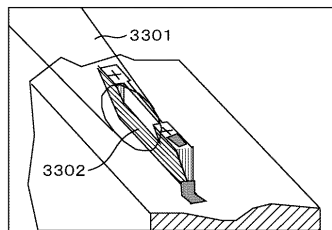
【図 32】

図 32



【図 33】

図 33



フロントページの続き

- (72)発明者 揚村 寿英
茨城県ひたちなか市大字市毛882番地
ズ 那珂事業所内 株式会社 日立ハイテクノロジー
- (72)発明者 南里 光栄
茨城県ひたちなか市大字市毛882番地
ズ 那珂事業所内 株式会社 日立ハイテクノロジー

審査官 佐藤 仁美

- (56)参考文献 特開平02-015545(JP,A)
特開平05-234557(JP,A)
特開平06-231720(JP,A)
特開昭63-266754(JP,A)
特開2006-127850(JP,A)
特開2007-193977(JP,A)
特開2004-214065(JP,A)
特開2003-249186(JP,A)
特開2009-193968(JP,A)
特開2010-257855(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01J 37/00 - 37/02、37/05、
37/09 - 37/244、37/252 - 37/36