

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4137329号
(P4137329)

(45) 発行日 平成20年8月20日 (2008. 8. 20)

(24) 登録日 平成20年6月13日 (2008. 6. 13)

(51) Int. Cl.

F I

H O 1 L 21/027 (2006. 01)

H O 1 L 21/30 5 5 1

G O 3 F 7/20 (2006. 01)

G O 3 F 7/20 5 0 6

H O 1 J 37/317 (2006. 01)

H O 1 J 37/317 D

H O 1 L 21/302 (2006. 01)

H O 1 L 21/302 4 0 0

請求項の数 5 (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願2000-6122 (P2000-6122)
 (22) 出願日 平成12年1月11日 (2000. 1. 11)
 (65) 公開番号 特開2001-196292 (P2001-196292A)
 (43) 公開日 平成13年7月19日 (2001. 7. 19)
 審査請求日 平成16年8月23日 (2004. 8. 23)

(73) 特許権者 503460323
 エスアイアイ・ナノテクノロジー株式会社
 千葉県千葉市美浜区中瀬 1 丁目 8 番地
 (74) 代理人 100079212
 弁理士 松下 義治
 (72) 発明者 岩崎 浩二
 千葉県千葉市美浜区中瀬 1 丁目 8 番地 セ
 イコーインスツルメンツ株式会社内

審査官 多田 達也

(56) 参考文献 特開平09-245714 (JP, A)
 特開平09-260247 (JP, A)
 特開平07-142321 (JP, A)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 集束イオンビーム加工方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

試料上の基準点を参照し位置補正を行いつつイオンビームにより加工を進める集束イオンビーム加工において、径の細いビームで行なわれる精度を要求される微細な加工の際には位置補正を短い時間間隔で実行して加工を行うと共に、径の大きいビームで行なわれる精度を要求されない加工の場合には位置補正を長い時間間隔で実行して加工を行う集束イオンビーム加工方法。

【請求項 2】

イオンビームにより断面観察試料を加工する場合に、保護膜形成作業は中間時間間隔で、穴あけ粗加工は長い時間間隔で、前方穴から観察部近傍までの中加工は中間時間間隔で、最後の観察部仕上げ加工は短い時間間隔で位置補正を実行する請求項 1 に記載の集束イオンビーム加工方法。

【請求項 3】

位置補正を実行する時間間隔は、ビーム径毎に初期値を予め設定しておき、スタート時および加工切替時から該設定時間で補正を実行し、次回の位置補正タイミングはその時の時間間隔に補正量を加味して算出して実行する請求項 1 に記載の集束イオンビーム加工方法。

【請求項 4】

補正量がビーム径より大きいときは補正時間間隔を短くし、ビーム径より小さいときは補正時間間隔を長くする算出法を採用した請求項 3 に記載の集束イオンビーム加工方法。

【請求項 5】

試料上の基準点を参照し集束イオンビームの位置補正を行いつつ加工を進める集束イオンビーム加工方法において、精度を要求される加工に比べて、比較的精度を要求されない加工の場合には、より太いビーム径の集束イオンビームを用いると共に、位置補正をより長い時間間隔で実行して加工を行なう集束イオンビーム加工方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、集束イオンビーム装置を用い半導体素子やその製造に用いるフォトマスク等の加工において、精密な加工を実現するために行われる位置補正、すなわちポイントドリフト修正方法に関するものである。

10

【0002】

【従来の技術】

基板表面にパターン膜が形成されている試料表面上に、集束イオンビームを所定の位置領域にビームを繰返し走査して照射し、該パターン膜をエッチング除去したり、基板上のパターン加工所定領域にガス銃により有機化合物蒸気を吹きつけると共にイオンビームを照射してパターン膜を形成させたりといった加工を施す際に、試料に対して照射されるイオンビームの位置が正確であることが求められる。ところが集束イオンビームを用いて微細な加工を行う場合、イオンビーム光学系や試料を載置するステージなどの安定性や、試料表面の電位や温度などの環境条件の変化によって試料に照射するイオンビームの位置がズレを生じてしまう。従来、正確な加工を実行するために試料面上の適当なパターンを参照パターンとして画像上に登録記憶しておき、繰返し加工の間任意時間毎に前記参照パターンを検出し記憶位置とズレがある時はその分ズレ量を修正して加工を進める方法がとられていた。

20

【0003】

このイオンビーム加工を実行する集束イオンビーム装置の主要構成を図5に示す。図示していないイオン光学系を経て集束されたイオンビームは、走査電極1によって適宜に偏向され試料ステージ3に載置された試料2表面に照射される。試料面にイオンビームが照射されると試料面から2次荷電粒子がたたき出されるのであるが、該2次荷電粒子はイオンビームが照射された部分の試料物質に依存する。このビーム照射によってたたき出された2次荷電粒子は検出器4によって捕捉され、その着目荷電粒子の量が検出される。この値はA/D変換器6でデジタル化され、コンピュータ8の記憶部にビーム照射を受けた個所のデータとして記憶される。コンピュータ8が所定量域のビーム走査を指定すると駆動系7を介して前記走査電極1にイオンビームを該当領域内の走査を実行するよう偏向電圧が印加される。この走査に基づき各ビームスポットによる2次荷電粒子の検出値を位置情報と共に記憶すると、コンピュータ8が指定した領域の走査画像が得られることになり、この画像は必要に応じてディスプレイ10に表示することができる。パターン膜をエッチング除去する作業は、操作部9よりの設定に基づきコンピュータ8がその加工領域へのビーム照射を駆動系7を介して前記走査電極1に適宜の偏向電圧印加することで実行される。また、基板上にパターン膜を形成させる加工は操作部9よりの設定に基づきコンピュータ8がパターン加工所定領域に駆動系7を介しガス銃5により有機化合物蒸気を吹きつけると共に、駆動系7を介して前記走査電極1に適宜の偏向電圧印加してイオンビームを該領域に照射して加工を施す。この種イオンビーム加工装置は上記の動作で加工を行うと共にその加工が位置ズレを起こさないように、加工途中繰返し前記の走査画像を得て参照パターンが当初位置からのズレ分を検知し、該ズレ分を補正する作業が実行されるのである。

30

40

【0004】

特公平5-4660号公報には適当な参照パターンが無い試料や参照パターンの認識精度を高めるために、イオンビームにより点状の加工を施しそれを基準参照点とする方法が開示されている。すなわち、図4に示したように集束イオンビームを走査しながら2次荷電粒子を検出して試料面画像を表示すると共に前記参照マーク(スタート時) M_0 を画像上の位置と

50

して記憶し、加工作業のためにイオンビームの走査範囲を限定して所定回数走査した後、再び走査画像を得て前記参照マーク（補正時） M_i を検出し前記記憶している参照マーク位置 M_0 と比較して参照マークの位置のズレ分を求め、そのズレ（移動量）に基づいてビーム位置認識を補正するものである。

【0005】

従来のこのイオンビーム加工について試料加工のサンプルとして、図4に示した半導体素子の観察断面を加工する作業にそって説明する。この加工作業は試料中の断面観察を実行したい所望箇所（図面中仕上げ加工の領域▲4▼部分）が特定されると、その箇所から適当な距離離れた箇所に基準とする参照マークMをまずエッチングによってつけてから、前記観察断面部を含む近傍に保護膜を形成させるデポジションという作業▲1▼が行われ、続いて観察断面の前方部に大きな穴を空ける粗加工▲2▼が行われ、続いて該大きな穴から観察断面部にかけて穴を広げる中加工▲3▼が行われ、最後に観察断面部を研磨する仕上げ加工▲4▼が実行され一連の加工を終える。この間試料とイオンビームとの位置関係が一定に保たれるならば、精度のよい加工ができるのであるが、この加工は前述したように加工途中に微小な位置ズレを伴うものである。したがって、加工途中に加工を中断し走査画像を得て前記参照マーク M_i が当初画像位置 M_0 と比較してズレを検知したならば、そのズレ分をコンピュータ8内で修正処理し、走査電極に印加される電圧を補正することで位置補正がなされる。位置補正量が大きい場合は試料ステージ3を移動させて修正するが、この加工途中の位置ズレは一般には微小であり、上記したように走査電極の駆動調整で補正する。この位置補正タイミングは従来は図3に示したように一定時間間隔で行われるのが一般的である。精度のよい加工を行うためには参照マーク（基準点）Mの位置確認を頻繁に行わなければならないのであるが、頻繁に実行するとその分画像処理時間が増え加工時間が長くなってしまいうという問題が生じている。加工時間短縮と加工精度の向上とは相両立しない事柄となっている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

本発明の課題は、上記の問題を解決すること、すなわち試料上の基準点である参照マークを参照しつつイオンビームにより加工を進める集束イオンビーム加工方法において、基準点確認に多くの時間をとられることなく、微細な加工を精度よく仕上げることができる加工方法を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】

本発明の集束イオンビーム加工方法は、試料上の基準点を参照し位置補正を行いつつイオンビームにより加工を進める集束イオンビーム加工において、径の細いビームで行なわれる精度を要求される微細な加工の際には位置補正を短い時間間隔で実行して加工を行うと共に、径の大きいビームで行なわれる精度を要求されない加工の場合には位置補正を長い時間間隔で実行して加工する。

イオンビームにより断面観察試料を加工する場合には、保護膜形成作業は中間時間間隔で、穴あけ粗加工は長い時間間隔で、前方穴から観察部近傍までの中加工は中間時間間隔で、最後の観察部仕上げ加工は短い時間間隔で位置補正を実行するようにした。

また、位置補正を実行する時間間隔は、ビーム径毎に初期値を予め設定しておき、スタート時および加工切替時から該設定時間で補正を実行し、次の位置補正タイミングはその時の時間間隔に補正量を加味して算出して実行するようにした。

更には、上記加工方法において補正量がビーム径より大きいときは補正時間間隔を短くし、ビーム径より小さいときは補正時間間隔を長くする算出法を採用した。

【0008】

【発明の実施の形態】

本発明は、イオンビーム加工において位置補正を一定時間間隔で行なった場合、加工精度を確保することと、効率的な加工要求との狭間で位置補正タイミングは中途半端な設定になってしまうことに鑑み、一定時間間隔ではなく作業内容に応じた時間間隔で効率的に実

行することに想到したものである。それは一連の加工作業の中で例えば粗加工▲2▼は単に試料をチルトし観察断面に対し深い角度からのイオンビームが照射できるだけの穴を空ければよいものであり、緻密な加工を求められるものではない。従ってこの作業は試料の加工精度を気にせず大きなビーム電流で実行される荒い加工であって、この加工については、微細な位置ズレは問題にはならないので、この作業中の位置補正は長いタイミングで実行して無駄時間を少なくしようというものである。デポジションや中加工時の位置補正は中間程度のタイミングで実行し、仕上げ加工に際しては緻密な加工を要求されるので、その分頻繁に位置補正を実行する。この作業方法を図2に示す。この例は粗加工時の位置補正タイミングを4として、中加工とデポジションを2とし、仕上げ加工を1として実行したものである。粗加工は径の大きいビームによって行われ、中加工とデポジション時のイオンビーム径は中間、仕上げ加工は径の細かいビームで緻密に行われるのであるが、このビーム径はビーム電流の大きさに対応するものである。この位置補正のタイミングは作業手順にそって作業内容に対応させてコンピュータ8に設定されており、イオンビーム装置のスタート並びに加工切替時に初回補正が実行されると共に次回以降の位置補正はその作業の内容すなわちその時のビーム径（ビーム電流）に対応した時間間隔で実行されるものである。

10

【0009】

本発明は、位置補正タイミングを図3に示したような一定時間間隔ではなく作業内容に応じたタイミングで実行する。すなわち緻密な加工を求められるときには頻繁に位置補正が実行され、精度を要求されることのない荒い加工のときには位置補正作業を少なくしその分加工作業を進めることにより、加工に要する作業時間を比較的少なくしてかつ緻密で精度のよい加工を実行できる合理的な加工法である。また、本発明では単に加工の作業内容に対応するだけでなく、初期値として対応させた後は補正量が大きかったときは短い時間間隔で、また、小さかったときには長い時間間隔でというようにその都度の補正量を加味して補正タイミングを変化させることで、更に効率の良い補正を実行する加工法を提供する。

20

【0010】

【実施例】

本発明の実施例の1つを図1を参照しながら説明する。この例は基本的に加工の内容に対応させて位置補正を実行するタイミングを変えるものであるが、単純に加工内容に応じた位置補正時間間隔とするのではなく、加工内容に対応して設定された時間間隔で初期タイミングは決められるが、その後の補正タイミングは検知したズレ量を該加工内容に対応して設定された時間間隔に加味して変化させ位置補正を実行するものである。粗削り加工時のビーム電流は数nA～数十nAの大電流でおこなわれ、このビーム径は $\phi 0.5\mu\text{m}$ 程度であり、中加工時並びにデポジション時のビーム電流は数百pAの中電流でおこなわれ、その際のビーム径は $\phi 0.05\mu\text{m}$ 程度であり、また仕上げ加工時のビーム電流は数十pAの小電流でおこなわれ、その際のビーム径は $\phi 0.02\mu\text{m}$ 程度である。本実施例は加工に用いるイオンビームの径（これはイオン電流の値に対応する）に対応させて、スタート時並びに加工切替時にこの位置補正タイミングを初期値として、具体的には仕上げ加工時の補正タイミングは1min、中加工時並びにデポジション時は2minに、粗加工時は4minに設定しておくものである。そして、次の補正タイミング T_i はその時の時間間隔 T_{i-1} に補正值がイオンビーム径に比して大きいときには時間間隔を短くするように、小さいときには長くするように次式に基づいて修正するようにした。但し、初期値から著しく変化した時間設定にならないように、各々の時間間隔 T に、最大および最小値が設定できるようにしている。

30

40

$$T_i = T_{i-1} \times 2 / (1 + |\text{前回補正量} / \text{ビーム径}|) \cdots \cdots 1 \text{ 式}$$

【0011】

本実施例における補正回数とその補正值を下記の表1に示す。いま、試料上で観察断面位置が決められると、まずその周辺に保護膜形成の▲1▼デポジションが実行される。この作業は中電流で実行されるので位置補正タイミング初期値 $2T_0$ は仕上げ加工時 T_0 の倍に

50

当たる、すなわちこの実施例では $T_0 = 1 \text{ min}$ であるから 2 min とセットされる。

【表 1】

作業内容	補正回数 回	補正量 $\mu \text{ m}$	補正時間間隔 min
スタート	0	0	$2 T_0 = 2$
デポジション	1	+0.04	$2 T_0 \times 1.11 = 2.22$
切替時	2	-0.01	$4 T_0 = 4$
粗加工	3	-0.24	$4 T_0 \times 1.35 = 5.40$
同上	4	-0.17	$4 T_0 \times 2.01 = 8.04$
切替時	5	+0.01	$2 T_0 = 2$
中加工	6	0	$2 T_0 \times 2 = 4$
切替時	7	+0.03	$T_0 = 1$
仕上げ加工	8	-0.02	$T_0 \times 1 = 1$
同上	9	-0.03	$T_0 \times 0.8 = 0.8$
同上	10	-0.03	$T_0 \times 0.64 = 0.64$
同上	11	-0.02	$T_0 \times 0.64 = 0.64$
同上	12	-0.02	$T_0 \times 0.64 = 0.64$
同上	13	-0.02	$T_0 \times 0.64 = 0.64$
同上	14	-0.02	$T_0 \times 0.64 = 0.64$
同上	15	-0.02	$T_0 \times 0.64 = 0.64$

第 1 回目の位置補正はスタート後 $2 T_0 = 2 \text{ min}$ に実行される。そのときのズレ量は $+0.04 \mu \text{ m}$ (ベクトル量) であったのでその分だけのドリフト補正を施すと共に、次回補正までの間隔を上記 1 式により計算し、 $2 T_0 \times 2 / (1 + |0.04 / 0.05|) = 2 T_0 \times 1.11 = 2.22 \text{ min}$ を得る。これは補正值がビーム径 $0.05 \mu \text{ m}$ より小さい $0.04 \mu \text{ m}$ であったため、初期設定時間間隔より 1.11 倍長くなったのである。ところが、その補正タイミングまでの間に保護膜形成作業は終了し次の穴あけ加工の切替時期がくるので、第 2 回目の位置補正はその加工切替時に実行される。その際のズレ量は $-0.01 \mu \text{ m}$ であり、その分のドリフト補正がなされるが、次回の位置補正タイミングは粗加工時のビーム径に対応して設定された $4 T_0 = 4 \text{ min}$ となる。第 3 回目の補正ではズレ量が $-0.24 \mu \text{ m}$ であるので、その分のドリフト補正を施すと共に、次回補正までの間隔を上記 1 式により計算し、 $4 T_0 \times 2 / (1 + |0.24 / 0.5|) = 4 T_0 \times 1.35 = 5.20 \text{ min}$ を得る。すなわち第 4 回の位置補正は第 3 回補正時から 5.20 min の間隔で実行され、その際のズレ量は $-0.17 \mu \text{ m}$ となるのでその分のドリフト補正を施し、次回補正までの間隔を上記 1 式により計算し、 $4 T_0 \times 1.35 \times 2 / (1 + |0.17 / 0.5|) = 4 T_0 \times 1.35 \times 1.49 = 4 T_0 \times 2.01 = 8.04 \text{ min}$ を得る。しかし、第 5 回補正はその時間間隔を満了する前に、粗加工を終え中加工に入る切替タイミングを迎えるので、その切替時に実行され、その時点のズレ量 $+0.01 \mu \text{ m}$ のドリフトを補正し、第 6 回補正までの時間間隔を中加工時のビーム径に対応した $2 T_0 = 2 \text{ min}$ とする。そしてその第 6 回補正ではズレ量が 0 であるため、次回補正までの間隔を 1 式より $2 T_0 \times 2 / (1 + |0 / 0.05|) = 2 T_0 \times 2 = 4 \text{ min}$ を得る。しかし第 7 回補正はこのタイミング前に

くる仕上げ加工開始時に実行され、その際にズレ量 $+0.03\mu\text{m}$ を得る。この値はドリフト補正に用いられるが、次回補正時までの時間間隔計算には用いられず、第8回補正はその切替時点から仕上げ加工時のビーム径に対応した時間間隔 $T_0 = 1\text{min}$ を経過した時点で実行される。このときのズレ量が $-0.02\mu\text{m}$ であるから、そのドリフト分が補正されると共に第9回の位置補正実行タイミングを1式から $T_0 \times 2 / (1 + |0.02/0.02|) = T_0 \times 1 = 1\text{min}$ を計算して決める。第9回補正では、ズレ量が $-0.03\mu\text{m}$ であるから、そのドリフト分を補正すると共に第10回の位置補正実行タイミングを1式から $T_0 \times 2 / (1 + |0.03/0.02|) = T_0 \times 0.8 = 0.8\text{min}$ を計算して決める。第10回の補正はこの時点で実行され、ズレ量が $-0.03\mu\text{m}$ であるから、そのドリフト分を補正すると共に第11回の位置補正実行タイミングを1式から $T_0 \times 0.8 \times 2 / (1 + |0.03/0.02|) = T_0 \times 0.64 = 0.64\text{min}$ を計算して決める。この第11回目の補正はズレ量が $-0.02\mu\text{m}$ であるから、そのドリフト分を補正すると共に第12回の位置補正実行タイミングを1式から $T_0 \times 0.64 \times 2 / (1 + |0.02/0.02|) = T_0 \times 0.64 = 0.64\text{min}$ を算出する。この後第12回～第15回補正までズレ量はビーム径と同じ $0.02\mu\text{m}$ であるので同じ $T_0 \times 0.64 = 0.64\text{min}$ の時間間隔で順次実行され、第16回補正時前に仕上げ加工の終了時点がきて加工作業を終了する。

【0012】

【発明の効果】

本発明は、試料上の基準点を参照し位置補正を行いつつイオンビームにより加工を進める集束イオンビーム加工において、精度を要求される微細な加工の際には位置補正を短いタイミングで実行して高精度の加工を行うと共に、精度を要求されない加工の場合には位置補正を長いタイミングで実行する集束イオンビーム加工位置補正方法であるため、位置精度を高く要求されない加工時には長い時間間隔で位置補正を実行することにより無駄時間を無くし、反面位置精度を高く要求される加工時には短い時間間隔で頻繁に位置補正を実行することにより精度のよい加工を比較的少ない時間で効率的に実行できるものである。また、その時間間隔を単純に加工の作業内容に対応させて決めるのではなく、補正時の補正量を補正内容に対応した値に加味し、フィードバック制御するようにすれば、更に効果的なタイミングで補正を実行することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例を示す作動説明図。

【図2】本発明の基本作動を説明する図。

【図3】従来方法による作動を説明する図。

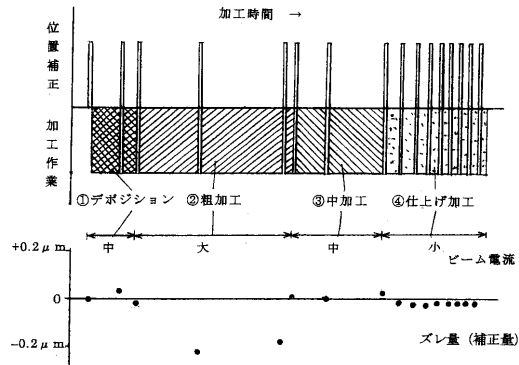
【図4】集束イオンビーム加工と位置補正を示す図。

【図5】集束イオンビーム装置の主要構成を示すブロック図。

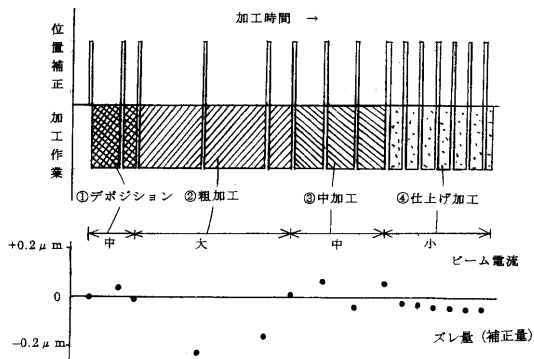
【符号の説明】

- 1 走査電極
- 2 試料
- 3 試料ステージ
- 4 二次荷粒電子検出器
- 5 ガス銃
- 6 A/D変換器
- 7 駆動系
- 8 コンピュータ
- 9 操作部
- 10 ディスプレイ
- M_0 参照マーク(スタート時)
- M_i 参照マーク(補正時)
- ▲1▼ デポジション
- ▲2▼ 粗加工
- ▲3▼ 中加工
- ▲4▼ 仕上げ加工

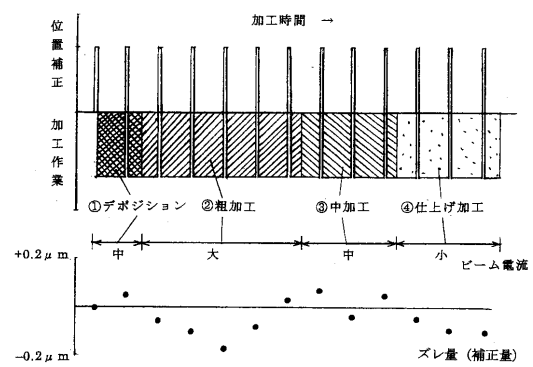
【図 1】



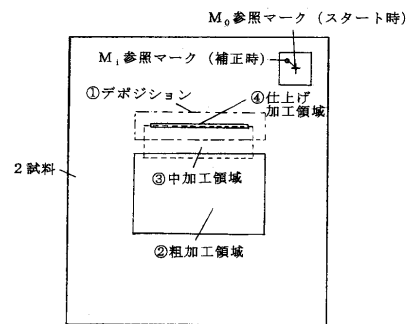
【図 2】



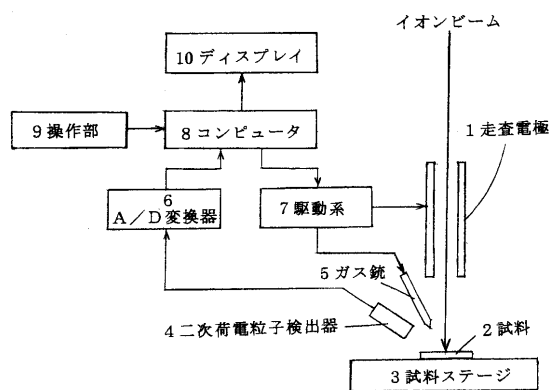
【図 3】



【図 4】



【図 5】



フロントページの続き

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/027

H01J 37/30 - 37/36 等