

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2002 年1 月31 日 (31.01.2002)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 02/08774 A1

(51) 国際特許分類: **G01R 31/28**, 1/06, G01N 1/28,
23/225, G01B 15/00, H01J 37/28, H01L 21/66

(21) 国際出願番号: PCT/JP01/04875

(22) 国際出願日: 2001 年6 月8 日 (08.06.2001)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願2000-222882 2000 年7 月24 日 (24.07.2000) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社
日立製作所 (HITACHI, LTD.) [JP/JP]; 〒101-8010 東京

都千代田区神田駿河台四丁目6番地 Tokyo (JP). 株式会社
日立超エル・エス・アイ・システムズ (HITACHI
ULSI SYSTEMS CO., LTD.) [JP/JP]; 〒187-8522 東京
都小平市上水本町五丁目22番1号 Tokyo (JP).

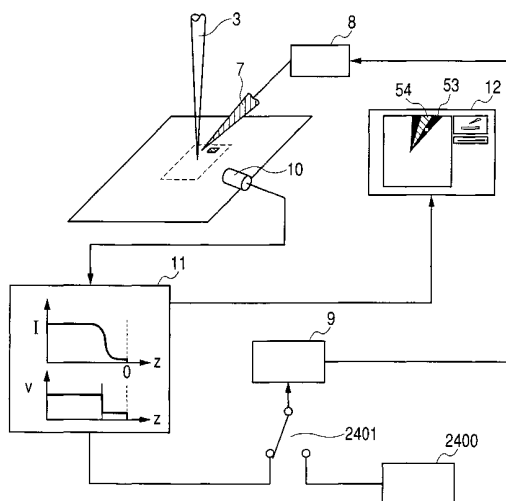
(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 富松 聡 (TOMI-
MATSU, Satoshi) [JP/JP]; 〒185-8601 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 Tokyo (JP). 小池英巳 (KOIKE, Hidemi) [JP/JP].
東 淳三 (AZUMA, Junzo) [JP/JP]. 石谷 亨 (ISHI-
TANI, Tohru) [JP/JP]; 〒312-8504 茨城県ひたちなか市
市毛882番地 株式会社 日立製作所 計測器グループ内
Ibaraki (JP). 杉本有俊 (SUGIMOTO, Aritoshi) [JP/JP];
〒198-0024 東京都青梅市新町六丁目16番地の3 株式
会社 日立製作所 デバイス開発センタ内 Tokyo (JP).
濱村有一 (HAMAMURA, Yuichi) [JP/JP]; 〒244-0817
神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株式会社 日

[続葉有]

(54) Title: PROBE DRIVING METHOD, AND PROBE APPARATUS

(54) 発明の名称: プローブ駆動方法及びプローブ装置



(57) Abstract: A probe driving method and a probe driving apparatus, which can bring a probe into safe and efficient contact with a sample surface by monitoring the probe height. The information of the height of the probe from the sample surface is obtained either by detecting a probe shadow (54) cast just before the contact with the sample, or from a change in the relative positions between the probe image and the sample image, as formed when obliquely irradiated with an ion beam.

(57) 要約:

プローブ高さをモニタして、安全かつ効率的に試料表面にプローブを接触させることのできるプローブ駆動方法及びプローブ装置である。プローブの試料表面からの高さ情報を、試料への接触直前に発生するプローブ影（54）の検出、あるいはイオンビームを斜照射するとき形成されるプローブ像と試料像との相対位置の変化から得る。



WO 02/08774 A1



立製作所 生産技術研究所内 Kanagawa (JP). 関原 雄 (SEKIHARA, Isamu) [JP/JP]; 〒187-8522 東京都小平市上水本町五丁目22番1号 株式会社 日立超エル・エス・アイ・システムズ内 Tokyo (JP). 嶋瀬 朗 (SHIMASE, Akira) [JP/JP]; 〒187-8588 東京都小平市上水本町五丁目20番1号 株式会社 日立製作所 半導体グループ内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 平木祐輔(HIRAKI, Yusuke); 〒105-0001 東京都港区虎ノ門一丁目17番1号 虎ノ門5森ビル3F Tokyo (JP).

(81) 指定国 (国内): CN, KR, US.

(84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

明 細 書

プローブ駆動方法及びプローブ装置

技術分野

本発明は、機械的プローブを試料表面に接触させるプローブ装置、例えば試料基板の特定領域を含む微小な試料片をイオンビームとプローブを用いて分離摘出して微小領域分析用の試料片作製や微小デバイスの作製を行う試料作製装置や、試料表面にプローブで電圧印加等を行い試料特性を測定する試料診断装置に関するものである。

背景技術

機械的プローブを用いて μm オーダーの微小な試料片を分離摘出する試料作製方法について、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』（文献1）に開示されている。この文献では、基板へのプローブ接触によるプローブ電位変化を走査イオン像（以下、SIM像という）の輝度変化として捉えることで、プローブの基板表面への接触を判定している。

また、機械的プローブを試料表面の特定位置に接触させ、プローブにより電圧を印加することにより試料の特性を測定する試料診断方法について特開平9-326425号公報『不良検査方法及び装置』（文献2）に開示されている。この方法について図26を用いて説明する。この方法は、4本のプローブ301, 302, 303, 304を試料表面上の電極305, 306, 307, 308にそれぞれ接触させ、プローブ間の電気特性を測定することで試料電気特性を得るものである。始めに、一次電子ビーム309により試料表面を走査し、二次電子検出器310で二次電子311を取り込むことで試料表面を観察しながらプローブ301, 302, 303, 304を電極305, 306, 307, 308上に移動させる。次に、プローブ301を電極305に接触させる。プローブ接触法は以下の通りである。接触直前をプローブ・試料間のトンネル電流検出又は原子間力検出により検知し、プローブ接近を一時停止する。その後、プローブを小さな速度で再接近させ、接触によりプローブを停止する。プローブの試料への接触は、プローブ電流モニタによる接触電流検知やエネルギーフ

イルタ付き二次電子検出器による電極305の電位変化モニタにより判定する。

μm やサブ μm オーダサイズの試料特定領域にプローブを接触させる際に留意すべきことの一つは、プローブや試料を損傷させないということである。このために上記文献1, 2に記載されているような接触検知技術が少なくとも必要になる。しかし、両者の破損を防ぐためにはプローブを停止する際に行き過ぎ量を小さくする更なる工夫が必要である。上記の文献1ではプローブ接触時の検知は可能であるが、接触するまでのプローブの試料までの距離が不明であり、上記理由で全体的にプローブ接近速度を小さくする必要があり、接触に長時間を要する。一方、上記の文献2ではトンネル電流や原子間力の検知により試料への接触直前を検知できるため、接触直前を検知した後は低速接近させるが、接触直前までの接近速度を大きく設定することにより短時間での接触が可能となる。

しかし、トンネル電流検知は試料が導電性である必要があり、接触領域が絶縁物や浮遊電極の場合には検知できない。また、原子間力検知の場合にはプローブを微小力検知用カンチレバーに作製する必要があり、作製が難しくコストがかかる。また、トンネル電流や原子間力検知の場合、検知までに試料に nm オーダまで接近することが求められるため、粗微動組み合わせによる複雑で精度の高いプローブ制御装置が必要である。また圧電素子を使用するためクリープ現象等により接触後の単一位置を保持するのが難しいという欠点がある。以上の理由のため、容易に可能な接触直前検知が必要とされる。

また、上記文献では試料表面と平行な平面内でのプローブ位置を観察像でモニタしているが、プローブと試料間の距離については接触直前の領域部しかモニタできていない。プローブ移動を安全に行うためには、更に任意の位置でのプローブと試料の間の距離を容易に検知できる手法が必要となる。

また、複数本のプローブを使用する場合には複数のプローブが互いに干渉しないように移動する必要があるが、上記文献には試料表面と平行な平面内で複数のプローブを移動させる方法について記載されていない。一般にいつて個々のプローブの3次元位置関係をモニタしながらの移動制御は難しい。このためプローブ間の干渉を容易に除ける移動手法が必要となる。

また、プローブの接触目標位置の直上への試料表面と平行な面内での移動について

は、従来は観察像をモニタしながらマニュアル的に行っているが、オペレータの負担を減らすためには自動で移動することが望まれる。このため、プローブ先端と接触目標の位置座標を自動的に検出して移動させる手法が必要となる。

従って、本発明の第1の目的は、容易なプローブ制御によりプローブと試料の損傷を抑制し、短時間での接触を実現できるプローブ駆動方法およびプローブ装置を提供することにある。第2の目的は、プローブと試料間の距離を認識でき、オペレータが容易にプローブを試料に接触可能なプローブ駆動方法およびプローブ装置を提供することにある。第3の目的は、プローブと試料の座標を自動認識し、試料の目的位置に自動で接触可能なプローブ装置を提供することにある。第4の目的は、プローブ接触による損傷を抑え、確実に摘出試料が作製可能な試料作製装置を提供することにある。第5の目的は、プローブを試料に確実に接触させ、試料特性をプローブにより正確に取得するプローブ装置を提供することにある。

発明の開示

前記目的を達成するため、本発明の一態様では、試料にプローブが接触する直前にSIM像に発生するプローブの影を検出することによって、試料表面に対するプローブの高さ情報を獲得し、その情報をもとにプローブの駆動速度や駆動距離を制御して安全かつ効率的に試料表面にプローブを接触させる。また、本発明の他の態様では、イオンビームの照射角度を変えたときSIM像に現れるプローブ像と試料像の相対位置の変化から試料表面に対するプローブの高さ情報を獲得し、その情報をもとにプローブの駆動速度や駆動距離を制御して安全かつ効率的に試料表面にプローブを接触させる。更に、本発明の他の態様では、予めプローブを試料表面に接触させて、その時のプローブ先端座標（試料面接触時のプローブ高さ位置情報）を計測・記憶しておき、試料の上方に位置する現在のプローブの高さ位置と比較することで正確なプローブの高さ情報を獲得し、その情報をもとにプローブの駆動速度や駆動距離を制御して安全かつ効率的に試料表面にプローブを接触させる。

すなわち、本発明の一態様によるプローブ駆動方法は、試料及びプローブに荷電粒子ビームを照射し、荷電粒子ビーム照射によって放出された2次粒子又は反射粒子を検出して得られるプローブ像を含む試料像をモニターしながらプローブを試料に接近

する方向に第 1 の速度で駆動する工程と、試料像中のプローブ像近傍領域の輝度の低下を検知したときプローブの駆動速度を第 1 の速度より小さな第 2 の速度に変更する工程と、を含むことを特徴とする。この方法によると、浮遊電極等の上でもプローブ接触の直前検知が可能である。

本発明の一態様によるプローブ駆動方法は、また、試料及びプローブに第 1 の角度から荷電粒子ビームを照射し、荷電粒子ビーム照射によって放出された 2 次粒子又は反射粒子を検出して得られるプローブ像を含む試料像上で、プローブの先端位置と試料上の特定位置との間の距離（第 1 の距離）を求める工程と、試料及びプローブに第 1 の角度と異なる第 2 の角度から荷電粒子ビームを照射し、荷電粒子ビーム照射によって放出された 2 次粒子又は反射粒子を検出して得られるプローブ像を含む試料像上で、プローブの先端位置と試料上の前記特定位置との間の距離（第 2 の距離）を求める工程と、第 1 及び第 2 の角度と第 1 及び第 2 の距離とに基づいて試料とプローブ間の距離を算出する工程と、算出された試料とプローブ間の距離に応じてプローブを試料の方向に駆動する工程と、を含むことを特徴とする。

本発明の一態様によるプローブ駆動方法は、また、試料に接触しているプローブの先端の試料表面と交差する方向の座標を予め計測手段で計測して記録する工程と、記録したプローブ先端座標と前記計測手段で計測した現在のプローブ先端座標からプローブと試料との間の現在の距離を求める工程と、求めた距離に応じてプローブの駆動距離と駆動速度を制御して前記プローブを試料に接触させる工程と、を含むことを特徴とする。

本発明の一態様によるプローブ装置は、試料を載置する可動の試料台と、試料に荷電粒子ビームを照射する荷電粒子光学系と、荷電粒子ビームの照射によって試料から放出された 2 次粒子又は試料から反射された反射粒子を検出する検出器と、試料表面に機械的に接触させるプローブと、プローブの駆動を制御するプローブ制御装置と、検出器による検出情報を画像として表示する表示装置と、検出器による検出情報を解析する検出情報解析装置とを含み、プローブ制御装置は検出情報解析装置の解析結果に基づいてプローブ駆動装置を制御することを特徴とする。

検出情報解析装置は画像中のプローブ近傍領域の輝度変化を検出する機能を有するものとすることができる。

プローブ制御装置は、プローブを試料方向に第1の速度で駆動中に検出情報解析装置がプローブ近傍領域の輝度の減少を検知したとき、プローブの試料方向への駆動速度を前記第1の速度より小さな第2の速度に変更する制御を行う。

また、プローブ制御装置は、プローブを試料方向に第1の速度で駆動中に検出情報解析装置がプローブ近傍領域の輝度の減少を検知したとき、プローブの試料方向への駆動速度を第1の速度より小さな第2の速度に変更し、プローブを試料方向に第2の速度で駆動中に検出情報解析装置がプローブ近傍領域の輝度の急激な増加を検知したとき、プローブの駆動を停止する制御を行う。

検出情報解析装置は、また、荷電粒子ビームをプローブ及び試料表面に対して異なる複数の角度から照射して得られる複数の画像におけるプローブの先端位置と試料の特定位置の座標を基にプローブと試料間の距離を算出する機能を有するものとすることができる。

プローブ装置は、試料の一部を分離した摘出試料を別の部材に移し変えるためのプローブと、摘出試料を固定する試料ホルダを保持する試料ホルダ保持具とを備えることができる。

表示装置には試料表面に対するプローブの距離の情報も表示することができる。

本発明の一態様によるプローブ装置は、試料を載置する可動の試料台と、試料に荷電粒子ビームを照射する荷電粒子光学系と、荷電粒子ビームの照射によって試料から放出された2次粒子又は試料から反射された反射粒子を検出する検出器と、検出器による検出情報を画像として表示する表示装置と、試料表面に機械的に接触させるプローブと、プローブの駆動を制御するプローブ制御装置と、予め前記プローブを試料に接触させて得られたプローブ先端座標を記録するプローブ基準座標記録装置とを含み、プローブ制御装置はプローブ基準座標記録装置の記録座標とプローブを接触させるべき試料上の座標を基にプローブの駆動距離と速度とを制御することを特徴とする。

本発明の一態様によるプローブ装置は、試料を載置する可動の試料台と、試料に荷電粒子ビームを照射する荷電粒子光学系と、荷電粒子ビームの照射によって試料から放出された2次粒子又は試料から反射された反射粒子を検出する検出器と、検出器による検出情報を画像として表示する表示装置と、試料表面に機械的に接触させる複数のプローブと、プローブを試料表面に平行に移動させる際にプローブ毎に互いに異な

る固有の試料表面までの距離範囲内で移動させるプローブ制御装置とを含むことを特徴とする。

また、複数のプローブと、プローブへの電圧印加又は試料の電気特性測定等の電気制御を行うためのプローブ電気制御装置を有する場合、プローブ電気制御装置が任意のプローブの電気制御をそれ以外の任意のプローブの電気制御と切り替えるプローブ間電気制御切替装置を有する構成とすると、プローブの対称性を確保できるためプローブ制御が容易になる。

図面の簡単な説明

図1は、本発明による試料作製装置の一例を示す構成ブロック図である。

図2は、プローブが試料表面から離れている時のSIM像を示す図である。

図3は、プローブが試料表面近傍にある時のSIM像を示す図である。

図4は、プローブが試料表面に接触した時のSIM像を示す図である。

図5は、モニタ領域輝度とプローブ-試料間距離と経過時間とプローブ接近速度の関係を示す図である。

図6は、試料表面に垂直な面内の二次電子引き込み電界を示す図である。

図7は、試料表面に平行な面内の二次電子引き込み電界を示す図である。

図8は、本発明装置による表示装置上のプローブ高さ表示例を示す図である。

図9は、本発明による二次電子情報解析装置の構成例を示す図である。

図10は、本発明装置によるプローブ制御を示す概念図である。

図11は、本発明装置を使用した摘出試料作製工程を示す図である。

図12は、本発明による微小機械作製のための部品組み立て例を示す図である。

図13は、本発明によるFIB θ 1斜照射でのプローブ・試料の位置関係を示す図である。

図14は、本発明によるFIB θ 1斜照射時のSIM像を示す図である。

図15は、本発明によるFIB θ 2斜照射でのプローブ・試料の位置関係を示す図である。

図16は、本発明によるFIB θ 2斜照射時のSIM像を示す図である。

図17は、本発明によるFIB斜照射の二次電子情報解析装置の構成例を示す図で

ある。

図 18 は、本発明によるプローブの目標位置直上への移動距離自動取得法を示す図である。

図 19 は、本発明による F I B 試料診断装置の構成例を示すブロック図である。

図 20 は、本発明による複数プローブの試料平行平面内の非干渉移動法を説明する図である。

図 21 は、本発明によるプローブ接触の手順を表すフローチャート。

図 22 は、本発明による F I B 試料診断装置による配線断線測定例を説明する図である。

図 23 は、本発明による電子ビーム試料診断装置の構成例を示すブロック図である。

図 24 は、本発明によるオープンループ制御によるプローブ・試料間距離把握手法を説明する図である。

図 25 は、本発明による予備接触を説明する図である。

図 26 は、従来の試料診断装置の構成説明図である。

発明を実施するための最良の形態

本発明をより詳細に説述するために、添付の図面に従ってこれを説明する。

<実施の形態 1>

図 1 は、本発明による集束イオンビーム (Focused Ion Beam : F I B) により微小な分析試料や微小なデバイスを作製する試料作製装置の一実施形態を示す構成ブロック図である。

分析される半導体ウエハや半導体チップ等の試料 4 は、可動の試料台 5 上に載置され、試料 4 の診断位置を特定するため試料台 5 の位置を制御する試料台制御装置 6 により位置決めされる。摘出試料を載置する摘出試料ホルダ 18 は、試料台 5 上の摘出試料ホルダ押え 17 で固定されている。プローブ電気制御装置 13 の制御により試料 4 への電圧供給や試料 4 の抵抗、電流測定等の素子の特性を検知するプローブ 7 は、プローブ制御装置 9 により制御されたプローブ駆動装置 8 により駆動される。

イオン源 1000 から放出されるイオンビームを試料 4 に照射するイオンビーム光学系 1 は、イオン源から放出されるイオンビームを所定の大きさに制限するビーム制

限アパーチャ1001と、イオンビームを集束させる集束レンズ1002と、試料上の所定の位置に偏向するための偏向器1003と、偏向されたビームを試料に照射させるために試料手前に配置された対物レンズ1004を備えており、イオンビーム制御装置2で制御される。試料4表面の像やプローブ7の像は、イオンビーム光学系1からのイオンビーム3を試料又はプローブに照射した際に発生する2次電子を2次電子検出器10で検出し、偏向器1003へ印加する走査信号に同期して表示装置12に輝度信号として入力することで、画像として表示される。このとき、2次電子情報解析装置11が後に詳しく説明するように2次電子情報中の特定の情報を識別することで、プローブ制御装置9を制御する。デポジションガス源（以下、デポ源と略す）14は、デポ源制御装置15により制御され、例えばタングステンカルボニルガスを試料4上に供給し、イオンビーム3を照射することで、照射部にタングステン膜を形成し、保護膜形成やプローブ7と摘出試料との接着や摘出試料と摘出試料ホルダ18との接着等を行う。

イオンビーム制御装置2、デポ源制御装置15、プローブ電気制御装置13、プローブ制御装置9、2次電子情報解析装置11、試料台制御装置6、表示装置12は計算処理部16により制御される。また、計算処理部16は、イオンビーム制御装置2、デポ源制御装置15、プローブ電気制御装置13、プローブ制御装置9、2次電子情報解析装置11、試料台制御装置6の機能を含んでパーソナルコンピュータやワークステーションで実現することも可能である。

次に、プローブ駆動法について図2～図5により説明を行う。ここでは、プローブの試料表面への接近、接触について説明する。図2、図3、図4は表示装置12に表示される2次電子像である。51はプローブ7を接触させるパッドであり、52は絶縁領域である。表示装置12に表示される観察像からは、プローブ7と試料4の間の距離は通常は直接認識できない。プローブ7の試料4表面への接触時の両者の損傷を抑えるためには、接触時のプローブ接近速度を小さくすることが望まれる。しかし、プローブと試料の間の距離が不明の場合には、プローブ移動全距離についてプローブ接近速度を小さくすることになり、プローブ接触作業に長時間を要する。ここで、接触直前を検知することができれば、距離に合わせたプローブの速度制御が可能となり、短時間で非損傷の接触が可能となる。本実施の形態では、この接触直前の検知にプロ

ープ7の影54を利用する。

本実施の形態では、正イオンFIB照射による2次電子信号を表示装置12で画像化している。この時、プローブ自身はプローブ電気制御装置13に接続されているため、FIB照射されても帯電を起こさない。しかし、接触パッド51が電氣的に浮いている場合には、パッド51が正に帯電する。なぜなら、正のイオンの入射と負の2次電子の放出が主プロセスとなるためである。このため、プローブ7が試料表面から充分離れた領域では、FIB照射によって試料から放出された2次電子は2次電子検出器に行く前に試料に引き戻される方向に力が働くため、2次電子信号、即ち表示装置12の輝度が図2のように暗く観察される。

プローブ7が試料表面に接近すると、プローブ近傍の試料4表面から発生する2次電子の2次電子検出器10への到達を更に遮蔽するため、図3に示されるように影54が観察される。この影54が観察される理由は以下の通りである。図6は、プローブ7が存在する場合の二次電子検出器10の引き込み電界を試料4表面に平行な方向から描いた模式図である。イオンビーム照射により試料表面のプローブ7から離れた位置83で生成された二次電子は、等電位面84で示される二次電子検出器10の引き込み電界により二次電子検出器10に引き込まれる。しかし、試料表面のプローブ7の下近傍の位置81で生成された二次電子は、二次電子検出器10の引き込み電界がプローブ7により遮蔽されるため二次電子検出器10に引き込まれ難くなり、SIM像では暗く表示される。図7は、プローブ7が試料表面に接近した時の電界を試料表面に垂直な方向から描いた模式図である。試料表面上のプローブ7から離れた位置83で生成された二次電子は、等電位面84で示される二次電子検出器10の引き込み電界により加速され、二次電子検出器10に取り込まれる。しかし、プローブ7が試料表面に接近していると、引き込み電界84がプローブ近傍に入り込み難くなるため、試料表面上のプローブ近傍の領域86や領域87の位置で生成された二次電子は、二次電子検出器10の方に加速され難いため二次電子検出器10で検出されず、二次電子像上では暗く影として表示される。図3の影54は、例えば、プローブ7が試料表面から20 μ m程度の距離まで接近すると出現する。

プローブ7が更に試料に接近し、プローブ7がパッド51に接触すると、パッド51の帯電がプローブ7から注入される電子により緩和されるため、図4のように観察

像上でパッド51の輝度が増加する。このため図2に示すように、表示装置12上で輝度モニタ領域53を例えばマウス等で指定し、その領域53の輝度をモニタすると、図5左上に示すような輝度変化となる。ここで、横軸はプローブのZ移動距離であり、縦軸は輝度モニタ領域53の輝度である。位置z1は図2に対応するプローブが試料から充分離れている領域内の位置、位置z2は図3に対応する影が観察される領域内の位置、位置z3は図4に対応する試料表面位置である。具体的距離の例としては、例えば位置z3から位置z1までは500 μm 程度、位置z3から位置z2までは10 μm 程度である。位置z3では、プローブ7が試料に接触することにより接触パッド51の帯電が緩和されるため、観察像上で輝度が急激に増加する。

ここで、プローブ電気制御装置13からプローブ7に試料4に対して正の電圧を印加すると、プローブ7が二次電子を引き込んでしまうため視野が全体的に暗くなり、プローブの影54が識別し難くなる。逆にプローブ7に試料4に対して負の電圧を印加すると、プローブ7がより明るく観察され、影54が識別し易くなる。

上記の現象を用いることで、図5右下に示すフローによりプローブの効率的な接触が実現できる。図5右下は、横軸がプローブ7の試料への接近開始からの時間を表し、それに対する輝度モニタ領域53の輝度Iの変化と設定するプローブ接近速度vの関係を示したものである。始め輝度Iが $I_s < I < I_c$ の領域では、プローブ接近速度vを高速(v_h)に設定し試料に接近させる。輝度モニタ領域53の輝度Iが減少し始め(t_1)、 $I < I_s$ になると同時に(t_2)プローブ接近速度vを低速(v_l)に変更する。そして接触により輝度Iが増加し、 $I > I_c$ になると、プローブ接近速度vを0に設定し停止する(t_3)。 I_s 、 I_c は、例えばプローブが試料表面から充分離れている領域Z1での輝度 $I(Z1)$ に対して、 $I_s = 0.8 \times I(Z1)$ 、 $I_c = 2 \times I(Z1)$ に設定される。以上のフローにより、短時間で且つプローブと試料を損傷しない接触が可能となる。また、輝度モニタ領域53の輝度変化が少ない場合には、図5左下に示すように、輝度Iの距離微分を取り、変化を強調すると位置情報を得る上で有効である。このため、この輝度Iの距離微分グラフを表示装置12に表示するとオペレータもプローブ位置を判断し易くなる。

上記例では説明し易くするために、接触パッド51が存在する場合についての例を用いたが、接触パッドが無い場合でもプローブの影54は観察されるため、プローブ

接触直前モニタが可能である。即ち、このフローでは対象試料が絶縁物の場合でも接触の直前を認識することが可能である。また、この方式はトンネル電流検出方式や原子間力検出方式と比較して試料表面からの距離が大きな段階で接触前を検知できるため、プローブのブレーキ精度をそれほど要求しない。従って、プローブ駆動装置やプローブ制御装置を安価に作製可能である。

また、試料が導電性の場合には、以下のフローによってプローブの試料への接触を安全に行うことができる。まず、プローブ7に高抵抗を介してバイアス電圧を印加しておく。プローブ7が試料4から遠く離れている場合には、プローブ近傍の輝度モニタ領域はプローブ7の影響を受けず、試料そのものの二次電子輝度を有する。プローブ7を試料4に接近させて行くと、図6、7で説明したとおり、プローブ近傍に二次電子検出器10の二次電子引き込み電界が入り込めないため、プローブ近傍の輝度モニタ領域の輝度が減少する。これにより、プローブ接近速度を小さくする。更にプローブ7が試料4に接近し、プローブ7が試料4に接触すると、プローブ7が高抵抗を介して試料電位まで下がるため、二次電子引き込み電界の遮蔽が緩和され、プローブ近傍の試料輝度が復活する。これを検知することで、プローブ7の試料4への接触を判別することができ、プローブの駆動を停止する。このように、試料が導電性の場合でも、本装置により効率的なプローブ接触を行うことが可能となる。

この輝度モニタ領域53における輝度Iの変化はプローブ7と試料間の距離に対応付けることが可能であるため、図8に示すように、表示装置12にプローブの試料表面からの高さ情報を表示することが可能となる。即ち、図8の表示画面3001にSIM像表示部3007とプローブ高さ表示部3002とプローブ試料間距離の表示部3003を子画面として表示することができる。プローブ高さ表示部3002には、試料表面を表す記号3005と、プローブを表す記号3004と、サイズを表示するサイズ表示バー3006が表示される。プローブ高さの具体的数値はプローブ試料間距離の表示部3003に表示され、これらの画面によってオペレータはプローブと試料の間の距離を直感的に認識することが可能である。

図9は、2次電子情報解析装置11の信号授受を説明する図である。イオンビーム制御装置2からの偏向器走査信号と2次電子検出器10からの2次電子輝度情報に基づいてSIM画像生成部21で生成された画像が表示装置12に表示される。ここで、

マウス等のポインティングデバイスにより輝度モニタ領域 5 3 (図 2～図 4 参照) を指定することにより、輝度モニタ位置座標をモニタ部輝度積算部 2 2 に設定し、その座標領域に相当する輝度信号を積算する。積算された輝度情報は、予め設定された比較輝度情報部 2 4 比較対象輝度 (図 5 の I_s , I_c 等) と輝度比較部 2 3 で比較され、高さ情報を得て、計算処理部 1 6 で適する接近速度を設定する。この結果信号を元に、図 5 で説明した通りプローブ制御装置 9 がプローブ 7 の駆動を制御する。輝度比較部 2 3 からの高さ情報は表示装置 1 2 に表示される。この装置構成により、効率的なプローブ制御が可能となる。

この全体の信号の流れを視覚的に示したものが図 1 0 である。F I B 3 の走査により生じる二次電子を二次電子検出器 1 0 を取り込み、輝度モニタ領域 5 3 の輝度を 2 次電子情報解析装置 1 1 で解析して輝度情報からプローブと試料の距離を算出する。算出結果はモニタ 1 2 に表示される。2 次電子情報解析装置 1 1 では更にプローブ試料間距離に適するプローブ駆動速度を算出し、プローブ制御装置 9 に速度指示を与える。この速度命令を受けたプローブ制御装置 9 はプローブ駆動装置 8 を制御してプローブ 7 を駆動し、効率的かつ安全な試料接触を可能とする。この時、切替えスイッチ 2 4 0 1 は 2 次電子情報解析装置 1 1 の方に接続されている。ここで、もし手動でプローブ接近を行う場合には、切替えスイッチ 2 4 0 1 をプローブ操作装置 2 4 0 0 の方に接続する。プローブ操作装置 2 4 0 0 は、例えば押しボタンやジョイスティックやマウス等の入力装置から構成される。切替えスイッチ 2 4 0 1 でプローブ操作装置 2 4 0 0 を選択した場合には、オペレータが表示装置 1 2 のプローブ高さ情報を認識して手動でプローブを操作することになる。また、例えば 2 次電子情報解析装置 1 1 が速度変更をすべき輝度あるいは輝度変化を検出したとき、インジケータやブザー等によりオペレータに知らせる機能を付加すると手動操作が容易となる。

図 1 1 は、本装置を利用した試料作製方法の一実施形態を説明する図である。

始めに、F I B 3 を照射して目標位置識別のためのマーク 4 0 3, 4 0 4 を形成し、その後その両外側に矩形穴 4 0 1, 4 0 2 を試料 4 に形成する (図 1 1 (a))。次に、F I B 3 により支持部 4 0 5 を残して矩形溝 4 0 6 を形成する (図 1 1 (b))。次に、図 1 の試料台 5 を傾けて F I B 3 を試料表面に斜めから照射することにより、斜溝 4 0 8 を形成し、試料 4 と一部の支持部 4 0 5 のみで接続された摘出試料 4 0 7

を形成する（図11（c））。試料台傾斜を戻し、プローブ駆動装置8をプローブ制御装置9により制御し、図5を用いて説明したプローブ駆動フローによりプローブ7を摘出試料407の一部に接触させる。この摘出試料の支持部405は後程FIBにより切断するわけであるが、プローブドリフト等を考慮した場合、短時間で切断することが望ましいため、支持部体積は小さくする必要がある。このため、プローブ7の接触により支持部405が破壊される恐れがあるため、上記プローブ制御法を使用して損傷をできるだけ抑えて接触させる。接触させたプローブ7と摘出試料407とをIBAD膜409を用いて固定する（図11（d））。次に、支持部405をFIB3で切断する（図11（e））。

こうして、試料4から摘出試料407を切り出し、プローブ7をプローブ駆動装置8によって上昇させ摘出する（図11（f））。次に、この切り出された摘出試料407を摘出試料ホルダ18に形成された溝411への接触を行う（図11（g））。このときの接触は、摘出試料407が破壊されたりIBAD膜409部で摘出試料407が外れて消滅してしまわないように充分小さな速度で接触させる必要があり、上記接触法が必要となる。ここで、摘出試料の摘出試料ホルダへの接近時にも、図3により説明したプローブの影54に対応する摘出試料の影が出現する。このため、摘出試料近傍の輝度モニタを行うことにより高さ認識が可能であり、プローブ接近速度を図5のように制御することが可能である。こうして接触させた後、IBAD膜412を用いて両者を固定する（図11（h））。固定後、プローブ7接続部にFIBを照射し、スパッタ加工を行い、プローブを摘出試料407から分離する（図11（i））。摘出試料407をTEM試料とする場合には最後に、再度FIB3を照射して、最終的に観察領域410を厚さ100nm以下程度に薄く仕上げ加工を施す（図11（j））。他の分析、計測の試料の作製に用いる場合、観察領域を薄く仕上げる加工は必ずしも必要ではない。

また、この手法により、分析試料の作製のみならず、デバイス作製も可能である。例えば、デバイス単位セルを作製した試料基板から、上記摘出試料407を摘出するフローを利用して単位セルを摘出し、別のデバイスの一部に移植することで新たなデバイスを作製することが可能となる。ここでも微小単位セルを破壊させずに摘出、搬送、固定を行う必要があるため、接触直前を検知可能な上記プローブ駆動法が有効で

ある。

また、微小機械の作製にも応用できる。例えば、図12に示すようにFIB加工やリソグラフィ技術を用いて基板に形成したミクロンオーダの微小機械の歯車部品151を上記摘出フローを利用して摘出し、軸受け152に差し込むことにより、微小部品を組み立てていくことが可能となり微小機械を作製できる。ここでも微小歯車部品151や軸受け152を破壊させずに摘出、搬送、固定を行う必要があり、上記プローブ駆動法が有効である。

<実施の形態2>

図13～図16により、プローブ・試料間距離モニタについて説明する。実施の形態1により試料表面の接触直前を識別する手法を説明したが、本実施の形態ではプローブの現在の試料までの距離を識別する方法について述べる。

図13は、FIB光学系のイオン放出部62とプローブ7と試料4の位置関係を示す模式図である。この時、表示装置12に表示される観察像が図14である。61は試料表面上の特定位置を示し、試料上の特徴ある構造でもよいが、本実施の形態ではFIB加工によるマーキングを用いている。ここで、図13に示すように光学系の光軸との為す角が θ_1 になるようにFIBを傾斜してプローブ7と試料4に照射して観察すると、観察SIM像では図14に示すようにプローブ7の先端とマーキング61の距離が d_1 に観察される。次に、図15に示すように図13の場合と逆側に角度 θ_2 だけFIBを傾斜させて観察すると、観察SIM像では図16に示されるようにプローブ先端とマーキング61の距離が逆側に d_2 として観察される。この2つの観察結果から、プローブと試料の間の距離 h は次式(1)のように表される。

$$h = (d_1 + d_2) \cdot \cos \theta_1 \cdot \cos \theta_2 / \sin(\theta_1 + \theta_2) \dots (1)$$

FIB傾斜角 θ_1 と θ_2 が等しく θ である場合には、式(1)は次式(2)のように単純になる。

$$h = (d_1 + d_2) / (2 \cdot \tan \theta) \dots (2)$$

ここで、偏向電圧 V とFIB傾斜角 θ の関係は、以下の通り求められる。装置により規定される偏向定数 C_d を、偏向量を x として、次式(3)のように定義する。

$$C_d = dV / dx \dots (3)$$

この時の偏向中心から試料面までの距離を L_w とすると、

$$Lw \cdot \tan \theta = x \quad \dots(4)$$

であるから、角度 θ_1 、 θ_2 に対応する偏向電圧をそれぞれ V_1 、 V_2 とすると、

$$\theta_1 = \arctan(V_1 / (Lw \cdot Cd)) \quad \dots(5)$$

$$\theta_2 = \arctan(V_2 / (Lw \cdot Cd)) \quad \dots(6)$$

であるため、 V_1 、 V_2 、 d_1 、 d_2 より、プローブと試料の間の距離 h が求められる。 $V_1 = V_2 = V$ ($\theta_1 = \theta_2 = \theta$) の場合には、

$$h = (d_1 + d_2) \cdot Lw \cdot Cd / (2V) \quad \dots(7)$$

であり、偏向電圧 V で偏向した時の距離 d_1 、 d_2 を計測することにより、プローブと試料の間の距離 h を求めることができる。

この求められた距離 h と、プローブと試料間の位置関係を、例えば図 8 に示すように表示装置 12 上の子画面としてリアルタイムで表示することにより、オペレータは現在のプローブと試料の間の距離を視覚的に認識することが可能となる。

以上では、距離認識性能を向上させるために FIB を光軸の両側に斜めに振った場合を説明したが、試料表面に垂直照射と片側斜め照射でも距離認識は可能であり、この場合には $\theta_2 = 0$ としたものと同一であり、垂直照射時のずれ量を d_2 とすれば、

$$h = (d_1 + d_2) / \tan \theta_1 \quad \dots(8)$$

であり、この時の偏向電圧が V_1 であれば、

$$h = (d_1 + d_2) \cdot Lw \cdot Cd / V_1 \quad \dots(9)$$

である。

上記により求められたプローブ試料間の距離は、実施の形態 1 で説明した通り図 8 で示される表示装置 12 に表示することでオペレータは直感的に認識可能となる。

図 17 は、この FIB 斜照射時の 2 次電子情報解析装置 11 の信号授受を説明した図である。イオンビーム制御装置 2 からの偏向器走査信号と 2 次電子検出器 10 からの 2 次電子輝度情報により SIM 画像生成部 21 により生成された画像が表示装置 12 に表示される。この SIM 像を元にプローブずれ量認識部 2501 により V_1 、 V_2 偏向時のずれ量 d_1 、 d_2 が得られる。この V_1 、 V_2 、 d_1 、 d_2 から間隙識別装置 2502 によりプローブ高さ h が算出される。この高さ h は表示装置 12 に表示される。このプローブ高さ h に適する速度をプローブ速度選択部 2503 が設定し、プローブ制御装置 9 に信号を渡す。

本実施の形態によると、現在のプローブと試料間の距離 h を検知できるため、試料台移動、プローブ移動時にプローブ7を試料4に衝突させないようにすることができる。また、複数本のプローブを使用する場合に、プローブ同士の干渉を除く点でも有効である。

＜実施の形態3＞

プローブ先端を試料表面に平行に移動させて、試料の目的位置の直上に移動するプローブ制御方法について、図18を用いて説明する。図18はSIM像であり、7はプローブ、73, 74はFIBで形成したマークであり、78はFIB加工穴である。75が摘出する摘出試料である。71はプローブ先端であり、これを摘出試料75のプローブ接続部72に接触させることがプローブ操作の目的である。76はプローブ先端部の参照画像であり、予めSIM像から取得しておく。71はプローブ先端位置である。77はプローブ接続部を識別するためのFIBマーク参照画像である。この76, 77を参照画像としてSIM像と画像照合を行うことにより、参照画像76中のプローブ先端位置に相当する位置がプローブ先端71の位置、参照画像77中のプローブ接続部位置に相当する位置がプローブ接続部72の位置として識別される。これにより現在のプローブ先端71とプローブ接続部72の試料表面平行面内のずれ量 L_x , L_y を取得することができる。このずれ量 L_x , L_y 分プローブ制御装置9がプローブ駆動装置8を駆動することにより、プローブ先端71をプローブ接続部位置72の直上に移動することが可能となる。この制御法を実行することで、プローブ先端を自動で目標位置に移動することができる。

＜実施の形態4＞

本発明を、FIB装置内でプローブを試料に接触させることにより、2次電子信号輝度分布やプローブで測定される電流電圧特性から試料の電気的特性を評価する試料診断装置に適用した実施の形態について説明する。

図19に試料診断装置の構成例を示す。診断される半導体ウエハや半導体チップ等の試料4は、可動の試料台5上に載置され、試料4の診断位置を特定するため試料台5の位置を制御する試料台制御装置6により位置決めされる。プローブ電気制御装置13の制御により試料4への電圧供給や試料4の抵抗、電流測定等を行う4本のプローブ801, 802, 803, 804（記載の関係上、図上では802, 803, 8

04はプローブ電気制御装置13と接続されていないように描かれているが、実際は接続されている)は、プローブ制御装置9により制御されたプローブ駆動装置805, 806, 807, 808(記載の関係上、図上では806, 807, 808はプローブ制御装置9と接続されていないように描かれているが、実際は接続されている)により駆動される。

試料4表面やプローブの観察は、イオンビーム制御装置2より制御されるイオンビーム光学系1からイオンビーム3を照射する際に発生する2次電子を2次電子検出器10で検出し、表示装置12に画像として表示することにより行う。このとき、2次電子情報解析装置11が2次電子情報中の特定情報を識別することで、プローブ制御装置9を制御する。デポ源14は、デポ源制御装置15により制御され、例えばタングステンカルボニルガスを試料4上に供給し、イオンビーム3を照射することで、照射部にタングステン膜を形成し、配線修正や電極パッド形成等を行うことができる。

イオンビーム制御装置2、デポ源制御装置15、プローブ電気制御装置13、プローブ制御装置9、2次電子情報解析装置11、試料台制御装置6、表示装置12は計算処理部16により制御される。また、計算処理部16は、イオンビーム制御装置2、デポ源制御装置15、プローブ電気制御装置13、プローブ制御装置9、2次電子情報解析装置11、試料台制御装置6の機能を含んでパーソナルコンピュータやワークステーションで実現することも可能である。

ここでは複数プローブの移動法について、図20により説明する。図20は、試料4とプローブ801, 802, 803, 804を試料4表面に平行な方向から見た位置関係図である。説明を簡略化するために、以下ではプローブと試料の間の距離をプローブ高さとして表現することにする。図20の様に複数のプローブが存在する場合には、任意のプローブが試料表面と平行な面内(以下、XY面内と略す)で移動する時に、それ以外のプローブと干渉しない様にする必要がある。プローブがFIB視野内に入っている場合には、実施の形態2のプローブ高さモニタを利用することにより、他のプローブと干渉しないことを確認することが可能であるが、FIBの視野外にプローブが存在する場合には、プローブの干渉状況の認識が難しい。特にプローブ表面の酸化等による電気特性測定への影響が無視できなくなる場合、プローブを消耗品として交換するため、プローブ駆動装置の絶対座標のみではプローブ先端位置の正確な高さ

を認識できないため、プローブの干渉状況認識は難しくなる。

プローブがF I B視野外にある場合でもプローブ同士の干渉を確実に防止するために、本実施の形態では、プローブ801をF I B視野外でX Y面内移動させる時は、プローブ高さを $h_1 \sim h_0$ の領域に限定して移動させる。同様にプローブ802は $h_2 \sim h_1$ 領域、プローブ803は $h_3 \sim h_2$ 領域、プローブ804は $h_4 \sim h_3$ 領域に限定して移動させる。プローブの試料への接触時は h_0 以下の範囲内に降下させる。すなわち、各プローブは各々固有の高さ（例えば、プローブ801の場合には $h_1 \sim h_0$ ）もしくは h_0 以下の領域のみに存在する。ここで、 h_0 、 h_1 、 h_2 、 h_3 、 h_4 は、プローブ構成部サイズとプローブ取り付け誤差余裕から決定される高さである。

このように、各プローブ毎にプローブのX Y面内移動の固有高さを設定することで、他のプローブと干渉せずに目的位置直上へ移動することが可能となる。目標位置の直上への移動後は、試料4にプローブを接近させ、 h_0 の領域で試料に接触させる。但し、X Y面内位置微調整のためのX Y面内微小移動については h_0 の領域で移動しても他のプローブと干渉する恐れはないため h_0 の領域で微小移動すればよく、必ずしも各プローブに割り当てられた固有高さまで一旦上昇してから移動する必要はない。このプローブ制御法により、複数本のプローブを同時に移動させる場合にも、プローブ間の干渉を排除することが可能となるため、短時間でのプローブ移動が可能となる。

ここで、上記手法を用いた接触フローの例を図21に示す。まず、試料台を移動して測定目標位置のF I B観察視野内への導入を行う（S11）。次に、上記プローブのX Y面内での非干渉移動法（図20参照）により以下のフローでプローブ801をF I B視野内に導入する。まず、「 $h_0 < (\text{プローブ801の高さ}) < h_1$ 」の判定を行い（S12）、この範囲外の場合（N）にはプローブ801が h_0 以下の領域に存在するためプローブ801を上昇させる（S13）。ここではプローブが試料に接近する方向を降下、離れる方向を上昇と呼ぶ。こうしてプローブ801が $h_0 \sim h_1$ の範囲に入る（Y）と、次にプローブ801のX Y面内移動によるF I B視野内導入を行う（S14）。

次に、図18で説明した参照画像によりプローブ先端位置と接触目標位置の座標を取得する方法を用いて、以下のフローでプローブ801を目標位置直上へ移動させる。

まず、画像照合による目標位置の座標検出により、目標位置座標 (X_{s1} , Y_{s1}) を取得する (S15)。次に、画像照合によるプローブ801の先端座標検出により、プローブ先端座標 (X_{p1} , Y_{p1}) を取得する (S16)。この2つの座標の差からXY面内移動量 (L_x , L_y) = ($X_{s1} - X_{p1}$, $Y_{s1} - Y_{p1}$) を算出する (S17)。次に、「XY面内移動量<許容誤差量 ($L_x < L_{xe}$, $L_y < L_{ye}$) (許容誤差量 (L_{xe} , L_{ye}) は予め設定)」の判定を行い (S18)、判定が (N) の場合には、プローブ801の面内移動 (L_x , L_y) を行う (S19)。こうしてプローブ先端位置を目標位置直上の誤差範囲内に移動する。

次に、プローブ801の接近速度：高速 (例えば1mm/秒) に設定する (S20)。次に、表示装置12上で試料表面が観察でき、且つプローブ輝度が飽和しないようにSIM像輝度調整を行い (S21)、図2に示すようにプローブ801近傍に輝度モニタ領域設定を行い (S22)、輝度モニタ開始する (S23)。次に、プローブ801接近開始し (S24)、「モニタ領域輝度 $I < I_s$ (I_s は予め設定した閾値輝度)」の判定を行う (S25)。判定が (N) の場合は高速のまま接近させ、モニタ領域輝度 $I < I_s$ になる (Y) と、プローブ801の接近速度：低速 (例えば $0.5 \mu\text{m}/\text{秒}$) に切り替えて接近させる (S26)。次に、「モニタ領域輝度 $I > I_c$ (I_c は予め設定した閾値輝度)」の判定を行い (S27)、判定が (N) の場合はそのまま接近させ、「モニタ領域輝度 $I > I_c$ 」になり (Y)、接触を検知するとプローブ801の接近を停止させる (S28)。

ここで再度、画像照合によるプローブ801の先端座標検出により、プローブ先端座標 (X_{p1} , Y_{p1}) を取得する (S29)。ここで、目標位置の座標検出 (S15) で取得した目標位置座標 (X_{s1} , Y_{s1}) との座標の差からXY面内移動量 (L_x , L_y) = ($X_{s1} - X_{p1}$, $Y_{s1} - Y_{p1}$) を算出する (S30)。次に、「XY面内移動量<許容誤差量 ($L_x < L_{xe}$, $L_y < L_{ye}$)」の判定を行い (S31)、判定が (N) の場合には、プローブ801の微量上昇を行った後 (S32)、プローブ801の面内移動 (L_x , L_y) を行う (S33)、再度プローブ801の接近速度：低速 (S26) からの接近を行う。こうして最終的に「XY面内移動量<許容誤差量 ($L_x < L_{xe}$, $L_y < L_{ye}$)」を満たす (Y) ことにより、プローブ先端の目標位置への接触が完了する。続いてSIMコントラストやプローブ電

流等による試料特性測定をプローブ電気制御回路 13 により行う (S34)。また複数本のプローブを利用する場合には 2 本目以降のプローブを上記プローブ 801 に置き換えて実行する (S35)。

以上のフローは、プローブ先端の参照画像の設定と接触目標位置の参照画像の設定と輝度モニタ位置の指定を予め行っておくことにより、すべて自動で行うことができる。このようにプローブの自動接触が可能となり、オペレータ負担を減らすことができる。

次に、本装置を用いて試料表面上にあるデバイス配線の断線部を特定する例について図 22 を用いて説明する。101 は測定デバイスであり、102 は試料表面上にある金属配線、103 は試料内部にある金属配線であり、図のように両者が接続プラグ 104 により接続されたチェーン構造である。ここで接続プラグ 105 が図のように断線している。

このデバイスに対してプローブ 801 を、上記フローにより電極パッド 106 に接触させる。ここで断線部より後の配線領域 107 は電氣的に浮遊しているため FIB 照射により帯電し、2 次電子像で暗く観察される。理由は以下の通りである。本実施の形態では照射 FIB としてガリウム正イオンを用いている。浮遊部に正イオン FIB が照射されると正電荷が注入される。また、このとき二次電子が放出されるため、浮遊部は更に正に帯電される。こうしてある程度正に帯電すると、放出された 2 次電子が浮遊電極の電位に引き戻されるようになり、2 次電子検出器での 2 次電子の捕獲効率が下がるため、2 次電子信号輝度が減少する。一方、プローブ 801 との導通が取れる配線領域 106 から 108 は電荷がプローブを介して放電されるため、2 次電子信号輝度の減少は生じない。このため断線した接続プラグ 105 の前後で 2 次電子輝度差が出るため断線部 109 を特定することができる。

更に後の断線部を特定するには、プローブ 802 を断線部後の金属配線 107 に同じく上記フローにより接触させることで、同様に次の断線部 110 を 2 次電子輝度差として特定することが可能となる。また、この時プローブ 801 とプローブ 802 の間に電圧印加を行い両者間に流れる電流を検出することで、断線部の抵抗を測定することも可能である。

ここで、プローブ 801, 802, 803, 804 はプローブ電気制御装置 13 に

より電圧印加や電流測定等を対称に切り替えることが可能であるようにすることで、どのプローブをどの電極に接触させても所望の測定が可能となるため、電圧印加用や電流測定用や接地用等各プローブに固有の役割を与える場合に対して、プローブ駆動の自由度が増し、容易に診断ができるようになる。

F I Bの代わりに電子ビーム制御装置 1 2 0 に制御された電子ビーム光学系 1 2 9 を使用することで、図 2 3 に示すような試料診断装置を実現することができる。診断される半導体ウエハや半導体チップ等の試料 4 は、可動の試料台 5 上に載置され、試料 4 の診断位置を特定するため試料台 5 の位置を制御する試料台制御装置 6 により位置決めされる。プローブ電気制御装置 1 3 の制御により試料 4 への電圧供給や試料 4 の抵抗、電流測定等を行う 4 本のプローブ 1 2 1, 1 2 2, 1 2 3, 1 2 4 (記載の関係上、図上では 1 2 2, 1 2 3, 1 2 4 はプローブ電気制御装置 1 3 と接続されてないように描かれているが、実際は接続されている) は、プローブ制御装置 9 により制御されたプローブ駆動装置 1 2 5, 1 2 6, 1 2 7, 1 2 8 (記載の関係上、図上では 1 2 6, 1 2 7, 1 2 8 はプローブ制御装置 9 と接続されてないように描かれているが、実際は接続されている) により駆動される。

電子源 1 2 0 1 から放出された電子ビームは、電子ビーム制御装置 1 2 0 で制御される電子ビーム光学系 1 2 9 を通って試料 4 に照射される。電子ビーム光学系 1 2 9 は、電子源 1 2 0 1 から放出される電子ビームを所定の大きさに制限するビーム制限アパーチャ 1 2 0 2、電子ビームを集束させる集束レンズ 1 2 0 3、および試料上の所定の位置に偏向するための偏向器 1 2 0 4 を備える。試料 4 表面の像やプローブ 1 2 1, 1 2 2, 1 2 3, 1 2 4 の像は、電子ビーム光学系 1 2 9 からの電子ビーム 1 3 0 を試料又はプローブに照射した際に発生する 2 次電子を 2 次電子検出器 1 0 で検出し、偏向器 1 2 0 4 へ印加する走査信号に同期して表示装置 1 2 に輝度信号として入力することで、表示装置 1 2 に画像として表示する。このとき、2 次電子情報解析装置 1 1 が 2 次電子情報中の特定の情報を識別することで、プローブ制御装置 9 を制御する。電子ビーム制御装置 1 2 0、プローブ電気制御装置 1 3、プローブ制御装置 9、2 次電子情報解析装置 1 1、試料台制御装置 6、表示装置 1 2 は計算処理部 1 6 により制御される。また、計算処理部 1 6 は、電子ビーム制御装置 1 2 0、プローブ電気制御装置 1 3、プローブ制御装置 9、2 次電子情報解析装置 1 1、試料台制御装

置 6 の機能を含んでパーソナルコンピュータやワークステーションで実現することも可能である。試料像やプローブ像の観察は、試料やプローブから反射される反射電子を反射電子検出器で検出し、反射電子検出信号を表示装置 1 2 に入力することによっても行うことができる。

但し、F I B 照射の場合と異なり、試料に照射する 1 次電子ビーム 1 3 0 も放出される 2 次電子も同じ負電荷であるため、試料表面の帯電状態は 1 個の入射電子に対する 2 次電子平均放出数を表す 2 次電子放出効率により異なる。即ち、2 次電子放出効率が 1 よりも小さい場合には負に帯電し、1 よりも大きい場合は正に帯電する。このため、F I B 試料診断装置で説明したように帯電により断線部を識別するためには 2 次電子放出効率が 1 と異なる条件で照射する必要がある。

この装置は、観察用の照射ビーム 1 3 0 が電子であるため、F I B の場合と異なり長時間照射しても試料を損傷しないという利点がある。このため、単一トランジスタのようなより微小な領域にプローブ 1 2 1, 1 2 2, 1 2 3, 1 2 4 をプローブ駆動装置 1 2 5, 1 2 6, 1 2 7, 1 2 8 により高精度に接触させる必要がある場合に有効である。

<実施の形態 5>

プローブの予備接触によりプローブ先端座標を記録してプローブ制御を行う手法について、図 2 4, 2 5 により説明する。装置の全体構成は図 1 と同様であり、図 2 4, 2 5 にはプローブ駆動装置 8 に関する部分のみを示す。

図 2 4 は、試料 4 表面に平行な方向から試料 4 とプローブ 7 の高さ関係を示した図である。1 4 1 はプローブ駆動装置の原点位置 ($z = 0$) を示す原点センサである。図 2 4 の状態では、プローブ駆動装置 8 自身は高さセンサ 2 5 0 0 により計測される z 方向のプローブ位置座標情報 z を有するが、この z とプローブ先端と試料間の距離 h の関係は分からない。このため、この z と h の関係を明らかにするために、プローブ 7 を実際に摘出試料の摘出や測定電極への接触に利用する前に予め図 2 5 に示すように試料 4 に接触させる。この接触は、上記のような 2 次電子信号輝度の変化や、導通経路が取れる場合には接触電流の検知等により確認する。プローブ 7 が試料 4 に接触した時のプローブ駆動装置の z 座標 z_0 をプローブ基準座標記録装置 2 5 0 1 が記録する。

一旦この確認がなされると、プローブ z 座標が z の場合にはプローブ高さ算出器 2502 によりプローブ高さ h を

$$h = z_0 - z$$

として常に認識することができる。ここではプローブ 7 が試料 4 表面に接近する方向に z 軸の正方向を取っている。プローブ高さを認識できることで、上記実施の形態で説明した試料作製装置や試料診断装置で実際に試料の摘出や測定電極への接触に利用する場合に、例えば $h = 10 \mu\text{m}$ になる z ($= z_0 - 10 \mu\text{m}$) まで高速にプローブ 7 を試料表面に接近させ、その後を小さな接近速度とすることで、試料やプローブの損傷を抑制し、正確なプローブ接触を短時間で行うことが可能になる。ただし、この手法の場合には、プローブ 7 をオープンループ制御することになるため、バックラッシュ等の機械的な誤差を含むため、それを考慮した余裕を z 軸誤差許容範囲として取る必要がある。この手法は、特に同一プローブの接触を複数回繰り返す試料診断装置において効率的である

産業上の利用可能性

本発明によると、プローブや試料の損傷を抑制し、自動でプローブ駆動を行うことができるため、試料作製やデバイス試料の電氣的診断等をオペレータの負担を軽減し効率的に行うことができる。

請 求 の 範 囲

1. 試料及びプローブに荷電粒子ビームを照射し、荷電粒子ビーム照射によって放出された2次粒子又は反射粒子を検出して得られるプローブ像を含む試料像をモニターしながら前記プローブを試料に接近する方向に第1の速度で駆動する工程と、

前記試料像中の前記プローブ像近傍領域の輝度の低下を検知したとき前記プローブの駆動速度を前記第1の速度より小さな第2の速度に変更する工程と、
を含むことを特徴とするプローブ駆動方法。

2. 試料及びプローブに第1の角度から荷電粒子ビームを照射し、荷電粒子ビーム照射によって放出された2次粒子又は反射粒子を検出して得られるプローブ像を含む試料像上で、前記プローブの先端位置と試料上の特定位置との間の距離（第1の距離）を求める工程と、

試料及び前記プローブに前記第1の角度と異なる第2の角度から荷電粒子ビームを照射し、荷電粒子ビーム照射によって放出された2次粒子又は反射粒子を検出して得られるプローブ像を含む試料像上で、前記プローブの先端位置と試料上の前記特定位置との間の距離（第2の距離）を求める工程と、

前記第1及び第2の角度と前記第1及び第2の距離とに基づいて試料と前記プローブ間の距離を算出する工程と、

前記算出された試料と前記プローブ間の距離に応じて前記プローブを試料の方向に駆動する工程と、

を含むことを特徴とするプローブ駆動方法。

3. 試料に接触しているプローブの先端の試料表面と交差する方向の座標を予め計測手段で計測して記録する工程と、

前記記録したプローブ先端座標と前記計測手段で計測した現在のプローブ先端座標から前記プローブと試料との間の現在の距離を求める工程と、

求めた距離に応じて前記プローブの駆動距離と駆動速度を制御して前記プローブを試料に接触させる工程と、

を含むことを特徴とするプローブ駆動方法。

4. 試料を載置する可動の試料台と、試料に荷電粒子ビームを照射する荷電粒子光学

系と、前記荷電粒子ビームの照射によって試料から放出された2次粒子又は試料から反射された反射粒子を検出する検出器と、試料表面に機械的に接触させるプローブと、前記プローブの駆動を制御するプローブ制御装置と、前記検出器による検出情報を画像として表示する表示装置と、前記検出器による検出情報を解析する検出情報解析装置とを含み、

前記プローブ制御装置は前記検出情報解析装置の解析結果に基づいて前記プローブ駆動装置を制御することを特徴とするプローブ装置。

5. 請求項4記載のプローブ装置において、前記検出情報解析装置は前記画像中のプローブ近傍領域の輝度変化を検出することを特徴とするプローブ装置。

6. 請求項5記載のプローブ装置において、前記プローブ制御装置は、前記プローブを試料方向に第1の速度で駆動中に前記検出情報解析装置が前記プローブ近傍領域の輝度の減少を検知したとき、前記プローブの試料方向への駆動速度を前記第1の速度より小さな第2の速度に変更することを特徴とするプローブ装置。

7. 請求項5記載のプローブ装置において、前記プローブ制御装置は、前記プローブを試料方向に第1の速度で駆動中に前記検出情報解析装置が前記プローブ近傍領域の輝度の減少を検知したとき、前記プローブの試料方向への駆動速度を前記第1の速度より小さな第2の速度に変更し、前記プローブを試料方向に前記第2の速度で駆動中に前記検出情報解析装置が前記プローブ近傍領域の輝度の急激な増加を検知したとき、前記プローブの駆動を停止することを特徴とするプローブ装置。

8. 請求項4記載のプローブ装置において、前記検出情報解析装置は、荷電粒子ビームを前記プローブ及び試料表面に対して異なる複数の角度から照射して得られる複数の画像における前記プローブの先端位置と試料の特定位置の座標を基にプローブと試料間の距離を算出することを特徴とするプローブ装置。

9. 請求項4～8のいずれか1項記載のプローブ装置において、試料の一部を分離した摘出試料を別の部材に移し変えるためのプローブと、前記摘出試料を固定する試料ホルダを保持する試料ホルダ保持具とを備えることを特徴とするプローブ装置。

10. 請求項4～9のいずれか1項記載のプローブ装置において、前記表示装置に試料表面に対する前記プローブの距離の情報を表示することを特徴とするプローブ装置。

11. 試料を載置する可動の試料台と、試料に荷電粒子ビームを照射する荷電粒子光

学系と、前記荷電粒子ビームの照射によって試料から放出された2次粒子又は試料から反射された反射粒子を検出する検出器と、前記検出器による検出情報を画像として表示する表示装置と、試料表面に機械的に接触させるプローブと、前記プローブの駆動を制御するプローブ制御装置と、予め前記プローブを試料に接触させて得られたプローブ先端座標を記録するプローブ基準座標記録装置とを含み、

前記プローブ制御装置は前記プローブ基準座標記録装置の記録座標と前記プローブを接触させるべき試料上の座標を基に前記プローブの駆動距離と速度とを制御することを特徴とするプローブ装置。

12. 試料を載置する可動の試料台と、試料に荷電粒子ビームを照射する荷電粒子光学系と、前記荷電粒子ビームの照射によって試料から放出された2次粒子又は試料から反射された反射粒子を検出する検出器と、前記検出器による検出情報を画像として表示する表示装置と、試料表面に機械的に接触させる複数のプローブと、前記プローブを試料表面に平行に移動させる際にプローブ毎に互いに異なる固有の試料表面までの距離範囲内で移動させるプローブ制御装置とを含むことを特徴とするプローブ装置。

図 1

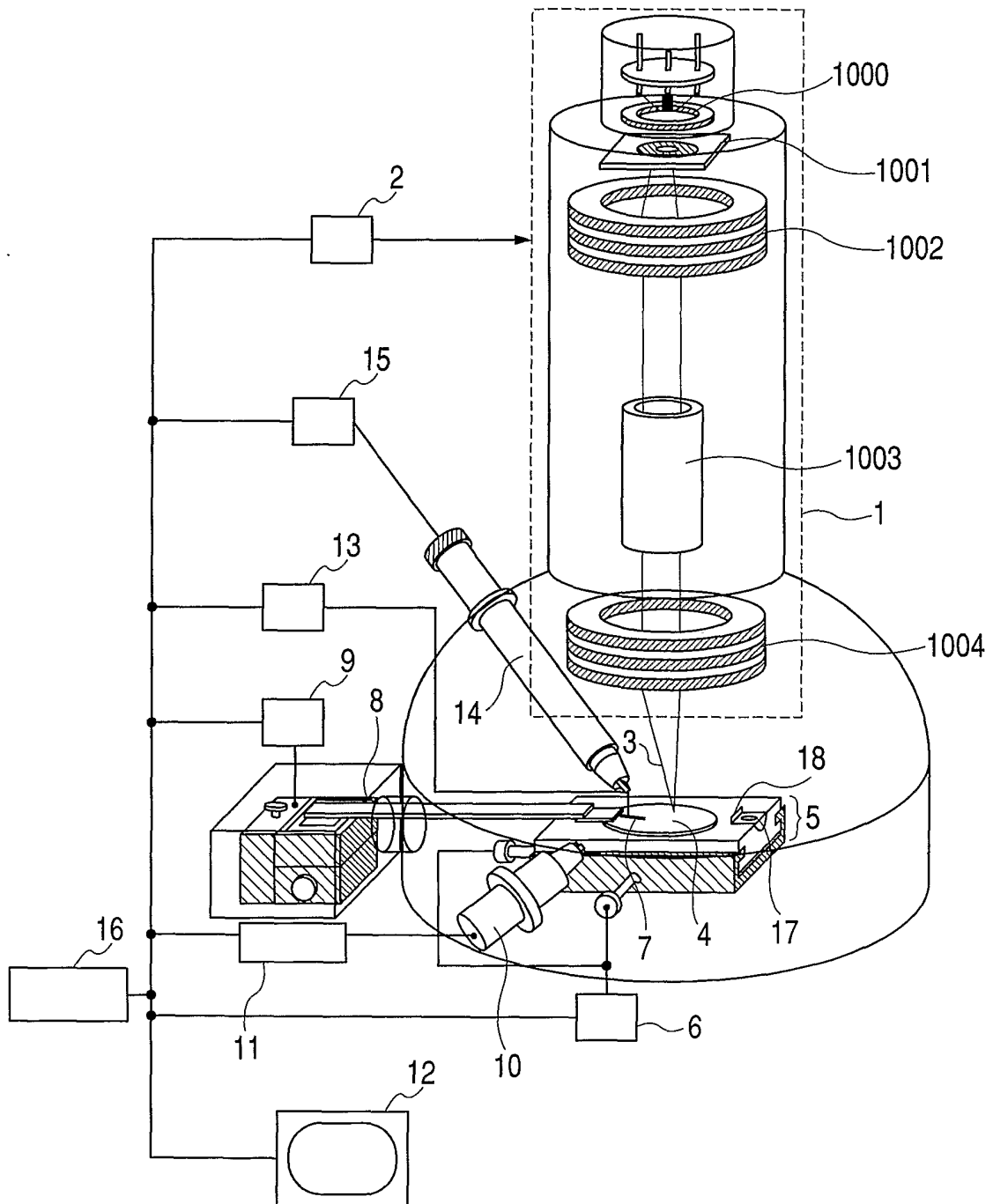


図 2

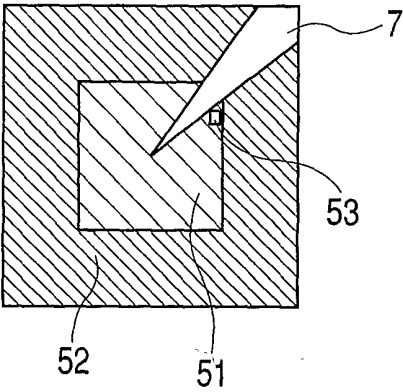


図 3

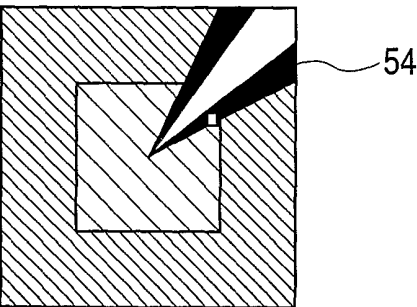


図 4

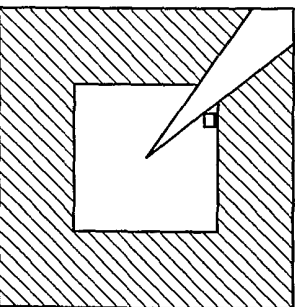


図 5

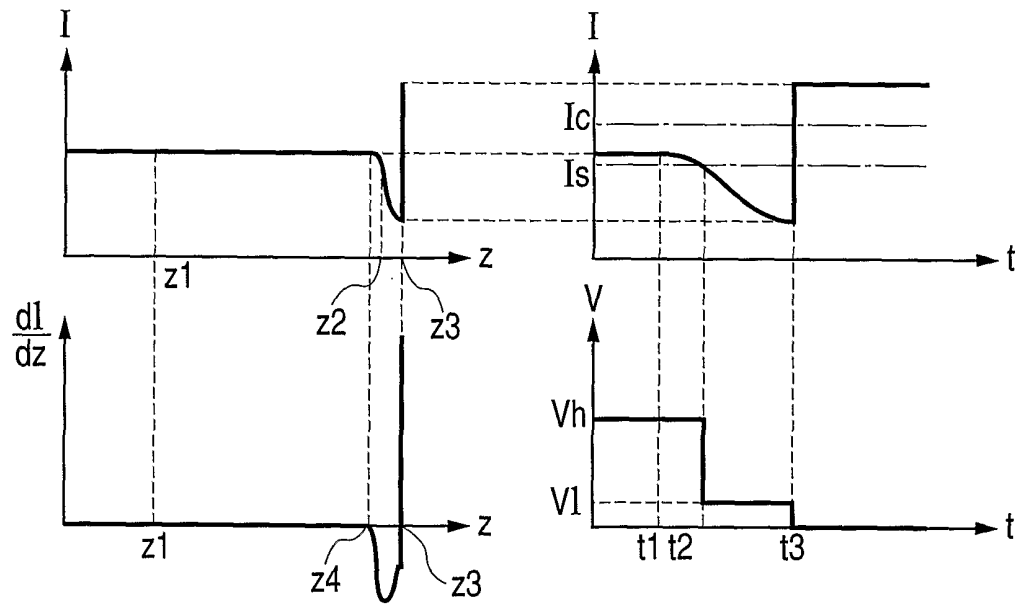


図 6

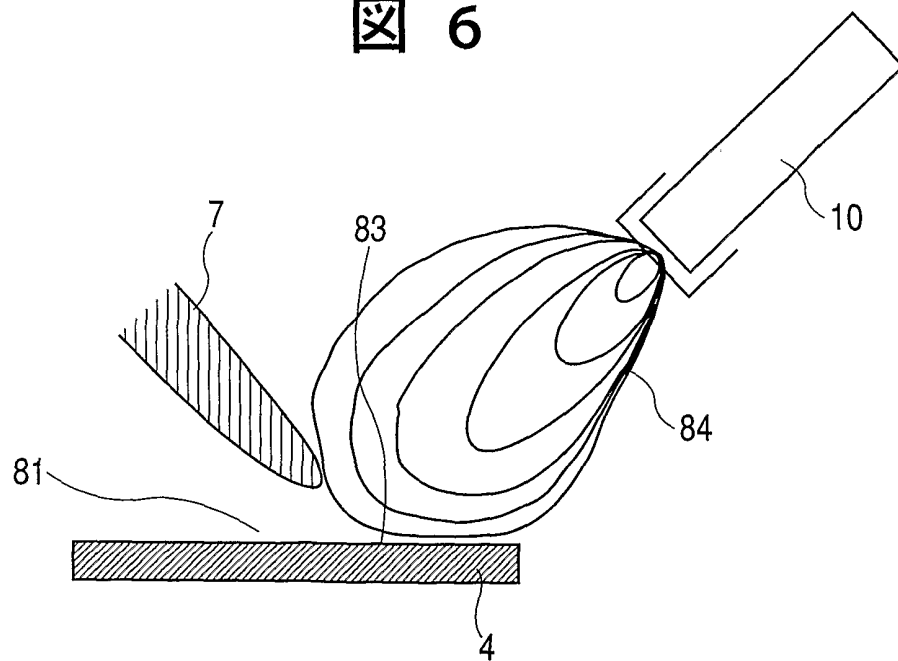


図 7

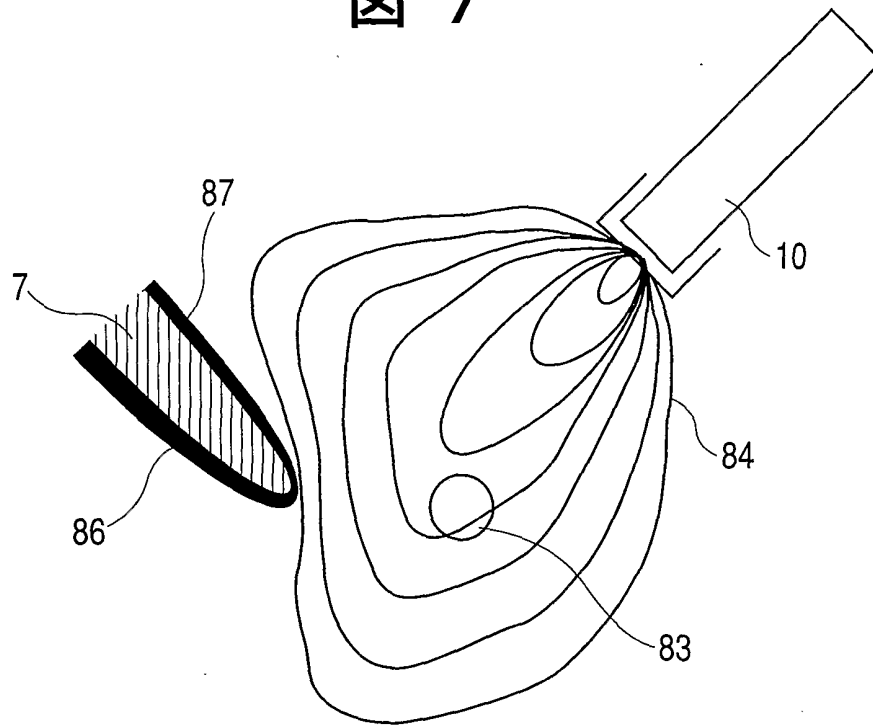


図 8

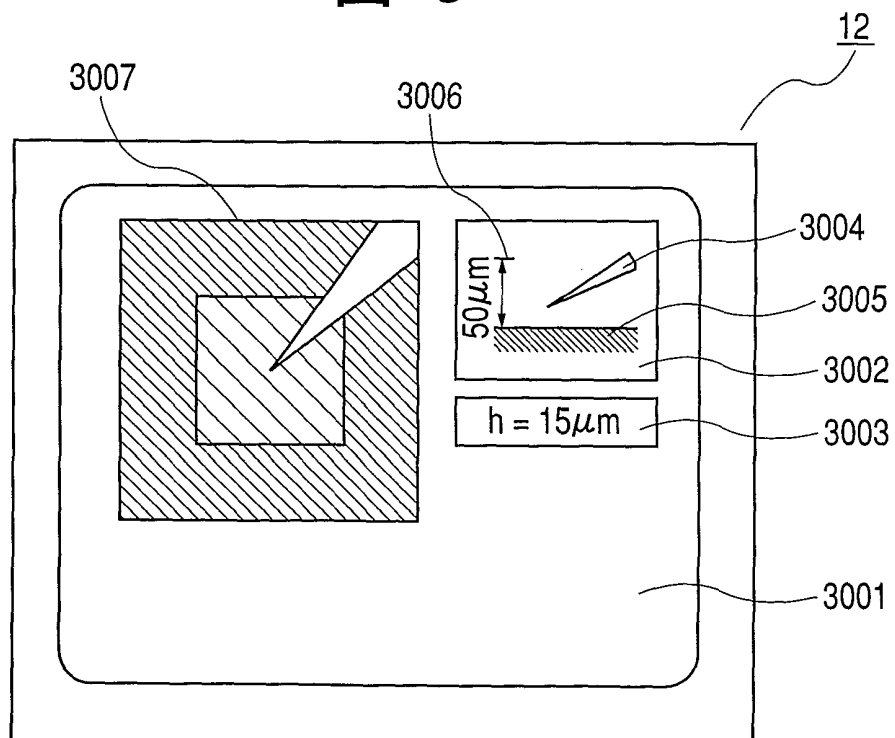


図 9

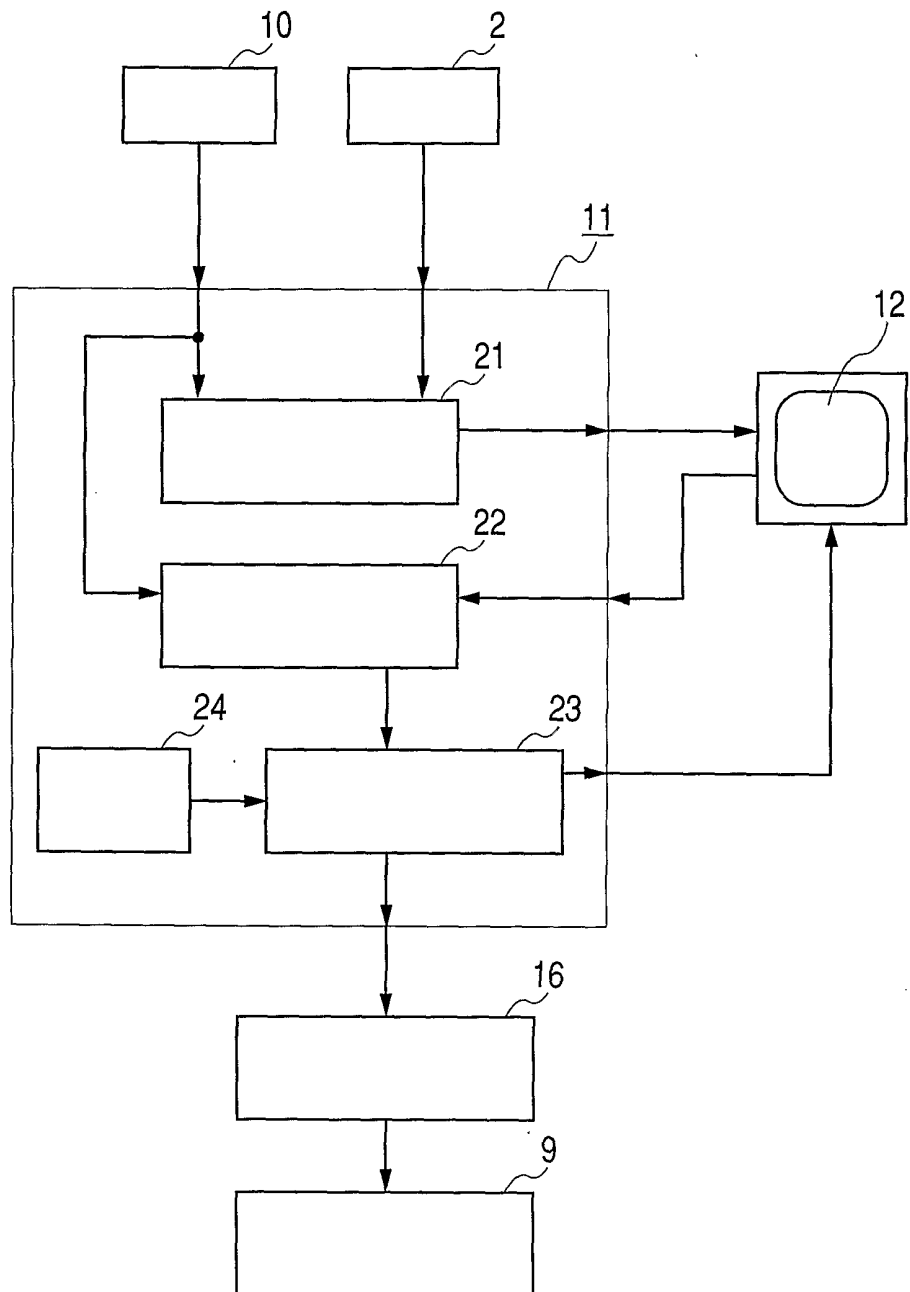


図 10

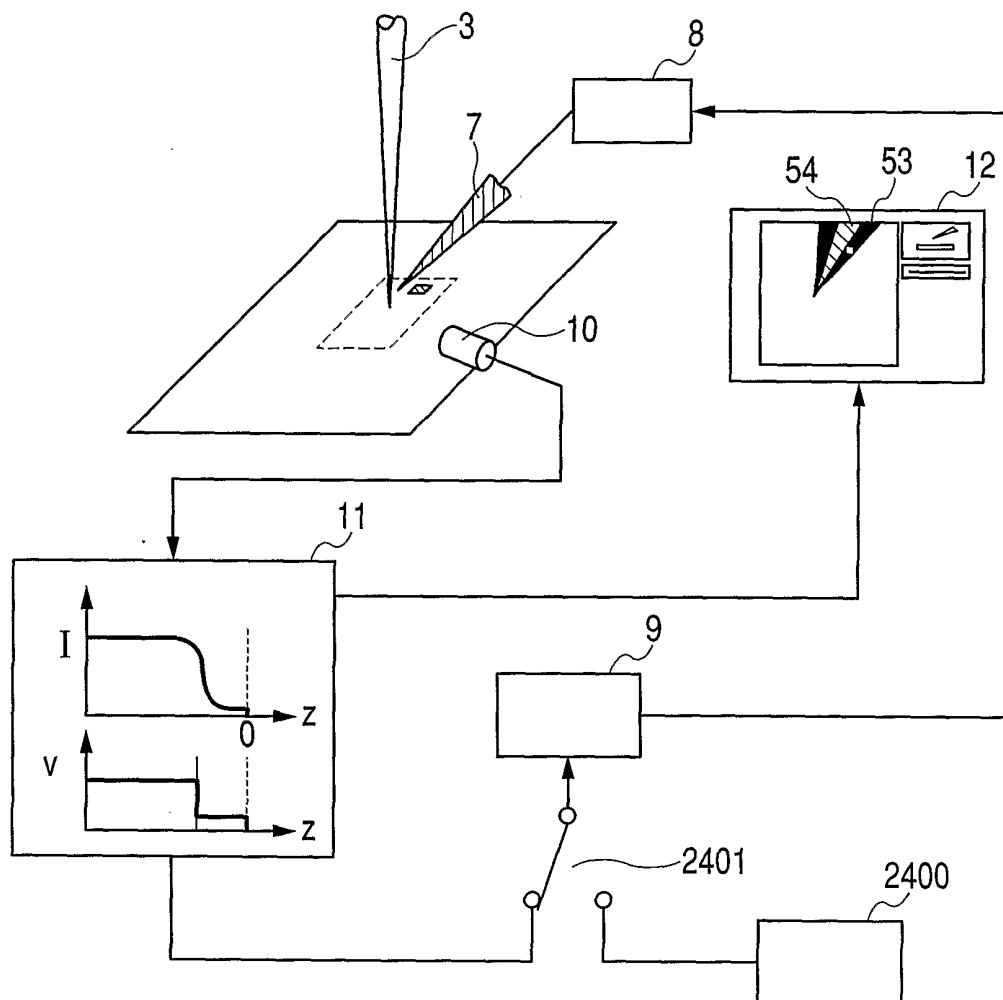


図 11

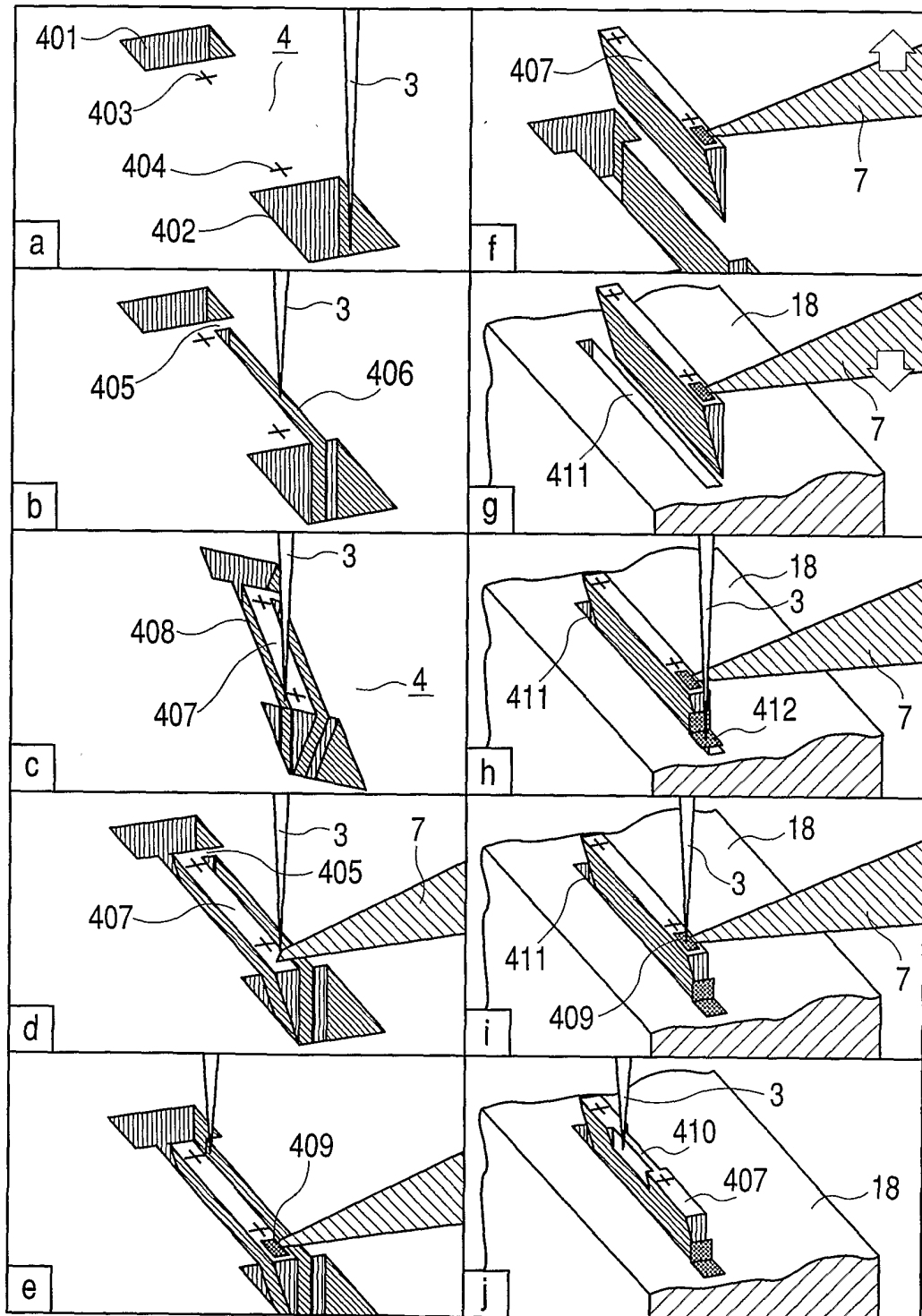


図 12

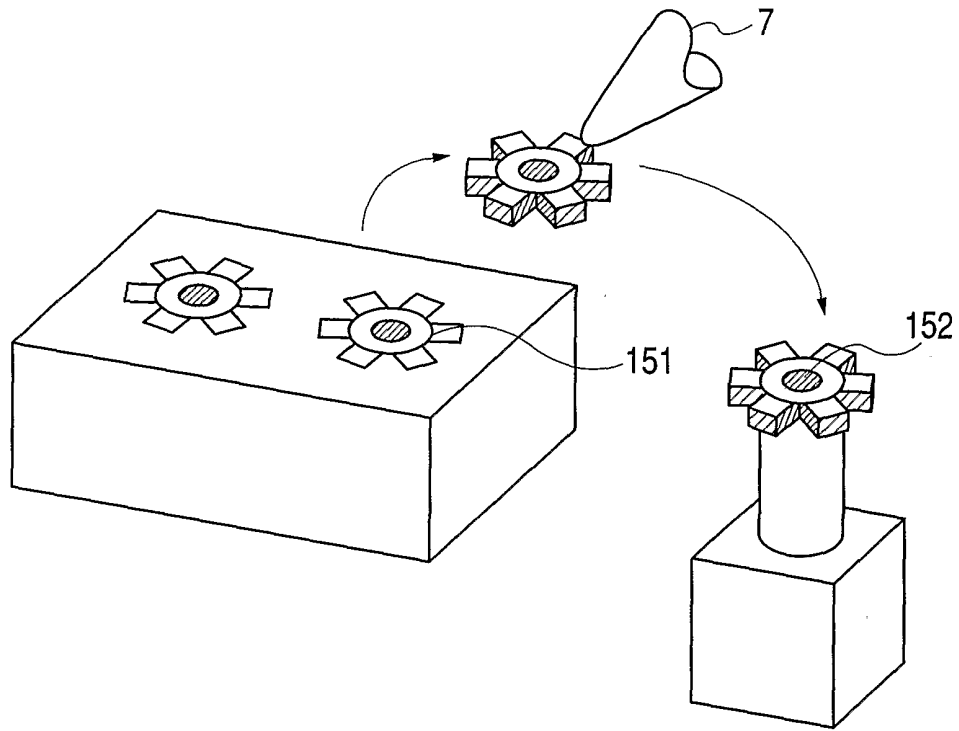


図 13

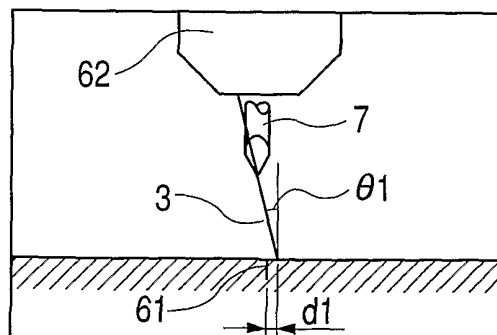


図 14

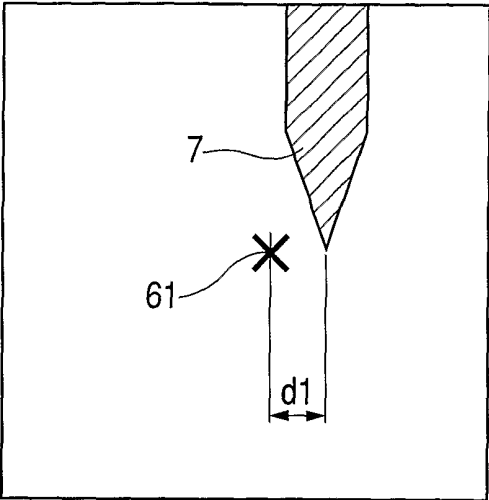


図 15

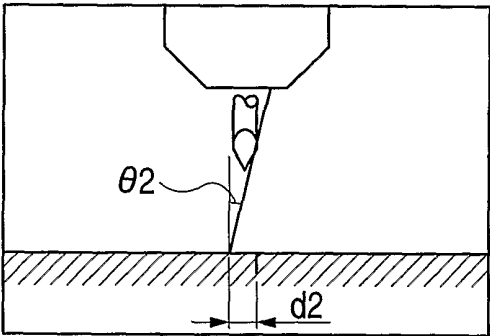


図 16

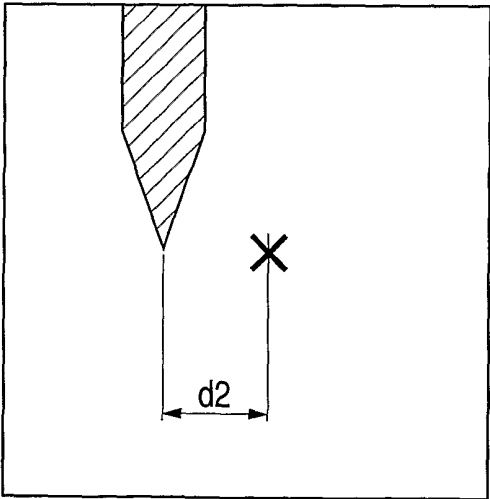


図 17

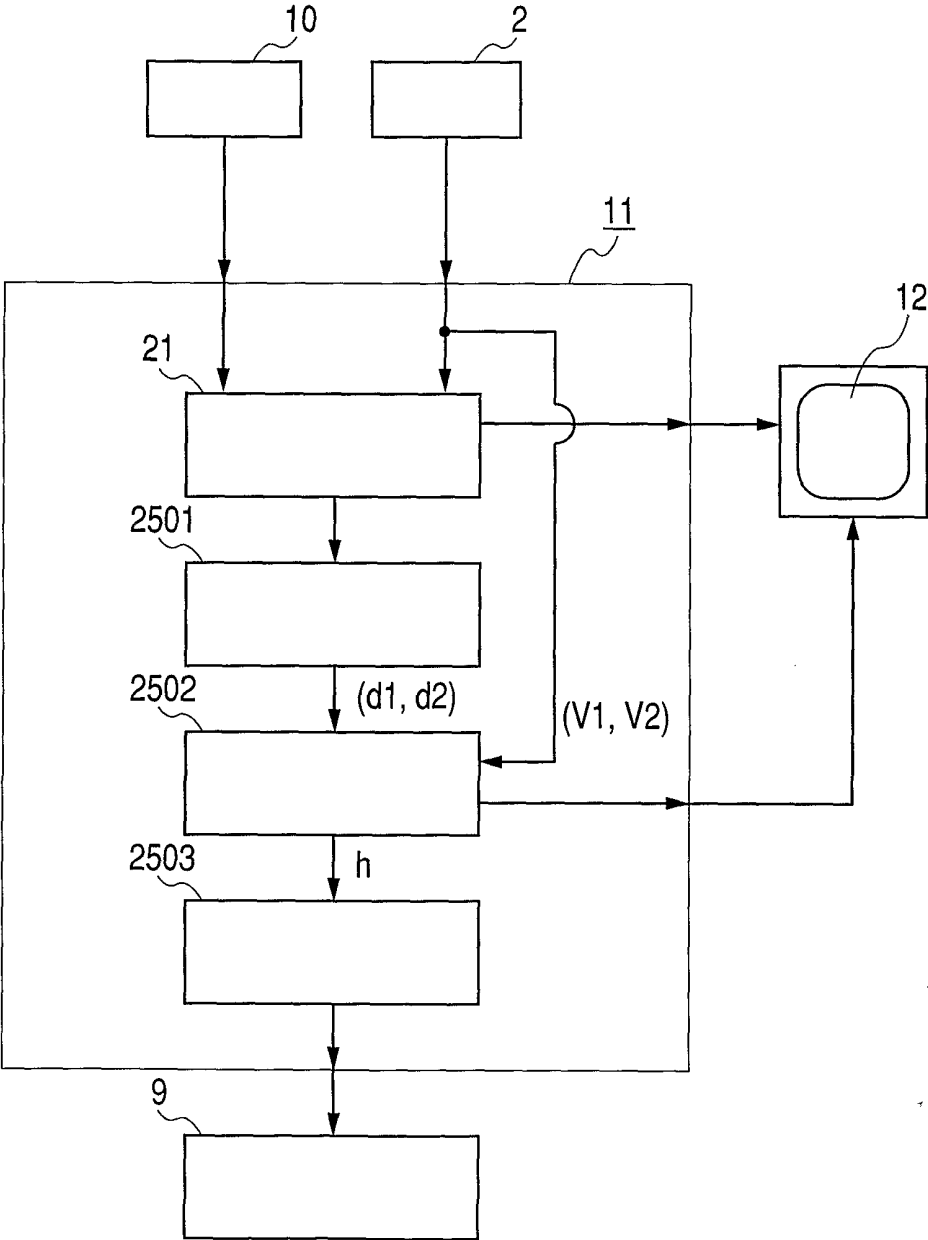


図 18

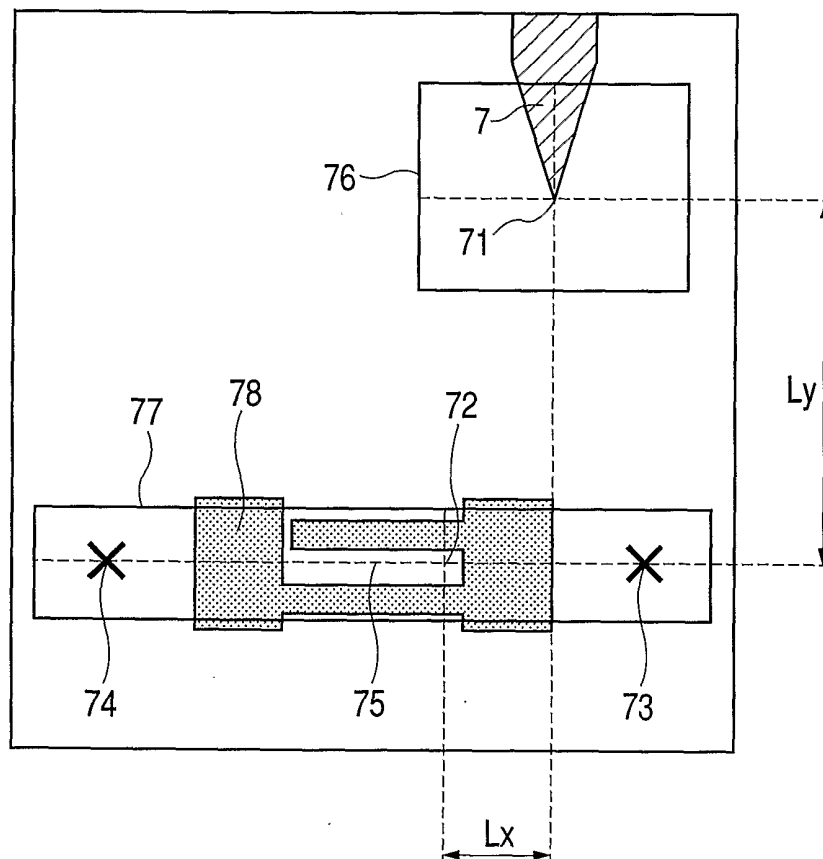


図 19

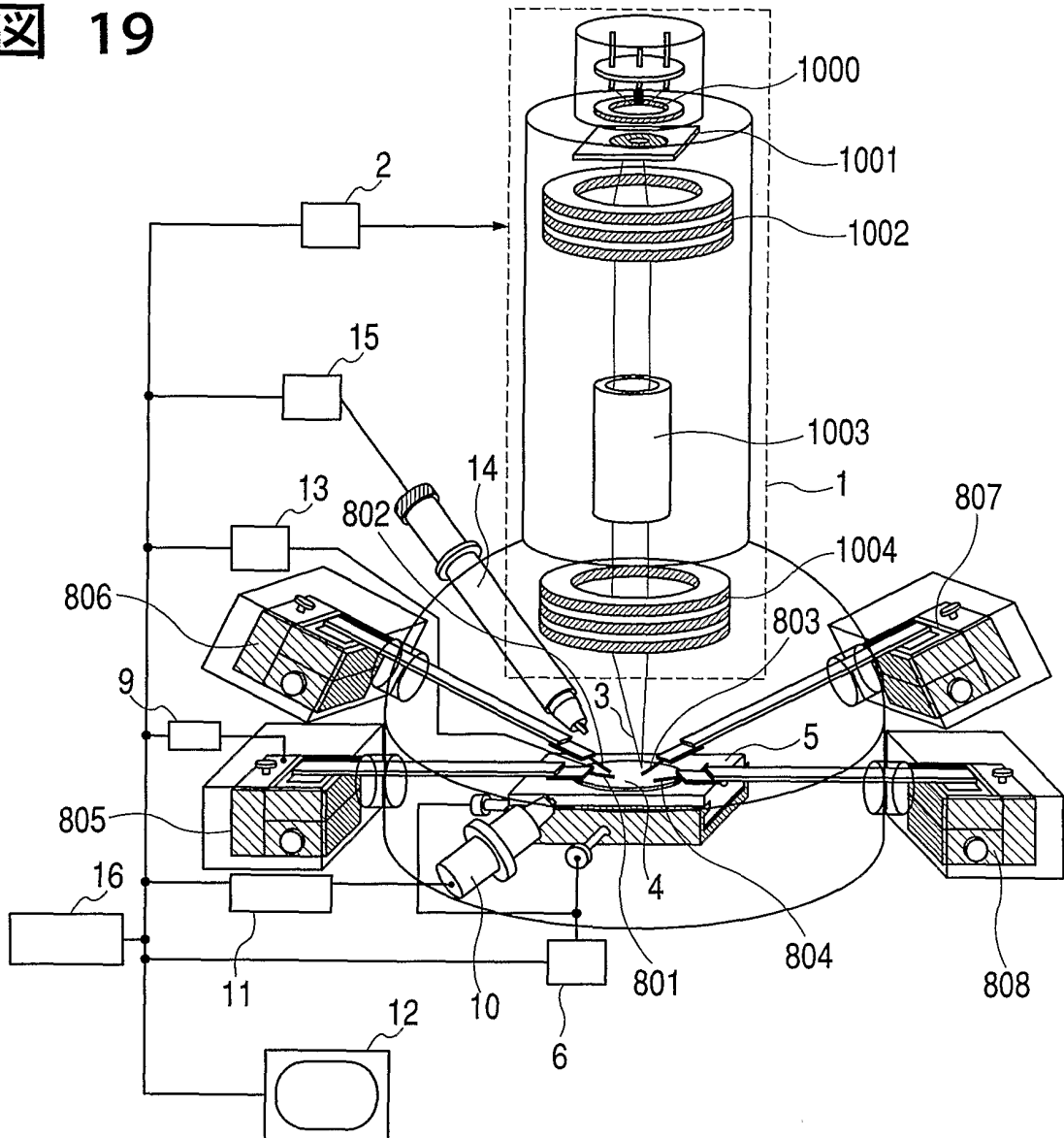


図 20

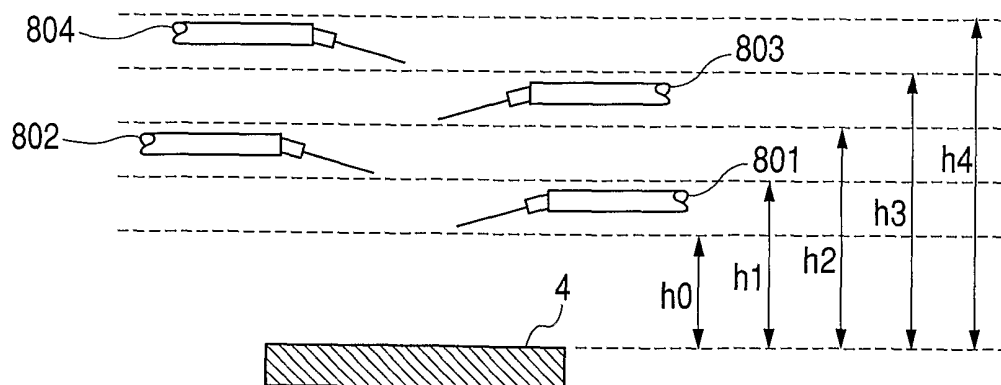


図 21

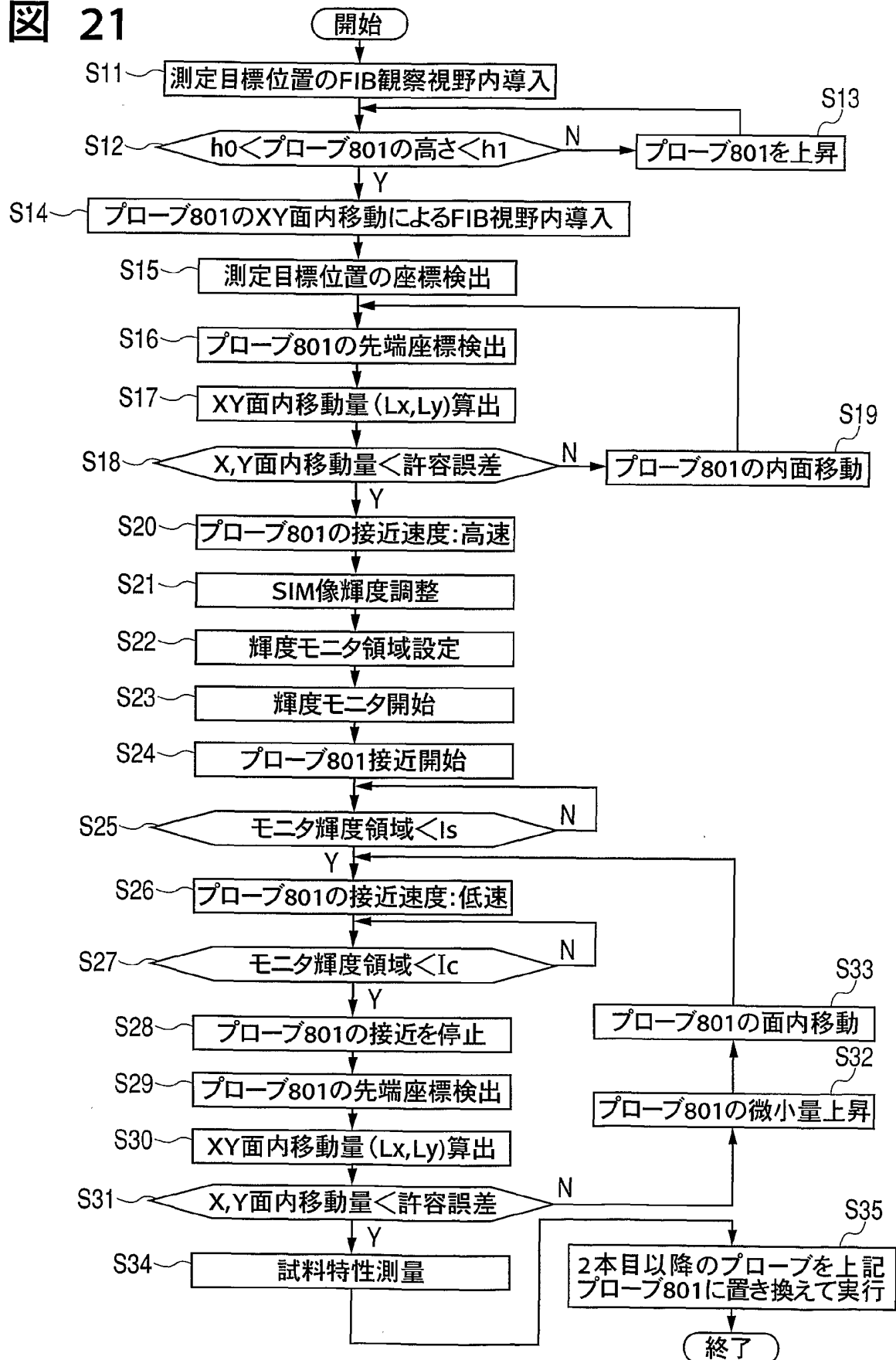


図 22

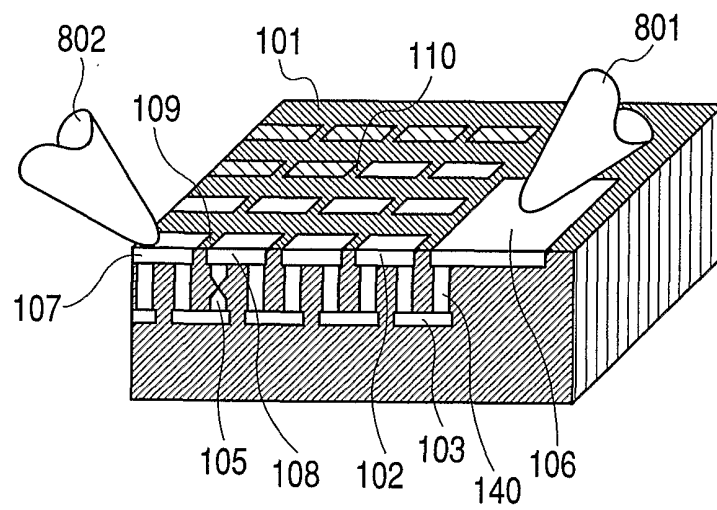


図 25

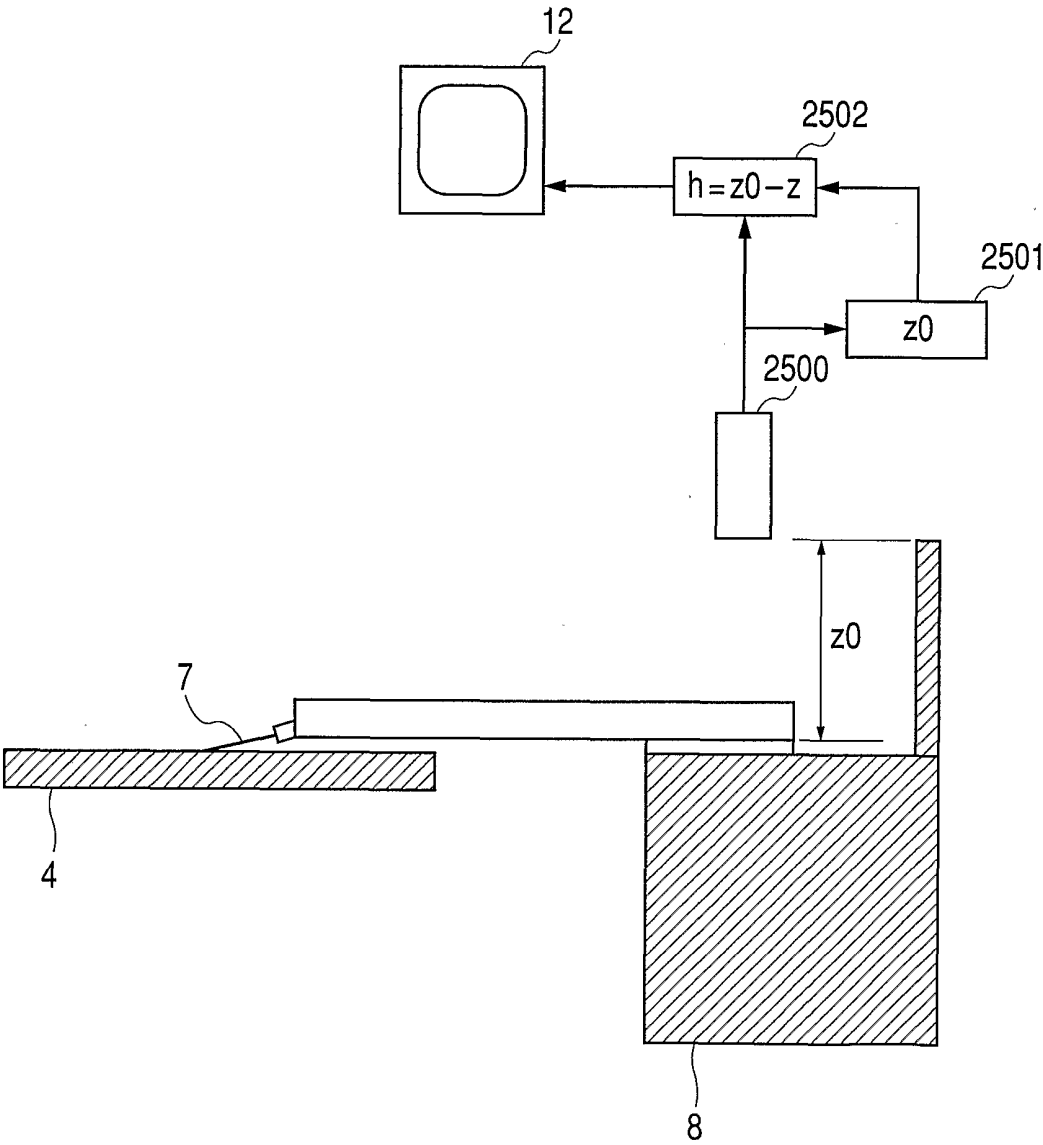
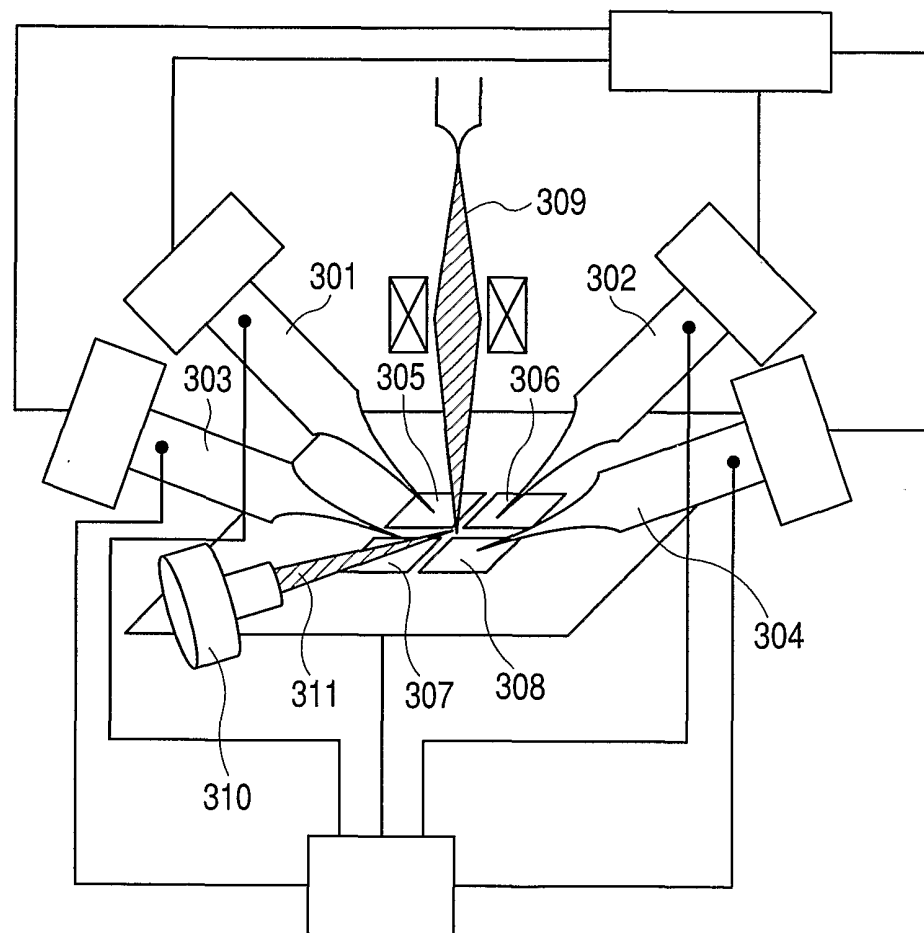


図 26



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP01/04875

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
Int.Cl ⁷ G01R31/28, G01R1/06, G01N1/28, G01N23/225, G01B15/00, H01J37/28, H01L21/66		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)		
Int.Cl ⁷ G01R31/28, G01R1/06, G01N1/28, G01N23/225, G01B15/00, H01J37/28, H01L21/66		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Jitsuyo Shinan Koho 1926-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2001 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2001 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2001		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2000-147070 A (Hitachi, Ltd.), 26 May, 2000 (26.05.00), Par. Nos. [0020] to [0049]; Figs. 1 to 6	4
Y	Par. Nos. [0020] to [0049]; Figs. 1 to 6 (Family: none)	1, 3, 5, 6, 9-12
Y	JP 4-150047 A (Seiko Epson Corporation), 22 May, 1992 (22.05.92), page 2, lower left column, lines 3 to 5 (Family: none)	1, 6
Y	JP 5-41421 A (Tokyo Electron Limited), 19 February, 1993 (19.02.93), Par. Nos. [0039] to [0046]; Fig. 8 & KR 9308367 Y & KR 138754 B & US 5315237 A	3, 11
Y	JP 5-114634 A (Sony Corporation), 07 May, 1993 (07.05.93), Par. No. [0037]; Fig. 11 (Family: none)	1, 3-5, 11
☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family	
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance		
"E" earlier document but published on or after the international filing date		
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)		
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means		
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		
Date of the actual completion of the international search 04 September, 2001 (04.09.01)	Date of mailing of the international search report 18 September, 2001 (18.09.01)	
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer	
Facsimile No.	Telephone No.	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP01/04875

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2000-171364 A (Hitachi, Ltd.),	4
Y	23 June, 2000 (23.06.00),	5
	Par. Nos. [0015] to [0025]; Figs. 1 to 5	
	Par. Nos. [0015] to [0025]; Figs. 1 to 5	
	(Family: none)	
Y	JP 5-52721 A (Hitachi, Ltd.),	9
	02 March, 1993 (02.03.93),	
	Par. Nos. [0015] to [0024]; Figs. 1 to 6	
	& DE 4226694 A & US 5270552 A	
	& KR 9501935 Y & KR 253145 B	
Y	JP 8-37211 A (Hitachi, Ltd., Hitachi Hokkai Semiconductor Ltd.),	10
	06 February, 1996 (06.02.96),	
	Par. No. [0013]	
	(Family: none)	
Y	JP 7-333301 A (Brother Industries, Ltd.),	3,11,12
	22 December, 1995 (22.12.95),	
	Par. Nos. [0003], [0016] to [0046]; Figs. 1 to 15	
	(Family: none)	
X	WO 99/05506 A (Hitachi, Ltd.),	4,5,9
Y	04 February, 1999 (04.02.99),	3,10-12
	Full text; Figs. 1 to 30	
	Full text; Figs. 1 to 30	
	& EP 927880 A	

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G01R31/28, G01R1/06, G01N1/28, G01N23/225
G01B15/00, H01J37/28, H01L21/66

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G01R31/28, G01R1/06, G01N1/28, G01N23/225
G01B15/00, H01J37/28, H01L21/66

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926-1996年
日本国公開実用新案公報 1971-2001年
日本国登録実用新案公報 1994-2001年
日本国実用新案登録公報 1996-2001年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP 2000-147070 A (株式会社日立製作所) 26. 5月. 2000 (26. 05. 00) 段落番号【0020】-【0049】、図1-図6	4
Y	段落番号【0020】-【0049】、図1-図6 (ファミリーなし)	1, 3, 5, 6, 9-12
Y	JP 4-150047 A (セイコーエプソン株式会社) 22. 5月. 1992 (22. 05. 92) 第2頁左下欄第3行目から第5行目 (ファミリーなし)	1, 6

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

04. 09. 01

国際調査報告の発送日

18.09.01

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

越川 康弘

2T

9605

電話番号 03-3581-1101 内線 3266

C (続き). 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	J P 5-41421 A (東京エレクトロン) 19. 2月. 1993 (19. 02. 93) 段落番号【0039】-【0046】, 図8 & KR 9308367 Y & KR 138754 B & US 5315237 A	3, 11
Y	J P 5-114634 A (ソニー株式会社) 7. 5月. 1993 (07. 05. 93) 段落番号【0037】, 図11 (ファミリーなし)	1, 3-5, 11
X	J P 2000-171364 A (株式会社日立製作所) 23. 6月. 2000 (23. 06. 00) 段落番号【0015】-【0025】, 図1-図5	4
Y	段落番号【0015】-【0025】, 図1-図5 (ファミリーなし)	5
Y	J P 5-52721 A (株式会社日立製作所) 2. 3月. 1993 (02. 03. 93) 段落番号【0015】-【0024】, 図1-図6 & DE 4226694 A & US 5270552 A & KR 9501935 Y & KR 253145 B	9
Y	J P 8-37211 A (株式会社日立製作所、日立北海セミコンダクタ株式 会社) 6. 2月. 1996 (06. 02. 96) 段落番号【0013】 (ファミリーなし)	10
Y	J P 7-333301 A (ブラザー工業株式会社) 22. 12月. 1995 (22. 12. 95) 段落番号【0003】, 【0016】-【0046】, 図1-図15 (ファミリーなし)	3, 11, 12
X	WO 99/05506 A (株式会社日立製作所) 4. 2月. 1999 (04. 02. 99) 全文, 図1-図30	4, 5, 9
Y	全文, 図1-図30 & EP 927880 A	3, 10-12