

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4740032号  
(P4740032)

(45) 発行日 平成23年8月3日 (2011.8.3)

(24) 登録日 平成23年5月13日 (2011.5.13)

(51) Int. Cl.

F I

H O 1 L 21/66 (2006.01)

H O 1 L 21/66 J

G O 1 N 23/04 (2006.01)

H O 1 L 21/66 N

G O 1 N 23/225 (2006.01)

G O 1 N 23/04

G O 1 N 23/225

請求項の数 17 (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2006-130969 (P2006-130969)  
 (22) 出願日 平成18年5月10日 (2006.5.10)  
 (62) 分割の表示 特願2004-160500 (P2004-160500)  
                   の分割  
           原出願日 平成10年11月20日 (1998.11.20)  
 (65) 公開番号 特開2006-222459 (P2006-222459A)  
 (43) 公開日 平成18年8月24日 (2006.8.24)  
           審査請求日 平成18年5月17日 (2006.5.17)  
           審判番号 不服2009-4061 (P2009-4061/J1)  
           審判請求日 平成21年2月25日 (2009.2.25)

(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 梅村 馨  
                   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  
 (72) 発明者 田地 新一  
                   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  
 (72) 発明者 柿林 博司  
                   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】 電子部品製造プロセスの検査解析システム及びウェーハの検査解析方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ウェーハを載置する試料ステージと、  
 前記試料ステージが設置される真空試料室と、  
 該ウェーハより分離された試料片を固定する、前記真空試料室内に配置された試料ホルダと、  
 該ウェーハより該試料片を摘出し、前記試料ホルダへ移送する移送手段と、  
 前記試料ホルダに固定された該試料片を検査解析用試料片に加工するイオンビームを照射する、前記真空試料室内に配置された照射光学系と、を有するイオンビーム装置と、  
 前記試料ホルダに固定された該検査解析用試料片を検査又は解析する透過型電子顕微鏡または走査型透過顕微鏡と、を備えることを特徴とする電子部品製造プロセスの検査解析システム。

【請求項 2】

ウェーハを載置する試料ステージと、  
 前記試料ステージが設置される真空試料室と、  
 該ウェーハより分離された試料片を複数個固定する、前記真空試料室内に配置された試料ホルダと、  
 該ウェーハより該試料片を摘出し、前記試料ホルダへ移送する移送手段と、  
 前記試料ホルダに固定された該試料片を検査解析用試料片に加工するイオンビームを照射する、前記真空試料室内に配置された照射光学系と、を有するイオンビーム装置と、

10

20

前記試料ホルダに固定された複数個の該検査解析用試料片を検査又は解析する透過型電子顕微鏡または走査型透過顕微鏡と、を備えることを特徴とする電子部品製造プロセスの検査解析システム。

【請求項 3】

複数の製造プロセス中の 1 の製造プロセス後のウェーハを載置する試料ステージと、  
該ウェーハより分離された試料片を固定する、前記真空試料室内に配置された試料ホルダと、

該ウェーハより該試料片を摘出し、前記試料ホルダへ移送する移送手段と、  
前記試料ホルダに固定された該試料片を検査解析用試料片に加工するイオンビームを照射する、前記真空試料室内に配置された照射光学系と、を有するイオンビーム装置と、  
前記試料ホルダに固定された該検査解析用試料片を検査又は解析する透過型電子顕微鏡または走査型透過顕微鏡と、を備え、

該試料片の摘出されたウェーハが、前記製造プロセスに戻されることを特徴とする電子部品製造プロセスの検査解析システム。

【請求項 4】

請求項 1 ～ 3 のいずれか記載の電子部品製造プロセスの検査解析システムにおいて、  
前記移送手段が、プローブであることを特徴とする電子部品製造プロセスの検査解析システム。

【請求項 5】

請求項 1 ～ 4 のいずれか記載の電子部品製造プロセスの検査解析システムにおいて、  
前記イオンビーム装置は、さらに、該試料片と前記移送手段とを接続および該試料片と前記試料ホルダとを接続するガスを導入するガス導入手段を有することを特徴とする電子部品製造プロセスの検査解析システム。

【請求項 6】

請求項 1 ～ 5 のいずれか記載の電子部品製造プロセスの検査解析システムにおいて、  
前記試料ホルダが、他の装置に導入可能な試料ホルダであることを特徴とする電子部品製造プロセスの検査解析システム。

【請求項 7】

請求項 1 ～ 6 のいずれか記載の電子部品製造プロセスの検査解析システムにおいて、  
該検査解析用試料片を前記イオンビーム装置の真空を破ることなく取り出すことが可能であることを特徴とする電子部品製造プロセスの検査解析システム。

【請求項 8】

複数の製造プロセス中の 1 の製造プロセス後のウェーハを載置する試料ステージと、  
前記試料ステージが設置される真空試料室と、  
前記真空試料室内に配置され、該ウェーハより分離された試料片を複数個固定する、他の装置に導入可能な試料ホルダと、

該ウェーハより該試料片を摘出し、前記試料ホルダに移送するプローブと、  
前記試料ホルダに固定された該試料片を検査解析用試料片に加工するイオンビームを照射する、前記真空試料室内に配置された照射光学系と、

該試料片と前記プローブとを接続および該試料片と前記試料ホルダとを接続するガスを導入するガス導入手段と、を有し、

該検査解析用試料片を前記真空試料室の真空を破ることなく取り出すことが可能なイオンビーム装置と、

前記試料ホルダに固定された複数個の該検査解析用試料片を検査又は解析する透過型電子顕微鏡または走査型透過顕微鏡と、を備え、  
該試料片の摘出されたウェーハが、前記製造プロセスに戻されることを特徴とする電子部品製造プロセスの検査解析システム。

【請求項 9】

請求項 1 ～ 8 のいずれか記載の電子部品製造プロセスの検査解析システムにおいて、  
前記透過型電子顕微鏡または走査型透過電子顕微鏡は、該検査解析用試料片の形状、寸

10

20

30

40

50

法、元素分析、元素濃度のうち少なくともいずれかの検査または解析を行うことを特徴とする電子部品製造プロセスの検査解析システム。

【請求項 1 0】

請求項 1 ～ 9 のいずれか記載の電子部品製造プロセスの検査解析システムにおいて、

さらに、前記照射光学系は、該ウェーハと該試料片とを分離するイオンビーム、及び、前記試料ホルダに該試料片を接続するイオンビームを照射する照射光学系であることを特徴とする電子部品製造プロセスの検査解析システム。

【請求項 1 1】

複数の製造プロセス中の 1 の製造プロセス後のウェーハを試料ステージに載置し、

真空試料室内で該ウェーハにイオンビームを照射し、該ウェーハから分離した試料片を移送手段により摘出し、

前記真空試料室内に配置された試料ホルダに、前記移送手段から試料片を移載し、

前記試料ホルダに移載された該試料片にイオンビームを照射し、該試料片を検査解析用試料に加工し、

前記試料ホルダと共に該検査解析用試料を前記真空試料室から取り出し、透過型電子顕微鏡または走査型透過電子顕微鏡に導入し、

前記透過型電子顕微鏡または走査型電子顕微鏡により該検査解析用試料を検査又は解析し、

該試料片が摘出されたウェーハを前記製造プロセスに戻すことを特徴とするウェーハの検査解析方法。

【請求項 1 2】

複数の製造プロセス中の 1 の製造プロセス後のウェーハを試料ステージに載置し、

真空試料室内で該ウェーハにイオンビームを照射し、該ウェーハから分離した第 1 の試料片を移送手段により摘出し、

前記真空試料室内に配置された試料ホルダに、前記移送手段から該第 1 の試料片を移載し、

前記試料ホルダに移載された該第 1 の試料片にイオンビームを照射し、該第 1 の試料片を第 1 の検査解析用試料片に加工し、

前記真空試料室内で該第 1 の試料片が摘出されたウェーハにイオンビームを照射し、該第 1 の試料片が摘出されたウェーハから分離した第 2 の試料片を前記移送手段により摘出し、

前記試料ホルダに、前記移動手段から該第 2 の試料片を移載し、

前記試料ホルダに移載された該第 2 の試料片にイオンビームを照射し、該第 2 の試料片を第 2 の検査解析用試料片に加工し、

前記試料ホルダと共に該第 1 及び第 2 の検査解析用試料片を前記真空試料室から取り出し、透過型電子顕微鏡または走査型透過電子顕微鏡に導入し、

前記透過型電子顕微鏡または走査型電子顕微鏡により該第 1 及び第 2 の検査解析試料片を検査又は解析し、

該第 1 及び第 2 の試料片が摘出されたウェーハを前記製造プロセスに戻すことを特徴とするウェーハの検査解析方法。

【請求項 1 3】

請求項 1 1 又は 1 2 記載のウェーハの検査解析方法において、

前記移送手段が、プローブであることを特徴とするウェーハの検査解析方法。

【請求項 1 4】

請求項 1 1 ～ 1 3 のいずれか記載のウェーハの検査解析方法において、

前記試料ホルダが、他の装置に導入可能な試料ホルダであることを特徴とするウェーハの検査解析方法。

【請求項 1 5】

請求項 1 1 ～ 1 4 のいずれか記載のウェーハの検査解析方法において、

該検査解析用試料片若しくは該第 1 及び第 2 の検査解析用試料片を前記真空試料室の真

10

20

30

40

50

空を破ることなく取り出すことを特徴とするウェーハの検査解析方法。

【請求項 16】

複数の製造プロセス中の 1 の製造プロセス後のウェーハを試料ステージに載置し、  
真空試料室内で該ウェーハにイオンビームを照射し、該ウェーハから分離した第 1 の試料片をプローブにより摘出し、

前記真空試料室内に配置され、他の装置に導入可能な試料ホルダに、前記プローブから該第 1 の試料片を移載し、

前記試料ホルダに移載された該第 1 の試料片にイオンビームを照射し、該第 1 の試料片を第 1 の検査解析用試料片に加工し、

前記真空試料室内で該第 1 の試料片が摘出されたウェーハにイオンビームを照射し、該第 1 の試料片が摘出されたウェーハから分離した第 2 の試料片を前記プローブにより摘出し、

前記試料ホルダに、前記プローブから該第 2 の試料片を移載し、

前記試料ホルダに移載された該第 2 の試料片にイオンビームを照射し、該第 2 の試料片を第 2 の検査解析用試料片に加工し、

前記試料ホルダと共に該第 1 及び第 2 の検査解析用試料片を、前記真空試料室から前記真空試料室の真空を破ることなく取り出し、透過型電子顕微鏡または走査型透過電子顕微鏡に導入し、

前記透過型電子顕微鏡または走査型電子顕微鏡により該第 1 及び第 2 の検査解析試料片を検査又は解析し、

該第 1 及び第 2 の試料片が摘出されたウェーハを前記製造プロセスに戻すことを特徴とするウェーハの検査解析方法。

【請求項 17】

請求項 11 ~ 16 のいずれか記載のウェーハの検査解析方法において、

前記透過型電子顕微鏡または走査型透過電子顕微鏡は、該検査解析用試料片若しくは該第 1 及び第 2 の検査解析用試料片の形状、寸法、元素分析、元素濃度のうち少なくともいずれかの検査または解析を行うことを特徴とするウェーハの検査解析方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本願は、半導体装置などの電子部品製造方法、この電子部品製造方法を実現するための試料作製装置に関する。

【背景技術】

【0002】

メモリやマイクロコンピュータなど半導体装置、ハードディスクの磁気ヘッドなど電子部品の製造においては、良品を定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直接つながり、採算に大きく影響する。しかし、全く不良品が発生せずに生産できることは稀で、ある程度の不良品は必ず発生するため、欠陥や異物、加工不良を如何に早期に発見し、その対策を如何に早くするかが大きな課題となる。このため例えば、半導体装置の製造現場では、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不良箇所の原因追及に注力している。実際の製造工程では、ウェーハの場合、完成後のウェーハの広範囲を隈無く検査して、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】

【特許文献 1】特開平5 - 52721号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

上述のような電子部品の製造に関して不良品を出さないように効率よく管理するには、

10

20

30

40

50

以下のような解決すべき課題が残されていた。

( 1 ) TEM観察のルーチン化 ( TEM試料作製の問題点 )

通常、試料の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なっている。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 ) に頼らざるを得なくなっている。電子部品製造に当たって、良品を生産し続けるためにはTEMを如何に簡単にルーチン作業として使えるかが要点となるが、TEMをルーチン的に使用するためには解決すべき大きな問題を抱えている。それは試料作製法である。

【 0 0 0 5 】

従来のTEM試料作製には劈開、切断、機械研削など試料を小片にする作業が伴い、試料がウェーハの場合は必ず割断せざるを得ない。しかも、研磨、イオンシシングなど熟練と時間を要する作業が続く。たとえ、試料形状ができ上がっても、注目するピンポイント部分を的確に捉えて、所望の観察が出来る確率は非常に小さかった。

【 0 0 0 6 】

最近では集束イオンビーム ( 以下、FIBと略す ) 加工を利用する例がある。これは、ダイシング装置を用いてウェーハ等の試料から観察すべき領域を含むおおよそ $3 \times 0.1 \times 0.5 \text{ mm}$  (  $0.5 \text{ mm}$ はウェーハの厚み ) 短冊状ペレットを切り出す。この短冊状ペレットの一部を薄壁状にFIB加工してTEM試料とする。FIB加工されたTEM観察用の試料の断面形状は逆T字形状であったり、L字形状の場合もあり種々変形もあるが、基本とするところは短冊状の試験片の一部がTEM観察用に薄いウォール状に加工してあることにある。この方法によって、所望の観察部を $\mu \text{ m}$ レベルで位置出しすることが可能になったが、やはりウェーハを割断しなければならない。

【 0 0 0 7 】

このように、TEMを製造途中のある工程での仕上がり監視するための手段として用いるのは観察分解の面で利点は大きいですが、TEM試料作製の関係でたった数箇所の検査のために割断し、ウェーハの破片は次のプロセスでは使えず廃棄処分とならざるを得ない。このように高価な大口径ウェーハで、しかもそれまでに施したプロセスを無駄にしなければならず非常に不経済であった。例えば、図2は従来のプロセスにおける投入されるウェーハと、各工程での検査に際してウェーハが減少していく様子を示している。プロセスs1からプロセスs11に至る間に例えばプロセスs3、s6、s8、s11の後4回の検査を行なつたとすると、検査の度にウェーハ1枚を消費するため、検査用ウェーハ16A、16B、16C、16Dとしてロットから抜き取るため、初期ロット15が例えば10枚とすると最終的なロット15'Dの枚数は6枚になってしまう。つまり、検査回数が多いと、最終的な取得ウェーハは減少してしまい良品部品の取得の歩留の低下を招いていた。

【 0 0 0 8 】

これに対して、ウェーハを分断することなく試料作製できる方法がある。この方法は、特開平05-52721号公報に『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』が開示されている。この方法は図2に示すように、まず、試料20の表面に対しFIB29が直角に照射するように試料20の姿勢を保ち、試料上でFIB29を矩形に走査させ、試料表面に所要の深さの角穴21を形成する ( 図3(a) )。次に、試料表面に対するFIBの軸が約 $70^\circ$ 傾斜するように試料を傾斜させ、底穴22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3(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23を形成する ( 図2(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プ54の先端を、試料20を分離する部分に接触させる ( 図3(d) )。ガスノズル25から堆積性ガス26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27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24の先端はデポ膜26で接続される ( 図3(e) )。FIB29で残りの部分を切り欠き加工し ( 図3(f) )、試料20から分離試料28を切り出す。切り出された分離試料28は、接続されたプローブ24で支持された状態になる ( 図3(g)

10

20

30

40

50

))。この分離試料28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。ウェーハなど試料から所望の解析領域を含む微小試料片を、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各種解析装置に導入することで解析することができる。しかし本方法は、微小試料を分離するために試料を約70°も大きく傾斜させてFIBを斜め照射している。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など大口径ウェー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という問題点を有している。

10

#### 【0009】

このようなことから、良品部品の取得の歩留向上のために、ウェーハを切断することなく、しかも試料作製装置として実現性のある装置構成で、解析領域を摘出できてTEMを始め各種解析向きの試料に加工できる作製方法が確立されることが望まれていた。

20

#### (2) モジュールプロセスと逐一検査

電子部品の製造において、最終段階で良不良の判定をしていると、不良発生時に発生原因を追及することが困難で、たとえ原因が明らかになっても途中のプロセス条件を見直した対策品を作り終えるまでに多大の時間と手間を要する。反対に、早期良品の製品化を実現するためには逐一モニタ、検査することが好ましいが、各プロセス毎、全プロセスに渡って逐一検査していると検査時間に膨大な時間を要するとともに、検査装置が膨大な数となり、安価で早期良品製品化の目的には反する。

#### 【0010】

そこで、全プロセスを数個(2個以上10個以内程度)のグループ(モジュール)に分割し、そのモジュールのプロセスが完了したウェーハロットの中の1枚を検査する。しかし、従来のように、各検査ごとにウェーハを割段して検査していると、最終工程で得られるウェーハはわずかになってしまう。例えば、1ロット10枚として全工程中にモニタ箇所が5回あれば、最終工程に残るウェーハ枚数は多くとも5枚である。この5枚のウェーハの中から良品のチップを選別するため、初期の10枚のウェーハに対して最終的に得られる良品チップの割合(歩留)は非常に低苦になってしまう。しかし、本願によるデバイス製造方法によると、上記(1)の新規な方式を採用するため、1ロット10枚のウェーハは最終工程まで残り、途中の検査によって完全に使えないチップはわずか数チップで済む。検査するウェーハはロット内で特定しておき、検査するチップの特定しておくことで検査によって破損するチップは最低限の数個で済む。この数個の具体的な数値は、製造現場によって異なり、例えばウェーハ内の任意の一箇所であればよいと判断すれば一箇所手済むし、ウェーハ面内分布の影響を常にチェックしなければならないと判断するならウェーハ中心部と周辺部90°ピッチで4箇所の5箇所となる。

30

40

このように、検査に必要な箇所、個数、およびそれらの検査に要する時間などを考慮したライン管理者の判断に依存する。

#### 【0011】

なお、ウェーハから検査すべきデバイスを抜き取って検査モニターを行なう方法として、特開平4-111338号公報『デバイス打ち抜き検査モニター法を用いたデバイス製造方法』がある。本特開平4-111338号公報は検査モニター用基板から部分的に単位デバイスを打抜き、この打抜いたデバイスを用いてプロセスの検査モニターを行なう方法である。この方法の特徴は、検査すべきデバイス部分を基板を貫通するように打抜くこ

50

とにある。従って、打抜かれた基板には貫通孔が残る。しかし、このような貫通孔を有したままのウェーハに対して、半導体プロセスを施せないのは勿論のこと、例え、この公知例内に記載されているような打抜き場所にダミーの単位デバイスを戻したとしても、サブミクロンの加工を行なう半導体製造に耐えうるように空隙なく打抜き場所を平滑に戻すことは不可能であることは、半導体製造に関わる当業者なら容易に判断できる。

#### 【0012】

上述の問題点に鑑み、本願の第1の目的は、材料を評価のために無駄に消費しない新たな電子部品製造方法を提供することにある、また、第2の目的は上記第1の目的を達成するための電子部品製造システムを提供することにある。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0013】

このように、プロセスの進捗度を監視するにあたり、ウェーハに大きな凹凸を発生すること無く、素子が存在するウェーハ表面からわずか数 $\mu\text{m}$ から10 $\mu\text{m}$ 程度の部分を摘出して、これを各種解析手段に適合する形状に加工することが好ましいが、特開平05-52721号公報のような試料作製装置が法外な負担を持たせることは、装置コストの上昇と装置性能の低下とを招いてしまう。そこで、ウェーハを割断することなく、表面からわずか数 $\mu\text{m}$ から数十 $\mu\text{m}$ 程度の部分を、試料作製装置の構造に大きな負荷を与えること無く摘出できる本願の一部である新規な微小試料（マイクロサンプル）の作製技術を適用し、また、製造プロセスを見直して一連のプロセスに対して逐次、ウェーハを割断することなく評価する技術を採用することが上記課題を解決する道である。つまり、本願による電子部品製造方法のポイントは、（イ）ウェーハから数十 $\mu\text{m}$ 程度のマイクロサンプルを摘出して、これをTEMを始め各種の解析手段に最適な試料に加工するマイクロサンプリング法を用いる点、また、（ロ）電子部品を製造する全プロセスを数個のグループに分け、従来の連続したプロセスを複数個一括して評価する新たな評価方法を用いる点にある。つまり、モジュールプロセスという概念を取り入れる。

即ち、モジュールプロセスとは、製造しようとする電子部品のうちある部分が形としてまとまる一連の複数のプロセスを指す。類似する電子部品を製造する際、全プロセスが全て同じことはないが、頻繁に繰り返されたり、部分的に共通なプロセスが連続する場合がある。その一連のプロセスをモジュール化しておく、モジュールとして汎用性があり、他の部品の製造にも適用できる。図4において、電子部品の製造プロセスがプロセスs1からプロセスs11まで連続しているとする。実際にはもっと多くのプロセスを通過するが、ここでは省略している。図4は、プロセスs1からプロセスs4までのグループをモジュールプロセスm1とし、以下、プロセスs4からプロセスs5までをモジュールプロセスm2、プロセスs6からプロセスs8までをモジュールプロセスm3、プロセスs9からプロセスs11までをモジュールプロセスm4とした例である。なお、上記（イ）については、下記実施の形態例3において詳述する。

#### 【0014】

本願発明は、ウェーハを載置する試料ステージと、試料ステージが設置される真空試料室と、該ウェーハより分離された試料片を固定する、真空試料室内に配置された試料ホルダと、該ウェーハより該試料片を摘出し、試料ホルダへ移送する移送手段と、試料ホルダに固定された該試料片を検査解析用試料片に加工するイオンビームを照射する、真空試料室内に配置された照射光学系と、を有するイオンビーム装置と、試料ホルダに固定された該検査解析用試料片を検査又は解析する透過型電子顕微鏡または走査型透過顕微鏡と、を備える電子部品製造プロセスの検査解析システム、に関する。

また、本願発明は、ウェーハを載置する試料ステージと、試料ステージが設置される真空試料室と、該ウェーハより分離された試料片を複数個固定する、真空試料室内に配置された試料ホルダと、該ウェーハより該試料片を摘出し、試料ホルダへ移送する移送手段と、試料ホルダに固定された該試料片を検査解析用試料片に加工するイオンビームを照射する、真空試料室内に配置された照射光学系と、を有するイオンビーム装置と、試料ホルダに固定された複数個の該検査解析用試料片を検査又は解析する透過型電子顕微鏡または走

10

20

30

40

50

査型透過顕微鏡と、を備える電子部品製造プロセスの検査解析システム、に関する。

また、本願発明は、複数の製造プロセス中の１の製造プロセス後のウェーハを載置する試料ステージと、該ウェーハより分離された試料片を固定する、真空試料室内に配置された試料ホルダと、該ウェーハより該試料片を摘出し、試料ホルダへ移送する移送手段と、試料ホルダに固定された該試料片を検査解析用試料片に加工するイオンビームを照射する、真空試料室内に配置された照射光学系と、を有するイオンビーム装置と、試料ホルダに固定された該検査解析用試料片を検査又は解析する透過型電子顕微鏡または走査型透過顕微鏡と、を備え、該試料片の摘出されたウェーハが、製造プロセスに戻されることを特徴とする電子部品製造プロセスの検査解析システム、に関する。

また、本願発明は、複数の製造プロセス中の１の製造プロセス後のウェーハを載置する試料ステージと、前記試料ステージが設置される真空試料室と、真空試料室内に配置され、該ウェーハより分離された試料片を複数個固定する、他の装置に導入可能な試料ホルダと、該ウェーハより該試料片を摘出し、試料ホルダに移送するプローブと、試料ホルダに固定された該試料片を検査解析用試料片に加工するイオンビームを照射する、真空試料室内に配置された照射光学系と、該試料片と前記プローブとを接続および該試料片と試料ホルダとを接続するガスを導入するガス導入手段と、を有し、該検査解析用試料片を真空試料室の真空を破ることなく取り出すことが可能なイオンビーム装置と、試料ホルダに固定された複数の該検査解析用試料片を検査又は解析する透過型電子顕微鏡または走査型透過顕微鏡と、を備え、該試料片の摘出されたウェーハが、製造プロセスに戻される電子部品製造プロセスの検査解析システム、に関する。

【 ０ ０ １ ５ 】

また、本願発明は、複数の製造プロセス中の１の製造プロセス後のウェーハを試料ステージに載置し、真空試料室内で該ウェーハにイオンビームを照射し、該ウェーハから分離した試料片を移送手段により摘出し、真空試料室内に配置された試料ホルダに、移送手段から試料片を移載し、試料ホルダに移載された該試料片にイオンビームを照射し、該試料片を検査解析用試料に加工し、試料ホルダと共に該検査解析用試料を真空試料室から取り出し、透過型電子顕微鏡または走査型透過電子顕微鏡に導入し、透過型電子顕微鏡または走査型電子顕微鏡により該検査解析用試料を検査又は解析し、該試料片が摘出されたウェーハを製造プロセスに戻すことを特徴とするウェーハの検査解析方法、に関する。

また、本願発明は、複数の製造プロセス中の１の製造プロセス後のウェーハを試料ステージに載置し、真空試料室内で該ウェーハにイオンビームを照射し、該ウェーハから分離した第１の試料片を移送手段により摘出し、真空試料室内に配置された試料ホルダに、移送手段から該第１の試料片を移載し、試料ホルダに移載された該第１の試料片にイオンビームを照射し、該第１の試料片を第１の検査解析用試料片に加工し、真空試料室内で該第１の試料片が摘出されたウェーハにイオンビームを照射し、該第１の試料片が摘出されたウェーハから分離した第２の試料片を移送手段により摘出し、試料ホルダに、移動手段から該第２の試料片を移載し、試料ホルダに移載された該第２の試料片にイオンビームを照射し、該第２の試料片を第２の検査解析用試料片に加工し、試料ホルダと共に該第１及び第２の検査解析用試料片を真空試料室から取り出し、透過型電子顕微鏡または走査型透過電子顕微鏡に導入し、透過型電子顕微鏡または走査型電子顕微鏡により該第１及び第２の検査解析試料片を検査又は解析し、該第１及び第２の試料片が摘出されたウェーハを製造プロセスに戻すことを特徴とするウェーハの検査解析方法、に関する。

また、本願発明は、複数の製造プロセス中の１の製造プロセス後のウェーハを試料ステージに載置し、真空試料室内で該ウェーハにイオンビームを照射し、該ウェーハから分離した第１の試料片をプローブにより摘出し、真空試料室内に配置され、他の装置に導入可能な試料ホルダに、プローブから該第１の試料片を移載し、試料ホルダに移載された該第１の試料片にイオンビームを照射し、該第１の試料片を第１の検査解析用試料片に加工し、真空試料室内で該第１の試料片が摘出されたウェーハにイオンビームを照射し、該第１の試料片が摘出されたウェーハから分離した第２の試料片を前記プローブにより摘出し、試料ホルダに、プローブから該第２の試料片を移載し、試料ホルダに移載された該第２の



試料片にイオンビームを照射し、該第2の試料片を第2の検査解析用試料片に加工し、試料ホルダと共に該第1及び第2の検査解析用試料片を、真空試料室から真空試料室の真空を破ることなく取り出し、透過型電子顕微鏡または走査型透過電子顕微鏡に導入し、透過型電子顕微鏡または走査型電子顕微鏡により該第1及び第2の検査解析試料片を検査又は解析し、該第1及び第2の試料片が摘出されたウェーハを製造プロセスに戻すことを特徴とするウェーハの検査解析方法、に関する。

【発明の効果】

【0016】

本願発明により、ウェーハを割断することなく評価でき、高価なウェーハを無駄にすることはない。ひいては、電子部品の製造歩留りが向上する。

10

【発明を実施するための最良の形態】

【0017】

本願による電子部品製造方法の実施の形態例は、試料に複数の加工プロセスを施して電子部品を形成する電子部品製造方法において、加工プロセスにおいて上記試料の基板表面を含む一部を摘出し、上記基板表面を含む一部に対して上記加工プロセスでの加工の進捗をモニタまたは検査または解析のうちの少なくともいずれかを行なう工程と、基板表面を含む一部除去した後、基板を更に加工プロセスへ戻し回路パターンを製造する方法にある。

<実施形態例1>

本実施例は、本願による電子部品製造方法の基本的な流れをウェーハの流れと共にを図1を用いて説明する。

20

モジュールプロセスm1に投入されたロット1は、モジュールプロセスm1の完了後、ロット1のうち所定の枚数を検査用試料2として選別し、残された試料3は待機する。選別した検査用試料2から検査すべき箇所4をマイクロサンプル5として摘出する。微小試料5を摘出された検査用試料2は再び上記残された試料3に組み込まれ、ロット1Aとして次のモジュールプロセスm2に投入する。ここで、マイクロサンプル5は各種解析装置6に対応できるように加工を施し、経路fを通過して解析装置6に送り、マイクロサンプル5の注目する部分を解析する。解析結果は計算処理機7に送りデータベースとして保存する。蓄えられたデータベースは必要に応じて通信経路hを通過してモジュールプロセスm1もしくはモジュールプロセスm2に伝達し、プロセス条件の変更などの指令を行なう。このように、モジュールプロセスm1からモジュールプロセスm2に至る間に、ウェーハは経路a、b、c、dを経て、その間、解析すべき微小試料が摘出されることが大きな特徴である。また、検査によって試料が減少することなく、モジュールプロセスm1に投入するロット1とモジュールプロセスm2に投入するロット1の試料数は同じである。なお、マイクロサンプル5の摘出方法（経路e）については、下記実施例2で詳述する。図中、符号ma、mbはモジュールプロセス間の経路を示している。

30

【0018】

以上は、基本的なフローを説明したが、ここでは全モジュールプロセスフローについて図5を用いて説明する。

図5において、符号s21、s22、s23、s24は各モジュールプロセスである。まず最初、モジュールプロセスs21に投入される1ロット40のウェーハ枚数をここでは例えば10枚とする。ステップs21を完了したロットは1枚を検査用ウェーハ41Aと残りのウェーハ群42Aに分けて（経路a）、検査用ウェーハ41Aを試料作製装置（図示せず）に送り（経路b）、その検査用ウェーハ41Aからμmレベルのマイクロサンプル43Aを摘出する。摘出されたウェーハ41Aはもとのウェーハ群42Aと併せるか、他のウェーハ群と併せてロット40Aとして（経路c）次のモジュールプロセスm22に送る。この時のロット40Aは、ウェーハ41Aを割断せずに試料作製したため、もとのロット40と枚数は同じである。つまり、モジュールプロセスを完了してそのうちの1枚を検査用に割り当てても、ロットの枚数を減少させることなく、次のモジュールプロセスm22に送ることができる。一方、摘出したマイクロサンプル43Aは試料作製装置において各種解析装置、例えばTEMに適合す

40

50

る解析試料 4 4 Aに加工し（経路d）、各種解析、例えばTEM観察する。このときの観察形状など解析データは共通の計算処理機（図示せず）に送り保存すると共に、プロセスm21でのプロセス条件の最適化や変動の修正のために用いる。

#### 【 0 0 1 9 】

以下、モジュールプロセスm22完了後のウェーハの流れは、上記モジュールプロセスm21完了後のウェーハの流れと同じで、上記ウェーハ 4 1 Aの変わりに 4 1 B、4 1 C、4 1 D、ウェーハ群 4 2 Aの変わりに 4 2 B、4 2 C、4 2 D、マイクロサンプル 4 3 Aの代りに 4 3 B、4 3 C、4 3 D、解析試料 4 4 Aの代りに 4 4 B、4 4 C、4 4 Dと読み代えることで全工程が理解できる。このようなプロセスによって電子部品の全製造プロセスが完了する。

#### 【 0 0 2 0 】

この全プロセスにおいて、各モジュールプロセスの完成度を検査する工程があり、あるモジュールプロセスにおいて不良部が発見されると、その情報は即時、このプロセスを管理する計算処理機（図 1 の符号 7 ）に送信され、該当モジュールプロセスの該当プロセスの条件を修正するように命令が送信され、プロセス条件の修正によって不良部発生の改善が図られる。また、検査箇所はウェーハを切断することなく得られ、摘出されたウェーハは次のプロセスに導入されるため、全モジュールプロセスが完了した後も、ウェーハのロット 4 0 Dの枚数は最初のロット 4 0 と変りはなく、ウェーハを無駄に廃棄することは無くなり、経済的効果は大きい。

#### 【 0 0 2 1 】

なお、ウェーハ 4 1 からマイクロサンプル 4 3 を摘出して各種解析装置に適合するサンプルに加工する試料作製方法については実施例 2 で、また、試料作製装置については実施例 3 で説明する。

#### < 実施形態例 2 >

本実施例では、ウェーハの所定の場所からマイクロサンプルを摘出して各種分析装置に適合する試料に加工する方法について説明する。

#### 【 0 0 2 2 】

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が伴う。特開平 0 5 - 5 2 7 2 1 号公報に示されたFIBによる分離法では、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、分離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。公知例では、分離する（底穴を形成する）ために試料を約 7 0 ° も大きく傾斜させている。

#### 【 0 0 2 3 】

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 6 0 ° 程度が限度である。また、直径300mmなど大口径ウェーハ用試料ステージを 7 0 ° 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 7 0 ° の大傾斜が可能としても摘出試料の底面は 7 0 ° 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 2 0 ° 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、本願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分離方法を検討しなければならない。（但し、特開平 0 5 - 5 2 7 2 1 号公報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 - プ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。）

このような状況から、本願による試料作製方法では試料ステージを極端に大きく傾斜することなく、微小試料を摘出することが実現できる。さらに、摘出試料の厚み（ウォールの厚み方向と同じ）を薄く加工することができるため、ウォール加工時間が大幅に削減で

10

20

30

40

50

きる方法である。

【0024】

以下に、本願による試料作製方法の具体的手順を説明する。ここでは、試料の例としてTEM観察すべき試料の作製方法を取り上げ、TEM試料作製すべき箇所のマーキングから最終的なウォール加工まで、すべてFIB装置内で行なう方法を説明する。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6を用いて説明する。

【0025】

図6(a)：本試料作製方法では、TEM観察領域を含む摘出試料をまず作製するため、試料基板からの摘出後にTEM観察部であるウォールの形成位置が特定できなくなる危険性がある。このため、観察位置を特定するマーキングが必要となる。試料がまだウェーハやチップの状態では、CADデータ等から位置割り出しや光学顕微鏡像、FIBのSIM像からのによる位置確認が可能であるため、最初にウォール形成位置にマーキングする。マーキングは、例えば観察断面を形成する両端にマーク130をFIB加工やレーザ加工等で施す。

【0026】

本例では、観察領域を挟んで10 $\mu\text{m}$ 間隔で+(プラス)マーク130を2個施した。上記2個のマーク130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。上記2個のマーク130を結ぶ直線上で、2個のマーク130の両側にFIB131によって2個の矩形穴132を設けた。開口寸法は例えば10 $\times$ 7 $\mu\text{m}$ 、深さ15 $\mu\text{m}$ 程度で、両矩形穴の間隔を30 $\mu\text{m}$ とした。いずれも、短時間に完了させるために直径0.15 $\mu\text{m}$ 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7分であった。

【0027】

図6(b)：次に、上記マーク130を結ぶ直線より約2 $\mu\text{m}$ 隔てて、かつ、一方の矩形穴と交わるように、他方の矩形穴には交わらないように幅約2 $\mu\text{m}$ 、長さ約30 $\mu\text{m}$ 、深さ約10 $\mu\text{m}$ の細長垂直溝133を形成する。ビーム131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132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134になる。

【0028】

図6(c)：図6(a)(b)工程の後、試料面を小さく傾斜(本実施例では15°)させる。ここで、上記2個のマーク130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ため、垂直溝133が上にあがるような方向に傾斜させる。そこで、上記マーク130を結ぶ直線より約2 $\mu\text{m}$ 隔てて、かつ、上記細長い溝とは反対側に、上記両矩形穴132を結ぶように、幅約2 $\mu\text{m}$ 、長さ約32 $\mu\text{m}$ 、深さ約15 $\mu\text{m}$ の細長い溝135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や溝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FIBによって斜溝135が形成され、先に形成した垂直溝133と交わる。図6(a)から(c)の工程によって支持部134を残して、マーク130を含み、頂角が15°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。なお、ここでは、試料ステージの傾斜角が15°について説明したが、15°に限定されることはない。但し、(1)試料ステージの傾斜の際の機械的構造および強度、(2)斜溝形成の際の周辺加工量の削減、それに伴う加工時間の短縮、(3)試料摘出後の基板(ウェーハ)に残された穴の縮小化、(4)形成された穴による基板の機械的強度低下の防止、(5)斜溝形成の際の溝底付近でのスパッタ粒子による深穴形成の困難さを考慮すると、試料ステージはなるべく低傾斜にして、斜溝の深さを浅くして、加工時間の短縮と、摘出する試料と形成される穴の微細化を満足する傾斜角がよく、具体的には傾斜角45°以下が望ましく、さらには5°以上30°以下が最も好ましい。従って、方法では特開平05-52721号公報のようにステージを70°もの大傾斜にする必要もないし、特開平4-111338号公報のように基板に貫通孔をさせることも無く、必要な部分を短時間で基板に影響することなく摘出することができる。

【0029】

図6(d)：次に、試料ステージを水平に戻し、摘出すべき試料136の支持部134とは反

対の端部に移送手段先端のプロープ137を接触させる。接触は試料とプロープ137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、不注意なプロープ137の押し付けによって、摘出すべき試料136やプロープ137の破損を避けるために、プロープ137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136にプロープ137を固定するために、プロープ137先端を含む約2  $\mu\text{m}$ 平方の領域に、デポジション用ガスを流出させつつFIB131を走査させる。このようにしてFIB照射領域にデポ膜138が形成され、プロープ137と摘出すべき試料136とは接続される。

【0030】

図6(e)(f)：摘出試料を試料基板から摘出するために、支持部134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134は試料面上から見て2  $\mu\text{m}$ 平方、深さ約10  $\mu\text{m}$ であるため2～3分のFIB131走査で除去できる。

10

【0031】

プロープ137の先端に接続されて摘出した摘出試料139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、プロープ137を+Z方向に退避させておくといよい。ここで、試料ホルダ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。

【0032】

図6(g)(h)：FIB走査領域内に試料ホルダが入ってくると試料ステージ移動を停止し、プロープ137を-Z方向(試料台方向)に移動させ、試料ホルダ140に接近させる。摘出試料139が試料ホルダ140に接触した時、デポガスを導入しつつ摘出試料139と試料ホルダ140と接触部にFIB131を照射する。この操作によって摘出試料は試料ホルダ140に接続できる。本実施例では摘出試料139の長手方向の端面にデポ膜142を形成した。FIB照射領域は3  $\mu\text{m}$ 平方程度で、デポ膜142の一部は試料ホルダ140に、一部は摘出試料側面に付着し、両者が接続される。摘出試料139を確実にTEM試料に固定するためには、試料ホルダ140の摘出試料固定面に2x25  $\mu\text{m}$ 、深さ3  $\mu\text{m}$ 程度の細長溝141をFIB131によって事前に形成しておき、この細長溝に摘出試料139を移送手段によって挿入した後、摘出試料139の端面にデポ膜142を形成すると摘出試料139は確実に固定できる。

20

【0033】

また、試料の観察領域がサイドエントリ試料ステージの回転中心軸上に配置されることが望まれるが、固定する試料が数  $\mu\text{m}$ から20  $\mu\text{m}$ 程度の小ささであるため、実質的には、試料ホルダの固定面がサイドエントリ試料ステージの軸上に来るように配置しておく。このような構成によって、試料を容易に観察視野内に設置することができる。

30

【0034】

また、この時、サイドエントリー型試料ステージ軸は汎用ステージの傾斜軸に平行にしておく。この構成によって摘出した試料の方向を回転させる必要がなくなるので、移送手段に複雑な機構を設ける必要はない。さらに、サイドエントリー型試料ステージを設置することによって、加工後、直ちにTEMに導入でき、追加工が必要な場合、直ちにFIB装置内で加工ができるという効果がある。

【0035】

40

図6(i)：次に、デポ用のガスを導入を停止した後、プロープ137と摘出試料139を接続しているデポ膜138にFIBを照射してスパッタ除去することで、プロープ137を摘出試料139から分離でき、摘出試料139は試料ホルダ140に自立する。

【0036】

図6(j)：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143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、試料基板表面にほぼ垂直なウォール143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143形成領域を含む上面にFIBデポ膜を形成しておくといよい。この方法は既によく知られ

50

ている。上述の加工の結果、横幅約15  $\mu\text{m}$ 、深さ約10  $\mu\text{m}$ 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。また、摘出した試料の大きさは、幅2から4  $\mu\text{m}$ 、長さ15～30  $\mu\text{m}$ 、高さ15～20  $\mu\text{m}$ 程度の小ささで、特開平4-111338号公報での基板を打抜いて形成した検査デバイスの大きさ比べて圧倒的に小さいことがわかる。

#### 【0037】

このようにしてウォール加工後、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

10

こでは省略する  
上記の試料作製手順は、TEM試料に限らず、他の分析や観察手法に用いることも可能である。

#### 【0038】

なお、本願による試料作製方法と特開平05-52721号公報による試料の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)の側面を傾斜加工すること、(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、(3)試料台を大きく傾斜させることなく、45°以下の低傾斜で目的とする部分を摘出できることである。

20

#### 【0039】

また、特開平4-111338号公報による検査モニター法と異なる点は、基板(ウェーハ)を打抜いて貫通孔を形成することなく、ウェーハ表面の10  $\mu\text{m}$ 程度を摘出するため、ウェーハに対するダメージを最低限であり、摘出する試料がミクロンレベルであるため、加工時間が非常に短いという相違点を有する。

#### 【0040】

このように、本試料作製方法を用いることで、所望の箇所をマークしたその場で、デバイスチップや半導体ウェーハから、人の手作業を介することなく、試料基板を装置から出すことなくTEM観察用や他の分析/計測/観察のための試料を作製することができる。

#### 【0041】

30

#### <実施形態例3>

図7は、本願による電子部品製造方法における試料からマイクロサンプルを摘出し、各種解析装置に適する試験片に加工するとき用いる試料作製装置の一実施例の概略構成図である。

#### 【0042】

試料作製装置71は、試料基板や摘出試料の加工や観察をするFIB照射光学系72、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73、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74、半導体ウェーハや半導体チップなどの試料基板72を載置する試料ステージ75、試料基板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76、試料ホルダを保持するホルダカセット77、摘出試料を試料ホルダに移し変える移送手段78などを少なくとも有した構成であり、さらに、試料ステージ75の位置を制御するためのステージ制御装置80、移送手段78を駆動するための移送手段制御装置81、試料ホルダ76や試料基板82や移送手段78などを映像化する画像表示手段83、FIB照射光学系2のFIB制御装置84なども構成され、この他、デポガス源制御装置85、ステージ制御装置86、画像表示手段83、移送手段制御装置81などは計算処理装置87により制御される。

40

#### 【0043】

FIB照射光学系72は、液体金属イオン源から放出したイオンをビーム制限アパチャ、集束レンズ、対物レンズを通すことで直径10数nmから1  $\mu\text{m}$ 程度のFIB94を形成する。FIB94を偏向器を用いて試料基板82上を走査することで、走査形状に試料基板82に

50

$\mu\text{m}$ からサブ $\mu\text{m}$ 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78の先端にある接触部と試料基板82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73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。

#### 【0044】

試料ステージ75は試料室88に設置され、FIB照射光学系73等も真空容器内に配置されている。試料ステージ75は、試料ホルダ76を搭載したホルダカセット77が着脱でき、ステージ制御装置80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。

10

#### 【0045】

以下、本願による試料作製装置71の各部(移送手段78およびその設置場所、試料ホルダ76の設置箇所と試料ホルダ6そのものの形態、摘出試料の試料ホルダ76への設置方法、および手段、試料ステージ)について詳細について説明する。

摘出試料の移送手段の概略構成について説明する。移送手段78は図7においてモータやギヤ、圧電素子などで構成して、数 $\mu\text{m}$ の移動分解能を有している。

#### 【0046】

公知の技術(特開平4-111338号公報)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のウェー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、上記の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では搬送手段先端のプロープが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プ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複雑に制御しなければならない。これに対して、正確に直線駆動が可能な3軸の駆動手段を用いればよいが、100 $\mu\text{m}$ から数mmの長いストロークと $\mu\text{m}$ オーダの分解能を兼ね備えた機構で移動手段を構成しようとすると、機構が複雑になってしまい、試料周辺の2次粒子検出器やデボガス源など他の構造物と干渉してしまい、更に別の問題を産み出してしまう。

20

30

#### 【0047】

以上のことから本願では、移送手段78は、試料基板が大口径のウェーハであっても、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75の移動に分担させた。

40

#### 【0048】

移送手段78の先端は直径50 $\mu\text{m}$ 程度の細いタングステン線で形成されたプロープ68を連結した。バイモルフ圧電素子67に電圧を与えることで、プロープ68先端は微動する。

#### 【0049】

移動手段78は試料室の空間を利用して試料室88の天井面に設置している。装置構成が異なっても対応できるという本構成特有の利点がある。そして、図7は、FIB照射光学系72の対物レンズの最終レンズ電極面に設置した例である。試料室88の空間を利用して、装置外部に余分な機器を突出させることなく、装置外部が複雑な他機種にも適用でき、装置外観を簡素にまとめるという利点がある。

50

## 【 0 0 5 0 】

その他、種々配置例は考えられるが、本構成の基本適的思想は、移送手段が試料ステージと独立して、試料の移動によって試料が移送手段に接触しない位置に配置されているため、摘出すべき摘出試料が大口径ウェーハの中央部、周辺部に関係なく、容易にアクセスが可能なことにある。

## 【 0 0 5 1 】

試料ホルダ 6 は試料基板 8 2 からの摘出試料 7 0 を移送して直接固定する部材であり、この試料ホルダ 7 6 はこれを支えるホルダカセット 7 などを通じて試料ステージ 7 5 に搭載するか、もしくは、試料ステージ 5 とは独立したサイドエントリ型ステージに搭載する。試料ステージは、ウェー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。

10

## 【 0 0 5 2 】

試料ホルダ 7 6 は試料ステージ 7 5 に脱着しやすいホルダカセット 7 7 に搭載し、さらに、試料ステージ 7 5 に搭載するか、ウェーハを特製容器に入れて装置に出し入れするウェーハカセットに搭載する。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。図 7 ではカセットホルダ 7 が 1 個、試料ホルダ 6 が 5 個の場合を示していて、1 個の試料ホルダに 3 個の摘出試料を固定すると、1 個のホルダカセットに 1 5 個の TEM 試料を作製できる。

20

## 【 0 0 5 3 】

このホルダカセット 7 7 はスライド式に試料ステージ 7 5 に着脱でき、操作棒（図示せず）などを用いて試料室 8 8 の真空を破ることなく、試料ステージ 5 と独立して真空容器外に取り出すこともできる。また、この方式では、1 個の試料基板 5 から多数の TEM 試料を連続して作製することができ、真空容器外に取り出す時は、一度に多数個入手できる。しかも、試料ホルダに固定した TEM 試料はホルダカセットごと保管庫に保持することができ、小さな TEM 試料の取扱いに神経を消耗する必要がない。さらに、摘出してウォール加工が未完成な試料が多数個固定されたカセットホルダを、別の FIB 装置に搬入してウォール加工の仕上げを専念して行う方法も可能である。

## 【 0 0 5 4 】

ウェーハカセットは、1 枚のウェーハを入れる専用トレイで、ウェーハに直接、装置部品や人手に触れることがない。また、各種プロセス装置にそのまま出し入れでき、装置間の移動にも用いる。図 1 0 に示したように、ホルダカセット 7 をウェーハカセット 9 5 に着脱可能にしておくことによって、ウェーハ交換時に加工済みの TEM 試料を搭載した複数の試料ホルダ 6 を入手することができ、また、ウェーハカセット 9 5 とホルダカセット 7 の対応、ホルダカセット 7 とそこに搭載されている試料ホルダ 6 との対応、さらに、試料ホルダ 6 とそこに固定されている摘出試料 7 0 との対応を常に管理しておくことで、TEM 観察など、観察、計測、分析などを施した際に得られる情報と、ウェーハ 1 2 の摘出位置との関係を容易に関係づけることができる。

30

## 【 0 0 5 5 】

## &lt; 実施形態例 4 &gt;

40

本実施例では、モジュールプロセスの一例として、プラグ形成のモジュールについてそのプロセス手順について説明し、所定の場所からマイクロサンプルを摘出して解析すべき注目点について説明する。図 8 (a) はゲート作製以降プラグ形成完了までの欠くプロセスを示している。符号 s101 から s112 は、SiN 膜デポジション、層間絶縁膜塗布、層間絶縁膜表面研磨、ホトレジスト塗布、露光、現像、層間絶縁膜エッチング、SiN 膜エッチング、イオン注入、アッシング、多結晶 Si 埋め込み、層間絶縁膜表面研磨などのシリアルに行なう各プロセスに対応する。

ただし、この一連の工程のプロセス数はこの数に限定されることはない。このような一連のプロセスを経て、プラグが完成する。図 8 (b) から (g) は図 (a) の一連のプロセスのうち、代表的な工程での半導体装置の断面図である。図 (b) から (g) に共通して Si 基板 1 0 0 に

50

は部分的に酸化膜領域 101 を有して、ゲーと 102 は既に前のプロセスで形成されている。図(b)は絶縁層SiN膜が形成された状態である。次に、図(c)のように層間絶縁膜 104 を全面に塗布する。塗布した層間絶縁膜 104 に加熱等の後処理を行なった後、図(d)のように層間絶縁膜 104 を部分的にドライエッチングして開口 105 を設ける。続いて、開口 105 の底面のSiN膜をドライエッチングしてコンタクトホール 106 が出来る(図(e))。

次に、多結晶Si 107 をコンタクトホール 106 に埋め込む(図(f))。最後に表面に露出している層間絶縁膜 104、多結晶Si 107 を化学的機械研磨などの手法で平坦化して平坦面 108 を形成して所望の多結晶Siプラグ 109 が完成する。

#### 【0056】

このようなプロセスを経てプラグは完成するが、完成したプラグの評価は、プラグ 109 とSi基板との接触、プラグ形状、プラグ寸法、プラグのSi基板上での相対位置、SiN膜厚さ等々多くの項目について評価しなければならないが、従来の方法(図(a))で例えばプロセスs3、6、9、12等の終了後に上記の評価を行なっていると評価回数が多いほど全評価時間がかかることと、その都度、ウェーハを割断しなければならないロットのウェーハ残りが減少する問題を抱えることになる。そこで、本実施例では、プロセスs1からs12までの工程つまりプラグモジュールプロセスが完了した図(g)の状態、上記評価項目をまとめて行なう。評価にはマイクロサンプリング法を用いてウェーハの一部を摘出して、図(g)のような形状がTEMで観察できるように試料作製して、TEM観察することにより、一回の観察でプラグ 109 とSi基板との接触、プラグ形状、プラグ寸法、プラグのSi基板上での相対位置、SiN膜厚さ等々多くの項目が一度に評価できる。しかも、マイクロサンプリングを施して残ったウェーハは次のモジュールプロセスに投入できるため、ウェーハの減少はないという利点を有する。

#### 【0057】

本実施例ではプラグモジュールプロセスについて説明したが、他のモジュールプロセス、例えば、最初のSi基板に対する表面酸化からゲート作製の完了までのゲートモジュールプロセス、配線形成、配線とSi基板の結線、配線間の結線などを行なうメタルモジュールプロセス、キャパシタを形成するキャパシタモジュールプロセスなどについても同じ手法で解析すればよい。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0058】

【図1】本願による電子部品製造方法にかかわるモジュールプロセスにおけるウェーハの流れを説明するための図。

【図2】従来の試料から微小試料を分離するフローを説明するための図。

【図3】従来の電子部品製造方法にかかわるフロー例を説明するための図。

【図4】本願による電子部品製造方法にかかわるフローで特にモジュールプロセスを説明するための図。

【図5】本願による電子部品製造方法にかかわるモジュールプロセスにおけるウェーハの流れを説明するための図。

【図6】本願による電子部品製造方法にかかわる試料作製方法について説明するための図。

【図7】本願による電子部品製造方法にかかわる試料作製装置の一実施形態を示す概略構成図。

【図8】本願による電子部品製造方法にかかわるモジュールプロセスの具体例を説明するための図。

#### 【符号の説明】

#### 【0059】

1 ... ロット、2 ... 検査用試料、3 ... 試料、4 ...、5 ... マイクロサンプル、7 ... 計算処理機、20 ... 試料、21 ... 角穴、22 ... 底穴、23 ... 切り欠き溝、24 ... プローブ、26 ...、27 ... デボ膜、29 ... FIB

10

20

30

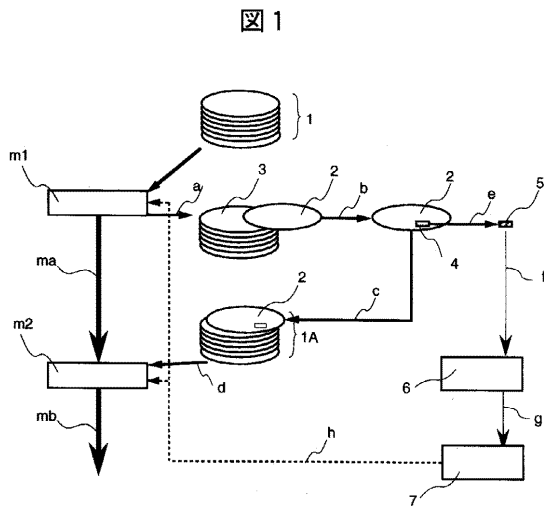
40

50

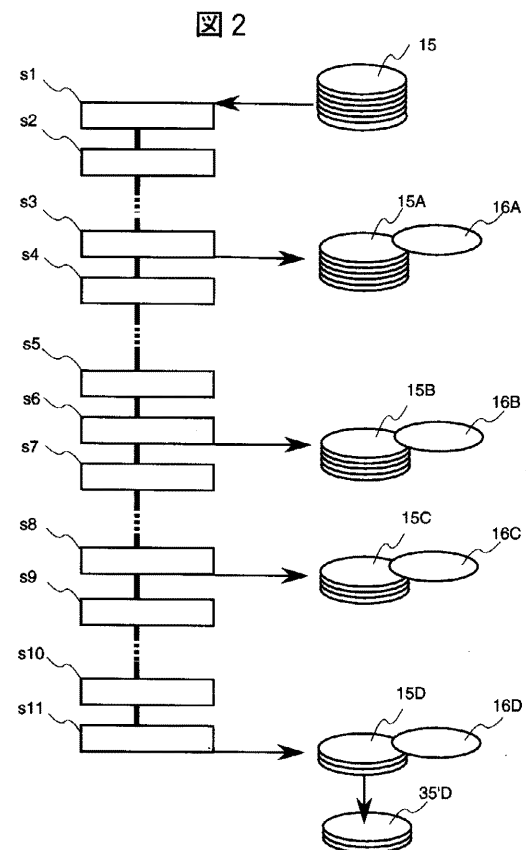


40 ... ロット、41 ... ウェーハ、42 ... ウェーハ群、43 ... マイクロサンプル、44 ... 解析試料、71 ... 試料作製装置、72 ... FIB照射光学系、73 ... 二次粒子検出器、74 ... デポガス源、75 ... 試料ステージ、76 ... 試料ホルダ、77 ... ホルダカセット、78 ... 移送手段、80 ... ステージ制御装置、81 ... 移送手段制御装置、82 ... 試料基板、83 ... 画像表示手段、84 ... FIB制御装置、85 ... デポガス源制御装置、86 ... ステージ制御装置、87 ... 計算処理装置、88 ... 試料室、100 ... Si基板、101 ... 酸化膜、102 ... ゲート、103 ... SiN膜、104 ... 層間絶縁膜、105 ... 開口、106 ... コンタクトホール、107 ... 多結晶Si、108 ... 平坦加工面、109 ... 多結晶Siプラグ。

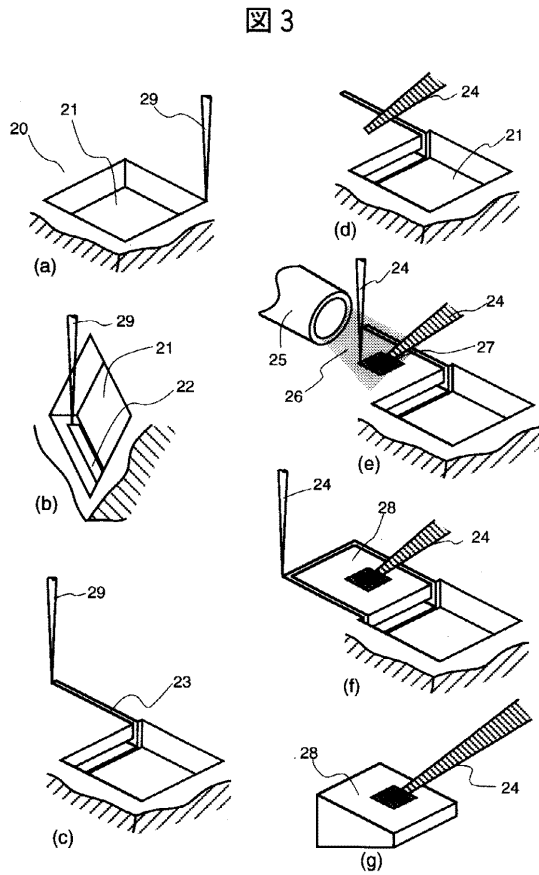
【図1】



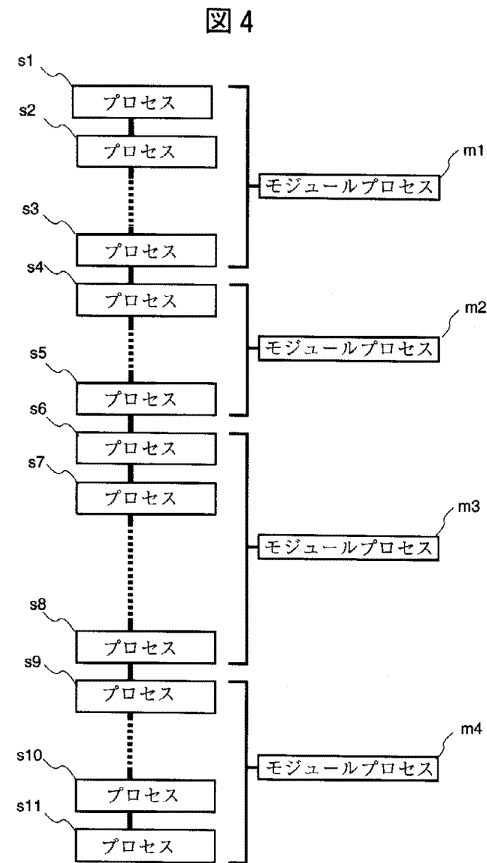
【図2】



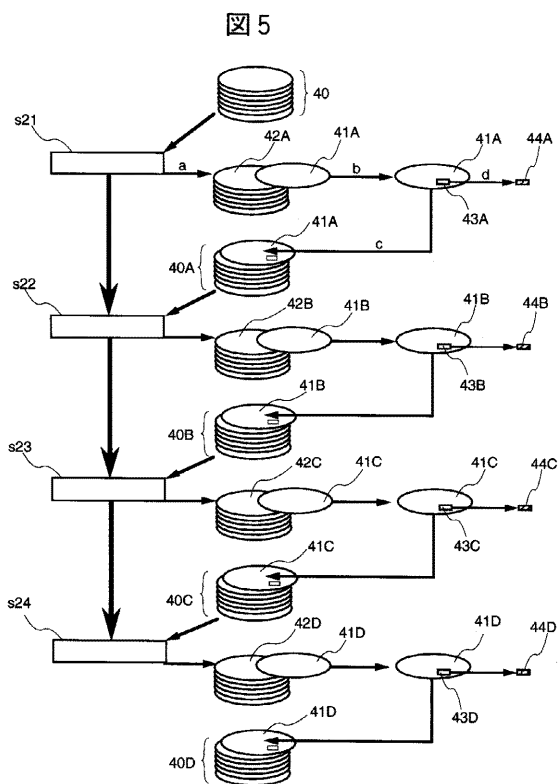
【図 3】



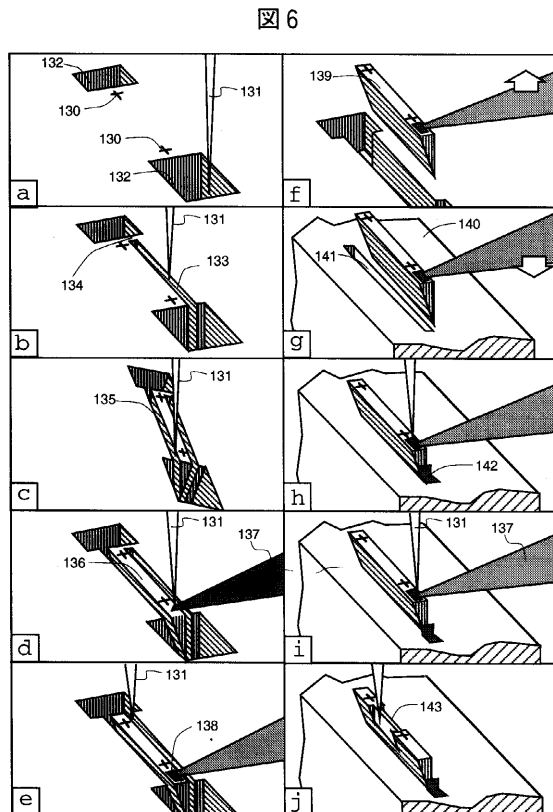
【図 4】



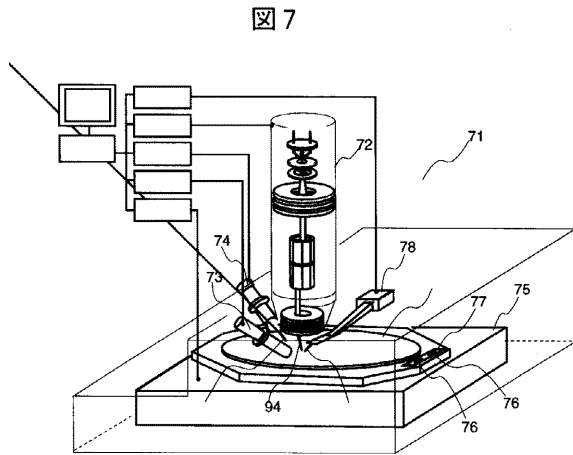
【図 5】



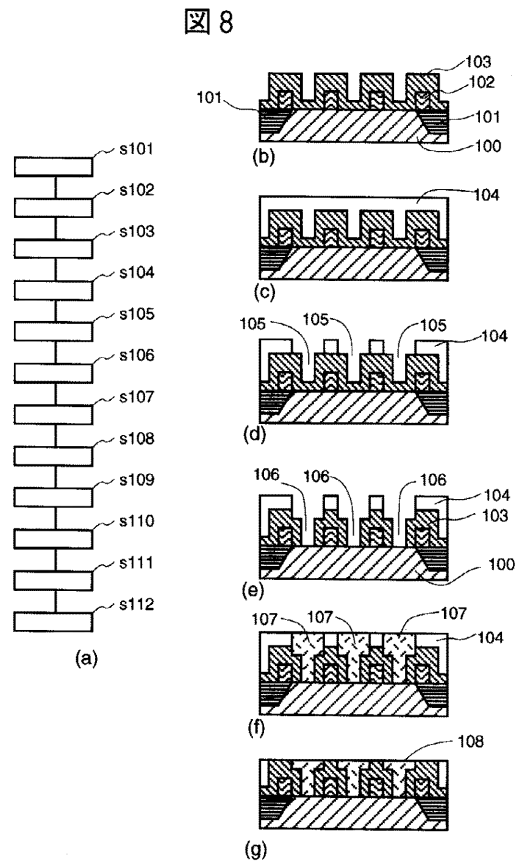
【図 6】



【図 7】



【図 8】



---

フロントページの続き

(72)発明者 富松 聡

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

合議体

審判長 寺本 光生

審判官 田中 永一

審判官 川端 修

(56)参考文献 特許第4185963(JP, B2)

特開平4-111338(JP, A)

特開平10-223168(JP, A)

特開平5-52721(JP, A)

特開平9-199069(JP, A)

特開2004-343131(JP, A)

特開平9-210883(JP, A)

特開平2-294644(JP, A)

L.R.Herlinger et al, "TEM Sample Preparation Using A Focused Ion Beam and A Probe Manipulator", Proceedings of the 22nd International Symposium for Testing and Failure Analysis, 1997年1月30日科学技術振興事業団受入, Conference Proceedings p.199-205

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L21/66

G01N1/28