

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4205992号
(P4205992)

(45) 発行日 平成21年1月7日(2009.1.7)

(24) 登録日 平成20年10月24日(2008.10.24)

(51) Int. Cl.

F I

GO 1 N	1/28	(2006.01)	GO 1 N	1/28	G
GO 1 N	1/32	(2006.01)	GO 1 N	1/32	B
HO 1 J	27/02	(2006.01)	HO 1 J	27/02	
HO 1 J	37/04	(2006.01)	HO 1 J	37/04	A
HO 1 J	37/08	(2006.01)	HO 1 J	37/08	

請求項の数 13 (全 18 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2003-174412 (P2003-174412)
 (22) 出願日 平成15年6月19日(2003.6.19)
 (65) 公開番号 特開2005-10014 (P2005-10014A)
 (43) 公開日 平成17年1月13日(2005.1.13)
 審査請求日 平成18年1月6日(2006.1.6)

(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24番14号
 (74) 代理人 110000350
 ポレール特許業務法人
 (74) 代理人 100068504
 弁理士 小川 勝男
 (74) 代理人 100086656
 弁理士 田中 恭助
 (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
 株式会社日立製作所 中央研究所内
 (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
 最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 イオンビームによる試料加工方法、イオンビーム加工装置、イオンビーム加工システム、及びそれをを用いた電子部品の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1のイオン源と、前記第1のイオン源から放出される第1のイオンビームを集束・偏向するための光学系と、前記第1のイオンビームを照射し走査して試料の一部をマイクロサンプルに加工する手段と、前記第1のイオンビームにより加工された前記マイクロサンプルを前記試料から分離するプローブと、前記マイクロサンプルを載置し保持するためのマイクロサンプル用試料台と、を備える第1のイオンビーム加工装置と、

第2のイオンビームを生成する第2のイオン源を備え、前記第2のイオンビームを用いて、分離した前記マイクロサンプルを透過型電子顕微鏡用試料に加工するように構成された第2のイオンビーム加工装置と、を有し、

前記第1のイオンビームは、元素種として不活性ガス種、酸素および窒素のうち少なくとも一つの元素種を含む一方、前記第2のイオンビームは、ガリウムイオンビームであることを特徴とするイオンビーム加工システム。

【請求項2】

前記分離したマイクロサンプルを前記マイクロサンプル用試料台に保持したまま、前記第1のイオンビーム加工装置から前記第2のイオンビーム加工装置に搬送するように構成されていることを特徴とする請求項1に記載のイオンビーム加工システム。

【請求項3】

前記光学系は、前記第1イオンビームを成形用マスクを介して成形し、集束・偏向するためのものであって、

10

20

前記試料の表面上における成形イオンビームの強度プロファイルの裾の幅が、光源サイズ以下になるように前記光学系を制御する手段を備えてなることを特徴とする請求項 1 に記載のイオンビーム加工システム。

【請求項 4】

前記第 1 のイオンビームに含まれる重金属イオンを除去するための質量分離器を備えてなることを特徴とする請求項 1 に記載のイオンビーム加工システム。

【請求項 5】

前記第 1 のイオン源を冷却するための冷却機構と、前記冷却機構に起因する振動を除去するための除振機構を設けたことを特徴とする請求項 1 に記載のイオンビーム加工システム。

10

【請求項 6】

前記第 1 のイオンビームのビーム径を、前記試料の表面上で 0.2 から 10 マイクロメートルになるように前記光学系を制御する手段を備えてなることを特徴とする請求項 1 に記載のイオンビーム加工システム。

【請求項 7】

前記第 1 のイオンビーム加工装置および前記第 2 のイオンビーム加工装置は、同一の装置に組み込まれて構成されることを特徴とする請求項 1 に記載のイオンビーム加工システム。

【請求項 8】

前記試料に電子ビームを照射するための電子ビーム照射装置をさらに備えることを特徴とする請求項 1 に記載のイオンビーム加工システム。

20

【請求項 9】

前記光学系は対物レンズを有し、
前記対物レンズの先端と前記試料との間の距離が 10 ミリメートル以下であることを特徴とする請求項 1 に記載のイオンビーム加工システム。

【請求項 10】

前記第 1 のイオンビーム加工装置で分離された前記マイクロサンプルに関する加工情報を、前記第 2 のイオンビーム加工装置へ伝送する伝送手段を設けてなることを特徴とする請求項 1 に記載のイオンビーム加工システム。

【請求項 11】

前記第 1 のイオン源がデュオプラズマトロンであることを特徴とする請求項 1 に記載のイオンビーム加工システム。

30

【請求項 12】

第 1 のイオンビームを用いて試料の一部を試料片に加工する工程と、
前記加工された試料片を前記試料から分離する工程と、
分離した前記試料片を第 2 のイオンビームを用いて透過型電子顕微鏡用試料に加工する工程とを有し、

前記第 1 のイオンビームは、元素種として不活性ガス種、酸素および窒素のうち少なくとも一つの元素種を含み、

前記第 2 のイオンビームは、ガリウムイオンビームであることを特徴とする電子部品の製造方法。

40

【請求項 13】

前記第 1 のイオンビームは、成形用マスクを介して成形され、集束・偏向され、
前記試料の表面上における成形イオンビームの強度プロファイルの裾の幅が、光源サイズ以下であることを特徴とする請求項 12 に記載の電子部品の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体デバイスなどの電子部品の検査・解析技術に関する。

【0002】

50

【従来の技術】

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、高歩留まり製造が求められる。

【0003】

すなわち不良発生による製品歩留りの低下は、採算の悪化を招く。このため、不良の原因となる欠陥や異物、加工不良の早期発見および早期対策が大きな課題となる。例えば、電子部品の製造現場では、入念な検査による不良発見、およびその発生原因の解析に注力されている。基板を用いた実際の電子部品製造工程では、完成後の基板を検査して、回路パターン上の欠陥や異物など異常箇所の原因を追及して対策方法が検討される。

10

【0004】

通常、試料の微細構造観察には高分解能の走査型電子顕微鏡（以下、SEMと略記）が用いられるが、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くなっており、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）が用いられる。

【0005】

最近では、集束イオンビームを試料に照射した時に試料構成粒子が試料外に放出される作用を応用した加工方法、すなわち集束イオンビーム（以下、FIBと略記）加工が利用されるようになった。特にFIBを用いれば、ウェーハを分断することなくTEM試料を作製することも可能である（例えば、特許文献1参照）。この方法では、図2に示すように、FIB1の照射による角穴101、底穴102、切り欠き溝103などの形成、イオンビームアシストデポジション膜（以下、デポ膜4と略す）による接続およびプローブ3によるマイクロサンプル6の搬送などが駆使される。そして、マイクロサンプル6を、FIB1で薄膜化加工するとTEM試料となる。なお、この手法は、マイクロサンプリング法とかピックアップ法と呼ばれる手法である。

20

【0006】

また、図3の(a)に示すように、ウェーハ201上に薄膜202を形成し、図3の(b)に示すようにFIB1で試料薄膜周辺を、一部を残して切り取り、試料薄膜203をウェーハ201から分離準備する。そして、イオンビーム加工装置からウェーハ201を取りだし、大気中でガラス棒の静電気を利用して、試料薄膜203をウェーハ201から完全に分離してTEM試料ホルダ204に移動させる。この方法でも、分離した試料薄膜をTEMで観察することができる。なお、この手法は、リフトアウト法と呼ばれる手法である。

30

【0007】

また、試料の分離方法を用いてウェーハを分断することなく、試料から検査用の微小試料を取り出し、ウェーハは次のプロセスに戻す手法について提案されている（例えば、特許文献2参照）。ここでは、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、加工プロセスの終了時に試料を分断することなく試料の一部を摘出してTEM試料を作製することにより、加工プロセスでの進捗をモニタまたは検査・解析を行う工程を含む方法を開示している。この手法によれば、ウェーハの分断によって失われる半導体デバイスはなくなり、トータルの半導体デバイスの製造コストを低減することができる。

40

【0008】

しかし、本手法では、微小試料を分離するときなどに、ガリウム（以下、Ga）をイオン種とするFIBを用いているために、FIBを構成していたGaが、微小試料を取り出した加工領域に残る。このGaの存在は、半導体デバイス製造にとっては不良発生原因となる可能性が高い。特に、Si半導体に対してはp型の不純物であることから問題は深刻である。すなわち、Gaの汚染をそのままにして、ウェーハを次のプロセスに戻すと、汚染であるGaが拡散し、正常に製造プロセスを経ていた半導体素子に侵入し、電気的特性不良やコンタクト不良を発生させるといった問題があった。この対策として、化学薬液を使った

50

洗浄を、微小試料を取り出したウェーハに施したりすることが考えられる。しかし、工程数が多くなり、製造コストが高くなるという問題があった。さらに、FIBは、例えば30kV加速で照射した場合、試料表面から深さ10nm程度は内部に入射しており、表面だけの洗浄では、試料中に埋めこまれたイオンビーム元素種を含む汚染を完全には除去不能となる。

【0009】

Ga汚染に関する対応についての提案がなされている（例えば、特許文献3参照）。この方法では、イオン源としてGaを用いた集束イオンビームを照射した試料をプロセスに戻すために、試料の特性に顕著な影響を及ぼさない気体元素のイオンビームを用いて、Gaの打ち込まれた部分を除去するか、気体イオンビーム、もしくはエネルギービームを用いてGaの打ち込まれた部分を被覆するように有機金属膜を析出する方法が開示されている。すなわち、アルゴン（以下、Ar）、酸素イオン、酸素ラジカルのいずれかを用いて加工観察領域をクリーン化し化合物を堆積させた後、再び製造工程に戻すことが開示されている。

10

【0010】

また、Arイオンビームで断面加工する技術についての提案がなされている（例えば、特許文献4参照）。ここではヘリコン波イオン源を使い、ビーム径0.1μmのArイオンビームによるSEM観察用の断面加工について開示している。しかし、対象物がSEMの分解能で観察できる場合についてのみ開示しており、SEMでは観察できない場合のTEMによる観察に関しては考慮されていなかった。

20

【0011】

【特許文献1】

特開平05-52721号公報

【特許文献2】

特開2000-156393号公報

【特許文献3】

特開平06-260129号公報

【特許文献4】

特開平07-320670号公報

【発明が解決しようとする課題】

ウェーハを分断することなく、高分解能電子顕微鏡観察用の試料を分離または分離準備して、さらにウェーハをプロセスに問題となる元素で汚染することなく、ウェーハをプロセスに戻しても不良を発生させないようにするという技術には、次のような課題が残されていた。

30

【0012】

まず、従来の技術ではTEM用試料をウェーハを割断することなく摘出する技術は、上述したマイクロサンプリング法、ピックアップ法、リフトアウト法を含めGaイオン種を用いる手法しかなかった。したがって、Ga汚染に対応する手法が検討された。しかし、従来のGa汚染に対応する方法で、気体元素のイオンビームを用いて、Gaの打ち込まれた部分を除去する方法では、Gaは広く飛散しているため、Ga汚染領域が加工領域に比べ広くなり、広い領域にArを照射せざるを得なかった。

40

【0013】

また、完全にGaを除去するためには、加工深さよりも深くArイオンでスパッタせざるを得なかった。このため、かえってArイオンによる処理痕を後のプロセスに問題が生じないようにするための対策に手間がかかったり、FIBによる加工の後にクリーン化工程が余分に必要になるため、コストが高くなるという課題を有していた。

【0014】

また、気体イオンビーム、もしくはエネルギービームを用いてGaの打ち込まれた部分を被覆するように有機金属膜を析出する方法では、金属膜のそのものがプロセス汚染となったり、金属膜が厚みを持つため、周辺部と膜厚不均一になるため後のプロセスに悪影響を与

50

える懸念があった。

【0015】

また、従来の方法で、ビーム径 $0.1\mu\text{m}$ のArイオンビームによるSEM観察用の断面加工する方法では、そもそも、この方法ではSEMでは観察できない場合のTEMによる観察は想定していなかった。この方法は、従来のGAFIBの使用する場合と同じ考えで、ビーム径 $0.1\mu\text{m}$ の微細なイオンビームを形成して、表面に垂直で平坦な断面を加工しようとするものである。しかし、Arのような気体元素イオンを発生させるイオン源の輝度が、GAFIBを形成するのに用いられる液体金属イオン源に比べ少なくとも2桁から3桁低い。このためビーム径 $0.1\mu\text{m}$ のビームを形成しようすると、目標の 100pA を得ることは、実際は非常に困難であり、たとえ得られたとしても実用上の必要な時間、その性能を保つことは達成されていなかった。実際、ビーム径 $0.1\mu\text{m}$ にした場合に得られるのは、数 pA の電流であり実用化されなかった。

10

【0016】

すなわち、Arイオンビームではビーム径をGAFIBのように小さくしようとすると、電流が小さくなり加工速度が小さすぎるため、Arイオンビームは使用不可能というのが当業者の常識であった。したがって、Gaイオン種によるウェーハ汚染は公知の課題ではあったが、Arイオンを使ってTEM試料を作製しようとする発想はなかった。

【0017】

本発明の目的は、上述の問題点に鑑み、半導体デバイス等の歩留向上のために、途中の検査がウェーハ等の試料を割断することなく実施でき、さらに試料がプロセスで問題となるGaのような元素で汚染されることなく、試料から解析用サンプルを分離または分離準備する試料加工方法、イオンビーム加工装置、イオンビーム加工システム、及びそれを用いた電子部品の製造方法を提供することにある。

20

【0018】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本発明では、ウェーハから微小試料を摘出するまでは、元素種として不活性ガス種、酸素または窒素のうち少なくとも一つの元素種を含む第1のイオンビームを用いて、試料の一部を試料片に加工する。これにより、ウェーハはGaによって汚染されることは無くなる。ここでは、従来のようなビーム径 $0.1\mu\text{m}$ の微細なイオンビームではなく、電流数ナノアンペアが得られる比較的ビーム径の太いイオンビームを用いる。所望の電流が得られるのであれば、微細なイオンビームを用いても構わない。摘出した試料片をTEM用試料に加工する工程は、別のイオンビーム照射系で第2の微細なイオンビーム（例えば、GAFIB）を用いて行う。これにより、ウェーハがGaにより汚染されることなくTEM用試料を得ることができる。

30

【0019】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施例について、図面を参照して説明する。

【0020】

本発明による分離または分離準備する試料加工方法、およびイオンビーム加工装置の実施例は、ある加工プロセス後において試料の基板表面を含む一部を分離または分離準備する方法にあり、さらに、これを実現するイオンビーム加工装置にある。また、本発明によるイオンビーム加工システムの実施例は、2台のイオンビーム装置で試料の基盤表面を含む一部を分離する方法にあり、さらにこれを実現するシステムにある。また、さらに本発明に係わる電子部品の製造方法の実施例は、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過程において、上記基板表面を含む一部の上記加工プロセスでの加工進捗を検査・解析し、上記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。

40

【0021】

本発明による分離または分離準備する試料加工方法、イオンビーム加工装置またはシステムを用いた検査・解析方法を含む電子部品製造過程での基本的な流れ（ウェーハの流れ）

50

を、図 1 を用いて説明する。

【 0 0 2 2 】

まず、複数のウェーハからなるロット 1 3 が任意の N 番目のプロセス 1 1 に投入される。N 番目のプロセスまでには、例えば、ウェーハ上に第 1 の膜形成工程がある。次に、複数のウェーハのうち検査用ウェーハ 1 4 を選別し、残されたウェーハは待機する。選別した検査用ウェーハ 1 4 は、まず検査電子顕微鏡 1 5 に導入される。ここで、異常が発見された場合には、その位置がアドレスとして記録され、その情報がウェーハ対応イオンビーム装置 1 7 に送られる。このウェーハ対応イオンビーム装置 1 7 で検査用ウェーハ 1 4 から検査すべき箇所を含むマイクロサンプル 6 を、Ar (アルゴン) イオンビームとマンピュレータ先端に取り付けたプローブ、およびデポガス W (CO) 6 によって作製したデポ膜等を用いて摘出する。

10

【 0 0 2 3 】

マイクロサンプル 6 を摘出された検査用ウェーハ 1 4 は、摘出穴を Ar イオンビームによるデポジションで酸化膜を埋めこむ。その後、ウェーハ 1 4 は再び上記残されたロット 1 3 に組み込まれ、次の N + 1 番目のプロセス 1 2 に投入される。N + 1 番目のプロセスでは、このウェーハ 1 4 に、別の第 2 の膜が形成される。一方、ウェーハから摘出したマイクロサンプル 6 は、GaFIB を照射するイオンビーム装置 1 8 に送られる。ここでマイクロサンプル 6 は、GaFIB により薄膜化され TEM 観察用試料に加工される。透過電子顕微鏡 1 9 では、膜形成界面等の試料構造の詳細な観察や元素分析が行われる。

20

【 0 0 2 4 】

以上のように、N 番目のプロセス 1 1 から N + 1 番目プロセス 1 2 に至る間に、解析用のマイクロサンプル 6 が Ar イオンビームによって摘出され、ウェーハを Ga で汚染せず、さらに Ar イオンビームでは困難な TEM 試料作製は、別のイオンビーム装置の GaFIB で行うことが大きな特徴である。また、検査によってマイクロサンプル 6 を摘出した加工領域を含む半導体デバイスは、N + 1 番目以降のプロセスは無効となり製品となることはないが、ウェーハ枚数は減少することはない。すなわち、N 番目のプロセスに投入するウェーハと N + 1 番目のプロセスに投入するウェーハ数は同じであり、マイクロサンプル 6 が取り出された領域以外で製造された半導体デバイスは良品であれば製品として製造数に貢献する。

30

【 0 0 2 5 】

次に、本発明におけるウェーハ対応イオンビーム加工装置 1 7 (図 1) の構成例を、図 4 に示す。

【 0 0 2 6 】

本ウェーハ対応イオンビーム装置 1 7 は、真空容器 4 1 を有しており、真空容器内には、Ar、ネオン、キセノン、クリプトン、酸素、窒素等のうち少なくとも一つの元素種のガスイオンを放出するデュオプラズマトロン 8 1、コンデンサレンズ 8 2、対物絞り 8 3、イオンビーム走査偏向器 8 4、対物レンズ 8 6 などから構成されるイオンビーム照射系が配置されている。さらに、プローブ 3、二次粒子検出器 3 6、デポガス源 3 7、試料台 3 9 および試料ウェーハ 4 2 の一部を摘出した微小な摘出試料を固定するサンプルキャリア (図示してない) などが配置されている。また、本装置を制御する装置として、デュオプラズマトロン制御装置 9 1、レンズ制御装置 9 2、イオンビーム走査偏向制御装置 9 3、マンピュレータ 4 3 を制御するマンピュレータ制御装置 9 4、二次粒子検出回路 9 6、デポガス源制御装置 9 7、試料台制御装置 9 5、および計算処理装置 9 0、などが配置されている。

40

【 0 0 2 7 】

本実施例では、デュオプラズマトロン 8 1 Ar ガスを導入し、Ar イオンビーム 8 5 を形成した。本イオンビーム照射系のビーム電流とビーム径の関係を、図 5 に示す。ここでイオンビーム 8 5 の加速電圧は 30 kV とした。また、デュオプラズマトロン 8 1 の光源サイズを決定するアパーチャ径は 50 μm とした。なお、図 5 中の各データ点は、対物絞り 8 3 の穴径に対する特性値を示す。この図には、従来 GaFIB 照射系の特性を併せて

50

示した。また、図5中の直線は、イオン電流密度一定の特性を表している。

【0028】

図5において、従来のGaFIBでは、数10nmのビーム径で電流密度が最大になっていることがわかる。これは、従来のFIBが加工も微細な観察が可能のように、ナノメータからマイクロメータのビーム径領域で性能を求められることに起因する。一方、Arイオンビームの特性は、マイクロサンプルを基板から摘出するのに好適なように数 μm に電流密度が最大となるようにした。ここで、試料上のビーム径は、光源の寸法をレンズ系によって試料上に集束する際の倍率によって決まる大きさ、および、レンズの球面収差や色収差などによって決まるビームのぼけ量によって決定される。

【0029】

ここで、従来のFIB照射系は、FIBによりマイクロサンプルを摘出する際に用いるように、サブマイクロメートルのビーム径のビームを作製した。このため、レンズ倍率をほぼ等倍にして、絞り穴径を大きくし数nA以上のビーム電流を得ていた。しかし、これにより収差によるぼけ量が拡大し、試料上のビーム径は光源サイズが約50nmに比較すると増大されていた。この照射系にデュオプラズマトロンを搭載すると、その光源サイズが50 μm であるために、試料上でイオンビーム径は小さくとも数10 μm となってしまい、とてもマイクロサンプルの摘出は不可能であった。

【0030】

そこで、本発明では、レンズ倍率を1/10以下の大幅な縮小として、さらにレンズ収差を低下させるため、対物レンズ先端と試料間距離を10mm以下にした。また、レンズの使用条件を制御することにより、試料上のビーム径が少なくとも光源よりも縮小できるようにしてビーム径数 μm に最適化した。これらにより、マイクロサンプルを摘出が可能なビーム性能を得ることができた。なお、本実施例のイオン照射系では、約0.2 μm から10 μm までのビーム径が得られているが、特に、図5中の楕円で囲んだ特性が、加工時間を数10分にできることから、マイクロサンプル摘出には好適である。

【0031】

また、本実施例で、デュオプラズマトロンの冷却をする際、冷却機構87のファンの振動がこのような微細ビーム形成には障害になることが判明した。これを防止するために、デュオプラズマトロンと冷却機構87の間に除振機構88を設けた。

【0032】

また、従来、Arイオンビームでクリーン化することが検討されていたが、ウェーハをプロセスラインに戻す際にイオンビームの質量分離器が検討されたことがなかった。しかし、今回、デュオプラズマトロンから放出されるイオンビームにはわずかながら鉄やクロムのイオンが混入することがわかり、これが、ウェーハを汚染して半導体デバイスの不良を発生させる可能性があることがわかった。そこで、本実施例では、これを防ぐため、イオンビーム照射系に質量分離器89を設け、Arイオンビームのみが試料に到達するようにした。

【0033】

Arイオンビームを用いたマイクロサンプル作製のための加工動作については従来とは異なり、イオンビーム径が比較的大きいことを考慮する必要がある。すなわち、従来のFIBのようにビーム径0.1 μm を使った微細な加工は困難であり、大まかな加工でマイクロサンプルを作製することが求められる。

【0034】

この方法は、図6に示すように、まず始めに、Arイオンビームを照射し目標位置の両外側に矩形穴301、302を試料2に形成する(ステップ(a))。これらの矩形穴の大きさは約4 \times 10 μm で深さは約10 μm とした。図に模式的に示すように矩形穴の角は、ビーム径が約3 μm と大きいために丸みがかかった形状となる。その後、図7に示すように、試料台を傾ける(ステップ(b))。次に、図8に示すように、Arイオンビームを試料表面に斜めから照射することにより、斜溝303を形成する(ステップ(c))。この斜溝の大きさは約20 \times 40 μm で深さは約12 μm とした。次に、図9に示すように

10

20

30

40

50

、試料台傾斜を戻し、プローブ3を、プローブ制御装置により制御し、マイクロサンプル6の一部に接触させる(ステップ(d))。その後、図10に示すように、接触させたプローブ3とマイクロサンプル6を、デポ膜4を用いて固定する(ステップ(e))。

【0035】

次に、図11に示すように、矩形穴304を試料2に形成することにより抽出試料6を基板から切り出す(ステップ(f))。次に、図12に示すように、プローブ3をプローブ駆動装置によって上昇させ抽出する(ステップ(g))。マイクロサンプル6を抽出した後は、図13に示すように、基板に取り出し痕305が残る(ステップ(h))。

【0036】

次に、図14に示すように、この切り出されたマイクロサンプル6をサンプルキャリア8に接触を行う(ステップ(i))。接触させた後、図15に示すように、デポ膜4を用いて両者を固定する(ステップ(j))。固定後、図16に示すように、プローブ3接続部にArイオンビーム85を照射し、スパッタ加工を行い、プローブ3をマイクロサンプル6から分離する(ステップ(k))。なお、図6~図16中の右図は、それぞれのAA'断面図である。

10

【0037】

マイクロサンプル6は、サンプルキャリア8に設置された状態で保持される。ウェーハ対応イオンビーム加工装置17の第2の試料台となるマイクロサンプル用試料台99を搭載しており、サンプルキャリア8はこの第2の試料台上に設置される。そして、マイクロサンプル用試料台99に設置されたまま、GaFIBを照射するイオンビーム装置18に、

20

【0038】

次に、イオンビーム装置18(図1)の構成と動作について、図17を用いて説明する。

【0039】

イオンビーム装置18は、真空容器41を有しており、真空容器内には、Gaを放出する液体金属イオン源32、ビーム制限アパーチャ33、イオンビーム走査偏向器34、およびイオンビームレンズ31などから構成されるFIB照射光学系35、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36、などが配置

30

【0040】

次に、本イオンビーム装置の動作について説明する。まず、液体金属イオン源32から放出したイオンをビーム制限アパーチャ33、イオンビームレンズ31を通して試料ウェーハ38に照射する。FIB1は、試料上で0.05から0.2 μm 程度に集束される。

【0041】

図8に、TEM用試料作製の様子を示す。図18の(a)から(b)へ、マイクロサンプル6の解析領域を薄膜化加工する。なお、図18の(c)は、(b)の鳥瞰図である。ここでは、最初は径0.2 μm のビームを用い、徐々に微細なビームを用い、最終目標の膜厚100nmの薄膜は0.05 μm のビームで形成した。このような、微細な加工は、上述したArイオンビーム加工装置17では困難である。本発明では、このようにして、Arイオンビーム加工装置17とイオンビーム加工装置18との連携により、TEM用試料の作製が行われる。

40

【0042】

本実施例によれば、ウェーハをプロセスに問題となる元素で汚染することなく、ウェーハから解析用サンプルを分離または分離準備する方法が提供され、さらにウェーハを評価のために無駄に廃棄せず、かつ検査のための試料を取り出したウェーハをプロセスに戻しても不良を発生させない新たな検査・解析方法が提供される。

【0043】

50

また、本発明による電子部品製造方法を用いることで、ウェーハ等の試料を割断することなく評価でき、新たな不良を発生させず、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。さらに、解析用サンプルを分離または分離準備する試料加工方法、検査・解析方法、および電子部品の製造方法を実現できるイオンビーム加工装置、イオンビーム加工システムを提供し得る。

【0044】

また、本実施例では、ウェーハ対応イオンビーム加工装置17での加工データ(情報)を、計算処理装置90(図4)からFIB計算処理装置66を介して、FIBイオンビーム加工装置18にオンライン伝送し、FIB加工を自動で行い作業効率を大幅に改善した。これは、本実施例では、微細な加工を行うため加工データが複雑となり、これを失敗無く行うためにはマイクロサンプル摘出の加工データの解析、および薄膜加工の自動設定が重要だったからである。また、ウェーハ対応イオンビーム加工装置17では、装置内に搬入されたウェーハを、表面に刻印された番号を画像認識により識別して計算処理装置90に伝達することを可能とした。この識別情報は、計算処理装置90からFIB計算処理装置66を介して、FIBイオンビーム加工装置18にオンライン伝送される。これにより、FIBイオンビーム加工装置18に搬送された試料片に対応する識別情報を管理でき、解析結果を正確にウェーハに対応させることができる。

10

【0045】

また、ウェーハ対応イオンビーム加工装置17とFIBイオンビーム加工装置18を一体化してシステムを構成しても良い。この場合には、ウェーハ対応イオンビーム加工装置17にはFIBイオンビーム加工装置18に試料を搬出するための開口部を有する。そして、その開口部はサンプルキャリア搬送装置と結合されている。したがって、マイクロサンプルはサンプルキャリアに設置したまま、搬送装置を介してFIBイオンビーム加工装置18に搬送される。

20

【0046】

なお、以上の実施例では、Arイオンビーム照射系とFIBイオンビーム照射系は別々の装置に組み込んだが、両者を同じ装置に組み込んでよい。この場合には、Arイオンビームによるマイクロサンプルの摘出が終了後、ウェーハをGaで汚染することを避けるためウェーハは装置から取り出すか、Gaの飛散などによる汚染の懸念がないようにする必要がある。この場合では、装置コストの大幅な低減が可能である。ただし、TEM試料作製のスループットは低下することになる。

30

【0047】

また、以上に述べた実施例では、ウェーハ対応イオンビーム装置でマイクロサンプルを取り出す方法を採用した例を述べたが、図3に示したようにウェーハ対応イオンビーム装置で、マイクロサンプルの分離の準備をして、ウェーハ対応イオンビーム装置からウェーハを取り出して、別の機構でマイクロサンプルを分離して摘出してよい。例えば、ウェーハから、大気中でガラス棒の静電気を利用して、マイクロサンプルを摘出する。このように、マイクロサンプルを装置内で分離しなくとも、マイクロサンプルの外形のほとんどをイオンビームによって加工して、分離準備する方法、装置およびシステムについても、本発明に含まれる。

40

【0048】

また、以上のように、ウェーハから解析用のマイクロサンプルを取り出すウェーハ対応イオンビーム装置ばかりでなく、同装置に取りつけられた電子ビーム照射装置から放出された電子ビームにより断面部などデバイス内部を観察して、デバイス解析をするウェーハ対応イオンビーム装置も、本発明によるイオンビーム装置に含まれる。

【0049】

また、以上に述べた実施例では、イオンビームサイズを表すのにビーム径を用いた。これはビーム形状が、ほぼ円形であり、ビームプロファイルが、図9に示すように表される場合である。なお、本実施例では、ビーム径とは、図9に示すように、ビームプロファイル強度の約37%の位置でのビーム幅とした。このような円形のビームに限らず楕円または

50

方形に近いビームでも、光源に比べそのサイズが小さくなるようにレンズを制御して、ビームサイズの最大幅を概略0.2から10 μm にすれば、本発明の目的は達成できる。

【0050】

また、以上に述べた実施例では、Arイオンビームをスポット状に集束した例を述べたが、イオンビーム照射系の途中に、ある形状の孔を持つマスクを挿入し、そのマスク形状を試料上に投影した成形ビームを用いる場合についても、本発明は適用され得る。

【0051】

図21に、この例の装置の概略構成図を示す。本イオンビーム加工装置は、真空容器41を有しており、真空容器41内には、Ar、ネオン、キセノン、クリプトン、酸素、窒素等のうち少なくとも一つの元素種のガスイオンを放出するデュオプラズマトロン81、コンデンサレンズ82、ステンシルマスク401、対物レンズ86などから構成されるイオンビーム照射系が配置されている。さらに、プローブ3、二次粒子検出器36、デポガス源37、試料台39および試料ウェーハ42の一部を摘出した微小な摘出試料を固定するサンプルキャリア(図示してない)などが配置されている。また、本装置を制御する装置として、デュオプラズマトロン制御装置91、レンズ制御装置92、マニピュレータ43を制御するマニピュレータ制御装置94、二次電子検出器の増幅器96、デポガス源制御装置97、試料台制御装置95、および計算処理装置74、などが配置されている。

【0052】

ここでは、デュオプラズマトロン81にArガスを導入し、イオンビームを引き出す。まず、このイオンビーム402をコンデンサレンズ82により対物レンズ86の中心近傍に集束させる。ここで、イオンビームは矩形の穴を有するステンシルマスク401を通過する。対物レンズ86は、ステンシルマスク401を試料上に投影する条件で制御する。すると、試料上には矩形の成形イオンビームが照射され、矩形の穴が加工される。この矩形穴を、図6~図16で示した加工に用いて、試料片を加工して、マイクロサンプルを分離または分離準備することができる。なお、ここでイオンビームの加速電圧は40kVとした。また、デュオプラズマトロンの光源サイズを決定するアパーチャ径は50 μm とした。

【0053】

本実施例では、イオンビームは概円形ではないため、図19で用いたビームスポット径の定義は使えないが、図20に示すように、成形イオンビームのビームプロファイルの裾でビーム強度の16%から84%までの距離をイオンビーム径と置き換えれば、これが光源サイズよりも小さくなるようにして、イオンビーム照射系を構成し、マイクロサンプルを摘出できるようにすればよい。

【0054】

また、以上に述べた実施例では、Arイオンビームを用いたが、他に窒素、酸素、ネオン、キセノン、クリプトンなどの元素、およびこれらの混合イオンビームでも同様な効果が得られるのは明らかである。

【0055】

以上のように、本発明によれば、ウェーハ等の試料をプロセスに問題となる元素で汚染することなく、ウェーハから解析用サンプルを分離または分離準備する方法が実現し、さらにウェーハを評価のために無駄に廃棄せず、かつ検査のための試料を取り出したウェーハをプロセスに戻しても不良を発生させない新たな検査・解析方法が実現される。また、本発明による電子部品製造方法を用いることで、ウェーハを割断することなく評価でき、新たな不良を発生させず、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。さらに、解析用サンプルを分離または分離準備する方法、検査・解析方法、および電子部品製造方法を実現できるイオンビーム装置が提供される。

【0056】

以下、本発明の代表的な構成例とその効果を列挙する。

【0057】

(1) 本発明のイオンビームによる試料加工方法は、元素種として不活性ガス種、酸素ま

10

20

30

40

50

たは窒素のうち少なくとも一つの元素種を含む第1のイオンビームを用いて、試料の一部を試料片に加工する工程と、前記加工された試料片を前記試料から分離する工程と、前記第1のイオンビームとは異なる第2のイオンビームを用いて、前記分離された試料片を加工する工程とを含むことを特徴とする。

【0058】

これにより、試料がプロセスで問題となるGaのような元素で汚染されることなく、試料から解析用サンプルを分離または分離準備する試料加工方法が提供される。

【0059】

(2) 本発明のイオンビームによる試料加工方法は、第1のイオンビーム加工装置内の第1のイオン源により、元素種として不活性ガス種、酸素または窒素のうち少なくとも一つの元素種を含む第1のイオンビームを生成する工程と、生成された前記第1のイオンビームを用いて試料の一部を試料片に加工する工程と、前記第1のイオンビームを用いて前記試料片を前記試料から分離する工程と、前記試料片を試料台に載置し保持する工程と、前記試料台に保持された前記試料片を第2のイオンビーム加工装置に搬送する工程と、前記第2のイオンビーム加工装置内の第2のイオン源により、前記第1のイオンビームの元素種以外の元素種を含む第2のイオンビームを生成する工程と、前記生成された第2のイオンビームを用いて前記試料片を電子顕微鏡用試料に加工する工程とを有することを特徴とする。

10

【0060】

これにより、試料がプロセスで問題となるGaのような元素で汚染されることなく、試料から解析用サンプルを分離または分離準備する試料加工に用いる。特に、第1イオンビーム加工装置と2のイオンビーム加工装置を連携して用いて電子顕微鏡用試料を加工する方法が提供される。

20

【0061】

(3) 本発明のイオンビーム加工装置は、イオン源と、前記イオン源から放出されるイオンビームを集束し偏向するための光学系と、前記イオンビームを照射し走査して試料の一部を試料片に加工する手段と、前記イオンビームにより加工された前記試料片を前記試料から分離するためのプローブとを有し、かつ、前記イオン源で生成される前記イオンビームは、元素種として不活性ガス種、酸素または窒素のうち少なくとも一つの元素種を含むことを特徴とする。

30

【0062】

これにより、試料がプロセスで問題となるGaのような元素で汚染されることなく、試料から解析用サンプルを分離または分離準備する試料加工方法に用いるイオンビーム加工装置が提供される。

【0063】

(4) 本発明のイオンビーム加工装置は、イオン源と、前記イオン源から放出されたイオンビームを成形用マスクにより成形し、集束・偏向するための光学系と、試料上に投影された前記成形イオンビームを走査して前記試料の一部を試料片に加工する手段と、前記成形イオンビームにより加工された前記試料片を前記試料から分離するためのプローブとを有し、かつ、前記イオン源で生成される前記イオンビームは、元素種として不活性ガス種、酸素または窒素のうち少なくとも一つの元素種を含むことを特徴とする。

40

【0064】

これにより、試料がプロセスで問題となるGaのような元素で汚染されることなく、試料から解析用サンプルを分離または分離準備する試料加工方法を実現するイオンビーム加工装置が提供される。特に、成形イオンビームを用いることにより高速に試料片加工ができるのに好適なイオンビーム加工装置が提供される。

【0065】

(5) 本発明のイオンビーム加工システムは、第1のイオン源と、前記第1のイオン源から放出される第1のイオンビームを集束し偏向するための光学系と、前記第1のイオンビームを照射し走査して試料の一部をマイクロサンプルに加工する手段と、前記第1のイオ

50

ンビームにより加工された前記マイクロサンプルを前記試料から分離するプローブと、前記マイクロサンプルを載置し保持するためのマイクロサンプル用試料台とを備え、かつ、前記第1のイオン源で生成される前記イオンビームが、元素種として不活性ガス種、酸素または窒素のうち少なくとも一つの元素種を含むようにした第1のイオンビーム加工装置と、前記第1のイオンビームとは異なる元素種の第2のイオンビームを生成する第2のイオン源を備えた前記第2のイオンビーム加工装置とを有し、分離した前記マイクロサンプルを、前記マイクロサンプル用試料台に保持したまま、前記第1のイオンビーム装置から前記第2のイオンビーム装置に搬送し、前記マイクロサンプルを前記第2のイオンビームを用いて加工するよう構成したことを特徴とする。

【0066】

これにより、試料がプロセスで問題となるGaのような元素で汚染されることなく、試料から解析用サンプルを分離または分離準備する試料加工方法が実現されるイオンビーム加工システムが提供される。特に、マイクロサンプル用試料台を用いることにより第1のイオンビームと第2のイオンビーム装置の連携がスムーズに行え、電子顕微鏡用試料を効率良く作製可能なイオンビーム加工システムが提供される。

【0067】

また、前記構成において、前記第1のイオンビーム加工装置で分離された前記マイクロサンプルに関する加工情報を、前記第2のイオンビーム加工装置へ伝送する伝送手段を設けてなることを特徴とする。

【0068】

これにより、試料がプロセスで問題となるGaのような元素で汚染されることなく、試料から解析用サンプルを分離または分離準備する試料加工方法が実現されるイオンビーム加工システムが提供される。特に、第1のイオンビーム加工装置で分離された前記マイクロサンプルに関する加工情報を、前記第2のイオンビーム加工装置へ伝送するため、第1のイオンビームと第2のイオンビーム装置の連携がスムーズに行え、電子顕微鏡用試料を効率良くかつ、歩留まり良く作製可能なイオンビーム加工システムが提供される。

【0069】

(6)本発明による電子部品の製造方法は、試料を加工して電子部品を形成する製造プロセスにおける任意の工程後に、前記試料の検査のため、元素種として不活性ガス種、酸素または窒素のうち少なくとも一つの元素種を含む第1のイオンビームを用いて、前記試料の一部を試料片に加工する工程と、前記加工された試料片を前記試料から分離する工程とを有し、前記試料片を分離した前記試料を、前記任意の工程の次の工程に戻して前記製造プロセスを継続するよう構成したことを特徴とする。また、前記試料片を前記第1のイオンビームの元素種とは異なる第2のイオンビームを用いて、前記試料片を電子顕微鏡用試料に加工する工程を有し、前記試料から摘出された前記試料片を検査・解析するよう構成したことを特徴とする。

【0070】

これにより、半導体デバイス等の歩留向上のために、途中の検査がウェーハ等の試料を割断することなく実施でき、さらに試料がプロセスで問題となるGaのような元素で汚染されることなく、試料から解析用サンプルを分離または分離準備する試料加工方法を用いた電子部品の製造方法が提供される。

【0071】

なお、上述した本発明の構成例のいずれかにおいて、上述の試料は、シリコン半導体ウェーハ、エピタキシャル成長シリコンウェーハ、基板に形成されたシリコン薄膜を有するウェーハ、化合物半導体ウェーハ、磁気ヘッド集積ウェーハのうちのいずれかであるとする。

【0072】

【発明の効果】

本発明は、半導体デバイス等の歩留向上のために、途中の検査がウェーハ等の試料を割断することなく実施でき、さらに試料がプロセスで問題となるGaのような元素で汚染され

10

20

30

40

50

ることなく、試料から解析用サンプルを分離または分離準備する方法を実現し、また、それを実現するイオンビーム装置またはシステムを提供できる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明による電子部品製造過程にかかわる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】従来の試料から微小試料を分離準備する方法を説明するための図。

【図 4】本発明の一実施例によるウェーハ対応イオンビーム加工装置を示す図。

【図 5】イオンビーム照射系のイオン電流 - ビームサイズ特性を示す図。

【図 6】本発明による微小試料を分離する方法のプロセス (a) を説明するための模式図

10

。

【図 7】本発明による微小試料を分離する方法のプロセス (b) を説明するための模式図

。

【図 8】本発明による微小試料を分離する方法のプロセス (c) を説明するための模式図

。

【図 9】本発明による微小試料を分離する方法のプロセス (d) を説明するための模式図

。

【図 10】本発明による微小試料を分離する方法のプロセス (e) を説明するための模式図。

【図 11】本発明による微小試料を分離する方法のプロセス (f) を説明するための模式図。

20

【図 12】本発明による微小試料を分離する方法のプロセス (g) を説明するための模式図。

【図 13】本発明による微小試料を分離する方法のプロセス (h) を説明するための模式図。

【図 14】本発明による微小試料を分離する方法のプロセス (i) を説明するための模式図。

【図 15】本発明による微小試料を分離する方法のプロセス (j) を説明するための模式図。

【図 16】本発明による微小試料を分離する方法のプロセス (k) を説明するための模式図。

30

【図 17】本発明の一実施例に用いるイオンビーム加工装置を示す図。

【図 18】本発明による微小試料を分離した後、透過電子顕微鏡用試料を作製する方法を説明するための模式図。

【図 19】本発明によるアルゴンイオンビームの強度プロファイルを示す模式図

【図 20】本発明によるアルゴンイオンビーム (成形イオンビーム) の強度プロファイルを示す模式図。

【図 21】本発明によるウェーハ対応イオンビーム加工装置の別の例を示す図。

【符号の説明】

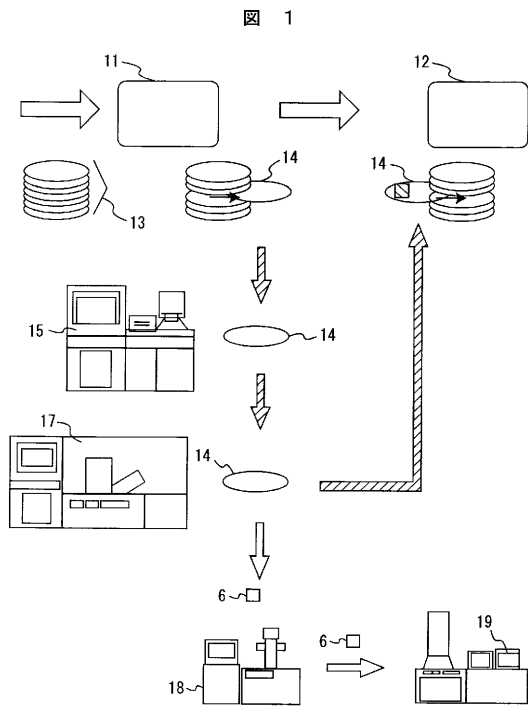
1 ... F I B、2 ... 試料、3 ... ブローブ、4 ... デポ膜、5 ... デポガス、6 ... マイクロサンプル、7 ... 薄膜部、8 ... サンプルキャリア、11 ... N 番目のプロセス、12 ... N + 1 番目のプロセス、13 ... ロット、14 ... 検査用ウェーハ、15 ... 検査電子顕微鏡、17 ... ウェーハ対応イオンビーム装置、18 ... イオンビーム装置、19 ... 透過電子顕微鏡、31 ... イオンビームレンズ、32 ... 液体金属イオン源、33 ... ビーム制限アパーチャ、34 ... イオンビーム走査偏向器、35 ... F I B 照射光学系、36 ... 二次粒子検出器、37 ... デポ源、41 ... 真空容器、42 ... 加工穴、63 ... 二次粒子検出回路、65 ... F I B 制御装置、66 ... F I B 計算処理装置、74 ... 計算処理装置、81 ... デュオプラズマトロン、82 ... コンデンサレンズ、83 ... 対物絞り、84 ... イオンビーム走査偏向器、85 ... アルゴンイオンビーム、86 ... 対物レンズ、87 ... 冷却機構、88 ... 除振機構、89 ... 質量分析器、90 ... 計算処理装置、91 ... デュオプラズマトロン制御装置、92 ... イオンビームレンズ制御装

40

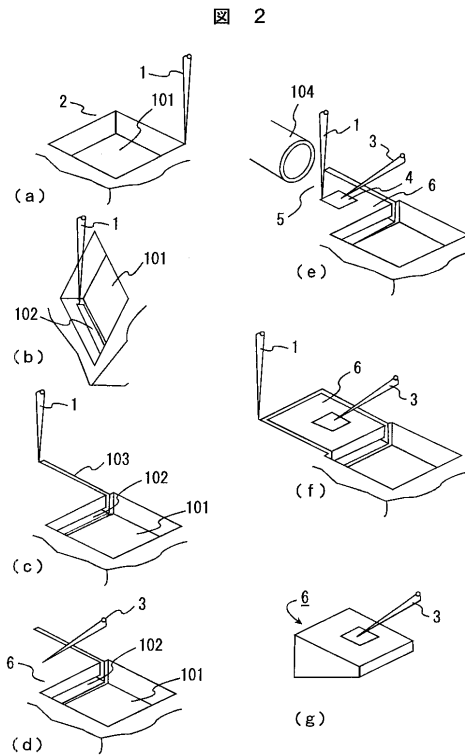
50

置、93...イオンビーム走査偏向制御装置、94...マニピレータ、95...試料台制御装置、96...二次粒子検出回路、97...デポガス源制御装置、98...質量分離器制御装置、99...マイクロサンプル用試料台、101...角穴、102...底穴、103...切り欠き溝、104...ガスノズル、201...ウェーハ、202...薄膜、203...試料薄膜、204...TEM試料ホルダ、301...矩形穴、302...矩形穴、303...斜溝、304...矩形穴、305...取り出し痕、401...ステンシルマスク、402...イオンビーム。

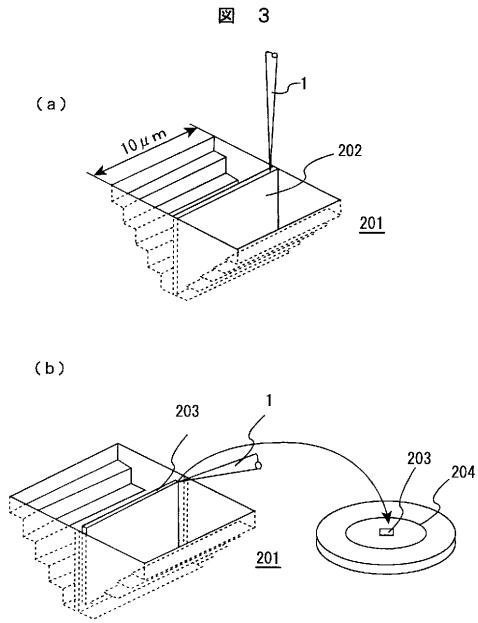
【図1】



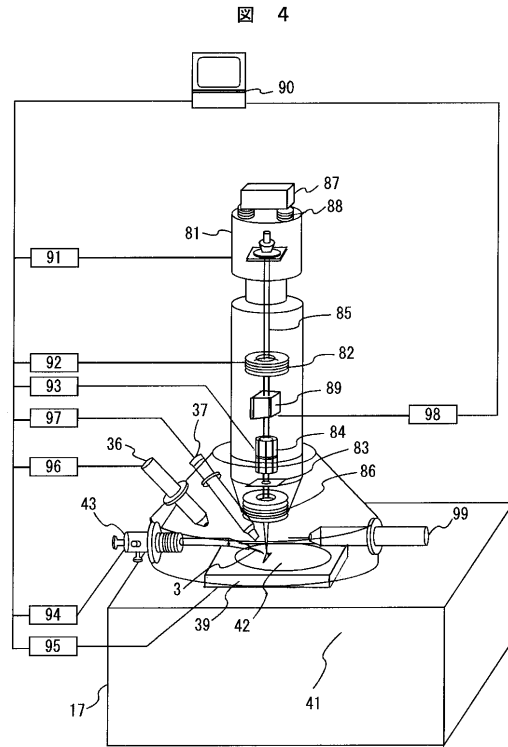
【図2】



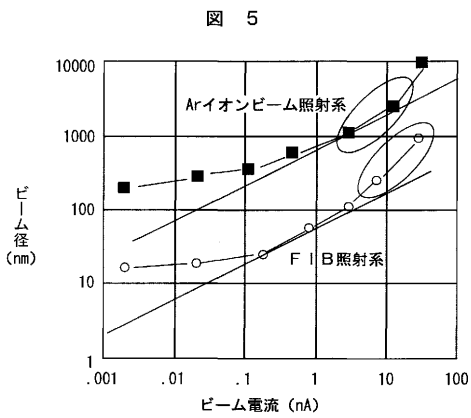
【 図 3 】



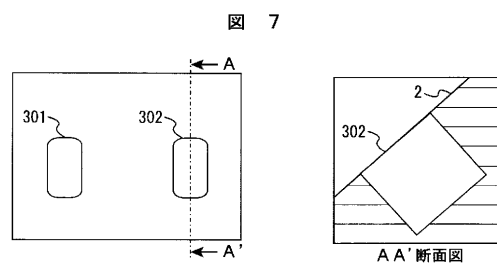
【 図 4 】



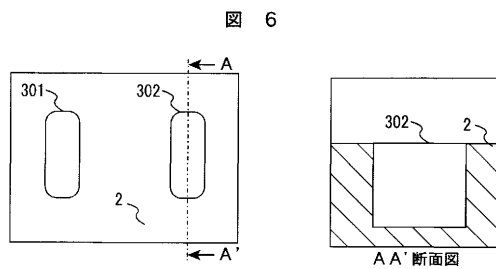
【 図 5 】



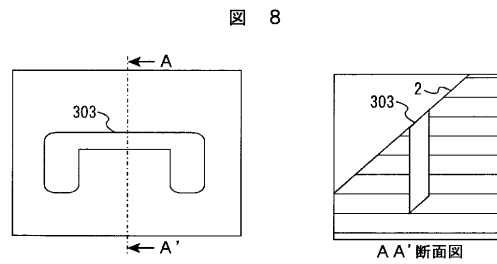
【 図 7 】



【 図 6 】

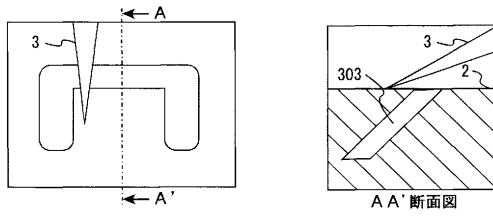


【 図 8 】



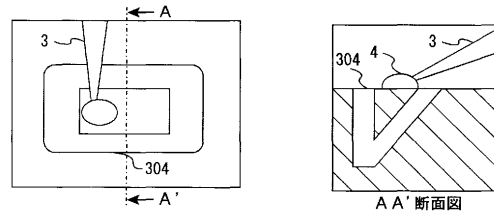
【图 9】

图 9



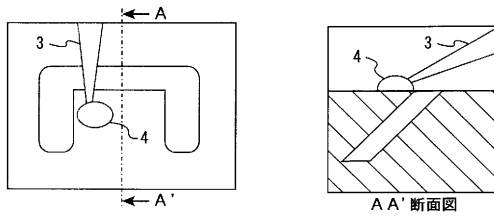
【图 11】

图 11



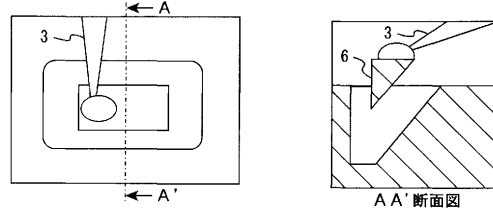
【图 10】

图 10



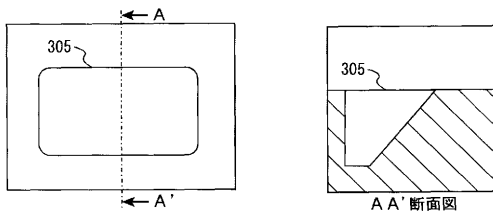
【图 12】

图 12



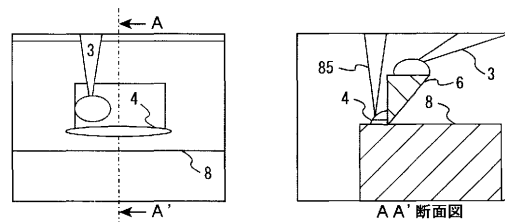
【图 13】

图 13



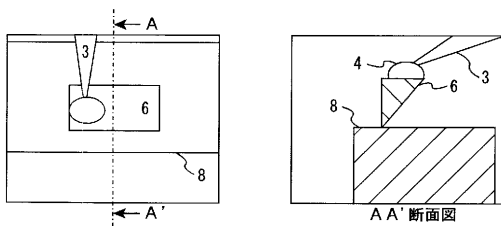
【图 15】

图 15



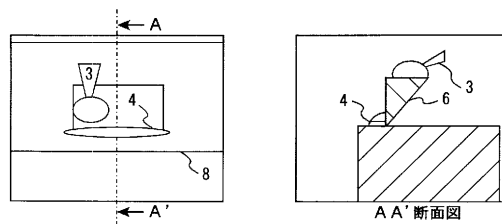
【图 14】

图 14

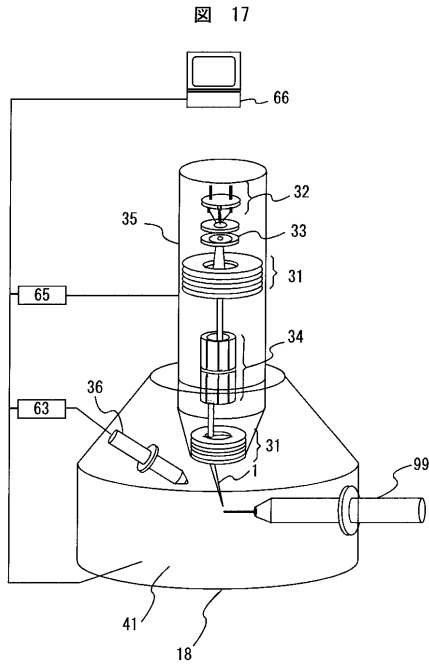


【图 16】

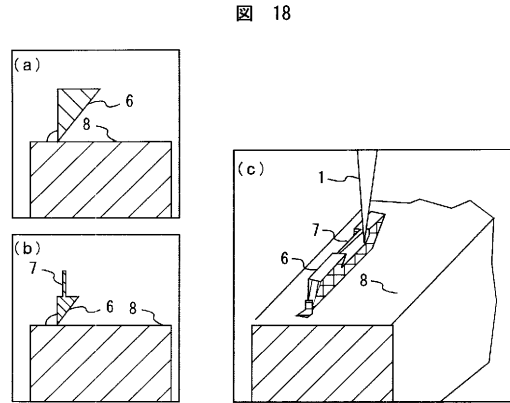
图 16



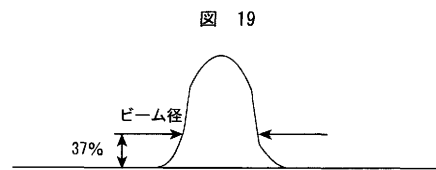
【図 17】



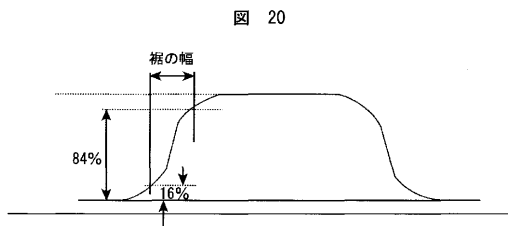
【図 18】



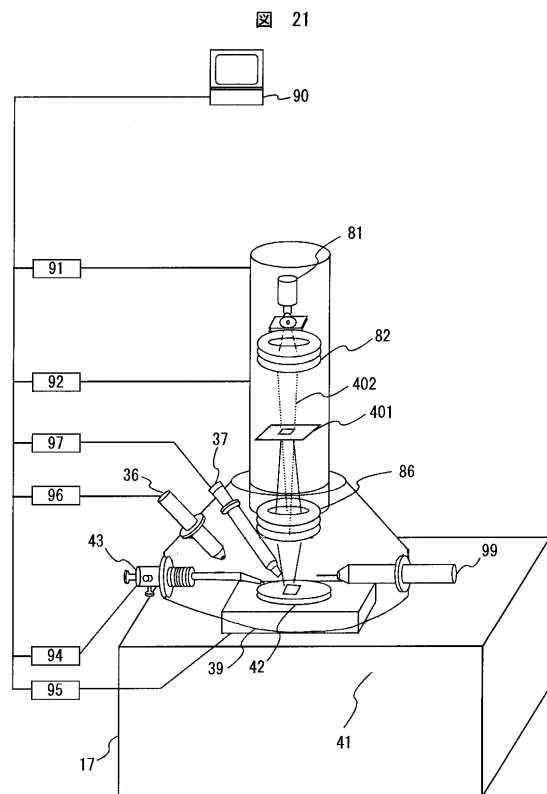
【図 19】



【図 20】



【図 21】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
H 0 1 J 37/30 (2006.01) H 0 1 J 37/30
H 0 1 J 37/317 (2006.01) H 0 1 J 37/317 D
H 0 1 L 21/66 (2006.01) H 0 1 L 21/66 N

(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

審査官 高 見 重雄

(56)参考文献 特開平07-320670(JP,A)
特開平05-052721(JP,A)
特開平02-065045(JP,A)
特開2002-141382(JP,A)
特開平08-212950(JP,A)
特開平07-161322(JP,A)
特開2001-345360(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 1/28
G01N 1/32
H01J 27/02
H01J 37/04
H01J 37/08
H01J 37/30
H01J 37/317
H01L 21/66