

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3941816号
(P3941816)

(45) 発行日 平成19年7月4日(2007.7.4)

(24) 登録日 平成19年4月13日(2007.4.13)

(51) Int.C1.

F 1

HO 1 J	37/28	(2006.01)	HO 1 J	37/28	B
HO 1 J	37/20	(2006.01)	HO 1 J	37/20	A
HO 1 J	37/317	(2006.01)	HO 1 J	37/317	D
HO 1 J	37/30	(2006.01)	HO 1 J	37/30	Z

請求項の数 15 (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2005-107009 (P2005-107009)
 (22) 出願日 平成17年4月4日 (2005.4.4)
 (62) 分割の表示 特願2004-317452 (P2004-317452)
 の分割
 原出願日 平成12年11月7日 (2000.11.7)
 (65) 公開番号 特開2005-203382 (P2005-203382A)
 (43) 公開日 平成17年7月28日 (2005.7.28)
 審査請求日 平成17年4月15日 (2005.4.15)

早期審査対象出願

前置審査

(73) 特許権者 000005108
 株式会社日立製作所
 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
 (74) 代理人 100100310
 弁理士 井上 学
 (72) 発明者 德田 光雄
 茨城県ひたちなか市大字市毛882番地
 株式会社 日立製作
 所 計測器グループ内
 (72) 発明者 福田 宗行
 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地
 株式会社 日立製作
 所 中央研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】微小試料加工観察方法及び装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

試料室内における微小試料加工観察方法であって、
 試料室内に配置された試料台に載置された試料に、イオンビームを照射して微小試料を
 摘出し、

前記微小試料を、イオンビーム及び電子ビームの前記微小試料への照射角度を変更する
 照射角度変更手段に固定し、

前記照射角度変更手段に固定されている前記微小試料にイオンビームを照射し、観察断
 面を形成し、

電子ビームに対して前記観察断面が略垂直の角度となるよう、前記照射角度変更手段に
 より電子ビームの前記微小試料への照射角度を変更し、 10

前記照射角度変更手段に固定された前記微小試料に電子ビームを照射し、前記観察断面
 を測定する方法。

【請求項2】

請求項1記載の微小試料加工観察方法において、

前記照射角度変更手段が、前記微小試料を支持できるマニピュレータを含むことを特徴
 とする微小試料加工観察方法。

【請求項3】

請求項1記載の微小試料加工観察方法において、

前記照射角度変更手段が、前記微小試料を載置できる第2試料台を含むことを特徴とす 20

る微小試料加工観察方法。

【請求項 4】

試料室内における微小試料加工観察方法であって、

試料室内に配置された試料台に載置された試料に、イオンビームを照射して微小試料を摘出し、

試料室内に配置され、イオンビーム及び電子ビームの前記微小試料への照射角度を変更する第2試料台に前記微小試料を固定し、

前記第2試料台に固定されている前記微小試料にイオンビームを照射し、観察断面を形成し、

電子ビームに対して前記観察断面が略垂直の角度となるよう、前記第2試料台により電子ビームの前記微小試料への照射角度を変更し、10

前記第2試料台に固定された前記微小試料に電子ビームを照射し、前記観察断面を測定する方法。

【請求項 5】

請求項4記載の微小試料加工観察方法において、

前記試料が電子デバイスであることを特徴とする微小試料加工観察方法。

【請求項 6】

請求項4記載の微小試料加工観察方法において、

前記試料がマイクロデバイスであることを特徴とする微小試料加工観察方法。20

【請求項 7】

請求項1-6記載の微小試料加工観察方法において、

前記微小試料をマニピュレータにより支持することを特徴とする微小試料加工観察方法。

【請求項 8】

請求項1-6記載の微小試料加工観察方法において、

前記微小試料をプローブにより支持することを特徴とする微小試料加工観察方法。

【請求項 9】

請求項3-8記載の微小試料加工観察方法において、

前記第2試料台の角度を第2試料台制御装置により制御することを特徴とする微小試料加工観察方法。30

【請求項 10】

請求項1-9記載の微小試料加工観察方法において、

前記第2試料台が複数の前記微小試料を固定できることを特徴とする微小試料加工観察方法。

【請求項 11】

請求項3-10記載の微小試料加工観察方法において、

前記第2試料台が回転可能な柱状であることを特徴とする微小試料加工観察方法。

【請求項 12】

請求項1-11記載の微小試料加工観察方法において、

前記微小試料の形状が5面体であることを特徴とする微小試料加工観察方法。40

【請求項 13】

請求項1-11記載の微小試料加工観察方法において、

前記微小試料の形状が4面体であることを特徴とする微小試料加工観察方法。

【請求項 14】

請求項1-3記載の微小試料加工観察方法において、

前記照射角度変更手段によりイオンビームの前記微小試料への照射角度を変更した後に、前記照射角度変更手段に固定されている前記微小試料にイオンビームを照射することを特徴とする微小試料加工観察方法。

【請求項 15】

請求項4-14記載の微小試料加工観察方法において、50

前記第2試料台によりイオンビームの前記微小試料への照射角度を変更した後に、前記第2試料台に固定されている前記微小試料にイオンビームを照射することを特徴とする微小試料加工観察方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、被観察対象物の表面のみならず表面に近い内部の断面をも観察分析することを必要とする、半導体デバイス、液晶デバイス、磁気ヘッド、等の電子デバイスやマイクロデバイス等の研究開発や製造における観察・分析・評価手段として利用される装置システムに関する。 10

【背景技術】

【0002】

ダイナミックランダムアクセスメモリに代表される半導体メモリやマイクロプロセッサ、半導体レーザなど半導体デバイス、および磁気ヘッドなど電子部品の製造においては、製品の品質管理のために製造工程途中あるいは終了の段階で製品特性が検査される。検査では、製作寸法の計測や、回路パターンの欠陥検査や異物分析がなされる。このため、各種の手段が用意され利用されている。

【0003】

特に異常箇所が製品の内部に存在する場合は、従来、集束イオンビーム(Focused Ion beam : FIB)装置と電子顕微鏡を組み合わせた、微細加工観察装置が用いられる機会が増している。この装置は特許文献1に開示されている。 20

【0004】

同種の装置の概略構成を、図16を用いて説明する。走査電子顕微鏡機能を有する集束イオンビーム装置は、真空試料室60を有しており、イオン源1、イオンビーム走査偏向器3、およびレンズ2などから構成される集束イオンビーム光学系31、FIB照射によって試料から放出する二次電子や二次イオンを検出する二次粒子検出器6、半導体ウェーハや半導体チップなどのウェーハ21を載置する試料台24などが配置されている。また、電子ビームを放出する電子銃7、電子ビームレンズ9、電子ビーム走査偏向器10、などから構成される走査電子顕微鏡光学系41を設置している。 30

【0005】

次に、本装置の動作について説明する。まず、イオン源1から放出したイオンを、レンズ31を通してウェーハ21に照射する。FIB4は試料上で直径数ナノメートルから1マイクロメートル程度に細束化される。FIB4をウェーハ21に照射するとスパッタリング現象により試料表面の構成原子が真空中に放出される。したがってイオンビーム走査偏向器3を用いてFIB4を走査させることで、マイクロメートルからサブマイクロメートルレベルの加工ができることになる。そこで、図14において試料となるウェーハ21を装置内部の試料台24に載せ、座標値で指定された観察箇所p1を位置出し後、観察箇所にFIB4を照射し溝穴を掘り、図15に示す観察箇所の内部断面s1を創生する。創生された溝穴の外側や内壁面を、電子ビーム照射による走査電子顕微鏡機能で観察したり、分析装置51で適宜分析する。尚、ウェーハプロセスで用いられる従来の微細加工観察装置は、集束イオンビーム光学系と電子ビーム光学系を、試料表面の観察部位で両ビーム軸が交差する様に配置されている。 40

【0006】

ところで最近、観察部位を含むミクロンオーダーの微小領域を切出した微小試料を加工観察装置の外部へ取り出し、別途用意した装置に微小試料を移して最適形状に追加工し観察・分析する方法が考案され利用されている。この方法は、特許文献2に開示されている。

【0007】

この方法は図17に示すように、まず、試料102の表面に対しFIB4が直角に照射するように試料102の姿勢を保ち、試料上でFIB4を矩形に走査させ、試料表面に所 50

要の深さの角穴 107 を形成する(図 17(a))。次に、試料 102 を傾斜させ、底穴 108 を形成する。試料 102 の傾斜角の変更は、試料台(図示せず)によって行われる(図 17(b))。試料 102 の姿勢を変更し、試料 102 の表面が FIB 4 に対して再び垂直になるように試料 102 を設置し、切り欠き溝 109 を形成する(図 17(c))。マニピュレータ(図示せず)を駆動し、マニピュレータ先端のプローブ 72 の先端を、試料 102 を分離する部分に接触させる(図 17(d))。ガスノズル 110 から堆積性ガス 105 を供給し、FIB 4 をプローブ 72 の先端部を含む領域に局所的に照射し、イオンビームアシストデポジション膜(以下、デポ膜 104 と略す)を形成する。接触状態にある試料 102 の分離部分とプローブ 72 の先端はデポ膜 104 で接続される(図 17(e))。FIB 4 で残りの部分を切り欠き加工し(図 17(f))、試料 102 から分離試料である微小試料 12 を切出す。切出された分離試料 12 は、接続されたプローブ 72 で支持された状態になる(図 17(g))。この微小試料 12 を、FIB 4 で加工し、観察しようとする領域をウォール加工すると TEM 試料(図示せず)となる。以上がウェーハなどの試料から所望の解析領域を含む微小試料を、FIB 加工と微小試料の搬送手段を駆使して分離する方法である。この方法で分離した微小試料を本微細加工装置の外に取り出し、各種観察・分析装置に導入することで解析することができる。但し、試料を大気に晒すことを嫌う場合には利用できない。また、別装置も必要になるため設備コストや設置スペースの増加することが避けられない。

【0008】

【特許文献 1】特開平 11-260307 号公報

10

【特許文献 2】特開平 05-52721 号公報

20

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

以上述べた従来法には次のような問題がある。

【0010】

問題(1) FIB 加工で形成した試料の穴溝断面を観察するには、試料台を傾斜させることにより斜め方向から穴溝内壁断面を観察する。その場合、FIB 装置のワーキングディスタンスや、対物レンズの存在、或るいは試料台の大きさに起因する構造上の制約により試料台の傾斜角度調整範囲が、制限され、それ以上の角度に傾斜できない。従って溝内壁断面の垂直観察は不可能である。しかしながら半導体デバイス製造のプロセス開発等におけるドライエッチング、平坦化、薄膜形成等の処理特性確認では垂直断面観察が不可欠であるが、上記公知例の装置では対応できなかった。

30

【0011】

問題(2) 斜め観察による分解能低下が大きな問題になる。ウェーハ表面に対し斜め上方から電子ビームを照射し穴溝内壁断面を観察する場合、ウェーハ表面に垂直方向即ち溝内壁断面の観察分解能が低下する。低下率は、およそ 30° では約 15%、最も多用される 45° 近辺では 30% にも達する。最近の半導体デバイスの微細化は極限に達しており、数ナノメータ以下の精度での寸法や形状の測定が必要となっている。要求される観察分解能は 3 nm 以下と、走査電子顕微鏡の技術的限界域に突入している。加えてこの程度の高分解能下では焦点深度が極めて浅くなり 1 μm の数 10% 以下の範囲しかピントが合わないため、斜め観察時のデバイス縦方向断面の適正観察範囲は、要求領域の半分にも満たない場合が頻発する。この問題は垂直観察することにより全観察領域で焦点の合った高品位な観察が可能にできる。

40

【0012】

問題(3) 観察断面がウェーハ上に形成した微小な溝穴壁面に存在するため、穴から出てくる二次電子の数密度がウェーハ表面と比較して減少する。従って二次電子検出効率が低下することで二次電子像の S/N の低下を招き、断面観察の精度低下を余儀なくされた。

【0013】

50

L S I パターンの微細化は止まることなく 2 ~ 3 年毎に 30 % 低減するペースで進んでおり、観察装置には益々高い分解能が要求されている。更には電子ビームを照射して励起される原子特性 X 線の面分布を X 線検出器で測定して元素分析 (E D X 分析) を行っても、試料中への電子ビーム侵入による X 線発生領域の拡大により、電子ビーム径が 0.1 μm 以下であっても、分析の面分解能は約 1 μm となってしまい、微細な構造を持つ L S I 素子断面の分析には不十分であった。

【 0 0 1 4 】

問題 (4) 断面垂直観察が不可欠とされる事例として、ウェーハプロセスにおけるエッティング加工、溝穴埋め込み、平坦化加工等の出来栄え評価が挙げられる。加工断面の寸法や形状を正確に測定するために、従来はウェーハから見たい断面を含むチップサイズの試料を割り出し、汎用の走査電子顕微鏡などで観察している。ところがデバイスの微細化進展やウェーハの大口径化に伴い、素子回路パターンの観察したい位置で正確に破断する作業が非常に難しいため失敗も出ている。一方、評価用ウェーハの供給能力不足や価格上昇のため評価試料作成の失敗が許されない状況にある。10

【 0 0 1 5 】

問題 (5) 特許文献 2 に開示された手法では観察・分析の精度は分解能など十分な水準を確保できるが、試料を従来装置内で製作し、これを装置外部に取りだし、別に用意した観察・分析装置に導入する必要があるため、微小試料の取り出しから加工・観察・分析までの所要時間が数時間にも及ぶ問題があった。加えて、試料を大気に暴露すると酸化や吸湿等で劣化するケースでは、その回避が困難であった。半導体デバイスの断面観察は、最近では半導体製造時の有益な検査手法として重視されつつあり、その場合の処理能力は現時点で毎時 2 ~ 3 ケ所以上の観察・分析が望まれており、今後さらなる高速処理が要望される動向にある。この要望に対して従来法の処理能力は極端に低いという問題が解決されていない。20

【 0 0 1 6 】

上述の問題点に鑑み、本願の目的は、対象試料の内部断面を垂直断面観察できて、高分解能、高精度、高スループット、大気暴露による劣化無し、失敗無しに観察・分析できる微小試料加工観察装置および微小試料加工観察方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 7 】

以上に述べたような目的は、以下のようにすることによって達成される。

【 0 0 1 8 】

(1) イオン源、イオンビームを集束するレンズ、イオンビーム走査偏向器、を備える集束イオンビーム光学系と、電子源、電子ビームを集束するレンズ、電子ビーム走査偏向器、を備える電子ビーム光学系と、荷電粒子を試料に照射して該試料からの二次粒子を検出する検出器と、該試料を併せ持つ試料台を備える微小試料加工観察装置において、集束イオンビームを用いて該試料から微小試料を分離する機能と、該微小試料を摘出するためのマニピュレータを具備し摘出された該微小試料を前記電子ビームまたは前記集束イオンビームで観察する機能を有することを特徴とする微小試料加工観察装置とする。これにより、対象試料の内部断面を二次電子の収率を高くして観察できるため高分解能観察ができる、しかも微小試料を装置の外部に取り出すことが無いため短時間で観察・分析できる微小試料加工観察装置を提供できる。40

【 0 0 1 9 】

(2) 該マニピュレータには該試料から摘出した該微小試料の位置と姿勢を調節する機能を有することを特徴とする請求項 1 記載の微小試料加工観察装置とする。

【 0 0 2 0 】

これにより、微小試料を走査電子顕微光学系もしくは集束イオンビーム光学系に対し位置を移動できるため、観察分解能がより高くなる位置に微小試料を配置することができる。また微小試料の内部断面観察方向を選択することができる。このため断面を垂直に観察すれば、二次電子の収率も高いことから、高分解能で観察できる微小試料加工観察装置を50

提供できる。

【0021】

(3) 微小試料の位置と姿勢を調節する機能が、荷電粒子ビームの該微小試料への照射角度可変機能を含むことを特徴とする請求項2記載の微小試料加工観察装置とする。

【0022】

これにより、対象試料の内部断面観察方向を自由に選択することができる。このため断面を垂直に観察すれば、エッティングや平坦化の形状寸法や埋め込み状況、膜厚等を高分解能で観察でき、高精度な計測・評価ができる微小試料加工観察装置を提供できる。

【0023】

(4) 試料から分離した該微小試料に接続するマニピュレータと、該マニピュレータを駆動させるマニピュレータ制御装置と、該試料台と独立に駆動して荷電粒子ビームの該微小試料への照射角度可変機能を有する第2の試料台を具備することを特徴とする請求項2記載の微小試料加工観察装置とする。これにより、対象試料の内部断面を高分解能かつ短時間で観察・分析できる微小試料加工観察装置を提供できる。また、第2の試料台に固定した微小試料をマニピュレータから切り離して、1つのマニピュレータで複数の微小試料を第2の試料台に固定することが可能となることで、断面観察と元素解析の時間を短縮することができる。またマニピュレータから切り離して微小試料を第2の試料台に固定することで、導入試料を保持する試料台の防振機構と微小試料を固定する第2の試料台の防振機構を共有することができる。

【0024】

(5) 導入試料から分離した該微小試料に接続するマニピュレータと、該マニピュレータを該試料台と独立に駆動させるマニピュレータ制御装置とを具備し、該微小試料を前記マニピュレータで支持した状態で、観察用荷電粒子ビームの該微小試料への照射角度可変機能を有することを特徴とする請求項2記載の微小試料加工観察装置とする。これにより、対象試料の内部断面を高分解能かつ短時間で観察・分析できる微小試料加工観察装置を提供できる。また、該微小試料を固定する第2の試料台を必要としないために、微小試料断面観察のための操作が簡単になり、操作時間を短くできる。

【0025】

(6) 荷電粒子ビーム照射時に該微小試料から発生するX線を検出するX線検出器を備えることを特徴とする請求項1から5記載の微小試料加工観察装置とする。これにより、対象試料の内部断面を高分解能かつ短時間で観察・分析できる微小試料加工観察装置を提供できる。また、荷電粒子線照射時の原子特性X線検出による元素分析において、微小試料を薄膜化することで、荷電粒子線の試料への侵入によるX線発生領域拡大を回避できるので高分解能元素分析が可能となる。

【0026】

(7) 集束イオンビーム光学系を具備し、且つ、試料に対する該光学系の傾斜角度を可変する機構を有することを特徴とする請求項1記載の該微小試料加工観察装置とする。これにより、対象試料の内部断面を高分解能かつ短時間で観察・分析できる微小試料加工観察装置を提供する。特に、該光学系の傾斜角度を可変できるため多様な試料作製方法および試料形状を実現できる。

【0027】

(8) 集束イオンビーム光学系を2基具備することを特徴とする請求項1記載の該微小試料加工観察装置とする。これにより、対象試料の内部断面を高分解能かつ短時間で観察・分析できる微小試料加工観察装置を提供する。特に、2基の集束イオンビーム光学系を用いるため、短時間の試料作製が可能になる。また、試料台を傾斜しない構造とすれば装置の小型化も可能になる。

【0028】

(9) 微小試料を全自動で切出す機能を有することを特徴とする微小試料加工観察装置とする。これにより、対象試料の内部断面を高分解能かつ短時間で観察・分析できる微小試料加工観察装置を提供する。特に装置操作の自動化により操作者の負担を軽減できるの

10

20

30

40

50

で、より短時間の観察・分析が可能となる。

【0029】

(10) 真空装置内で、集束イオンビームを用いて比較的大形な導入試料の表面から観察対象部位を微小試料として分離し、該微小試料を、マニピュレータを駆動して導入試料から摘出し、該微小試料を、真空雰囲気の試料室内に置いたまま、電子ビームまたは集束イオビームで該微小試料の特定部位を観察することを特徴とする微小試料加工観察方法とする。これにより、対象試料の内部断面を二次電子の収率を高くして観察できるため高分解能観察ができる、かつ微小試料を装置の外部に取り出すことが無いため短時間で観察・分析できる微小試料加工観察方法を提供できる。

【0030】

(11) 前記微小試料の形状は四面体または五面体であることを特徴とする微小試料加工観察方法とする。これにより、対象試料の内部断面を高分解能かつ短時間で観察・分析できる微小試料加工観察方法を提供する。特に、微小試料を分離するのに加工に無駄が少ないため短時間で微小試料作製ができる。

【0031】

(12) 前記導入試料はパターン無し或いはパターン付きの半導体ウェーハであることを特徴とする微小試料加工観察方法とする。これにより、対象試料の内部断面を高分解能かつ短時間で観察・分析できる微小試料加工観察方法を提供する。特に、半導体ウェーハに適用することにより、半導体製造プロセス検査に活用でき、デバイス不良の早期発見および短時間品質管理により製造歩留まりの向上に貢献する。

【発明の効果】

【0032】

本発明により、益々微細化が進むLSIデバイス等の内部観察を高分解能で高品質かつ短時間で実施できる微小試料加工観察装置および微小試料加工観察方法が実現できる。さらに薄膜成形加工した微小試料をEDX分析して高精度な元素分析することにより、総合的に断面の観察や分析の効率の良い微小試料加工観察装置を提供できる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0033】

本発明の実施形態である微小試料加工観察装置の構成及びその動作を説明する。

(実施例1)

第1の実施例の装置構成と動作を図1, 図2および図3を用いて説明する。図1, 図2は装置全体構成を、図3は集束イオビーム光学系、走査電子顕微鏡光学系および試料台周辺の構成を詳細に示す。なお、本実施の形態では、本発明の微小試料加工観察装置のうちウェーハ対応装置を示す。また、図3は、図1の概略俯瞰断面を表しているが、説明の都合上、機器の向きや詳細には幾分の相違があるが本質的差ではない。図1において、装置システムの中心部には集束イオンビーム光学系31と電子ビーム光学系41が真空試料室60の上部に適宜設置されている。真空試料室60の内部には試料となるウェーハ21を載置する試料台24が設置されている。2基の光学系31及び41は各々の中心軸がウェーハ21表面付近で一点に交わるように調整されている。試料台24にはウェーハ21を前後左右に高精度で移動する機構を内蔵しており、ウェーハ21上の指定箇所が集束イオンビーム光学系31の真下に来るよう制御される。試料台24は回転、上下、あるいは傾斜する機能を有する。真空試料室60には図示を省略した排気装置が接続され適切な圧力に制御されている。尚、光学系31, 41にも図示を省略した排気系を個別に備え適切な圧力を維持している。真空試料室60内にはウェーハ導入手段61, ウェーハ搬送手段62を有する。真空試料室60に隣接してウェーハ移載口ボット82, カセット導入手手段81が配置されている。真空試料室60の左隣には装置全体及び試料加工観察評価の一連の処理を制御管理する操作制御部100を配備している。

【0034】

次に、本実施形態のウェーハ導入操作を概説する。ウェーハカセット23がカセット導入手手段81のテーブルに置かれ、作業開始指令が操作制御卓100から発せられると、ウ

10

20

30

40

50

エーハ搬送口ボット 8 2 がカセット内の指定されたスロットから試料となるウェーハを取り出し、図 2 に示すオリエンテーション調整手段 8 3 でウェーハ 2 1 の向きを所定の位置に調整される。次いで、ウェーハ 2 1 はウェーハ搬送口ボット 8 2 によりウェーハ導入手段 6 1 上部のハッチ 6 2 が開かれた時点でウェーハを載置台 6 3 に乗せられる。ハッチ 6 2 を閉じると、ウェーハ周囲に狭い空間が形成されロードロック室となり、図示を省略した真空排気手段で排気した後、載置台 6 3 を下降する。次いで、ウェーハ搬送手段 6 1 が載置台 6 3 のウェーハ 2 1 を取り上げ、真空試料室 6 0 中央の試料台 2 4 に載置する。尚、試料台 2 4 にはウェーハ 2 1 の反り矯正や振動防止のためウェーハ 2 1 をチャックする手段を必要に応じて設ける。ウェーハ 2 1 上の観察分析位置 p 1 の座標値を操作制御部 100 から入力して、試料台 2 4 を動かしウェーハ 2 1 の観察分析位置 p 1 を集束イオンビーム光学系 3 1 の直下に合わせて停止する。10

【0035】

次に、図 3 を用いて試料加工観察評価の過程を説明する。本発明の微小試料加工観察装置では、集束イオンビーム光学系 3 1 は、イオン源 1、イオン源 1 から放出するイオンビームを集束するレンズ 2、イオンビーム走査偏向器 3 等で構成され、また、電子ビーム光学系 4 1 は、電子銃 7、前記電子銃 7 から放出する電子ビーム 8 を集束する電子レンズ 9、電子ビーム走査偏向器 10 で構成される。その他に、集束イオンビーム (FIB) 4 または電子ビーム 8 をウェーハ 2 1 に照射してウェーハからの二次粒子を検出するための二次粒子検出器 6、ウェーハ 2 1 を載せる可動の試料台 2 4、所望の試料位置を特定するため試料台の位置を制御する試料台制御装置 2 5、プローブ 7 2 の先端を微小試料の摘出位置に移動し、摘出し、集束イオンビーム (FIB) 4 または電子ビーム 8 を照射して微小試料の特定位置を観察評価する上で最適な位置や方向を制御するためのマニピュレータ制御装置 1 5 と電子ビーム 8 の照射時に励起される原子特性 X 線検出のための X 線検出器 1 6 と、堆積ガス供給装置 1 7 を備えている。20

【0036】

次に、本実施形態で、ウェーハ導入後の試料加工観察評価の過程を概説する。まず、試料台を下げてプローブ 7 2 の先端をウェーハ 2 1 から離した状態で、試料台 2 4 に対して水平方向 (XY 方向) にプローブ 7 2 を移動し、プローブ 7 2 の先端を FIB 4 の走査領域に設定する。マニピュレータ制御装置 1 5 は位置座標を保存した後、プローブ 7 2 を退避する。30

【0037】

集束イオンビーム光学系 3 1 から FIB 4 をウェーハ 2 1 に照射して、図 4 に示すように観察分析位置 p 2 を横切ってコの字を描くように溝を形成する。加工領域は、長さ約 5 μm、幅約 1 μm、深さ約 3 μm であり、片方側面でウェーハ 2 1 と接続している。その後、試料台 2 4 を傾斜させ、FIB 4 で三角柱の斜面を形成するように加工する。ただし、この状態では、微小試料 2 2 とウェーハ 2 1 とは支持部で接続されている。

【0038】

次に、試料台 2 4 傾斜を戻した後、微小試料 2 2 に、マニピュレータ 7 0 先端のプローブ 7 2 を微小試料 2 2 の端部に接触させた後に、FIB 4 の照射により堆積性ガスを接触点 7 5 に堆積させてプローブ 7 2 を微小試料 2 2 に接合し一体化する。更に、支持部 S 2 を FIB 4 で切断して微小試料 2 2 を切取る。微小試料 2 2 はプローブ 7 2 に支持された状態になり、観察・分析を目的とする表面及び内部断面が微小試料 2 2 の観察分析面 p 3 として取り出す準備が完了する。40

【0039】

次に、図 5 の (b) に示すように、マニピュレータ 7 0 を操作して微小試料 2 2 をウェーハ 2 1 表面から浮上する高さまで持ち上げる。尚、必要に応じてプローブ 7 2 に支持された状態で微小試料 2 2 に FIB 4 の照射角をマニピュレータの回転操作で適切に追加工して所望の観察断面 p 3 を形成する。この追加工の一例として FIB 4 が持つビームのテーパによって斜めに形成された観察断面 p 2 を真に垂直断面とするための仕上げ加工がある。これまで行われてきた断面加工 / 観察では FIB で掘った穴の側壁を観察面としなけ50

ればならなかったのに対し、本実施例装置によれば、持ち上げた後に追加工することが可能であり、観察対象面を適宜移動させつつ、対加工を行うことができる所以、所望の断面を適正に形成することが可能になる。

【0040】

次に、微小試料22を回転させて、電子ビーム光学系41の電子ビーム8が観察断面p3へ概略垂直に入射するようにマニピュレータ70を動かして微小試料22の姿勢を制御した後静止させる。これにより、二次粒子検出器6での二次電子の検出効率は、試料断面を観察する場合であっても、ウェーハ最表面を観察する場合と同程度になり、微小試料22の観察分析面p3の観察条件は非常に良好なものになり、従来例で問題であった分解能の低下を回避でき、しかも観察分析面p2, p3の角度を望ましい角度に調整できるので、より綿密な観察分析ができるようになる。10

【0041】

また、微小試料22を、装置の外部に取り出すことなく、真空雰囲気の試料室内に置いたまま、観察・分析するため、対象試料の内部断面を室内大気暴露による汚染や異物付着無しに、高分解能、高精度、最適角度での観察・分析が実現可能となる。しかも1時間当たり2~3ヶ所以上の高い処理能力での観察・分析が可能となる。

【0042】

更に、本実施例装置では観察断面p3を持つ微小試料22を、マニピュレータ70によって種々の傾斜や移動を行うことができるので、例えば観察断面p2に孔を設け、試料内部の3次元的な断層形成状態をも確認することが可能になる。20

【0043】

なお、図3の例ではFIB4を挟んで対向して、マニピュレータ70と電子ビーム光学系41が形成されているが、マニピュレータ70等の動作数を減らして加工/観察時間を極力減らすためには、マニピュレータ70と電子ビーム光学系41間の相対角度が、FIB4の照射方向に対し垂直な面内で、90°に近い角度となるように形成されることが望ましい。なぜならこのように形成することによって、マニピュレータ70は、ウェーハ21から微小試料22を持ち上げる動作、電子ビーム8に対し観察断面p2が垂直となるようにプローブ72を回転させる動作、及びその他の微調動作のみを行えば良いからである。

【0044】

また、上記説明ではウェーハ21からマニピュレータ70によって、微小試料22を持ち上げる例を用いているが、これに限られることはなくウェーハ21を降下させることにより、結果的に微小試料22を持ち上げるようにしても良い。この場合、試料台24にはウェーハ21をZ方向(FIB4の光軸方向)に移動させるZ軸移動機構を設けておく。このような構成によれば、ウェーハ21内の微小試料22となる個所に、電子ビーム光学系41の光軸を位置づけた状態で微小試料22の切出しと持ち上げを行うことが可能になる。この場合、FIB4による微小試料22の切出しから、観察断面p2の観察に至るまでの工程を電子顕微鏡で確認しつつ実行でき、かつその間の照射位置の変更をあまり行うことなく実現することが可能になる。30

【0045】

なお電子ビーム光学系41によって、ウェーハ21の表面を斜めから見た電子顕微鏡像が得られるが、この電子顕微鏡像に、加工予定断面やFIB4による加工到達位置を重畠しモデル表示すれば、FIB4による断面加工状態を容易に確認することができる。加工予定断面を電子顕微鏡像に重畠表示するには、設定される加工深さと、倍率から算出される電子顕微鏡像内の寸法に基づいて、断面となる部分を示すアニメーションを電子顕微鏡に重畠表示する。40

【0046】

また、FIBの電流や加速電圧、試料の材質等に基づいてリアルタイムでの加工深さを算出し、電子顕微鏡像に現在の加工深さ表すアニメーションを重畠表示するようにすれば、加工の進行状況を確認することができる。本実施例装置の電子ビーム光学系41はウェーハ21に対し俯瞰的位置に配置されており、電子顕微鏡像は俯瞰像となるため、上50

記アニメーションも併せて立体的に表示することにより、加工状況をより明確に確認することができる。

【0047】

更に、本実施例装置ではウェーハ21に対しFIBを走査することにより得られる二次電子に基づいて形成される走査イオン顕微鏡像(SIM像)上で、断面加工位置を設定する機能を備えているが、断面位置と加工深さの入力に基づいて、その他の設定や装置の動作(試料台の駆動やイオンビームによる加工位置の決定)を自動的に行うようなシーケンスを設けることもできる。この場合、まずSIM像上で観察断面p3の上辺となる部分を指定すると共に、加工深さ(観察断面p3の深さ方向の寸法)を設定する。この2つの設定に基づいて、微小試料22の傾斜部の形成角度と観察分析面p3を自動決定し、この設定によってその後の加工を自動的に行う。また観察分析面p3(矩形領域)をSIM像上で設定すると共に、加工深さを設定することによって、その後の加工を自動的に行うシーケンスを設けることも可能である。10

【0048】

なお、本実施例装置では、微小試料22を持ち上げた後、電子ビーム8に対し観察断面p3が適正に位置づけられるように、プローブ72には微動機構(図示せず)が設けられている。例えば図4の例では、単にプローブ72を回動させると、微小試料22はプローブ72との接着点を中心に回転するので、観察断面p3は微小試料22の長手方向を回転軸とする回転だけではなく、FIB4の照射方向を回転軸とする回転の成分が含まれることになる。この回転成分を除去するための微動機構をプローブ72に持たせておき、プローブ72の回転に併せて、或るいは回転動作とは異なるタイミングで微動機構を動作させることにより、電子ビーム8光軸に対する垂直面内に、観察断面p3を正確に位置づけることが可能となる。また、FIB4の光軸に対し垂直な面内において、電子ビーム光学系41に対し、プローブ72を90°より若干大きな角度となるように配置することによっても同等の効果を得ることができる。この場合、プローブ72を電子ビーム光学系41に対し、上記集束イオンビームの照射方向を回転軸とする回転成分+90°に配置することによって、その効果を達成する。20

【0049】

また、FIB4の照射方向を回転軸とする回転成分が含まれるのは、プローブ72の回転軸が観察分析面p2や観察断面p3に対して斜めになっていることに起因する。即ち回転軸が、観察分析面p2と観察断面p3に平行となるようにプローブ72を形成すれば、上記問題を解決することができる。そのため図3のような鏡体構造を持つ装置の場合、ウェーハ21表面に平行(FIB4の光軸に対して垂直)にプローブ72の回転軸を形成すると良い。そしてプローブ72の先端を湾曲させることで、ウェーハ21表面に平行な回転軸を持つプローブであっても、微小試料22を支持することが可能になる。更にプローブの回転と平行移動によって電子ビーム8の光軸下に試料を移動できるよう、電子ビーム光学系41に対し垂直となるようにプローブ72の回転軸を形成すると良い。30

【0050】

またマニピュレータ制御装置15からの駆動動力を、プローブ保持部71とは異なる高さであって且つウェーハ21と平行な回転軸を持つプローブに伝達するような機構を設ければ、微小試料22を大きく振りまわすことなく、電子ビーム8に対する観察断面p3の位置合わせを行うことができる。40

【0051】

なお、プローブ72で宙吊り状態となった微小試料22は振動の影響を受け易いので、高倍率や振動の多い設置環境下で観察・分析する場合には、微小試料22を、ウェーハ21上の支障ない位置へ着地させるか、試料台のウェーハ周辺の空き地に設けた微小試料ポートへ着地させることにより微小試料の振動を大幅に抑えることができ、良質の観察・分析が可能となる。図18に示す例はその一例であり、切出した微小試料22をウェーハ21の上に接地させることで、耐震性を向上させた例を示す図である。このような手法を探る場合、微小試料の接地位置と、電子ビーム8の光軸が一致するように予めシーケンス50

を組んでおくと良い。

【0052】

尚、図4に示す微小試料22の作成では、微小試料22を五面体となるように加工した。これにより、特に、微小試料を分離するのに加工に無駄が少なく、短時間の微小試料作製が実現する。但し、図示を省略するが最も加工面が少ないため加工時間を最小化できる四面体や、これに近い形状にしても、本発明の効果が得られることは言うまでもない。

【0053】

また、微小試料22の上で電子ビーム8を走査するEDX分析では、電子ビーム照射による侵入距離約1μmよりも電子ビーム照射方向に薄く微小試料22を製膜すると元素分析精度が向上する。

10

(実施例2)

本発明の第2の実施例である微小試料加工観察装置の構成およびその動作を、装置全体構成を示す図6、図7を用いて説明する。ここで、図7は図6の平面図を表しているが、説明の都合上、機器の向きや詳細には幾分の相違があるが本質的差ではない。本装置では、装置システムの中心部の真空試料室60の上部に、集束イオンビーム光学系31が垂直に設置され、更に第2の集束イオンビーム光学系32が約40°傾斜して設置されている。また、電子ビーム光学系41は約45°傾斜して設置されている。3基の光学系31、32及び41は各々の中心軸がウェーハ21表面付近で一点に交わるように調整されている。また、第1の実施例の装置と同様に、真空試料室60の内部には試料となるウェーハ21を載置する試料台24が設置されている。ただし、本実施例の試料台24は水平移動(X-Y)、回転、上下移動する機能は有するが、傾斜機能は必ずしも必要ではない。

20

【0054】

次に、本装置による試料作製動作を、図4を用いて説明する。まず、集束イオンビーム光学系31からFIB4をウェーハ21に照射して、図4に示すように観察分析位置p2を横切ってコの字を描くように溝を形成する。ここまででは、実施の形態1と同様である。次に、三角柱の斜面を形成するのは、もう一基の集束イオンビーム光学系32からのFIB4により加工する。ただし、この状態では、微小試料22とウェーハ21とは支持部で接続されている。この後、再び、集束イオンビーム光学系31からFIB4を用い、実施の形態1と同様に微小試料を切取る。すなわち、微小試料22に、マニピュレータ70のプローブ保持部71先端のプローブ72を微小試料22の端部に接触させた後に、FIB4の照射により堆積性ガスを接触点75に堆積させてプローブ72を微小試料22に接合し一体化し、支持部をFIB4で切断して微小試料22を切取る。この後、微小試料22の観察・分析等の工程は、実施の形態1と同様である。

30

【0055】

以上に述べたように、本実施の形態も、第1の実施例と同様に、高分解能で高速の観察分析ができる。本実施の形態では、特に、2基の集束イオンビーム光学系を用いることにより、試料台の傾斜を不要にできる。試料台の傾斜機構を省略できることにより試料台の位置決め精度を数倍~10倍以上向上できる。LSIデバイス製造現場では、近年各種ウェーハ検査評価装置に異物検査や欠陥検査を行い、ウェーハ上の異常個所の特性並びに座標データを収録し、その座標データをその後の更なる詳細検査用装置が受け取って指定座標位置を割り出して観察分析を行うことが慣例になってきた。位置決め精度が高いことにより試料ウェーハ21の観察個所の位置割り出し処理を自動化でき、しかもそのアルゴリズムを単純化できる。これにより所要時間が大幅に短縮できるので高いスループットが得られる。更には、傾斜機構を持たない試料台は小形軽量で高剛性を得やすく信頼性も増すので、より高品質な観察分析ができ、装置の小型化や低コスト化も可能になる。

40

【0056】

尚、集束イオンビーム光学系31にスイング機能を付たせて垂直位置と傾斜位置の2ポジションを適宜往来させることにより、試料台24を傾斜せずに、第2の実施例と同様の処理が可能になり、本発明の効果を得ることができる。

(実施例3)

50

本発明の第3の実施例である微小試料加工観察装置の構成およびその動作を、装置全体構成を示す図8、図9を用いて説明する。ここで、図9は図8の平面図を表しているが、説明の都合上、機器の向きや詳細には幾分の相違があるが本質的差ではない。本実施例の装置では、装置システムの中心部の真空試料室60の上部に、集束イオンビーム光学系33が約45°傾斜して設置されている。また、電子ビーム光学系42も約45°傾斜して設置されている。2基の光学系33、42は各々の中心軸がウェーハ21表面付近で一点に交わるように調整されている。また、第1の実施例の装置と同様に、真空試料室60の内部には試料台24が設置されている。また第2の実施例と同様に、試料台24は傾斜機能を持たない。

【0057】

10

次に、本実施形態で、ウェーハ導入後の試料加工観察評価の過程を、図19を交えて説明する。まず、試料台を下げるプローブ72の先端をウェーハ21から離した状態で、試料台24に対して水平方向(XY方向)にプローブ72を移動し、プローブ72の先端をFIB4の走査領域に設定する。マニピュレータ制御装置15は位置座標を保存した後、プローブ72を退避する。

【0058】

集束イオンビーム光学系33の光軸を含む垂直平面とウェーハ上面の交線が、形成したい試料の観察断面に重なる方向へ試料台の方角を合わせる。次にFIB4をウェーハ21に照射し走査して観察に必要な長さと深さの垂直断面C1を形成する。次に、形成済みの断面と交差する斜方切断面C2を形成する。この切断面C2の形成の際、斜面の傾斜角が得られる位置まで試料台を水平に回転して方向を定める。次いで、垂直切断線に平行して斜め溝をFIB4で形成する。更に、この溝に直角に一端C3を切断する。加工領域は、長さ約5μm、幅約1μm、深さ約3μmであり、長さ約5μmの片持ち梁状態でウェーハ21と接続している。次に、微小試料22に、マニピュレータ70先端のプローブ72を微小試料22の端部に接触させた後に、FIB4の照射により堆積性ガスを接触点75に堆積させてプローブ72を微小試料22に接合し一体化する。その後、FIB4で微小試料を支持する他端C4をFIB4で切斷して微小試料22を切取る。微小試料22はプローブ72に支持された状態になり、観察・分析を目的とする表面及び内部断面が微小試料22の観察分析面p3として取り出す準備が完了する。以降の処理は、集束イオンビーム光学系による加工・観察、或いは電子ビーム光学系による観察に最適な方角へ微小試料の向きを設定する際に試料台24の向きも適宜調整する必要が生じる以外は、第1の実施例とほぼ同様につき説明を省く。

20

【0059】

30

以上に述べたように、本実施の形態も、第1の実施例と同様に、高分解能で高速の観察分析ができる。本実施例は、1基の集束イオンビーム光学系を試料台に対して傾斜させることにより、試料台に傾斜機能を持たせることなくウェーハから微小試料を切出して摘出できる特長がある。光学系の周りには多くの機器を併せ搭載する必要があるのでスペース難となっており、それらの機器の合計質量も大きいため取付基板の剛性確保を含めた設計を難しいものにしている。またメンテナンス性も気掛かりとなる。本実施例は、試料台の傾斜機構が不要で、しかも集束イオンビーム光学系が1基で済むため、構造が単純で軽量小形にできコストも低減できる。

40

(実施例4)

本発明の第4の実施例である微小試料加工観察装置の概略構成を図10を用いて説明する。本実施例では、図3に示した微小試料加工観察装置の基本構成に、第2試料台18と、第2試料台の角度や高さ等を制御する第2試料台制御装置19を加えたものである。本実施例における集束イオンビーム光学系31からイオンビームを試料に照射してウェーハから微小試料を摘出するまでの過程は第1実施例と同様である。本実施例は、摘出した微小試料を、マニピュレータで支持した状態で観察・分析する代わりに、第2試料台に固定し観察・分析を行うものである。

【0060】

50

図11は、第2試料台18に微小試料22を固定した状態を示す。本実施例の第2試料台18の微小試料固定部分には表面を平坦にした部材を用いているが、平坦であるかどうかは問わない。微小試料の底面を第2試料台18に接触して、FIB4で堆積性ガスを第2試料台18と微小試料22の接触点に堆積させて、アシストデポ膜76で第2試料台18への微小試料22を固定する。なお、微小試料22作成時や、該堆積性ガスを堆積させた時などに、観察断面の表面への異物吸着や観察断面の表面が破壊される不都合を予防するために、FIB4の照射角を微小試料の観察断面に平行になるように第2試料台操作で適切に角度設定した後、FIB4を照射して所望の観察断面を作成することもできる。

【0061】

図12に示す第2試料台を設置することにより複数の微小試料をまとめて扱うことができる。ウェーハ21から微小試料22を摘出し、試料台脇の第2試料台18の適所へ固定し、次の微小試料22を摘出する操作を繰り返すことにより、ウェーハ21を試料台24に固定したまま複数個の断面観察と元素分析が可能であり、ウェーハ21全体に亘る断面構造の分布を効率的に調べることができる。

【0062】

図12において、第2試料台18に微小試料を数個並べて固定し、電子ビーム8に対して微小試料22が適切な角度になるように試料台24の停止方位と第2試料台18の角度を併せ調整した状態で試料観察・分析を行えば、複数個の微小試料を連続的あるいは比較しながら繰り返し観察分析できるので、ウェーハ21全体に亘って断面構造や元素分布を詳細かつ能率的に調べることができる。また、図13に示す第2試料台18は、回転可能な柱状の試料台の外周面に微小試料群を配列できるものであり、図12の場合より更に多数の微小試料を一度に扱うことができる。

【0063】

また、微小試料22を試料回収トレイ内の指定位置に脱着して回収し、微小試料の識別手段を付しておくことにより、事後の詳細評価が必要な場合に再び取りだし観察・分析を実施することも可能である。

【0064】

以上に述べたように、本実施例も、ウェーハ表面を観察する場合と同程度の二次電子検出効率が得られること、観察分析の角度を、垂直観察を含めた望ましい角度に調整できること、真空雰囲気の試料室内に置いたまま観察できること、等により、微小試料22の観察条件は非常に良好になるので、従来問題であった分解能の低下を回避でき、しかも最適、綿密な観察分析を迅速で高効率に行うことができる。結果として高品質な観察分析を高スループットで実行できる。

【図面の簡単な説明】

【0065】

【図1】本発明の一実施例の装置全体構成。

【図2】本発明の一実施例の装置全体構成で平面図。

【図3】本発明の一実施例の装置詳細構成。

【図4】本発明の微小試料加工方法の例。

【図5】本発明の微小試料観察方法の例。

【図6】本発明の第二実施例の装置全体構成。

【図7】本発明の第二実施例の装置全体構成で平面図。

【図8】本発明の第三実施例の装置全体構成。

【図9】本発明の第三実施例の装置全体構成で平面図。

【図10】本発明の第四実施例の装置詳細構成。

【図11】本発明の第四実施例の主要部詳細図。

【図12】本発明の第四実施例の主要部詳細図。

【図13】本発明の第四実施例の主要部詳細図。

【図14】従来の加工方法。

【図15】従来の観察方法。

10

20

30

40

50

【図16】従来の装置の概略構成図。

【図17】従来の微小試料作製方法。

【図18】本発明の微小試料観察方法の例。

【図19】本発明の微小試料観察方法の例。

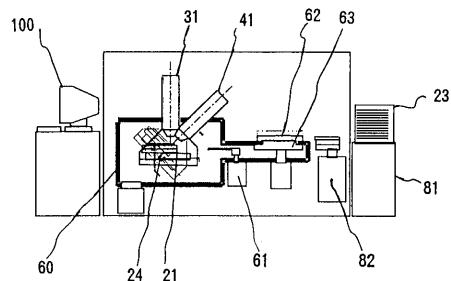
【符号の説明】

【0066】

1...イオン源、2...レンズ、3...イオンビーム走査偏向器、4...集束イオンビーム(FIB)、5...中央制御表示装置、6...二次電子検出器、7...電子銃、8...電子ビーム、9...電子レンズ、10...電子ビーム走査偏向器、14...マニピュレータ、15...マニピュレータ制御装置、16...X線検出器、17...堆積ガス供給装置、18...第2試料台、19...第2試料台制御装置、21...ウェーハ、22...微小試料、23...カセット、24...試料台、25...試料台制御装置、31...集束イオンビーム光学系、32...集束イオンビーム光学系、41...電子ビーム光学系、51...分析装置、60...真空試料室、61...ウェーハ搬送手段、62...ハッチ、63...載置台、70...マニピュレータ、71...プローブ保持部、72...プローブ、75...アシストデボ膜、81...カセット導入手段、82...ウェーハ搬送口ボット、83...オリエンテーション調整手段、90...ガス導入管、100...操作制御部、101...試料、105...堆積性ガス、107...角穴、108...底穴、109...きりかき溝、110...ガスノズル、p1...観察箇所、p2...観察分析面、p3...観察分析面、s1...内部断面、s2...支持部。

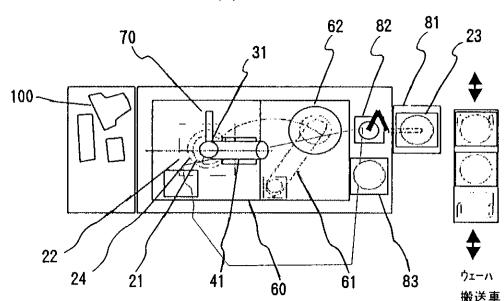
【図1】

図1



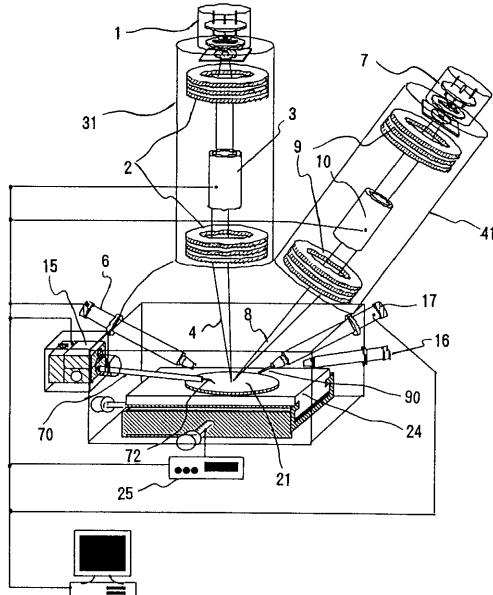
【図2】

図2

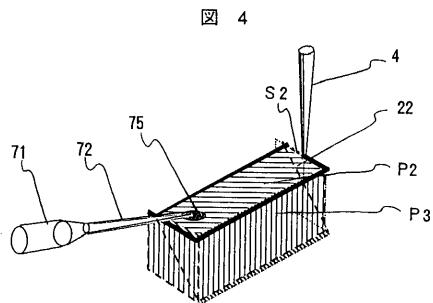


【図3】

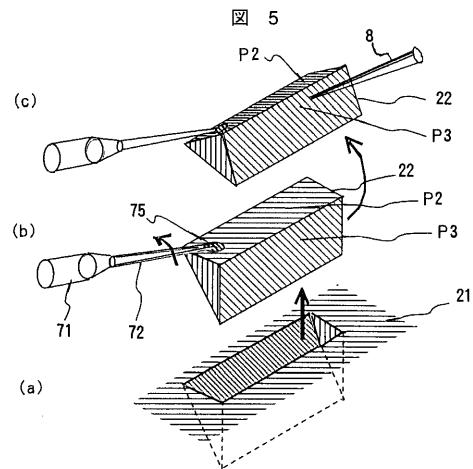
図3



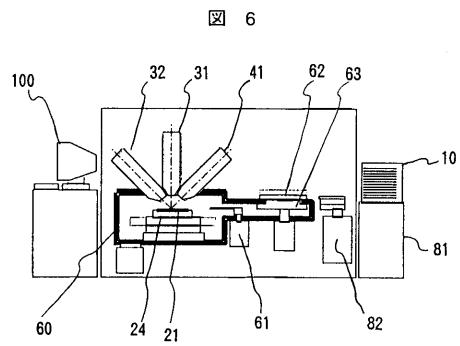
【図4】



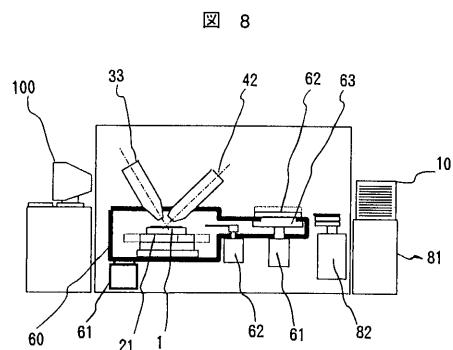
【図5】



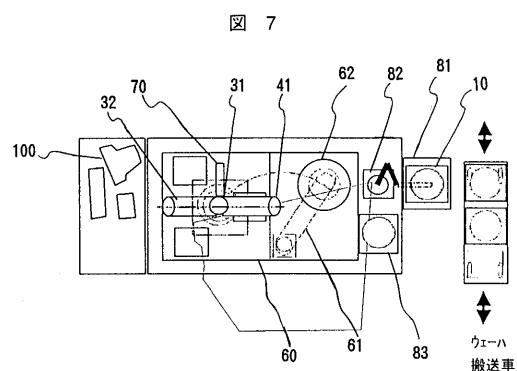
【図6】



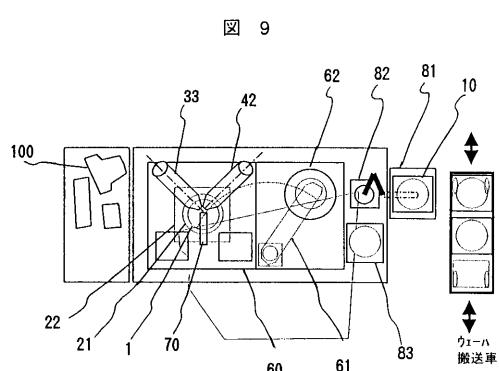
【図8】



【図7】

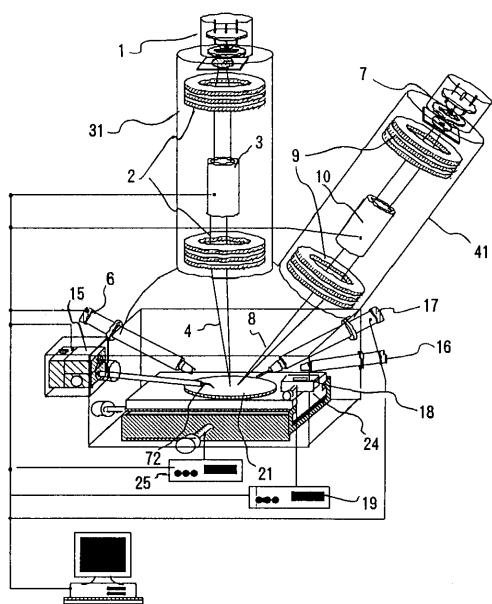


【図9】



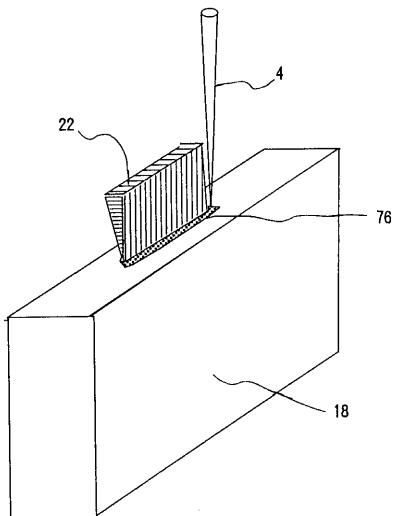
【図10】

図10



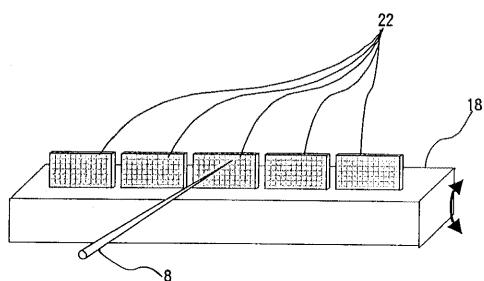
【図11】

図11



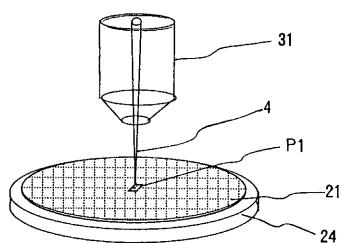
【図12】

図12



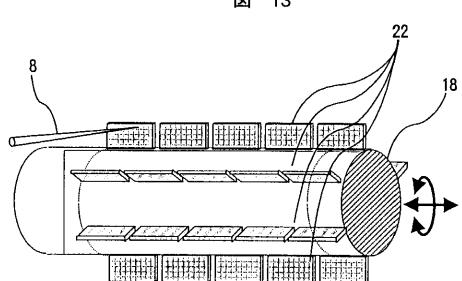
【図14】

図14



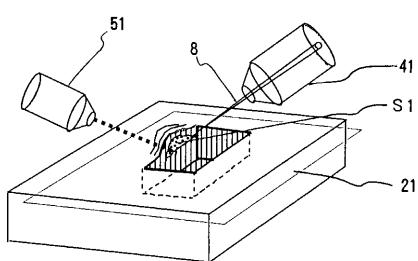
【図13】

図13

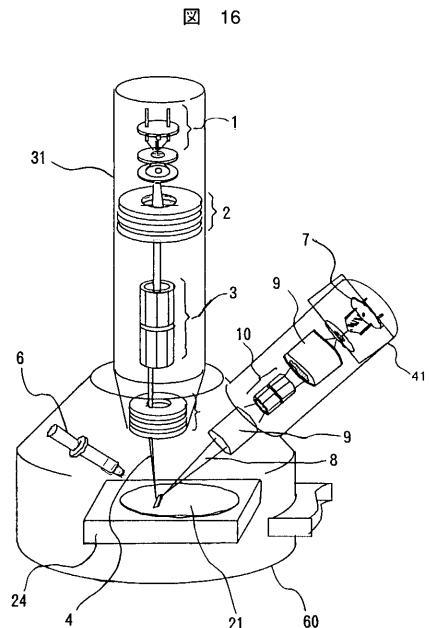


【図15】

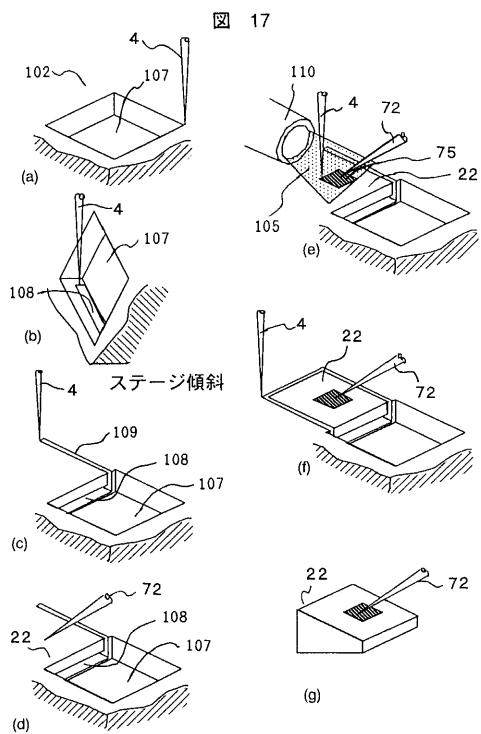
図15



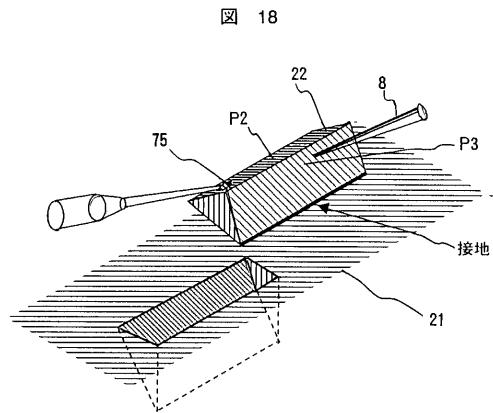
【図16】



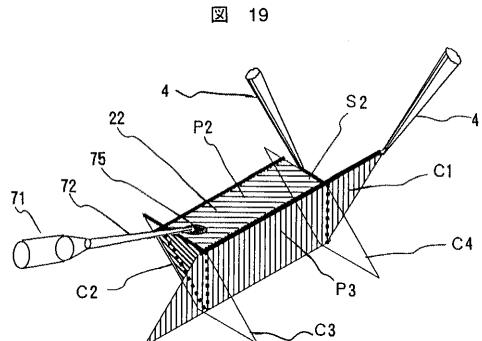
【図17】



【図18】



【図19】



フロントページの続き

(72)発明者 三井 康裕

東京都小平市上水本町五丁目20番1号
ループ内

株式会社 日立製作所 半導体グ

(72)発明者 小池 英巳

茨城県ひたちなか市大字市毛882番地
ループ内

株式会社 日立製作所 計測器グ

(72)発明者 富松 聰

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地
所内

株式会社 日立製作所 中央研究

(72)発明者 志知 広康

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地
所内

株式会社 日立製作所 中央研究

審査官 松岡 智也

(56)参考文献 特開平04-116843(JP,A)

特開2001-066231(JP,A)

特開2004-343131(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01J 37/28

H01J 37/20

H01J 37/30

H01J 37/317