(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3677968号
(P3677968)
(45)発行日　平成17年8月3日(2005.8.3)　(24)登録日　平成17年5月20日(2005.5.20)

(51)Int.Cl.[7]　F I
G01N 1/28　G01N 1/28 G
G01N 1/28 H
G01N 1/28 F

請求項の数 7　(全 17 頁)

(21)出願番号　特願平9-268363
(22)出願日　平成9年10月1日(1997.10.1)
(65)公開番号　特開平11-108810
(43)公開日　平成11年4月23日(1999.4.23)
審査請求日　平成14年10月8日(2002.10.8)

(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　100075096
弁理士　作田　康夫
(72)発明者　梅村　馨
東京都国分寺市東恋ケ窪一丁目２８０番地
株式会社日立製作所中央研究所内

審査官　本郷　徹

最終頁に続く

(54)【発明の名称】試料解析方法および装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

真空試料室内に配置された試料基板から所望の試料片を摘出する試料作製方法において、

前記所望の試料片を前記試料基板から該真空試料室内で分離する工程と，

該真空試料室内でプローブを当該試料片に固定する工程と，

該試料片を前記真空試料室内に設けられた試料ホルダに固定する工程と、

前記試料ホルダに固定された試料片から、前記プローブを前記真空試料室内で分離する工程とを含むことを特徴とする試料作製方法。

【請求項２】

請求項１に記載の試料作製方法において、

前記プローブから分離された試料片に対して、前記試料室内で仕上げ加工を施す工程を更に含むことを特徴とする試料作製方法。

【請求項３】

請求項２に記載の試料作製方法において、

前記仕上げ加工として、前記試料片のウォール加工、ないし集束イオンビーム照射による加工を行なうことを特徴とする試料作製方法。

【請求項４】

請求項３に記載の試料作製方法において、

前記プローブの分離された試料片が固定された試料ホルダを、試料作製が行なわれる試

料作製装置とは別の解析手段に導入する工程を含むことを特徴とする試料作製方法。
【請求項５】
請求項４に記載の試料作製方法において、
前記別の解析手段が、ＴＥＭ、ＳＥＭ、オージェ電子分光装置または二次イオン質量分析装置のいずれかであることを特徴とする試料作製方法。
【請求項６】
請求項５に記載の試料作製方法において、
前記プローブを当該試料片に固定する工程は,
前記試料基板から分離される前の試料片に対してプローブ先端部を接触させる工程と、
該プローブ先端部を含む領域にデポジション用ガスを流す工程と、
当該プローブ先端部を含む領域に集束イオンビームを走査する工程とを備えることにより、前記プローブと前記分離前の試料片とを固定することを特徴とする試料作製方法。
【請求項７】
請求項１に記載の試料作製方法において、
前記試料片を試料ホルダに固定する工程は、
前記プローブが固定された試料片を前記試料ホルダに接触させる工程と、
該試料片と試料ホルダの接触部にデポジションガスを流す工程と、
該接触部に集束イオンビームを照射する工程とを含むことを特徴とする試料作製方法。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明の属する技術分野】
本発明は、半導体ウエハを検査して微小異物や欠陥など所望箇所を検出し、その所望箇所を含む試料片を集束イオンビームと移送手段を用いて摘出して、上記試験片を観察や分析、計測装置に対応した形状に加工して観察や分析、計測装置に送る試料解析方法および試料解析装置に係わる。
【０００２】
【従来の技術】
半導体素子製造では良品をよどみなく生産し続けることが求められる。生産個数が大量であるため、ある工程での不良発生が製品歩留りの低下や生産ラインの停止につながり、採算に大きく影響する。このため半導体素子の製造現場では、特定のプロセス後やデバイス完成後には入念な検査が行なわれ不良品の撲滅と原因追及に注力している。実際には製造工程で、定期的または定量数ごとにウエハやデバイスを抜き取り、不良箇所の有無を検査している。ウエハの場合、検査箇所と検査項目を予め決めておき各ウエハに対して常にその検査箇所をモニタして製造プロセスの異常を検出する方法や、完成後のウエハ全面を隈無く検査して、回路パターンの欠陥や異物など異常箇所があればそのデバイスを廃棄したり、異常原因を追及して対策する方法が行なわれる。
【０００３】
検査方法の一例として、ウエハ全面もしくは一部の領域の外観について異物の付着や形成された回路パターンの欠陥などを検出する検査方法があり、光や電子線を用いたウエハ外観検査装置（以下、ウエハ検査装置と略記）やウエハ検査電子顕微鏡（以下、検査SEMと略記）や、回路の断線や短絡など電気的不良を検出するプローバ装置などがある。
【０００４】
さらに詳細な試料外観観察には高分解能の走査型電子顕微鏡（以下、SEMと略記）が用いるが、半導体の高集積化に伴い、対象物がSEMの分解能では観察できないほど極微細なものについても解析することが必要となっている。この場合、SEMに代って観察分解能が高い透過型電子顕微鏡（以下、TEMと略記）が有力な装置となっている。
【０００５】
ここでTEM用の試料作製方法について説明する。図２は従来のTEM試料の作製方法のうちの一方法を説明する図である。図２(a)はLSIを形成した半導体ウエハ（以下、略してウエハ３０という）で、上層部３１と基板部３２とからなる。このウエハ３０のうちの特定領域

についてTEM試料を作製するとする。まず、観察したい領域に目印を付け、観察領域を破壊しないようにウエハ３０にダイアモンドペンなどで傷付け劈開するか、ダイシングソーで例えば切断線３３に沿って分断する。図２(b)のような切り出した短冊状ペレット３４を２枚、作製するTEM試料の中央部が観察領域となるようにするため、観察領域同士を向かい合うように接着剤３５で貼り合わせて、貼り合わせ試料３６を作る（図２(c)）。次に、この貼り合わせ試料３６をダイヤモンドカッターでスライスし、スライス試料３７を切り出す（図２(d)）。このスライス試料３７の大きさは、3×3×0.5mm程度である。さらに、このスライス試料３７を研磨材を用いて研磨盤上で薄く研磨し、厚さ20μm程度の研磨試料３８を作製し、これをTEMステージに搭載する単孔型TEMホルダ３９に固定する（図２(e)）。次に、この研磨試料３８の両面からにイオンビーム４０照射（図２(f)）して、イオンシニングを行い（図２(g)）、中央部に穴が開いたらイオンビーム４０照射を止めてTEM試料４１とする（図２(h)）。こうして、100nm程度以下に薄くなった薄片部４２をTEM観察領域（図中円内）としていた。このような方法であるため、観察したい箇所がミクロンレベルで特定されている場合、位置出しは非常に難しい。

【０００６】

また、TEM試料作製に関する別の従来手法として集束イオンビーム（以下、FIBと略す）加工を利用する例がある。図３で説明する。まず、観察すべき領域の近傍を、図３(a)に示すようにウエハ３０をダイシングを行って（符号３３が切断線である。）短冊状ペレット３４を切り出す（図３(b)）。このペレットの大きさは、おおよそ3×0.05×0.5mm（ウエハの厚み）である。この短冊状ペレット３４をやや半円形した薄い金属片からなるTEM試料ホルダ３７に固定する（図３(c)）。この短冊状ペレット３4の中の観察領域を、厚さ0.1ミクロン程度の薄片部（以下、ウォール部という）４３を残すようにFIB２４を照射し（図３(d)）、薄壁部を形成する（以下、ウォール加工と言う。図３(e)）。これをTEM試料４１として、TEMホルダをTEMステージに搭載し、TEM装置に導入してウォール部４３を観察する。この方法によって、観察部をミクロンレベルで位置出しすることが可能になった。また、この手法に関しては、例えば、E.C.G.Kirkらが、論文集 Microscopy of Semiconducting Materials 1989, Institute of Physics Series No.100., p.501-506（公知例１）において説明している。

【０００７】

このように、TEMは高分解能観察が期待できるが、試料作製に多大の努力を要するという面を持ち合わせている。

【０００８】

【発明が解決しようとする課題】

上述のように、従来の試料解析方法や試料作製方法には以下のような問題点があった。

【０００９】

（１）座標の問題：ウエハ全面もしくは一部の検査によって発見した異物や欠陥などの不良箇所を解析する際、ウエハ検査装置や検査SEMなどの検査装置内で不良箇所の座標が明らかになっても、実際に分析装置や観察装置、計測装置（以下、略して分析装置と代表させる）に入るような寸法に分断して分析試料片に加工しなければならず、先の不良箇所の正確な位置がわからなくなり、所望の解析ができないという問題が生じる。

【００１０】

（２）試料作製の問題：ウエハ検査装置や検査SEMによるウエハ全面もしくは一部の検査の結果、ある位置に不良箇所を検出しても、ウエハから解析試料片を作製する時に、解析の目的とする微小異物が無くなったり変質したり、又は、別の損傷を引き起こし重畳して本来の目的とする不良箇所の原因究明ができなくなることがある。これは従来の試料作製方法が試料の切断や研磨、へき開など機械的や化学的な手法に依っていたためで、当初の不良箇所をそのまま状態で分析装置に導入して的確な解析結果を得る歩留りは高いものではなかった。また、このような的確な解析が長時間に及ぶために最終的な製品に不良品が続発して多大の損害をもたらす場合すらある。

【００１１】

（３）ウエハ破損の問題：製造途中のある工程での仕上がりを監視するするために、ウエハの特定部のみの継続的な検査においては、定期的に定量数毎に、たった数点の検査箇所に対してウエハを分断して、検査箇所以外はすべて廃棄している。最近ではウエハ径が200mmとなり、さらに300mm、またそれ以上に大口径化する傾向にあるため、付加価値が高いデバイスが数多く搭載されたウエハを数箇所の検査のために切断や劈開で分離して、廃棄処分することは非常に不経済であった。

【００１２】

ここで、上記問題点（１）から（３）のいずれにも関係する例としてTEM試料を例に説明する。TEMは上述のように高分解能を有しているため、微小部分の解析には有力なツールであるが、 不良領域の特定から解析結果が出るまでに非常に長い時間を要するため、観察したいときに即座に結果の見えるSEMのようには普及していない。解析結果までに長時間を要する原因の一つは、TEM観察以前の試料作製過程にある。TEM観察領域は厚さを100nm程度にまで薄片化しなければならないため、従来方法では研磨や機械加工など試料作製者の熟練を要する手作業が伴っている。しかも、観察領域がミクロンレベルで特定されると試料作製は極めて困難になる。また、事前に顕微鏡に依ってミクロンオーダで特定していた不良領域の位置を試料作製中に見失ったり、間違ってしまうことが多々ある。また、ウエハから所望の試料片を作製するには、ウエハ劈開や切断など機械的加工によっているため試料への新たな損傷が発生し、本来の不良領域との区別がつかなくなる場合がある。さらに、TEMの試料室は非常に小さく、試料片をミリオーダの大きさに細分化しなければならず、ウエハは必ず分断せざるを得ない。一旦、分析や観察を行った後に、さらに隣接した箇所を別の分析や観察の必要が出た場合には、先の試料作製の分断のために後の分析領域が破壊や損傷を受けていたり、正確な位置関係が分からなくなって継続した分析や観察情報が得られないという問題を発生する。

【００１３】

このような従来技術に対して、各種検査方法によって得られた不良箇所に対して、ウエハ形状を維持したまま、ウエハ上の所望の箇所のみを機械的や化学的な損傷を重畳することなく、各種分岐装置に導入できる試料片に加工して解析できる試料解析方法ならびに試料解析装置が望まれていた。

【００１４】

上述の諸課題に鑑み、本発明の第１の目的は、ウエハ全面または一部の検査で検出した異物や欠陥など所望箇所を、ウエハを切断分離せずに正確に位置出して、各種分析に適した試料片に加工して各種分析装置で上記所望領域を解析できる試料解析方法を提供することにある。また、第２の目的は、上記第１目的を実現する試料解析装置を提供することにある。

【００１５】

【課題を解決するための手段】

上記第１の目的を達成するためには、

目的とする試料片を観察、分析、計測のうちの少なくともいずれかによって調べる試料解析方法であって、試料基板を検査手段によって検出した異物や欠陥など所望箇所の座標情報を記憶する工程と、上記所望箇所の座標情報を基にして上記試料基板から上記所望箇所を含む試料片を集束イオンビームによる加工を利用して摘出して、上記摘出した上記試料片を分析装置または観察装置または計測装置のうちの少なくともいずれかに対応する試料ホルダに固定し、上記試料ホルダに固定した上記試料片を分析または観察または計測のうちの少なくともいずれかに適する形状に加工する工程と、上記試料片を固定した上記試料ホルダを分析装置または観察装置または計測装置のうちの少なくともいずれかに導入して上記所望箇所の解析を行なう工程とからなる試料解析方法を用いて、

特に、上記検査手段が光学式ウエハ検査装置、ウエハ検査用走査電子顕微鏡、レーザ走査顕微鏡、光学式顕微鏡のうちの少なくともいずれかを用いる。

【００１６】

また、上記試料片を集束イオンビームによる加工を利用して摘出する工程の前に、光学顕

微鏡による位置合わせ工程をともなってもよい。
【００１７】
さらに、上記試料解析方法において、特に、上記試料片を集束イオンビームによる加工を利用して摘出する工程の前に、上記集束イオンビームによって上記所望箇所近傍に上記所望箇所が確認できる目印を付す工程をともなうことで所望箇所を確実に加工できる。
【００１８】
また、上記試料解析方法において、上記試料ホルダに固定した上記試料片に対してさらに集束イオンビーム照射による薄壁加工を施して透過型電子顕微鏡観察用の試料に仕上げる工程を含むことで、透過型電子顕微鏡観察までに要する時間が大幅に単縮できる。
【００１９】
また、上記第２の目的は、
ウエハを検査して異物や欠陥など所望箇所の座標情報を記憶するウエハ検査部と、上記所望箇所の座標情報を基にして上記試料基板に対して集束イオンビームを利用して上記所望箇所を含む試料片を摘出して分析または観察または計測のうちの少なくともいずれかに適する試料ホルダに固定して加工する試料作製部とから構成され、上記ウエハ検査部と試料作製部とは上記ウエハを移動するための真空搬送路によって連結した構造とする。または、
ウエハを検査して異物や欠陥など所望箇所の座標情報を記憶するウエハ検査部と、上記所望箇所の座標情報を基にして上記試料基板に対して集束イオンビームを利用して上記所望箇所を含む試料片を摘出して分析装置または観察装置または計測装置のうちの少なくともいずれかに適する試料ホルダに固定して、分析装置または観察装置または計測装置のうちの少なくともいずれかに適する形状の試料片に加工する試料作製部と、上記試料片の解析を行なう分析装置または観察装置または計測装置のうちの少なくともいずれかの解析部とを少なくとも有し、上記ウエハ検査部と試料作製部、解析部とは上記ウエハを移動するための真空搬送路によって連結した構造とする。または、
ウエハを検査して異物や欠陥など所望箇所の座標情報を記憶するウエハ検査部と、上記所望箇所の座標情報を基にして上記試料基板に対して集束イオンビームを利用して上記所望箇所を含む試料片を摘出して分析装置または観察装置または計測装置のうちの少なくともいずれかに適する試料ホルダに固定して、分析装置または観察装置または計測装置のうちの少なくともいずれかに適する形状の試料片に加工する試料作製部と、上記試料片の解析を行なう分析装置または観察装置または計測装置のうちの少なくともいずれかの解析部とが機械的に独立して構成され、少なくとも上記ウエハ検査部での上記所望箇所の座標情報を上記試料作製部と上記解析部に伝達する情報伝達手段によって連結した構造とする試料解析装置でもよい。また、この構造においては、さらに、ウエハ検査部と試料作製部と解析部の間は、ウエハおよび試料ホルダもしくは試料ホルダを搭載した治具を真空容器によって搬送する構造としてもよい。
【００２０】
上記試料解析装置もしくは試料解析システムにおいて、特に、検査装置が光学式ウエハ検査装置、ウエハ検査用走査電子顕微鏡、レーザ走査顕微鏡、光学式顕微鏡のうちのいずれかにすること、もしくは、解析部における観察装置が特に、インレンズ型走査型電子顕微鏡、透過型電子顕微鏡のうちのいずれかとすることで、効率よく検査することができる。
【００２１】
このような試料作製装置を用いることで上記目的は達成される。
【００２２】
【発明の実施の形態】
本発明による試料作製装置の実施形態は、ウエハを検査して異物や欠陥など所望箇所の座標情報を記憶するウエハ検査部と、上記所望箇所の座標情報を基にして試料基板に対して集束イオンビームを利用して上記所望箇所を含む試料片を摘出して、分析装置または観察装置または計測装置のうちの少なくともいずれかに適する試料ホルダに固定して、これら装置に対応する形状に加工する試料作製部とから構成され、上記ウエハ検査部と試料作製

部とは上記ウエハを移動するための真空搬送路によって連結した構成とする。
【００２３】
以下に、その具体的実施形態例を示す。
【００２４】
＜実施形態例１＞
図１は、本発明による試料解析方法を実現するための試料解析装置の一実施例を示す概略構成図である。
【００２５】
試料解析装置１００は、ウエハ検査部１０１と試料作製部１０２が機械的に連結されている。ウエハ検査部１０１はウエハ外観検査装置や検査SEM、プローバ装置に該当する。ウエハ検査によって不良箇所を検出して解析の必要がある場合、ウエハ検査部１０１と試料作製部１０２の間に設置したバルブ１０６を開いて、ウエハ１２を試料作製部１０２へ搬送できる。試料作製部１０２で加工作製された試料片は別にあるTEM, SEMなど観察装置や分析装置や計測装置などに搬入して不良箇所を解析する。逆に、ウエハ検査の結果、異常がない場合にはウエハ１２は試料作製部１０２に送る必要はなく、次の製造工程の装置に搬送する。
【００２６】
ウエハ検査部１０１の例として、ここでは検査SEMの場合を示しており、電子ビーム照射光学系１０３、二次電子検出器１０４、試料室１０７内でウエハ１２を載置して移動可能な試料ステージ１０５などから構成している。二次電子検出器１０４に流入する二次電子信号と電子ビーム照射光学系１０３のビーム偏向を同期させてウエハ表面形状を表示手段１３’に表示でき、ウエハ検査部１０１全体の制御を計算処理装置１７’によって行なう。ウエハ検査にはウエハ上に形成された複数個のデバイスを比較する方法や、デバイスの中のセル同士を比較する方法などがあるが、ここでは限定しない。このようなウエハ検査部１００で検出された所望箇所の座標情報を一旦、計算処理装置１７’に記憶し、情報伝達手段１１０によって試料作製部１０２の計算処理部１７に伝達できる。また検査中のウエハ外観や座標情報は表示手段１３’に表示できる。
【００２７】
試料作製部１０２は、試料基板１２や摘出試料の加工や観察をするFIB照射光学系２、この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３、FIB照射領域にデポジション膜を形成するための元材料ガスを供給するデポガス源４、半導体ウエハや半導体チップなどの試料基板１２を載置する試料ステージ５、摘出試料を試料ホルダに移し変える移送手段８、試料基板１２を観察するための光学顕微鏡９、この光学顕微鏡２６による像や二次粒子検出器３による像を映す表示手段１３、試料作製部１０２全体を制御する計算処理装置１７、試料ステージ５を設置する試料室１８などを少なくとも備えた構成である。さらに詳細を図４を用いて説明する。
【００２８】
図４は、図１で示した構成部品に加えて、試料基板１２の一部を摘出した微小な摘出試料を固定する試料ホルダ６、試料ホルダを保持する保持手段７（以下、ホルダカセットともいう）、試料ステージ５の位置を制御するためのステージ制御装置１０、移送手段８を試料ステージ５と独立に駆動するための移送手段制御装置１１、試料ホルダ６や試料基板１２や移送手段８などをイオンビーム照射によって発生する２次電子または２次イオンによって映像化する画像表示手段１３、FIB照射光学系２のFIB制御装置１４なども構成され、この他、デポガス源制御装置１５、二次粒子検出制御装置１６、画像表示手段１３、移送手段制御装置１１などは計算処理装置１７により制御される。
【００２９】
FIB照射光学系２は、液体金属イオン源２０から放出したイオンをビーム制限アパチャ２１、集束レンズ２２、対物レンズ２３を通すことで10nm径程度から１ミクロン径程度のFIB２４を形成する。FIB２４を偏向器２５を用いて試料基板１２上を走査することで、走査形状に試料基板１２にミクロンからサブミクロンレベルの加工ができる。ここでの加工と

は、スパッタリングによる凹部や、FIBアシストデポジションによる凸部、もしくは、これらを組み合わせて試料基板の形状を換える操作を指す。FIB照射によって形成するデポジション膜は、移送手段８の先端にある接触部と試料基板１２を接続したり、摘出試料を試料ホルダに固定するために使用する。また、FIB照射時に発生する二次電子や二次イオンを二次粒子検出器３で検出して画像化することで加工領域などを観察することができる。

【００３０】

試料ステージ５は試料室１８に設置され、FIB照射光学系２なども真空容器内に配置されている。試料ステージ５は、試料ホルダ６を搭載した保持手段（試料ホルダカセット）７が着脱でき、ステージ制御装置１０によって、３次元（X,Y,Z）方向の移動及び傾斜、回転が制御される。試料基板１２は必要に応じて試料基板搬送路１９を用いて出入りする。

【００３１】

試料ホルダ６は図５に示すような凸型断面をした短冊状シリコン片２７である。この短冊状シリコン片２７は、シリコンウエハからへき開やダイシングソーを利用して形成した。本実施例で用いた試料ホルダの大きさは長さ2.5mm、上部幅50ミクロン、下部幅200ミクロン、高さ0.5mm（シリコンウエハ厚）で、摘出試料の固定面をシリコンウエハ面または劈開面とすることで、摘出試料７０を固定面に固着してTEM観察しても固定面の凹凸が電子線照射を阻害することはない。また、試料ホルダ形状はここに示した寸法に限ることはないが、固定面をウエハ面もしくはへき開面にすることと幅をできる限り薄くすることが、TEM観察しやすくするために必要である。図５は摘出試料７０を一個の試料ホルダ６に３個搭載した例である。一方、従来のTEM用の試料ホルダは図６（a）の単孔型や（b）のメッシュ型であり、単孔型は中央に直径１mm程度の単孔７５が設けられた直径３mm程度の薄厚金属円板７６であるが、本発明による試料作製方法で得られる摘出試料７０のように１０～２０ミクロンと小さいと、摘出試料７０を単孔７５の側壁に正確に取付けることが非常に難しい。また、メッシュ型では薄肉金属円板７６にはメッシュ７７が貼られていて試料の大きさに合わせた間隔のメッシュ７７を用いれば取付け位置はある程度任意に選ぶことができるが、観察したい領域が電子線経路がメッシュ７７の陰になりTEM観察できなくなる危険性が非常に高かった。

【００３２】

ホルダカセット（保持手段）７は試料ホルダ６を支える治具であり、試料ステージ５に搭載する。試料ステージ５は、ウエハも載置できる汎用の大型ステージや、デバイスチップが搭載できる程度の小型ステージを指す。１個のホルダカセット７に搭載する試料ホルダ６の数は１個でも複数個でも良い。また、試料ステージ５に設置できるホルダカセット７の数は１個でも複数個でも良い。

【００３３】

光学顕微鏡９には従来の光学式顕微鏡より高分解能が期待できるレーザ走査顕微鏡を用いた。レーザ走査顕微鏡は発振器２８を出たレーザ光を対物レンズによって集束して試料に照射して、微小レーザスポットで励起された焦点からの蛍光は、ダイクロイックミラーを通過して、試料の焦点と共焦点の位置に設置したアパチャを通ってCCD２９に届いて試料の焦点からの蛍光のみによって像が形成される。視野を一様に励起する方法に比較して迷光は極めて少なく、焦点以外のからの蛍光が仮に発生しても、上記アパチャに妨げられてCCD２９には到達せずクリヤな像が得られる。試料基板１２とダイクロイックミラーの間に２枚のミラーを設置して、X,Y方向に走査することで、試料表面像を得ることができ表示手段１３に表示する。この光学顕微鏡９は、試料基板１２に予め設置していたマーク（図示せず）座標と、検査部１０１で得られた座標情報と、関係から

なお、集束イオンビーム装置にレーザー顕微鏡を備えた装置については、特開平９-１３４６９９号公報『集束イオンビーム装置』（公知例３）に示されているが、試料基板１２の特定領域部分を摘出する移送手段８の存在については一切記載されていない。

【００３４】

移送手段８は試料基板が大口径のウエハであっても、その任意の箇所から素早くサンプリ

ングすることを実現するために、移動速度が早くストロークが大きい粗動部６０と、粗動部の移動分解能と同等のストロークを有して高い移動分解能の微動部６１とで構成し、移送手段全体を試料ステージと独立して設置して、サンプリング位置の大きな移動は試料ステージ移動に分担させた。粗動部のXYZ方向の駆動はモータやギヤ、圧電素子などで構成して、数mm程度のストロークで、数ミクロンの移動分解能を有している。微動部はできるだけコンパクトであることや、精密移動することが要求されるためバイモルフ圧電素子を用いてサブミクロンの移動分解能が得ている。図７は移送手段８の粗動部６０と微動部６１の構成例である。粗動部６０は狭窄部６２を支点として支柱６３が３個のエンコーダ６４X、６４Z、６４Y（図示せず）によってXYZ軸方向に移動できる。粗動部６０の駆動系は試料室壁６６の横ポートを介して大気側にあり、真空はベローズ６５によって遮断されている。バイモルフ圧電素子６７の先端には直径５０ミクロン程度の細く先鋭化したタングステン製のプローブ６８を連結し、粗動部６０とは延長棒６９によって連結した。バイモルフ圧電素子６７に電圧を与えることで、プローブ６８先端は微動する。このように移送手段８には、構成、サイズ、設置位置を充分に考慮しなければず、本発明による試料作製装置ではこれらすべてを解決している。

【００３５】

この移送手段８に類似した従来技術として特開平５-５２７２１号公報『試料の分離方法及びこの分離方法で得た分離試料の分析方法』（公知例２）がある。この従来技術によれば、分離試料を搬送する搬送手段はバイモルフ圧電素子３個をXYZ軸に対応して構成しているが、その搬送手段の設置位置は不明で、唯一上記公報の図３からステージ上に設置されていると読み取れる。このように、搬送手段が試料ステージに設置されていると、対象試料が例えば直径300mmのウエハの中心部にある場合では、搬送手段先端の移動ストロークが、搬送手段位置から試料の所望箇所までの距離に比べて遥かに小さいため、試料ステージに設置された搬送手段では届かないという致命的問題点を有することになる。さらに、この３軸がバイモルフ圧電素子の構成では、バイモルフ圧電素子は一端を支点にして他端がたわむ動きをするため、他端は印加電圧に従って円弧を描く。つまり、XY平面内の移動では１個のバイモルフ圧電素子の動作のみでは搬送手段先端のプローブが１軸方向に直線的に動作しない。従って、３個のバイモルフ圧電素子で微動部を構成してプローブ先端を所望の位置に移動させるためには３個のバイモルフ圧電素子を非常に複雑に制御しなければならないという特性を有している。

【００３６】

＜実施形態例２＞

上記実施形態例１では、ウエハ検査部１０１と試料作製部１０２を機械的に結合させ、試料基板１２であるウエハを両装置間で搬走させる例を説明した。本実施形態例２は図８のようにウエハ検査部１０１と試料作製部１０２が機械的に独立していて、不良箇所の座標情報が両者の計算処理装置１７、１７’を往来する例である。試料基板であるウエハ１２は小型で真空状態にできる搬送用容器１０７に封入して運搬する。ウエハ検査部１０１での座標情報などは計算処理装置１７’から情報伝達手段１１０を通じて試料作製部１０２の計算処理装置１７に伝達できる。このような構成により、ウエハ検査部１０１で検出したウエハ１２の不良箇所は試料作製部１０２において、各種解析装置で解析し易い形状に加工作製する。

【００３７】

＜実施形態例３＞

次に、本発明による試料解析方法の一実施形態を説明する。ここでは、試料の例としてTEM観察すべき試料片の作製方法を取り上げ、ウエハ観察から試料片加工、TEM観察までの試料解析方法の具体的説明を行なう。また、手順を明確にするために以下にいくつかの工程に分割して、図を用いて説明する。

【００３８】

（１）外観検査工程：

まず、検査すべきウエハの全面もしくはその一部について異常の有無を検査する。検査内

容は、光（レーザ）によるウエハ検査装置や電子ビームによる検査SEMなどの外観検査や、プローブ装置による電気回路検査などである。この検査によって異物や欠陥、配線異常など不良箇所の位置を知ることができる。この時、ウエハに予め設置した目印（ウエハマーク）を基準にして上記不良箇所の該当デバイス座標と、その該当デバイスに予め設置したマークを基準にした座標情報として計算処理装置に記憶する。

【００３９】

（２）試料作製工程

(a)マーキング工程：

上記ウエハを試料作製部に導入して、まず、先の該当デバイスの目印（デバイスマーク）を探し出す。ここで、デバイスマークは試料作製部に設置したレーザ顕微鏡で探す。さらに詳しい探索によって上記不良箇所を探し出すが、このとき、FIB照射による二次電子像によって探索すると、試料表面はFIBによってスパッタされるため表面損傷を受け、最悪の場合、所望の解析すべき不良物が無くなってしまうことが生じる。従って、ウエハ検査時のウエハマークとデバイスマークと不良箇所の座標および、試料作製部内でのウエハマークとデバイスマークの座標をもとに、試料作製装置内での不良箇所の座標を計算により導出した後、不良箇所が確認できるように複数ヵ所にFIBによってマークをつける。

【００４０】

本例では図９aのように、観察領域を挟んで１０ミクロン間隔で＋マーク８０を２個施した。上記２個のマークを結ぶ直線は試料ステージの傾斜軸と平行になるように事前に、試料ステージを回転調整しておく。

【００４１】

(b)大矩形穴加工工程：

上記２個のマーク８０を結ぶ直線上で、２個のマークの両側にFIB８１によって２個の矩形穴８２を設けた。開口寸法は例えば１０×７ミクロン、深さ１５ミクロン程度で、両矩形穴の間隔を３０ミクロンとした。いずれも、短時間に完了させるために直径０.１５ミクロン程度で電流約１０nAの大電流FIBで加工した。加工時間はおよそ５分であった。

【００４２】

(c)垂直溝加工工程：

次に、図９bのように上記マーク８０を結ぶ直線より約２ミクロン 隔てて、かつ、一方の矩形穴８２と交わるように、他方の矩形穴には交わらないように幅約２ミクロン 、長さ約３０ミクロン、深さ約１０ミクロンの細長垂直溝８３を形成する。ビームの走査方向は、FIBが試料を照射した時に発生するスパッタ粒子が形成した垂直溝や大矩形穴を埋めることがないようにする。一方の矩形穴８２と交わらない小さな領域は、後に摘出すべき試料を支える支持部８４になる。

【００４３】

(d)傾斜溝加工工程：

上記(b)(c)工程の後、試料面を小さく傾斜（本実施例では２０°）させる。ここで、上記２個のマーク８０を結ぶ直線は試料ステージの傾斜軸に平行に設定している。そこで、図９cのように上記マーク８０を結ぶ直線より約２ミクロン 隔てて、かつ、上記細長垂直溝８３とは反対側に、上記両矩形穴８２を結ぶように、幅約２ミクロン 、長さ約３２ミクロン 、深さ約１５ミクロンの溝を形成する。FIB照射によるスパッタ粒子が形成した矩形穴８２を埋めることがないようにする。試料基板面に対して斜めから入射したFIB８１によって細長傾斜溝８５が形成され、先に形成した細長垂直溝８３と交わる。(b)から(d)の工程によって、支持部８４を残してマーク８０を含み、頂角が７０°の直角三角形断面のクサビ型摘出試料が片持ち梁の状態で保持されている状態になる。

【００４４】

(e)プローブ固定用デポ工程：

次に、図９dのように試料ステージを水平に戻し、摘出すべき試料８６の支持部８４とは反対の端部に移送手段先端のプローブ８７を接触させる。接触は試料とプローブとの導通や両者間の容量変化によって感知することができる。また、不注意なプローブ８７の押し

付けによって、摘出すべき試料８６やプローブ８７の破損を避けるために、プローブが試料に接触した時点で＋Z方向駆動を停止させる機能を有している。次に、摘出すべき試料８６にプローブ８８を固定するために、プローブ先端を含む約2ミクロン平方の領域に、デポジション用ガスを流出させつつFIBを走査させる。このようにしてFIB照射領域にデポ膜８８が形成され、プローブ８７と摘出すべき試料８６とは接続される。

【００４５】

(f)摘出試料摘出工程：

摘出試料を試料基板から摘出するために、支持部８４にFIB照射してスパッタ加工することで、支持状態から開放される。支持部８４は試料面上から見て２ミクロン平方、深さ約１０ミクロンであるため２～３分のFIB走査で除去できる。（図９e，f）

(g)摘出試料搬送（試料ステージ移動）工程：

プローブ８７の先端に接続されて摘出した摘出試料８９は試料ホルダに移動させるが、実際には試料ステージを移動させ、FIB走査領域内に試料ホルダ９０を移動させる。このとき、不意の事故を避けるために、プローブを＋Z方向に退避させておくとよい。ここで、試料ホルダ９０の設置状態は後述するように種々の形態があるが、本例では、サイドエントリ型のTEMステージ上に設置していることを想定している。（図９g）

(h)摘出試料固定工程：

FIB走査領域内に試料ホルダ９０が入ってくると試料ステージ移動を停止し、プローブをーZ方向に移動させ、試料ホルダ９０に接近させる。摘出試料８９が試料ホルダ９０に接触した時、デポガスを導入しつつ摘出試料８９と試料ホルダ９０と接触部にFIBを照射する。この操作によって摘出試料は試料ホルダに接続できる。本実施例では摘出試料８９の長手方向の端面にデポ膜９２を形成した。FIB照射領域は３ミクロン平方程度で、デポ膜９２の一部は試料ホルダ９０に、一部は摘出試料側面に付着し、両者が接続される。（図９h ）

(i)プローブ切断工程：

次に、デポ用のガスを導入を停止した後、プローブ８７と摘出試料８９を接続しているデポ膜にFIB８１を照射してスパッタ除去することで、プローブ８７を摘出試料８９から分離でき、摘出試料８９は試料ホルダ９０に自立する。（図９i）

(j)試料片加工工程（ウオール加工）：

最後に、FIB照射して、最終的に観察領域を厚さが１００nm以下程度のウォール９３になるように薄く仕上げ加工を施してTEM試料とする。このとき、摘出試料の長手方向の側面の一方が垂直面であるため、ウォール加工のためにFIB照射領域を決定する際、この垂直面を基準にすることで試料基板８９表面にほぼ垂直なウォール９３を形成することができる。また、FIB照射に先立ち、ウォール面をより平面的に加工するために、ウォール形成領域を含む上面にFIBデポ膜を形成しておくとよい。この方法は既によく知られている。上述の加工の結果、横幅約１５ミクロン、深さ約１０ミクロンのウォールが形成でき、TEM観察領域ができあがる。以上、マーキングからウォール加工完成まで、約１時間３０分で、従来のTEM試料作製方法に比べて数分の１に時間短縮できた。（図j）

（３）解析工程（TEM観察）：

ウォール加工後、サイドエントリ型TEMステージを引き抜き、TEMの試料室に導入する。このとき、電子線経路と、ウォール面が垂直に交わるようにTEMステージを回転させて挿入する。その後のTEM観察技術についてはよく知られているので、ここでは省略する。

【００４６】

なお、上記試料解析方法のうち試料作製工程に類似した従来技術として公知例２がある。本試料作製工程が従来方法と全く異なることを示すために従来方法を図１０で説明する。まず、試料５０の表面に対しFIB２４が直角に照射するように試料５０の姿勢を保ち、試料上でFIB２４を矩形に走査させ、試料表面に所要の深さの角穴５１を形成する（図１０(a)）。次に、試料表面に対するFIBの軸が約70°傾斜するように試料を傾斜させ、底穴５２を形成する。試料の傾斜角の変更は、試料ステージ（図示せず）によって行われる（図１０(b)）。試料の姿勢を変更し、試料の表面がFIBに対して再び垂直になるように試料を

設置し、切り欠き溝５３を形成する（図１０(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５４の先端を、試料５０を分離する部分に接触させる（図１０(d)）。ガスノズル５５から堆積性ガス５６を供給し、 FIBをプローブ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５７と略す）を形成する。接触状態にある試料の分離部分とプローブ４４の先端はデポ膜４６で接続される（図１０(e)）。 FIB２４で残りの部分を切り欠き加工し（図１０(f)）、試料５０から分離試料５８を切り出す。切り出された分離試料５８は、接続されたプローブ５４で支持された状態になる（図１０(g)）。この分離試料５８を、上記第２の従来手法と同様にFIB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。

【００４７】

試料基板から微小試料を摘出するためには、微小試料を基板から分離することが必須で、摘出試料の底面となる面と基板との分離工程（以下、底浚いと呼ぶ）が伴う。公知例２に示されたFIBによる底浚い法では、基板表面に対し斜方向からFIBを入射させて加工するため、摘出した試料片の底面には、底浚い時のイオンビーム入射角と加工アスペクト比からなる傾斜が付く。また、図１０bに示した斜めからのFIB照射を実現するための角穴５１が非常に大きくなければならない。これは角穴５１の形成時に多大の時間を要することを示している。また、この公知例では斜めFIB照射するために試料を約７０°も大きく傾斜させている。FIBの集束性から要求される対物レンズと試料との間隔を考慮すると、このような大傾斜はFIB性能を悪化させてしまい、満足な加工が出来ないと予想される。通常用いられているFIB装置性能を維持するには６０°程度が限度である。また、直径300mmなど大口径ウエハ用試料ステージを７０°も大きく傾斜させることは、機械的に非常に困難である。たとえ７０°の大傾斜が可能としても摘出試料の底面は７０°の傾斜を持ち、水平面の試料ホルダに設置すると、本来の試料表面は試料ホルダ面に対して２０°も傾斜しており、表面に対してほぼ垂直な断面やウォールを形成することが困難となる。試料基板の表面に対しほぼ垂直な断面やウォールを形成するためには、底面の傾斜を小さくして底面を表面に平行に近くすることが必須で、そのためには試料傾斜をさらに大きくしなければならず、これは上述の装置上の制約からさらに困難になる。従って、本発明が目指すような摘出した試料を別の部材（試料ホルダ）に設置して、他の観察装置や分析装置に導入するためには、垂直断面が形成できる別の底浚い方法を検討しなければならない。（但し、公知例２では分離した試料は試料ホルダの類に設置することなく、搬送手段のプローブに付けたまま観察する方法であるため、底面の形状は影響しない。）

このように、本発明による試料作製工程と公知例２による試料分離方法と大きく異なる点は、(１)試料の摘出（分離）に際してのビーム照射方法が全く異なり、摘出試料をなるべく薄くするためと、底面の分離を簡便に、また、試料ステージの傾斜をなるべく小さくするために長手方向（TEM観察面に平行方向）の側面を傾斜加工したこと、(２)摘出した試料は移送手段とは別の部材である試料ホルダに固定することにあり、ウエハからも試料片が摘出できる試料作製装置と試料作製方法を提供している。

【００４８】

＜実施形態例４＞

上記実施形態例の試料解析工程はTEM解析に限らず、他の観察手法、分析手法や観察手法に用いることも可能である。

【００４９】

例えば、解析装置がインレンズ型の高分解能SEMである場合にも適用できる。インレンズ型SEMは観察試料を対物レンズ内に入れる方式で、分解能がアウトレンズに比べて非常に良いため表面観察の強力なツールであるが、試料をレンズ内に入れる都合上、数ミリ程度に小さくしなければならない。従って、ウエハ検査装置などで不良箇所を発見し、その部分をさらに詳しく観察しようとしてもウエハのままではインレンズ型の走査電子顕微鏡内に導入することはできず、ウエハを分断して細分化せざるを得なかった。本発明による試料解析方法によると、ウエハから所望の領域の試料片を摘出することができるため、イン

レンズ型SEMで高分解能観察をすることができる。観察領域はウエハ表面ばかりでなく、摘出する際に形成できる断面も観察できるため、試料片摘出時のFIB照射方向を適切に行なえば、不良箇所の断面も観察することができる。このような方法によって、座標の問題、試料作製の問題、ウエハ分割の問題を解決して試料解析を行なうことができる。また、その他、オージェ電子分光分析や二次イオン質量分析など元素分析を行なう試料解析についても同様に行なえる。

付記：

1.目的とする試料片を観察、分析、計測のうちの少なくともいずれかによって調べる試料解析方法であって、試料基板を検査手段によって検出した異物や欠陥など所望箇所の座標情報を記憶する工程と、上記所望箇所の座標情報を基にして上記試料基板から上記所望箇所を含む試料片を集束イオンビームによる加工を利用して摘出して、上記摘出した上記試料片を分析装置または観察装置または計測装置のうちの少なくともいずれかに対応する試料ホルダに固定し、上記試料ホルダに固定した上記試料片を分析または観察または計測のうちの少なくともいずれかに適する形状に加工する工程と、上記試料片を固定した上記試料ホルダを分析装置または観察装置または計測装置のうちの少なくともいずれかに導入して上記所望箇所の解析を行なう工程とからなることを特徴とする試料解析方法。

2.上記１記載の試料解析方法において、特に、上記検査手段が光学式ウエハ検査装置、ウエハ検査用走査電子顕微鏡、レーザ走査顕微鏡、光学式顕微鏡のうちの少なくともいずれかを用いることを特徴とする試料解析方法。

3.上記１または２記載の試料解析方法において、特に、上記試料片を集束イオンビームによる加工を利用して摘出する工程の前に、光学顕微鏡による位置合わせ工程をともなうことを特徴とする試料解析方法。

4.上記１から３のいずれかに記載の試料解析方法において、特に、上記試料片を集束イオンビームによる加工を利用して摘出する工程の前に、上記集束イオンビームによって上記所望箇所近傍に上記所望箇所が確認できる目印を付す工程をともなうことを特徴とする試料解析方法。

5.上記１から４のいずれかに記載の試料解析方法において、さらに、上記試料ホルダに固定した上記試料片に対してさらに集束イオンビーム照射による薄壁加工を施して透過型電子顕微鏡観察用の試料に仕上げる工程を含むことを特徴とする試料解析方法。

6.ウエハを検査して異物や欠陥など所望箇所の座標情報を記憶するウエハ検査部と、
上記所望箇所の座標情報を基にして上記試料基板に対して集束イオンビームを利用して上記所望箇所を含む試料片を摘出して分析または観察または計測のうちの少なくともいずれかに適する試料ホルダに固定して加工する試料作製部とから構成して、
上記ウエハ検査部と試料作製部とは上記ウエハを移動するための真空搬送路によって連結した構造であることを特徴とする試料解析装置。

7.ウエハを検査して異物や欠陥など所望箇所の座標情報を記憶するウエハ検査部と、
上記所望箇所の座標情報を基にして上記試料基板に対して集束イオンビームを利用して上記所望箇所を含む試料片を摘出して分析装置または観察装置または計測装置のうちの少なくともいずれかに適する試料ホルダに固定して、分析装置または観察装置または計測装置のうちの少なくともいずれかに適する形状の試料片に加工する試料作製部と、
上記試料片の解析を行なう分析装置または観察装置または計測装置のうちの少なくともいずれかの解析部とを少なくとも有して、
上記ウエハ検査部と試料作製部、解析部とは上記ウエハを移動するための真空搬送路によって連結した構造であることを特徴とする試料解析装置。

8.ウエハを検査して異物や欠陥など所望箇所の座標情報を記憶するウエハ検査部と、
上記所望箇所の座標情報を基にして上記試料基板に対して集束イオンビームを利用して上記所望箇所を含む試料片を摘出して分析装置または観察装置または計測装置のうちの少なくともいずれかに適する試料ホルダに固定して、分析装置または観察装置または計測装置のうちの少なくともいずれかに適する形状の試料片に加工する試料作製部と、
上記試料片の解析を行なう分析装置または観察装置または計測装置のうちの少なくともい

ずれかの解析部とが機械的に独立して構成され、
少なくとも上記ウエハ検査部での上記所望箇所の座標情報を上記試料作製部と上記解析部に伝達する情報伝達手段によって連結した構造であることを特徴とする試料解析装置。
9.上記８記載の試料解析装置において、さらに、
上記ウエハ検査部と上記試料作製部と上記解析部の間は、上記ウエハおよび上記試料ホルダもしくは上記試料ホルダを搭載した治具を真空容器によって搬送する構造であることを特徴とする試料解析装置。
10.上記６から９のいずれかに記載の試料解析装置において、特に、上記検査装置が光学式ウエハ検査装置、ウエハ検査用走査電子顕微鏡、レーザ走査顕微鏡、光学式顕微鏡のうちのいずれかであることを特徴とする試料解析装置。
11.上記６から９のいずれかに記載の試料解析装置において、上記解析部における観察装置が、特に、インレンズ型走査型電子顕微鏡、透過型電子顕微鏡のうちのいずれかであることを特徴とする試料解析装置。

【００５０】

【発明の効果】

本発明による試料解析方法および装置を用いることで、所望の箇所をマークしたその場で、ウエハを細分化することなく、また、ウエハから人の手作業を介することなくTEM観察始めその他の分析、計測、観察のための試料を作製することでき、解析結果を得るまでの時間を短縮させることができる。

【図面の簡単な説明】

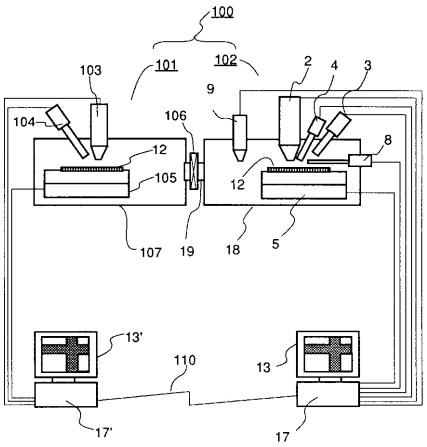
【図１】本発明による試料解析装置の一実施形態を示す構成ブロック図。
【図２】従来のTEM試料の作製手順を説明するための図。
【図３】従来のTEM試料の別の作製手順を説明するための図。
【図４】本発明による試料解析装置のうち試料作製部の一実施形態を説明するための構成ブロック図。
【図５】本発明による試料解析装置の実施形態で特に試料ホルダを説明するための図。
【図６】従来のTEMホルダを説明するための図。
【図７】本発明による試料解析装置の実施形態における試料作製部のうち、特に移送手段の一実施形態を説明するための図。
【図８】本発明による試料解析装置の別の実施形態を示す構成ブロック図。
【図９】本発明による試料解析方法における試料作製工程について説明するための図。
【図１０】従来のTEM用試料ホルダーについて説明するための図である。

【符号の説明】

２…FIB照射光学系、３…二次粒子検出器、４…デポガス源、５…試料ステージ、６…試料ホルダ、７…保持手段（ホルダカセット）、８…移送手段、９…光学顕微鏡、１００…試料解析装置、１０１…ウエハ検査部、１０２…試料作製部、１０３…電子ビーム照射系、１０４…二次電子検出器、１０５…試料ステージ、１０７…搬送用容器、１１０…情報伝達手段。

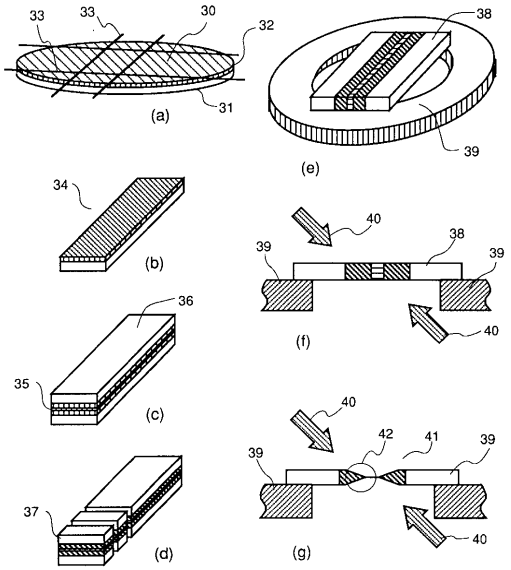
【図１】

図1



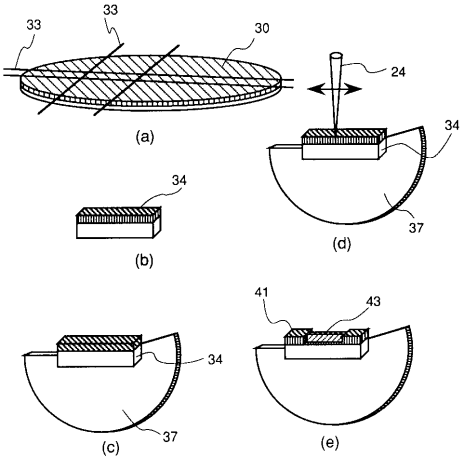
【図２】

図2



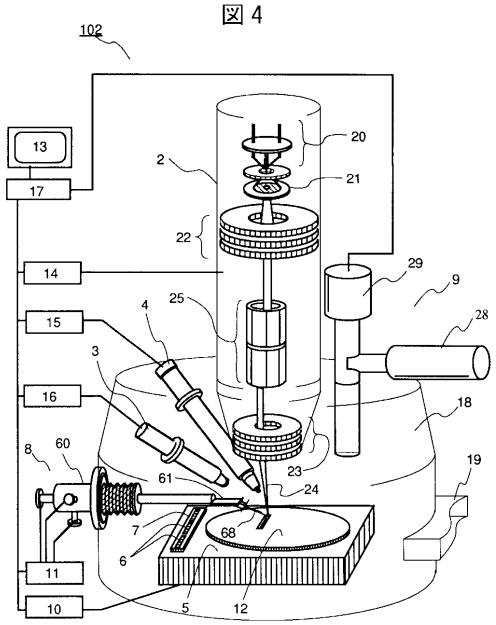
【図３】

図3



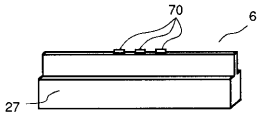
【図４】

図4



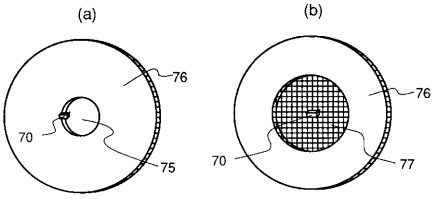
【図５】

図５



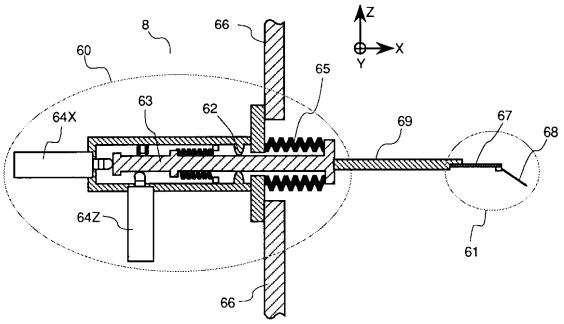
【図６】

図６



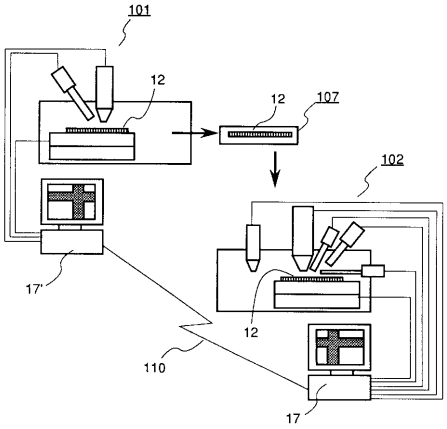
【図７】

図７



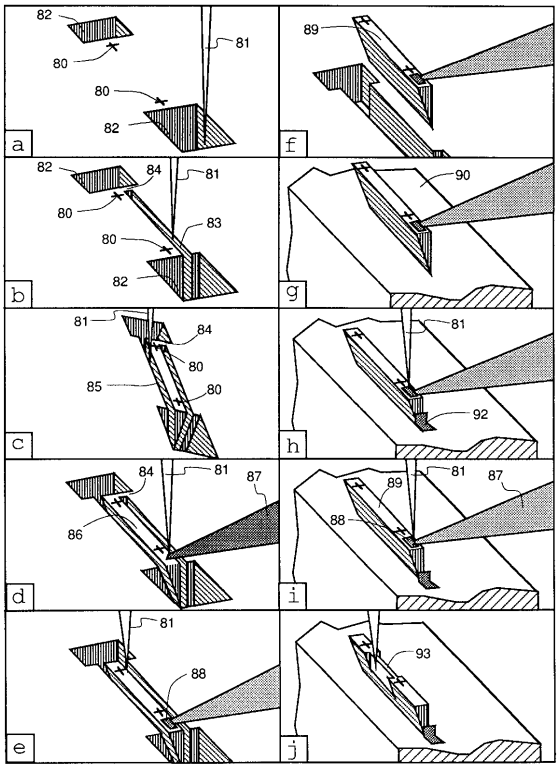
【図８】

図８



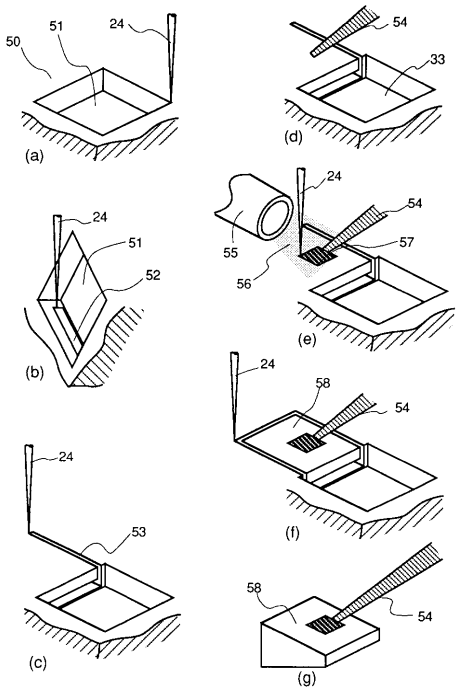
【図９】

図９



【図１０】

図１０



フロントページの続き

(56)参考文献 特開平０５－０５２７２１（ＪＰ，Ａ）
特開平０７－３３３１２０（ＪＰ，Ａ）
特開平０９－１８９６４９（ＪＰ，Ａ）
特開平０２－２９４６４４（ＪＰ，Ａ）
特開平０３－０７６１２２（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.[7]，ＤＢ名)
G01N 1/28