

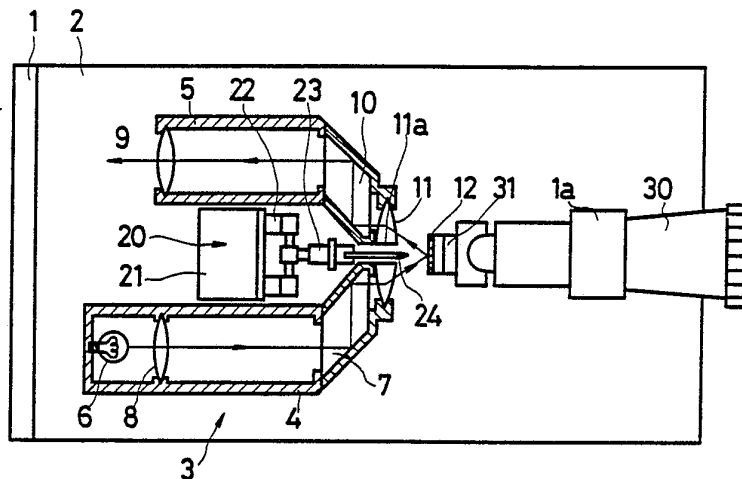


特許協力条約に基づいて公開された国際出願

<p>(51) 国際特許分類<sup>4</sup> G01B 7/34, G01N 23/00 H01J 37/28</p>	<p>A1</p>	<p>(11) 国際公開番号 WO 89/ 01603</p> <p>(43) 国際公開日 1989年2月23日 (23.02.89)</p>
<p>(21) 国際出願番号 PCT/JP88/00804 (22) 国際出願日 1988年8月12日 (12. 08. 88) (31) 優先権主張番号 特願昭 62-201281 (32) 優先日 1987年8月12日 (12. 08. 87) (33) 優先権主張国 JP (71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について) オリンパス光学工業株式会社 (OLYMPUS OPTICAL CO., LTD.) (JP/JP) 〒151 東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2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) 佐藤千秋 (SATO, Chiaki) (JP/JP) 〒185 東京都国分寺市光町3-27-9 グリーンハイツ202 Tokyo, (JP) 越石喜代三 (KOSHIISHI, Kiyozo) (JP/JP) 〒229 神奈川県相模原市本橋本町7-32 Kanagawa, (JP) 重富貞夫 (SHIGETOMI, Sadao) (JP/JP) 〒229 神奈川県相模原市横山町3-1-6 Kanagawa, (JP) 三島周三 (MISHIMA, Shuzo) (JP/JP) 〒192-03 東京都八王子市南大沢4-15-1-702 Tokyo, (JP) 高瀬つき子 (TAKASE, Tsugiko) (JP/JP) 〒192 東京都八王子市中野山王2-4-16 Tokyo, (JP)</p>	<p>(74) 代理人 弁理士 鈴江武彦, 外 (SUZUYE, Takehiko et al.) 〒100 東京都千代田区霞が関3丁目7番2号 UBEビル Tokyo, (JP) (81) 指定国 CH (欧州特許), DE (欧州特許), FR (欧州特許), GB (欧州特許), JP, US. 添付公開書類 国際調査報告書</p>	

(54) Title: SCANNING TYPE TUNNEL MICROSCOPE

(54) 発明の名称 走査型トンネル顕微鏡



(57) Abstract

A scanning type tunnel microscope comprises a combination of an optical microscope with a tunnel scanning unit. The tunnel scanning unit is equipped with a probe held with a predetermined spacing from a sample placed on a sample mount in an axial direction and an actuator which moves the sample mount and the probe in the axial direction to bring them close to a tunnel region, and drives them relatively and three-dimensionally. An objective lens and the probe are disposed in such a manner that the center axis of the probe of the scanning tunnel unit is in agreement with the optical axis of the objective lens of the optical microscope. STM observation of the surface of the sample is made by moving the sample and the probe in the axial direction to bring them into the tunnel region and effecting scanning in the surface direction while moving them little by little in the axial direction in such a manner as to keep a tunnel current constant. Focusing is made by moving the objective lens of the optical microscope in the axial direction and a field of vision on the STM observation surface is observed as an optical microscope image through an eyepiece.

(57) 要約

走査型トンネル顕微鏡は、光学顕微鏡とトンネル走査ユニットとを組合わせて構成されている。走査型トンネルユニットは、試料台上に載置された試料に対して軸方向に所定間隔を有して保持された探触針と、これら試料台と探触針とを軸方向に移動させてトンネル領域まで近づけ、これらを相対的に3次元駆動するアクチュエータとを具備する。この走査型トンネルユニットの探触針の中心軸は、光学顕微鏡の対物レンズの光軸と一致するように、対物レンズと探触針とが配置されている。試料と探触針とを軸方向に移動させて、両者をトンネル領域にもたらし、トンネル電流を一定に保つように軸方向に微動させながら、面方向に走査させることにより試料の観察面のSTM観察が行われる。また、光学顕微鏡の対物レンズを軸方向に移動させてピント合せをおこない、接眼レンズを介して、上記STM観察面の視野を光学顕微鏡像として観察される。

情報としての用途のみ

PCTに基づいて公開される国際出願のパムフレット第1頁にPCT加盟国を同定するために使用されるコード

AT	オーストリア	FR	フランス	MR	モーリタニア
AU	オーストラリア	GA	ガボン	MW	マラウイ
BB	バルバドス	GB	イギリス	NL	オランダ
BE	ベルギー	HU	ハンガリー	NO	ノルウェー
BG	ブルガリア	IT	イタリア	RO	ルーマニア
BJ	ベナン	JP	日本	SD	スーダン
BR	ブラジル	KP	朝鮮民主主義人民共和国	SE	スウェーデン
CF	中央アフリカ共和国	KR	大韓民国	SN	セネガル
CG	コンゴ	LI	リヒテンシュタイン	SU	ソビエト連邦
CH	スイス	LK	スリランカ	TD	チャード
CM	カメルーン	LU	ルクセンブルグ	TG	トーゴ
DE	西ドイツ	MC	モナコ	US	米国
DK	デンマーク	MG	マダガスカル		
FI	フィンランド	ML	マリ		

## 明 細 書

## 走査型トンネル顕微鏡

## 技術分野

この発明は、金属探触針と試料の観察面とを限り無く、例えば $50 \text{ \AA}$ 以下に接近させ、両者の間に流れるトンネル電流を検出・測定し、画像化する走査型トンネル顕微鏡 (STM) に関する。

## 背景技術

上記STMは、従来の顕微鏡とは異なり、試料内に束縛されている電子を検出することが可能であり、原子配列を実空間で観測できるきわめて特徴的な表面観察装置として最近注目されている。このようなSTMの動作原理を以下に説明する。

$z$ 方向アクチュエータにより、先端の鋭い探触針を試料表面に、これらからしみ出している電子雲が僅かに重なり合う程度に接近させ、さらに探触針と試料との間に電圧 (トンネル電圧) を印加して、探触針から試料へとトンネル電流を流す。そして、このトンネル電流を一定に保つように前記 $z$ 方向アクチュエータをサーボ動作しながら、 $xy$ 方向アクチュエータにより、探触針と試料とを相対的に面方向に移動して二次元的走査をする。このとき、探触針をサーボ動作する $z$

方向アクチュエータへのサーボ電圧を読取り、画像表示することにより試料の表面観察をおこなう。即ち、探触針が試料表面上を走査し、この表面の段差に到達するとトンネル電流が増加するので、トンネル電流が一定値（もとの値）になるまで、z方向アクチュエータにより探触針を試料より離す。

この

探触針の移動が表面の段差に対応するので、この走査を繰り返しながら、サーボ電圧を読取ることにより、試料の表面像が得られる。

上記トンネル電流  $J_T$  は次式で表わされる。

$$J_T \propto \exp(-A \cdot \Phi^{\frac{1}{2}} \cdot S)$$

ここで、A：定数、

$\Phi$ ：探触針と試料の仕事関数の平均

S：探触針と試料との間の距離

従って、トンネル電流  $J_T$  は距離 S に対して極めて敏感に変化し、原子スケールの分解能が得られる。

上記のように、STMは極めて高分解能で物質の表面像が得られる。また、これまでの電子線回折、イオン散乱などの方法により得られた逆格子空間像とは異なり、原子の配列を実空間で観測できるという特徴を有している。さらに、探触針と試料との間に印加する電圧は、試料の仕事関数以下の値であり、検出されるトンネル電流は nA オーダーであるため使用電力が低く、試料を損傷する事も少ないという特徴もある。

従来の STM は、実空間で極めて高分解能の表面像が得ら

れるのにもかかわらず、試料表面上の観察部位を目視で観察してから上記観察操作をおこなっているために、観察部位があいまいになり、狭い範囲の特定の部位のみの観察には不向きであった。また、STM像と、他の顕微鏡（光学顕微鏡、電子顕微鏡等）で得られる従来像との比較ができずSTM観察領域（STM視野）と従来観察視野が必ずしも一致しないという欠点があった。

したがって、この発明は上記従来技術の問題点に鑑み案出されたものであり、その目的は、STM像と従来像とを重ねて観察、測定することの可能な走査型トンネル顕微鏡を提供することである。

#### 発明の開示

この発明に係わる走査型トンネル顕微鏡においては、試料を保持する試料台と、この試料に対して軸方向に所定間隔を有して保持された探触針と、これら試料台と探触針とを軸方向に移動させてトンネル領域まで近づけ、これらを相対的に3次元駆動するアクチュエータと、このアクチュエータを固定するための固定手段と、この固定手段に保持され、前記試料に面して軸方向に移動可能な対物光学部材並びにこの対物光学部材を介する試料からの反射光を受ける接眼光学部材を有し、この接眼光学部材を介して前記試料の表面を観察可能な光学顕微鏡と、を具備することを特徴とする。

上記構成の走査型トンネル顕微鏡においては、アクチュエ

一夕により、試料と探触針とを軸方向に移動させて両者をトンネル領域にもたらし、トンネル電流を一定に保つように軸方向に微動させながら面方向に走査させることにより試料の観察面のSTM観察が可能である。そして、この観察面は、光学顕微鏡の対物光学部材を軸方向に移動させてピント合せをおこない、接眼光学部材を介して、上記STM観察面の視野を測定することができる。

#### 図面の簡単な説明

第1図ないし第5図は、この発明の一実施例に係わる走査型トンネル顕微鏡を示し、第1図は全体の平面図、第2図は同側面図、第3図は探触針と、そのホルダーを示す斜視図、第4図は3次元アクチュエータの斜視図並びに第5図は同3次元アクチュエータの平面図である。

第6図は第2の実施例の走査型トンネル顕微鏡を概略的に示す図である。

第7図は第2の実施例に使用されている3次元アクチュエータを示す側面図である。

第8図は、第2の実施例の装置に表面形状測定機能を付加させた変形例を概略的に示す図である。

第9図は表面形状測定の原理を説明するための図である。

第10図は第1の実施例の装置に監視装置を付加した変形例を示す側面図である。

第11図は、第6図に示す実施例の変形例を示す図である。

第12図は第3の実施例を示す対物レンズユニットの断面図である。

第13図は第4の実施例を示すトンネル走査ユニットの断面図である。

第14図は第5の実施例を示す断面図である。

第15図は第6の実施例を示す対物レンズユニットの断面図である。

第16A図ないし第16B図は実施例で使用されている3次元アクチュエータを示し、第16A図は平面図、第16B図は側面図、そして第16C図は断面図である。

第16D図は3次元アクチュエータを駆動するための印加電圧とアクチュエータの駆動方向との関係を示す図である。

第17図は、第7の実施例に係わる走査型トンネル顕微鏡を示す断面図である。

第18図は第8の実施例の走査型トンネル顕微鏡を示す図である。

第19A図ないし第19C図は第9の実施例の走査型トンネル顕微鏡を示し、第19A図はトンネル走査ユニットが被STM走査位置にない状態を示し、第19B図はトンネル走査ユニットが被STM走査位置にある状態を示し、そして第19C図はトンネル走査ユニットと光学顕微鏡とを組み合わせた状態を示す図である。

第19D図はSTM測定システムの構成を示すブロック図である。

第20図は第10の実施例の走査型トンネル顕微鏡の光学

系を示す図である。

第21A図ないし第21D図は第10の実施例にて示されている計測ユニットを示し、第21A図は横断面図、第21B図は縦断面図、第21C図は対物レボルバーと、対物レンズと、対物レンズユニットとの位置関係を示す図、そして第21D図は水平に切断して示す断面図である。

第22図は計測ユニットに使用されている対物レンズユニットを示す一部切欠側面図である。

第23図は第10の実施例に使用されている間隔測定装置を示す、一部切欠側面図である。

第24A図ないし第24C図は計測ユニットの変形例を示し、第24A図は一部切欠上面図、第24B図は断面図、そして第24C図は間隔測定装置の部分を示す側面図である。

#### (F) 実施例

以下に、この発明実施例に係わる走査型トンネル顕微鏡を添付図面を参照して説明する。尚、以下に説明する各実施例において、実質的に同じ機能を有する部材は同じ参照番号を付して説明を省略する。

第1の実施例を示す第1図並びに第2図にて、符号1は基板を示し、この基板1上にはz方向に移動可能に移動ステージ2が設けられている。この移動ステージ2上にはSTM視野観察光学系（光学顕微鏡）3が、支柱2aによって、固定されている。この系3は、互いに並ぶように配置された筒状の光源側ハウジング4と観察側ハウジング5とを有する。光



源側ハウジング4内には、光源6が一端に、第1のプリズム7が他端近くに、そして集光レンズ8が途中で、夫々設けられている。一方、観察側ハウジング5内には、結像レンズ9が一端にそして第2のプリズム10が他端近くに、夫々設けられている。また、両ハウジング4, 5の他端には、共通に1個の収束レンズ11(対物レンズ)が取着されている。この収束レンズ11の中心には透孔11aが形成されている。

上記のような構成のSTM視野観察光学系においては、光源6から射出された光は、集光レンズ8で集光され、平行光束となって第1のプリズム7に入射する。入射光束は、ここで直角に2度反射されて収束レンズ11の一部を通過する。この結果、光束は、収束レンズ11の前面に配置された試料12の観察面に収束する。試料12からの反射光束は、前記収束レンズ11の他部を通過して観察側ハウジング5内に入り、第2のプリズム10で光路が変更され、結像レンズ9で結像される。従って、観察者は、この結像レンズ9を介して、試料の観察面を見ることができる。この系でピントを合せる場合には、移動ステージ2をz方向に移動させて、試料に対して、収束レンズ11を接離する。もちろん、試料12を収束レンズ11に対してz方向に移動させても良い。この試料12の移動装置は、後述する。

第1図中、符号20はSTM系を示す。この系20は、前記移動ステージ2に固定されたアクチュエータ取付台21を有する。この取付台21には、x, y, z方向に微動可能な3次元アクチュエータ22が固定されている。このアクチュ

エータの中心部には、探触針ホルダー 23 が突設されており、このホルダーには探触針 24 が取外し可能に、その基端部で保持されている。この探触針 24 の先端は、前記収束レンズ 11 の中央に形成された透孔 11 a を貫通して試料 12 側に、その先端が延出している。この探触針 24 は、前記透孔 11 a 内を軸方向 (z 方向) に移動可能なように、その外径が設定されている。前記探触針ホルダー 23 には、第 3 図に示すように、前端面にワリ 23 a が形成されており、このワリ 23 a に探触針 24 の基端部を圧入することにより、探触針 24 を取外し可能に保持する。前記試料 12 は、粗動装置 30 の先端に設けられた試料台 31 に、前記収束レンズ 11 と対面するようにして保持されている。この粗動装置 30 は前記基板 1 に、ブロック 1 a によって、固定され、試料台 31 を x 方向に粗動可能な、例えば、差動マイクロメータにより構成されている。

次に、前記 3 次元アクチュエータ 22 を第 4 図並びに第 5 図を参照して説明する。

図中、符号 40 は、基板 1 に固定されたアクチュエータ取付台 21 に、一面が取着された、電気絶縁性の板からなる台座を示し、この他面には正方形の 4 隅に対応する位置にそれぞれ配設された 4 個の共通電極 41 が固定されている。これら共通電極 41 間には、それぞれ x 電極 42 並びに y 電極 43 が、これら電極と共通電極との間に圧電素子 44 を介在させて、接続されている。また、中央には、x 電極 42 並びに y 電極 43 に、これらとの間に別の圧電素子 44 を介在さ

せるようにして、接続された中央電極 4 5 が設けられている。この中央電極 4 5 には z 方向に伸縮可能な圧電素子 4 6 が固定されており、この先端面には、絶縁板 4 7 を介して、前記探触針ホルダー 2 3 が固定されている。これら電極並びに圧電素子は、共に立方体をなし、図示のように前者の方が少し大きなデimensionを有する。また、圧電素子 4 4 は、中央電極 4 5 を境として右側のものと左側のものとは分極方向が逆になるように配設されている。例えば、一定の電圧を電極に印加した場合には、中央電極 4 5 の右側に位置する圧電素子 4 4 は縮み、一方左側に位置する圧電素子は伸びるように設定されている。かくして、中央電極 4 5 を接地し、x 電極 4 2 に  $V_x > 0$  の電圧を印加すると、中央電極 4 5 は右側に移動し、逆に  $V_x < 0$  の電圧を印加すると左側に移動する。この結果、交流電圧を x 電極に印加することにより、中央電極 4 5 に取付された探触針を x 方向に振動させることができる。同様にして、y 電極に  $V_y$  交流電圧を印加することにより、探触針を y 方向に振動させることができる。なお、この場合、x 方向と y 方向とに同時に振動させるためには、4 隅に位置する電極に  $V_x + V_y$  の交流電圧を印加する必要がある。上記のような交流電圧の使用により、探触針は x y 方向に移動されて、試料 1 2 の観察面を走査することができる。また、トンネル電流を一定に保つサーボ動作は、z 方向に伸縮可能な圧電素子 4 6 に、コントロールユニットからのサーボ信号を入力して、試料の観察面と探触針との間の距離を一定にすることによりおこなえる。

上記のような構成のSTM系20においては、まず、移動ステージ2をz方向に粗動させて、探触針24を試料12に、前記光学系3のピント位置よりもさらに、接近させる。次に、前記粗動装置30を、トンネル電流が検出できるまで、即ち、探触針24と試料12とがトンネル領域に入るように、微動調節する。そして、この状態で3次元アクチュエータ22に上述した信号を与て、探触針22をxy方向（面方向）並びにz方向（軸方向）にトンネル電流を一定に保ちながら、微動させることにより、試料12の観察面を走査する。

次に、第6図並びに第7図を参照して第2の実施例に係わる走査型トンネル顕微鏡を説明する。

この実施例で、試料12を保持するための機構並びにSTM視野観察光学系3及び探触針24の粗動駆動機構は、前記実施例と同じなので、その説明を省略する。

光学系3は光源50並びにこの光源からの光を収束するための集光レンズ51を有する。このレンズの前方には、入射光束を透過光束と90度反射光束とに分岐するための分岐プリズム52が配設されている。このプリズム52の透過光束側には、入射光束を拡散して反射する凸面鏡53並びに凸面鏡からの反射光束を試料12の観測面上に集光する凹面鏡54が設けられている。この凸面鏡53は透明の支持板55の後面の中央部に固定されている。尚、前記凹面鏡54からの反射光束は、前記支持板55の周囲部を透過して試料12に入射する。この支持板55の前面には3次元アクチュエータ22が固定されており、

このアクチュエータの先端には探触針 24 が絶縁板 47 並びに探触針ホルダー 23 を介して支持されている。前記分岐プリズム 52 の反射側には、結像レンズ 56 が設けられ、この結像レンズ 56 から、観察者は、試料 12 からの凹面鏡 54、凸面鏡 53 並びにプリズム 52 を介する反射光による試料 12 の観察面からの顕微鏡像を観察することができる。

第 2 の実施例の装置に使用する 3 次元アクチュエータ 22 は第 1 の実施例と同構造のものでも良いが、ここでは、別の構造のものを使用している。これを第 7 図を参照して説明する。

このアクチュエータ 22 は、3 個の圧電素子 60, 61, 62 を有する。第 1 の圧電素子 60 は電圧の印加方向と分極方向とが一致したものであり、両端に設けられた電極 63, 64 により、矢印方向 (z 方向) に伸縮する。第 2 並びに第 3 の圧電素子 61, 62 は分極方向に対して直交する方向に電圧を印加すると、せん断力が働き、分極方向に滑りが発生する。このような第 2 並びに第 3 の圧電素子 61, 62 を互いに分極方向が直交するように配設し、第 2 の圧電素子 61 と第 3 の圧電素子 62 との間並びに第 3 の圧電素子 62 と絶縁板 47 との間に、夫々電極 65, 66 が設けられている。かくして、第 2 の圧電素子 61 は電極 64、65 間に電圧を印加することにより、y 方向に伸縮可能であり、また第 3 の圧電素子 62 は電極 65, 66 間に電圧を印加することにより、x 方向に伸縮可能である。

上記第 2 の実施例の装置においても、第 1 の実施例のもの

と同様の走査をすることにより、試料12をSTM観察ができると共にこのSTM視野を光学顕微鏡観察することができる。尚、この実施例のように、光学的視野観察光学系を反射対物レンズ系で構成した場合には、屈折型対物レンズ系で構成した場合と比較して、W、Dを大きくとれ、探触針と試料とが接触して、これらを損傷することがなく、光学的視野観察ができる。またこのような光学系は、色収差がなく、焦点位置に波長依存性がないという特徴があるので、不可視光に対する焦点調整が容易に行なえるという効果もある。

次に、第2の実施例の装置の光学系に、光学的に試料の観察面の表面形状を測定する機能を付加した例を第8図を参照して説明する。

第8図中、符号70は、透明の支持板55と前面が対面するようにして固定された別の透明の支持板を示す。この支持板70の後面には第1の分岐プリズム71が固定されている。このプリズム71の側方には、集光レンズ72を介して、光源73が設けられている。この光源73から射出された光は、集光レンズ72により、集光されて第1の分岐プリノズム71に入射し、これにより90度反射されて、凸面鏡53、凹面鏡54を順次介して試料12を照射する。この試料12からの反射光束は凹面鏡54、凸面鏡53を介して、第1の分岐プリズム71に入射する。この分岐プリズム71の透過側には第2の分岐プリズム74が、また、このプリズム74の反射側には接眼レンズ75が夫々設けられてい。かくして、第1の分岐プリズム71に入射した前記反射光束は第2の分

岐プリズムにより、一部反射されて接眼レンズ75に導かれる。この結果、前記第2の実施例と同様に観察者は、接眼レンズ75を通して、試料12の観察面を顕微鏡観察することができる。

次に、第2の分岐プリズム74の透過側に設けられた、表面形状測定装置を説明する。この装置は、第2の分岐プリズム74の透過側に、 $\lambda/4$ 板76を介して、設けられた第3の分岐プリズム77を有する。この第3の分岐プリズム77の側方には、集光レンズ78を介して、レーザダイオード79が設けられている。また、この第3の分岐プリズム77の透過側には、偏光ビームスプリッタを構成する第4の分岐プリズム80が設けられている。この第4の分岐プリズム80の反射側には、第1の臨界角プリズム81を介して、第1のフォトダイオード82が、また透過側には第2の臨界角プリズム83を介して、第2のフォトダイオード84が、夫々設けられている。

上記構成の表面形状計測装置の作用を以下に説明する。

まず、レーザダイオード79から射出された光束は、集光レンズ78により平行光束にされて第3の分岐プリズム77に入射し、ここで90度反射される。この反射光束は $\lambda/4$ 板76を透過し、第2の分岐プリズム74、第1の分岐プリズム71、凸面鏡53、凹面鏡54を介して試料12に入射し、この観察面上に微小なスポットを形成する。この観察面からの反射光束は、入射光束と逆の光路を通過して $\lambda/4$ 板76に入射し、さらに第3の分岐プリズム77を透過する。

この光束は第3の分岐プリズム77によりp偏光され、第4の分岐プリズム80に入射し、ここで2分される。一方の光束は第1の臨界角プリズム81を介して、第1のフォトダイオード82に、また他方の光束は第2の臨界角プリズム83を介して、第2のフォトダイオード84に、夫々入射する。このような装置においては、第1並びに第2の臨界角プリズム81、83に夫々入射する光束が試料12の観察面の凹凸により、入射角が異なり、臨界角を越えて入射する光束はプリズム81、83外に出るので、フォトダイオード82、84での検出光量に変化が生じ、かくして試料12の観察面上の凹凸情報を光学的に得ることができる。

上記光学的形状測定装置の原理を、第9図を参照して簡単に説明する。

試料の観察面（測定面）aが対物レンズb（凸面鏡と凹面鏡に対応する）の焦点位置にあるとき、対物レンズbを通過した反射光は平行光束となって臨界角プリズムcに入射する。この時、プリズムcの反射面と入射光とのなす角が臨界角となるように光学系を設定しておく。一方、観察面aが対物レンズb側（点線Aで示す位置）に位置する場合には、観察面aからの反射光は、対物レンズbにより発散光束となり、また逆に、焦点位置より遠い位置（点線Cで示す位置）にある場合には収束光束となる。これらの場合、中心光線のみが臨界角でプリズムcに入射し、中心から一方にずれている光束は、入射角が臨界角よりも小さくなって光の一部が屈折し、プリズムc外に射出し、残りの光が反射する。さらに他方に



ある光束は、入射角が臨界角よりも大きくなり、全反射する。以上のような動作を行わせることにより、2分割フォトダイオードdに入射する光束の光量が左右のフォトダイオードの検出面で異なり、この結果これらに入力側が接続された作動アンプeを介して、出力端子fから誤差信号が得られる。従って、光学的に対物レンズbの焦点位置を検出することにより、観察面の凹凸情報を得ることができる。さらに、観察面をx y方向に所定の範囲走査することにより、観察面の3次元像が得られる。

第8図並びに第9図に示した実施例では、試料表面の微小変位の測定、即ち、変位測定光学系の一例として臨界角法を説明したが、変位測定光学系は、特に、臨界角法にかぎることなく焦点検出方式を応用した公知の光学系が使用可能である（米国特許第4,726,685号公報、第4,732,485号公報参照）。例えば、非点収差法を利用した光学系を使用することができる。

第10図に示す走査型トンネル顕微鏡は、第2図に示すものに、凹面鏡からなる監視装置100を設け、探触針24と試料12との接近の程度を容易に観察できるようにしたものである。この凹面鏡は、3次元アクチュエータ22と粗動装置30との中間に位置するようにして基板1に固定され、凹面鏡の焦点内に探触針24と試料12とが位置するように凹面を上に向けて配設され、拡大正立虚像を凹面鏡を介して観察することにより、上記接近の程度を知ることが可能になっている。

上記各実施例の装置において、光学顕微鏡観察の場合、観察倍率の偏光は接眼レンズによっておこなえるが、対物レンズ側をレボルバー方式にしてもよい。

第6図並びに第8図に示す、実施例のように、光学系視野観察光学系を反射対物レンズ系で構成した場合には、探触針24が試料12と接触すると、探触針24と一緒に移動する凸面鏡53と、固定されている凹面鏡54との間隔が狂って光学顕微鏡像が劣化する恐れがある。このような場合は、凸面鏡53と凹面鏡54とを一体的に形成すれば良く、その例を以下に説明する。

第11図に示すものは、第6図に示す装置で、レンズ系だけを上記思想に沿って変形したものである。第11図において、符号55は前面並びに後面が共に所定の曲率を有する透明の石英板を示し、この後面に高反射率の蒸着膜を中央部を除いて蒸着することにより、凹面鏡54が形成されている。この石英板55の前面中央部には円形凹所が形成されており、この凹所内に、後面に凸面鏡53が、凹面鏡54と同方法により形成された透明の石英支持体56が挿入、固定されている。この支持体の前面には、探触針24を駆動する3次元アクチュエータ22が固定されている。この結果、凸面鏡53並びに凹面鏡54は石英板55と一体的に形成されているので、これらの間隔は、探触針24が試料12に接触しても狂うことがない。このような構成においては、凸面鏡53の曲率半径は凹面鏡54の曲率半径よりも小さくなるように、また石英板55の前面の内、支持体56が設けられていない面

の曲率は凸面鏡53の曲率と同じになるように設定されている。

上記例においては、STM観察時に、照明光を遮光する目的の遮光板を集光レンズ51と分岐プリズム52との間に設けても良い。又、アクチュエータ22を探触針24をz軸方向にのみ駆動する1次元アクチュエータで構成し、試料台31をx方向並びにy方向に移動可能な2次元アクチュエータで構成しても良い。

上記各実施例ではSTM視野観察光学系とSTM観察系とを一体的に組合わせて構成しているので、本発明の技術を汎用型の光学顕微鏡にそのまま適用するのには適していない。このため、以下に、汎用の光学顕微鏡を、ほとんどそのまま利用することができる走査型トンネル顕微鏡の例を説明する。

第3の実施例の走査型トンネル顕微鏡を示す第12図において、符号110は、汎用型の顕微鏡の対物レンズa1に円筒状の3次元アクチュエータ22を支承するための環状の支持部材を示す。この支持部材110は対物レンズa1の外周面に着脱可能に、これと同心的に設けられている。この支持部材110と対物レンズa1との取着は、例えば螺合やボルト留めのような手段によっておこなわれる。3次元アクチュエータ22は、この上端が支持部材110に固定もしくは着脱可能に装着されている。このアクチュエータ22の下端には、透明の板、例えばカバーガラスからなる探触針ホルダー23が同心的に取着されている。このホルダー23の中心に

は透孔が穿設され、この透孔内には探触針24の基端が挿入され、接着剤等により、ここで探触針24はホルダー23に固定されている。この探触針24とアクチュエータ22とは高精度で同心的に接続されており、またこれらの中心軸と前記対物レンズa1の光軸とは一致するように設定されている。以上のようにして、支持部材110と、アクチュエータ22と、探触針ホルダー23と、探触針24とによりトンネル走査ユニット120が構成されている。このような構成の走査型トンネル顕微鏡においては、トンネル走査ユニット120を、これの探触針24の中心軸と対物レンズa1の光軸とが一致するようにして、対物レンズa1に装着した状態で、透明のホルダー23を介して試料12の観察面のSTM走査領域を顕微鏡観察する。そして、前記実施例と同様に、アクチュエータ22により探触針24を3次元的に移動させて前記STM領域をSTM観察をする。このように、この実施例の装置においても、前記実施例の装置と同様に、STM像と従来像とを重ねて観察、測定することができる。

第13図に示す第4の実施例においては、3次元アクチュエータ22は対物レンズa1に取着されているのではなく、試料台31を中に支持しているフレーム状の支持部材130に支持されている。この支持部材130は上壁中央部に円形開口を有し、この開口の周面に円形リング状のアクチュエータ22が、対物レンズa1の光軸と同心的に固定されている。このアクチュエータ22の内周面には、この孔を閉塞するようにして、透明ガラス板よりなる探触針ホルダー23が取着

されている。このホルダー23の中心には、対物レンズa1の光軸上で試料12方向に突出するようにして、探触針24が取着されている。第14図に示す第5の実施例においては、支持部材130は、対物レンズa1の光軸と平行に伸びた支持軸131に、これを中心として水平面内で回動可能に支承されている。この結果、支持部材130の自由端側に設けられた3次元アクチュエータ22と、透明の探触針ホルダー（図示せず）と、探触針24とからなるトンネル走査ユニット120は対物レンズa1と試料12との間からはずすことが可能になっている。このような構成にすることにより、従来像の観察時に、対物レンズa1を試料12に接近させることができる。第14図に示す例では透明の探触針ホルダーを用いたが、透明のホルダー以外でも光学視野をさまたげない範囲であり、探触針の位置を特定できるものであれば、すべて使用可能である。例えば、ワイヤーで探触針を支持した構造でも良い。

第15図に示す第6の実施例において、符号140は、公知の光学顕微鏡、例えば金属顕微鏡のレボルバーa2に着脱可能に取付けられる対物レンズユニットを示す。このユニット140は、レボルバーa2の対物レンズ螺着用の雌ねじに螺合可能な雄ねじが周面に形成された突出部を上面に有し、また下端が開口した円筒状の外枠141を具備する。この外枠141の上壁内面中央にはねじ穴が形成されており、このねじ穴に対物レンズa1が上端で螺合されている。この対物レンズa1の外周面と外枠141の内周面との間には円筒状

の内枠142が設けられている。この内枠142は上下に互いに所定間隔を有して位置する1対の支持部142aと、この支持部間に支持され、上下方向に伸縮可能な圧電素子からなる筒状の探触針移動用粗微動装置142bとから構成されている。これら支持部142aは、外枠141の周壁に上下方向に離間して設けられた1対の上方内枠固定用粗微動装置141a並びに1対の下方内枠固定用素微動装置141bによって、夫々選択的に固定され得る。これら各対の2個の粗微動装置141a(141b)は互いに180度離間して設けられ、内枠142方向に伸縮可能な圧電素子により構成されている。上方の支持部142aには、内枠142と対物レンズa1との間に対物レンズa1と同心的に位置する円筒状の3次元アクチュエータ22の上端が固定されている。このアクチュエータ22は、前記上方内枠固定用粗微動装置141aと下方内枠固定用粗微動装置141bとを交互に働かせることにより、上方並びに下方の支持部142aの固定を交互に解除し、この解除に応じて探触針移動用粗微動装置142bを断続的に伸縮させる、いわゆるインチワーム方式により、z方向に移動される。このアクチュエータ22の下端には、中央に円形開口を有する円形の金属枠143が周縁で固定されている。この時の固定は、金属枠143がアクチュエータ22から取外して、交換可能なように、例えば、ねじのような手段によりおこなうのが好ましい。この金属枠143には、この円形開口を閉塞するようにしてカバーガラスからなる探触針ホルダー23が取着され、またこのホ

ルダの中心部には、探触針 24 が対物レンズ a 1 の光軸に沿って試料 12 方向に突設されている。試料 12 は x 並びに y 方向に移動可能なステージよりなる試料台 31 上に固定されている。

上記第 15 図に示す走査型トンネル顕微鏡の操作を以下に説明する。

光学顕微鏡のレボルバー a 2 に対物レンズユニット 140 を装着して試料表面の顕微鏡観察をおこなう。この時の光学顕微鏡像（従来像）のピント合せは、試料台を粗動させておこなう。この場合、従来像上に存在する探触針 24 による影の部分が STM の走査範囲に対応するので、これによって STM 走査範囲を光学顕微鏡で確認することができる。一方、STM 表面像を観察するには、対物レンズユニット 140 を光学顕微鏡のピント位置に設定した後、このユニット 140 の素微動装置 141 a により探触針 24 を微動調整してトンネル電流を検出し、この後は前記実施例と同様に 3 次元アクチュエータ 22 を働かせて試料 12 を探触針 24 により走査する。

前記試料を移動できるように保持する試料台 31 は、x 方向に移動させるアクチュエータと y 方向に移動させるアクチュエータとを組合わせて構成しても良いし、又、前記円筒状の 3 次元アクチュエータ 22 と同様のアクチュエータを試料の下に設けるようにして構成しても良い。

次に、上記実施例で使用されている円筒状の 3 次元アクチュエータ 22 を第 16 A 図、第 16 B 図並びに第 16 C 図を

参照して説明する。

図中、符号150は、圧電材料で形成され、両端が開口した円筒状の本体を示す。この本体150の外周面下部には、周方向に所定間隔を有してX電極151a、-Y電極151b、-X電極151c並びにY電極151dが夫々1個ずつ、計4個配設されている。これら電極の内、X電極（Y電極）と-X電極（-Y電極）とは互いに180度離間するように位置されている。また、この本体150の外周面上部には、全周に渡って延出するようにして、1個のZ電極152が設けられている。本体150の内周面には前記電極151a, 151b, 151c, 151d, 152と対向するようにして、グランド電極である裏側電極153が設けられている。このような構成の3次元アクチュエータ22の夫々の電極に、第16D図に示すような極性の電圧を印加することにより、選択的にx方向、y方向、z方向に、探触針24を走査してSTM観察をおこなうことができる。

第17図に示す第7の実施例においては、3次元アクチュエータ22の代わりに、z方向にのみ伸縮可能なz方向アクチュエータ22zを使用している。このアクチュエータ22zは中央に円形開口を有する円板状のバイモルフ圧電体により構成され、内枠142の下方の支持部142aに周縁で固定されている。このアクチュエータ22zの中央開口には、第15図に示す実施例と同様に、探触針24を対物レンズa1の光軸と中心軸が一致するように固定し、カバーガラスからなる探触針ホルダー23が設けられている。試料



12が上面に固定された支持台31を収容した棒状の支持部材130内には、支持台を31をx方向並びにy方向に夫々微動させるx方向アクチュエータ22x並びにy方向アクチュエータ22yが設けられている。これらx方向アクチュエータ22x並びにy方向アクチュエータ22yは、支持台31と支持部材130との間に設けられた圧電素子により構成されている。これらx方向並びにy方向アクチュエータ22x, 22yにより、試料は面方向(x-y方向)に移動され、前記z方向のアクチュエータ22zにより探触針24はz方向に移動されて、STM観察がおこなわれる。尚、この実施例においては、内棒固定用粗微動装置141a, 141bは前記15図に示す実施例とは異なり上下に夫々1個しか設けていないが、動作は前記実施例と同じである。

第18図に示す第8の実施例においては、対物レンズa1側にはSTM走査機構を設けず、試料12を保持する試料支持機構側にSTM走査機構を設けている。この例において、棒状の支持部材130の上面中央には、中央に開口を有するxy方向アクチュエータ22xyが取着されている。このアクチュエータ22xyには探触針24が試料側に突設されたカバーガラスからなる探触針ホルダー23が取着されている。この探触針ホルダー23の下側には、試料12を上面に保持したz方向アクチュエータ22z並びにこのアクチュエータ22zを保持する試料台31が設けられている。z方向アクチュエータ22zは、試料12を、これと探触針24との間隔を所定の範囲にするようにz方向に移動させる。尚、この

z方向アクチュエータ22zに代えて、前述したような3次元アクチュエータを使用しても良い。

第19A図ないし第19D図を参照して第9の実施例を説明する。

第19A図並びに第19B図において、符号160は台座を示し、これには試料台を兼ねた棒状圧電素子31並びにこの圧電素子31をx方向並びにy方向に粗動させるための粗動装置30を支持した支持アーム161が前面に突設されている。また、この台座160には、支持アーム161を、台座160に対してz方向に移動させるための移動装置165が設けられている。そして、台座160の前面角部には、垂直方向に伸びた回転軸162が、上端並びに下端で回転可能に軸支されている。この回転軸162にはトンネル走査ユニット120が、これと共に回転可能に設けられている。このトンネル走査ユニット120は、回転軸に突設された支持体163を具備し、この支持体163に3次元アクチュエータ22が固定されている。このアクチュエータ22は3本の棒状の圧電素子が互いに直角をなして、延出し、その基端で互いに接続されたトライポットアクチュエータにより構成されている。これら圧電素子の基端部には、探触針24が下方に突設されている。また前記支持体163には、第19A図に示すSTM非測定位置から、第19B図に示すSTM測定位置に、トンネル走査ユニット120が回動された時に、この位置でトンネル走査ユニット120を台座160にロックするロック手段164が設けられている。このロック手段

164は、支持体163に螺合されたロックねじよりなり、この先端が台座160の側面に圧接されることにより、上記ロックが果たされる。前記粗動装置30は試料台31を上支持するxテーブル並びにyテーブルと、これらの作動つまみ30a, 30bとを有する。

第19C図は、上記台座160を公知の金属顕微鏡に組み入れた状態を示す。この時には、前述したように顕微鏡の対物レンズa1の光軸と探触針24の軸とが一致するように、設定され、光学的観察並びにSTM観察がなされる。

最初にトンネル走査ユニット120を試料12からはずれた位置(第19A図)にし、金属顕微鏡で試料12を見ながら作動つまみ30a, 30bを回転させて、水平面内でのSTM観察位置を決定する。作動つまみ165を回転させることにより、高さを調整しピントを合わせる(ピントの合った位置は、ほぼ探触針24の走査位置である)。対物レンズa1上には、トンネル走査ユニット120を走査状態にセットしたときの探触針24と同じ位置にマーカー(例えば、+ など)がほどこされ、さらにSTM走査範囲も確認できるようになっているため、オペレータは金属顕微鏡をのぞいて走査したい試料位置のセット及び走査範囲の試料を正確に確認することができる。

走査する位置を決めた後に、トンネル走査ユニット120を台座160に固定し、STM像の測定操作を行う。

第19D図は、STM測定システムの構成を示すブロック図である。

図中、符号85はコントローラーを示す。このコントローラー85は入力インターフェイス91および出力インターフェイスを内蔵している。またコントローラー85には、CPUグラフィックディスプレイ、フレームメモリー、記憶装置としてのプロッター、プリンターなどが接続されている。またコントローラー85の入力端には、計測領域選択ボタン、制御ボックスとしてのマウス等の入力機器が接続されており、出力端には、X, Y, Z位置コントローラー86、およびxy方向試料位置決め用粗動装置87、オートアクセス装置88が接続されている。

光学顕微鏡一体化トンネルユニットにおいて、探触針24から得られたトンネル電流は、プリアンプ89, アンプ90によって増幅され、前記入力用インターフェイス91を介して、コントローラー85に供給される。また、トンネル電流信号は、プリアンプ89, アンプ90により増幅された後、波形モニター92を介してコントローラー85に入力される。

STMトンネルユニットと光学的に結合し、一体化されている光学顕微鏡(対物レンズ部分にトンネルユニットを組込んだところの光学顕微鏡)で得られた観測像は、ビデオカメラ93で撮像され、その撮像信号はビデオモニター93に供給される。また、入力用インターフェイス91を介してコントローラー85に供給される。

次に、上記制御系の動作を中心とした本実施例装置全体の操作法および動作について説明する。

まず、装置の使用に際しては電源を投入した後、以下の操

作を順次おこなう。

I. 試料12を試料台に固定し、トンネルバイアス電圧印加用電極をつける。

II. STM像観察部位の位置決めのために、試料を光学顕微鏡94で観察する。この時、光学顕微鏡のピントを自動フォーカス機構により合せる。ピント合せの方法としては、ナイフエッチ法を用い、ピントのずれによる光学像の変化を接眼レンズ部に取り付けられたビデオカメラ93で撮像し、コントローラ-85に入力し、コントローラ-85からの自動フォーカス機構制御信号を自動フォーカス装置に入力することにより、試料と対物レンズ部との相対的位置が制御でき、光学顕微鏡像のピントを合せることができる。

また、自動フォーカス機構を用いて対物レンズと試料との相対位置をフォーカス位置に合せることによって、対物レンズの先端に取り付けられているSTM探触針と試料との距離を一定の値(50 $\mu$ m程度)まで、近付けることができる。

このように、光学的なピント合せが終了したところで、STM観察部位の位置決めを行う。

光学顕微鏡像の中心に存在するマ-カ- (この位置にSTM探触針が存在している) に、STMによって観察を行ないたい試料表面の部位を合せる。この時、試料位置の調整は、コントローラ-上のスイッチを操作して行う。この時、コントローラ-から出力される、X、Y方向位置決め信号は、試料位置決め用粗動装置87に入力され、試料のxy位置および $\theta$  (xy平面内),  $\phi$  ((xz平面内),  $\gamma$  (yz平面

内) 方向の角度を決めることができる。

Ⅲ. 前記のような、S T M 観察位置決めを行った後、S T M 探触針をオートアクセス装置 88 を用いてトンネル電流が観測される距離まで近付ける。

光学的ピント合せによって、S T M 探触針と試料との相対位置を一定の値の位置まで近付けた後、試料にバイアス電圧を印加し、試料—探触針間に流れるトンネル電流をプリアンプ、アンプ等で増幅した後、コントローラーに入力し、コントローラーからのオートアクセス装置制御信号をオートアクセス装置に入力し、トンネル電流が所定の値になるように、試料—探触針間距離を調整する。

トンネル電流が非常に大きくなった場合にも、このオートアクセス機構を用いて、探触針を試料から離すことができ、探触針を試料に接触させる危険性がなくなる。

光学的なオートアクセスと、トンネル電流をセンサーとするオートアクセスの 2 段階オートアクセス機構を用いることで、探触針をアプローチするのに要する時間を短縮することができる。

Ⅳ. 次に、試料表面（試料表面全体として）が対物レンズのレンズ面に対して平行になるように、試料の傾きを試料位置決め用粗動装置上の、例えば、ゴニオメーター等で調整する（探触針が試料表面に対して垂直になるように調整する）。

試料の傾きの調整は次の 2 段階でおこなう。

a. ビデオカメラによって撮像された光学顕微鏡像が視野全体に渡ってピントがあうように、コントローラーから制御

信号を試料位置決め用粗動装置 87 へ供給し、試料の傾きを補正する。

b. 3次元スキャナー 95 を広範囲 (10  $\mu$ m 程度) で走査させた時のトンネル電流信号を、増幅した後、波形モニター 92 に入力する。波形モニター 92 からの出力が一定値になるように (x 軸、y 軸走査信号と同一周波数成分が 0 になるように)、コントローラ 85 から、試料位置決め用粗動装置 87 に、制御信号を入力し、試料の傾き補正を行う光学方法と、トンネル電流をセンサーとする 2 つの手法を用いて、試料傾きを補正することによって、トンネル電流だけをセンサーとする場合と比較して、短時間で試料傾きを補正することができる。

V. 3次元スキャナー 95 を x, y 方向に走査し、トンネル電流が一定になるように z 方向の位置制御をとおこないながら、STM 像の測定を行う。

なお、広範囲の STM 像 (光学顕微鏡像と同程度の広さ) を得るためには、試料位置決め用粗動装置 87 を用いて STM 像のつなぎ合せ (狭い範囲の STM 像を、試料表面の走査位置を変えながら順次測定し、これをソフトウェア的につなぎ合わせる) を行う。

次に、第 6 図に示す実施例の装置と類似した装置を第 20 図を参照して説明する。

この実施例にて、第 6 図に示す部材と実質的に同じ機能を示す部材は、同符号を付して詳しい説明は省略する。

この例では、試料 12 の測定面と探触針 24 の先端との間

の微小間隔を観測するための観察手段が、以下に説明するように設けられている。

図中、符号200は、試料支持機構と、対物レンズユニット120とをユニット枠201内に組み込んで構成された計測ユニットを示す。このユニット枠201の一侧には、光を試料12に導くための光ファイバー（コールドファイバー）202の一端側が設けられている。また、ユニット枠201の他側には、光ファイバー202による試料12からの反射光を受光するようにして、補助対物レンズ203が設けられている。前記光ファイバー202の一端並びに補助対物レンズ203は、ユニット枠201に、試料12の表面中心を中心として、試料12の観測面よりほぼ20度の角度の範囲( $\alpha$ )で、垂直面内を傾動可能となっている。前記光ファイバー202の他端202aは、光学顕微鏡の光源50近くに延出されている。この結果、光源50からの光は光学顕微鏡の照明系を介して、試料12に導かれると共に、光ファイバー202を介しても試料12にも導かれる。前記補助対物レンズの203の後段光軸上には、回動可能な反射鏡204を介して、補助接眼レンズ205が設けられており、補助対物レンズ203からの反射光を反射鏡204を介して、受光することにより、この補助接眼レンズ205を介して、試料12の観測面と探触針24の先端との間隔を目視することができる。この結果、この測定を行ないながら、探触針24と試料12とを接近させることが可能となり、試料12に探触針24が接触することによる、両者の損傷を防ぐことができ



る。

尚、図中、符号206は計測ユニット200が載置される防振台を示す。

前記計測ユニット200の構成を第21A図ないし第21D図を参照して説明する。

ユニット枠201は、上枠201aと、下枠201bと、1対の対向した側枠201cとを有する。上枠201a中央には、光源50からの光をユニット枠201内に通すと共にユニット枠201内の光を接眼レンズ51方向に通す円形開口201dが形成されている。また、この上枠201aの内面には、円板形の対物レボルバー211が回転軸211aによって、回転可能に装着されている。この対物レボルバー211には、夫々倍率の異なる2個の対物レンズa1と1個の対物レンズユニット140とが前記回転軸211aから等距離の所に配設されている。この離間距離は、対物レンズa1並びにユニット140が選択的に前記開口201dの所に移動された時に、この中心軸線がこの開口201dの中心軸線と一致するように設定されている。このユニット枠201の下枠201bの中心には、一端がユニット枠201内に突設するようにして粗動ねじ213が外側より螺着されている。この粗動ねじの突出端には、粗動ボール214を介して、粗動テーブル215が粗動ねじ213の回転によって、両端角部に設けられた2対のガイドレール215aに案内されて、上下方向(z方向)に移動するように、支持されている。この粗動テーブル215の上面には、外から走査される

x方向調整つまみ216a並びにy方向調整つまみ216b(第21D図)を備えたxy方向テーブル216が、粗動テーブルに対して、面方向(x並びにy方向)移動可能に載置されている。この粗動テーブル215とxy方向テーブル216とは、面方向に遊びのある凹凸係合しており、またこれら係合側面間には、一方向に、粗動テーブル215に対してxy方向テーブル216を付勢する1個のばね216cが設けられていることにより、xy方向テーブル216の移動量が規定されている。また、このxy方向テーブル216の幅方向中央部の上面には両端が開口した矩形溝216aが形成され、この矩形溝216a内には中微動板217が挿入されている。XYテーブル216の長手方向の一端にはz方向に伸縮可能な第1のアクチュエータ218が固定されている。このアクチュエータ218の上端には、前記中微動板217の長手方向の一端の下面に形成された凹所と係合した第1の微動ピン219が当接されている。また、前記xy方向テーブル216と中微動板217の他端間には第1の固定ピン220が介在されている。かくして、第1のアクチュエータ218を伸縮させることにより、中微動板217は第1の固定ピン220を支点としてxy方向テーブル216に対して垂直面内を回動可能になっている。前記中微動板217上には高微動板221が設けられている。この中微動板217の長手方向の他端にはz方向に伸縮可能な第2のアクチュエータ222が突設されている。このアクチュエータ222の上端には、前記高微動板221の長手方向の他端の

下面に形成された凹所と係合した第2の微動ピン223が当接されている。また、前記中微動板217の中心の一端寄りの箇所と、高微動板221の一端との間には、矩形溝216aの内壁により支承された第2の固定ピン224が介在されている。かくして、第2のアクチュエータ222を伸縮させることにより、高微動板221は第2の固定ピン224を支点として中微動板217に対して垂直面内で回動可能になっている。この高微動板221の一端近くの上面上には、xy方向アクチュエータ22xyが支持され、このアクチュエータ22xyの上には試料12が載置されている。このxy方向アクチュエータ22xyは、試料12をx方向並びにy方向に微動させ、後述するz方向アクチュエータ22zと共同してSTM観測を果たす。この実施例では、試料12と第2の微動ピン223との間の距離は、第2の固定ピン224と試料12との間の距離の10倍になっている。即ち、高微動板221のレバー比は10:1に設定されている。また第1の微動ピン219と第1の固定ピン220との間の距離は、試料12と第2の微動ピン223との間の距離の2倍に設定されている。このため、第2のアクチュエータ222を1 $\mu$ m上方に移動させると、試料12の表面は $1\mu\text{m} \times 1 / 10 = 0.1\mu\text{m}$ だけ探触針24に接近する。また、第2のアクチュエータ222を作動させず、第1のアクチュエータ218のみを1 $\mu$ m上方に作動させると、試料12の表面は $1\mu\text{m} \times 1 / 20 \times 1 / 10 = 0.0005\mu\text{m}$ だけ探触針24に接近する。即ち、第2のアクチュエー

タ 2 2 2 により中微動、第 1 のアクチュエータ 2 1 8 により小微動を試料 1 2 に与えることができる。前記ユニット枠 2 0 1 の 1 対の側枠 2 0 1 c の両端間には、夫々ばね受け 2 3 0、2 3 1 が固定されている。一方のばね受け 2 3 0 と中微動板 2 1 7 の一端上面間には、常時この一端を下方に付勢する圧縮ばね 2 3 2 が介在されている。同様に、他方のばね受け 2 3 1 と高微動板 2 2 1 の他端上面間には、常時この他端を下方に付勢する圧縮ばね 2 3 3 が介在されている。上記構成の計測ユニット 2 0 0 はユニット枠 2 0 1 により各部品が強固に組付けられ、この結果、耐震性に優れている。また、これらユニット枠 2 0 1 等の部材は熱膨脹係数の小さいアンバー等によりコンパクトに形成され、熱による影響が少なくなるように設定されている。

次に、対物レンズユニット 1 4 0 を、第 2 2 図を参照して説明する。

図中、符号 3 0 0 は、上下端が開口し、外周に着脱用のローレット部 3 0 0 a が形成された筒状の上部ハウジングを示す。この上部ハウジング 3 0 0 の下部外周には、雄ねじが形成されており、この雄ねじには、ローレット部 3 0 1 a を外周面に有し、上端が開口した筒状の下部ハウジング 3 0 1 の上部内周面に形成された雌ねじが螺合している。かくして、上部ハウジング 3 0 0 と下部ハウジング 3 0 1 とはねじ結合により、着脱可能に取着されている。また、上部ハウジング 3 0 0 の内周面には雌ねじが形成されており、この雌ねじには、互いに上下方向に所定間隔を有して、上部支持筒体

302並びに下部支持筒体303が、これらの外周に形成された雄ねじにより螺合している。そして、この上部ハウジング300の上端筒状突出部に形成された雌ねじには、留めねじ304が、その外周に形成された雄ねじにより螺合している。この留めねじ304は、上下端が開口し、また上端に内方フランジ部と外方フランジ部とを有し、円筒状をなし、内周面には雌ねじが形成されている。この留めねじ304の雌ねじには、上下端が開口した円筒状の光案内部材305の上部外周に形成された雄ねじが螺合している。留めねじ304の内方フランジ部と光案内部材305の上端との間には、第1のレンズ306が締付け固定されている。前記上部支持筒体302の下面と下部支持筒体303の内周面に形成された段部との間には、中央部に透孔を有する、第2のレンズ307が締付け固定されている。この下部支持筒体303の下部には、レンズ装着筒308の上部が挿入され、締付けリング309により、固定されている。このレンズ装着筒308の小径となった下端部には第3のレンズ310が取付されている。尚、前記第2のレンズの下面には凹面鏡54が、また第3のレンズの上面中央部には凸面鏡53が、夫々形成されている。前記下部ハウジング301の下端中央部には開口が形成され、この開口には、透明な部材、例えば石英ガラス、で形成された支持板311が取付されている。この支持板311の中央部にはz方向アクチュエータ22zが下方に突出するようにして装着されており、また、このアクチュエータ22zの先端には、探触針24が下方に突設されている。

尚、前記第1ないし第3のレンズ306, 307, 310と、凹面鏡54と、凸面鏡53と、探触針24と、z方向アクチュエータ22zとは同軸的に配置されている。このような構成のユニット140を組み込んだ計測ユニット200を第20図に示す光学顕微鏡に装着しておこなう、従来像の観察並びにSTM像の観察は他の実施例とほぼ同様なので、ここでは省略する。

前記、光ファイバー202並びに補助対物レンズ203からなる探触針一試料間隔観測装置を第23図を参照して説明する。

図中、符号401はユニット枠201(第21A図)に、垂直面に沿うように固定された案内板を示す。この案内板401には、この周面に沿って、左右対象に円弧状に延びた第1並びに第2の案内溝401a, 401bが形成されている。この案内板401の前方には第1並びに第2の回転アーム402a, 402bの一端が位置している。第1のアーム部402aの他端には、このアーム部402aと平行になるようにして、光ファイバー202の一端部が、このアーム部402aの回転と共に回転するように固定されている。第2のアーム部402bの他端には、このアーム部402bと平行になるようにして、補助対物レンズ203が、このアーム部402bの回転と共に回転するように装着されている。この補助対物レンズ203は、ピニオンにより、光軸に沿って直線状に移動可能に、アーム部402bに対してラック-ピニオン結合されている。第1並びに第2のアーム部

402a, 402bの一端部には、互いに歯合した歯車403a, 403bが、夫々固定されている。この第2の歯車403bには第3の歯車403cに歯合されている。これら第1ないし第3の歯車403a, 403b, 403cは、夫々ユニット枠201(第21A)に回転可能に支承されている。この結果第1並びに第2のアーム部402a, 402bは、歯車403a, 403bの回転によって、垂直面内をこれら歯車の中心軸を中心として回転される。前記第3の歯車403cには第1のプーリ404aが、この歯車403cと共に回転するように、同軸的に固定されている。一方、補助対物レンズ203の光射出側に設けられた反射鏡204には、これと同軸的に第2のプーリ404bが反射鏡204と共に回転可能に設けられている。そして、第1のプーリ404aと第2のプーリ404bとの間にはエンドレスベルト405が掛渡されている。また、前記第1並びに第2のアーム部402a, 402bには、先端が前記案内溝401a, 401b内に位置し、この案内溝に沿って案内される係合ピン406a, 406bが突設されている。

上記のような構成の間隔測定装置においては、補助対物レンズ203を回転させることにより、歯車403a, 403b並びにアーム部402a, 402bを介して、光ファイバー202も同じ回転量だけ回転し、この結果、光ファイバー202から試料に入射した光の反射光は常時、効率良く補助対物レンズ203に導かれる。また、補助対物レンズ203の回転に応じて、歯車403b,

403c、プーリ404a, 404b並びにエンドレスベルト405を介して、反射鏡204も回動し、この結果、補助対物レンズ203のどの回動位置においても、この補助対物レンズ203からの射出光は、反射鏡204によって補助接眼レンズ205（第20図）に導かれる。従って、補助対物レンズ203を回動して、探触針と試料との間隔を測定し易い位置にもたらし、測定することができる。

第24A図ないし第24C図は、第21A図に示す計測ユニット200並びに第23図に示す間隔測定装置の変形例を示し、この例では、ユニット140は顕微鏡（図示せず）に固定された支持アーム501により、支持されており、またユニット140には、アクチュエータ並びに探触針24は装着されていない点が前記実施例とは異なる。図中、符号502は固定部材を示し、これにはピボット軸503を介して回動板504が、ユニット140の下側に来る位置と、ここからはずれる位置との間で、水平面内を回動可能に一端で、支承されている。この回動板504の中央部には透孔が形成されており、この透孔の上面には、透明の板、例えばカバーガラスからなる探触針ホルダー23が透孔をおおうようにして、設けられている。そして、この探触針ホルダー23には下方に、即ち、試料12方向に突出するようにしてz方向アクチュエータ22zを介して、探触針24が固定されている。また試料は、この探触針24の下方に、xy方向アクチュエータ22xyによって支持されている。尚、この図にて、符号505は、回動板504を図示のSTM観察位置に



保持するためのクリック機構を示す。また、この例では、光ファイバー202並びに補助対物レンズ203を同期して回転させるための第1並びに第2の歯車403a, 403b、および反射鏡204を回転させるための第3の歯車403cは、夫々支持アーム501に回転可能に支承されている。

本発明においては、STM走査域観察用の光学顕微鏡としては、実施例で説明した金属顕微鏡以外の光学顕微鏡を使用しても良く、例えば、偏光顕微鏡、ノマルスキー微分干渉顕微鏡、蛍光顕微鏡、赤外線顕微鏡、実体顕微鏡、表面形状測定装置、顕微測光システムなどが使用可能である。

#### 産業上の利用可能性

この発明の走査型トンネル顕微鏡においては、STM系（トンネル走査ユニット）の探触針と光学顕微鏡の接眼光学部材とを共に試料の観察面に面して軸方向（z方向）に移動させ、夫々の像が観察され得るので、両者の比較が極めて容易であり、実用上優れる。

### 請求の範囲

1) 試料を保持する試料台と、この試料に対して軸方向に所定間隔を有して保持された探触針と、試料と探触針とを相対的に3次元駆動するアクチュエータと、前記試料に面して軸方向に移動可能な対物光学部材並びにこの対物光学部材を介する試料からの反射光を受ける接眼光学部材を有し、この接眼光学部材を介して前記試料の表面を観察可能な観察光学系と、を具備することを特徴とする走査型トンネル顕微鏡。

2) 前記対物光学部材は、前記探触針が移動可能に貫通した透孔を中央に有する対物レンズを具備することを特徴とする請求の範囲の第1項に記載の走査型トンネル顕微鏡。

3) 前記対物光学部材は、試料からの反射光を受ける凹面鏡と、この凹面鏡からの反射光を前記接眼光学部材に導く凸面鏡とを有し、これら鏡は前記探触針とほぼ同軸的に設けられていることを特徴とする請求の範囲の第1項に記載の走査型トンネル顕微鏡。

4) 探触針を対物光学部材と試料との間に配置し、対物光学部材と接眼光学部材とを機械的に分離して構成することにより、接眼光学部材側から生じる振動による探触針による試料測定への影響を除去することを特徴とする請求の範囲第1項に記載の走査型トンネル顕微鏡。

5) 試料を保持する試料台と、この試料に対して軸方向に所定間隔を有して保持された探触針と、試料と探触針とを相対的に3次元駆動するアクチュエータ手段と、前記試料に面

して軸方向に移動可能で、前記探触針の中心軸とほぼ一致した光軸を試料面に対して有する対物光学部材並びにこの対物光学部材を介する試料からの反射光を受ける接眼光学部材を有し、この接眼光学部材を介して前記試料の表面を観察可能な観察光学系と、を具備することを特徴とする走査型トンネル顕微鏡。

6) さらに、前記対物光学不在を介する試料からの反射光の光路中に変位測定光学系を有し、試料の観察面の表面形状を測定することを特徴とする請求の範囲第5項に記載の走査型トンネル顕微鏡。

7) 変位測定光学系と観察光学系を対物光学部材を介する試料からの反射光の光軸上に設け、変位測定光学系と観察光学系に共通、対物光学部材を凹面鏡及び凸面鏡を有する反射型対物レンズとしたことを特徴とする請求の範囲第6項に記載の走査型トンネル顕微鏡。

8) 探触針と、光学顕微鏡の対物光学部材の光軸と探触針の中心軸がほぼ一致するように探触針を支持する支持手段と、試料と探触針とを相対的に移動させてトンネル領域まで近づけ、これらを3次元駆動するアクチュエータ手段と、を具備することを特徴とする走査型トンネル顕微鏡。

9) 前記支持手段は光学顕微鏡の対物レンズに、このレンズと試料との間に探触針が位置するように、探触針を支持する手段を有する請求の範囲の第8項に記載の走査型トンネル顕微鏡。

10) 前記アクチュエータ手段は、支持手段と探触針との

間に設けられた3次元アクチュエータを有する請求の範囲の第8項に記載の走査型トンネル顕微鏡。

11) 対物レンズの外枠上に設けられたアクチュエータと、このアクチュエータを対物レンズに固定する固定手段と、アクチュエータの先端に取り付けられた透明板と、透明板の対物レンズの光軸の部分に配置した探触針とからなるトンネル走査ユニットと、対物レンズを介する試料からの反射光の光路上に設けられた観察光学系とを具備することを特徴とする走査型トンネル顕微鏡。

12) 試料観察用光学系の対物レンズの光軸と一致しているところのSTM探触針と、探触針を3次元に駆動させるための3次元アクチュエータと、探触針を試料観察光学系の光軸上からはずすための探触針移動機構を有する探触針走査機構と；試料表面観察用反射型光学系を具備し、STM探触針を対物レンズ光軸上からはずす機構を有することで、対物レンズを試料面に接近させSTM走査域の光学的観察を可能にしたところの走査型トンネル顕微鏡。

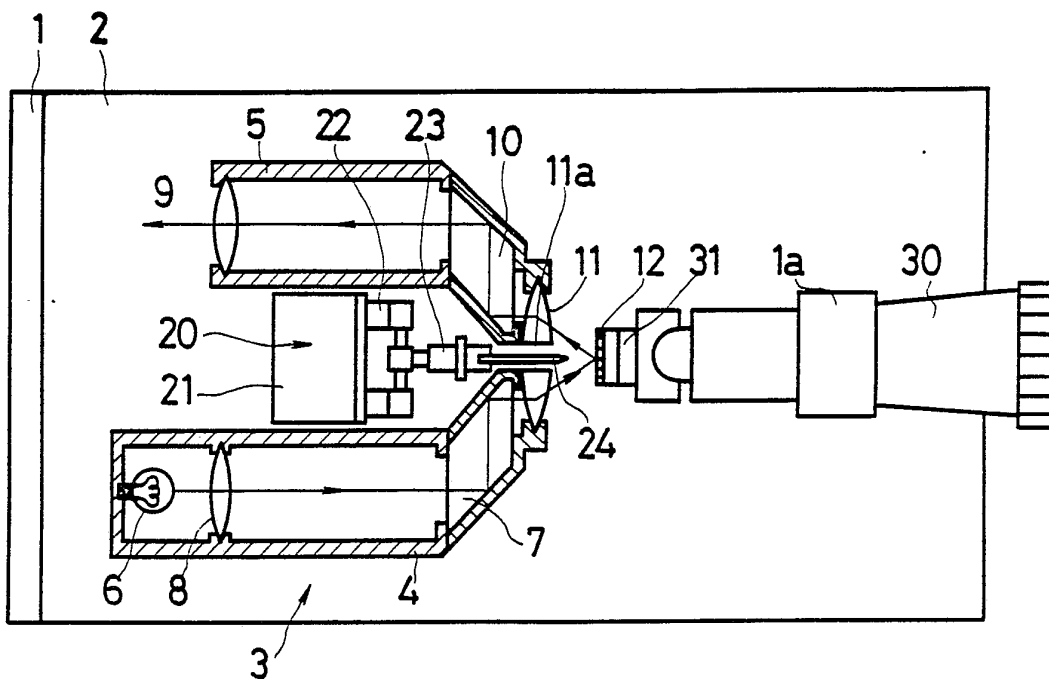


Fig. 1 ✓

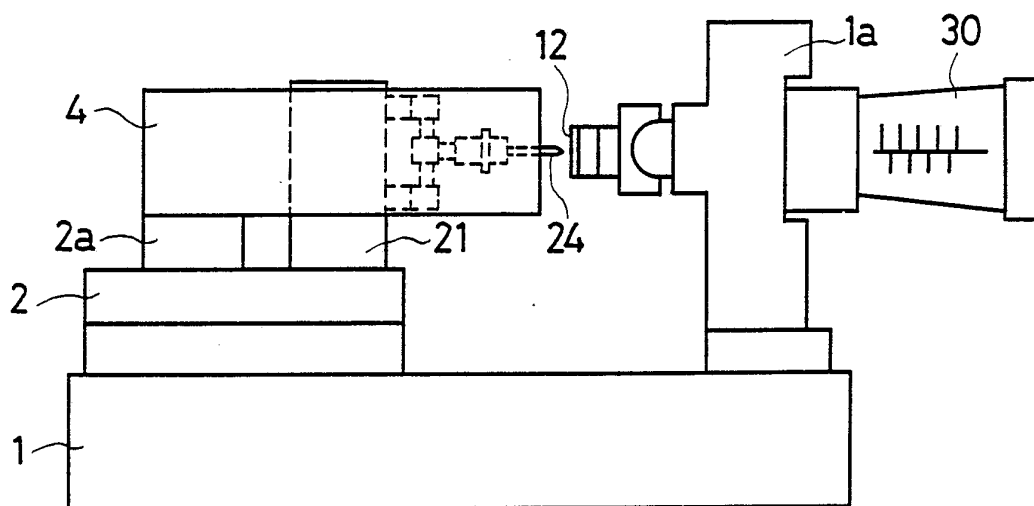


Fig. 2

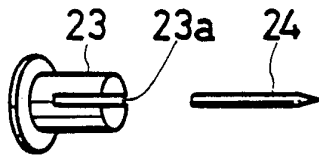


Fig. 3

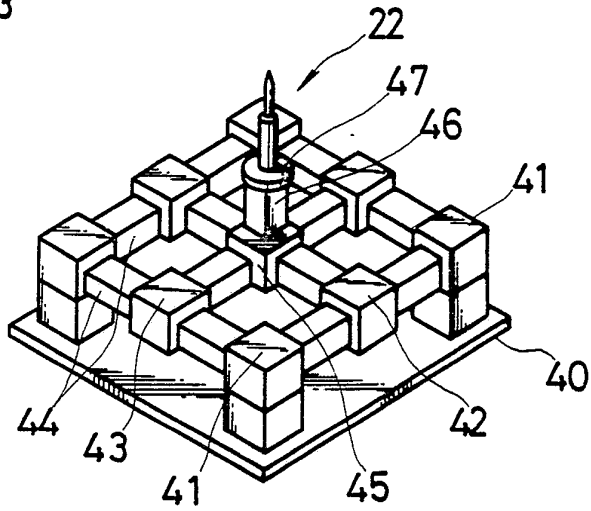


Fig. 4

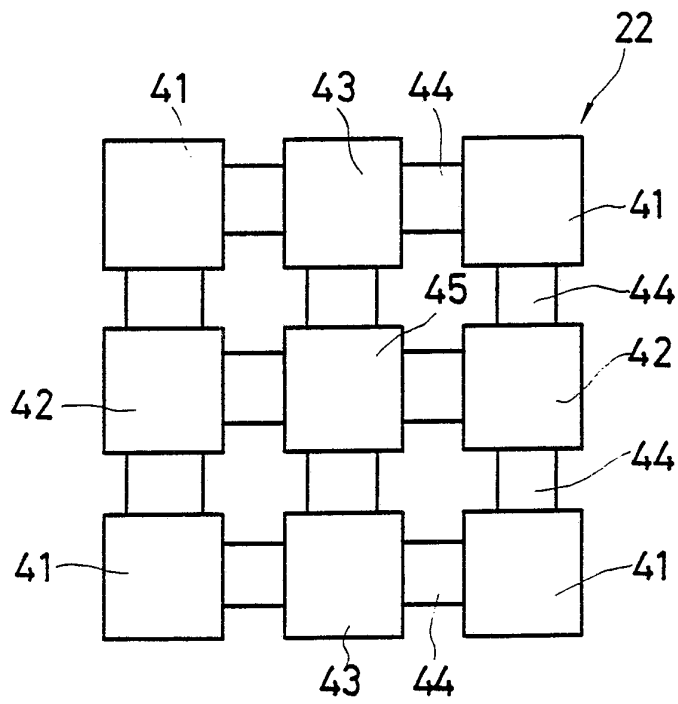


Fig. 5

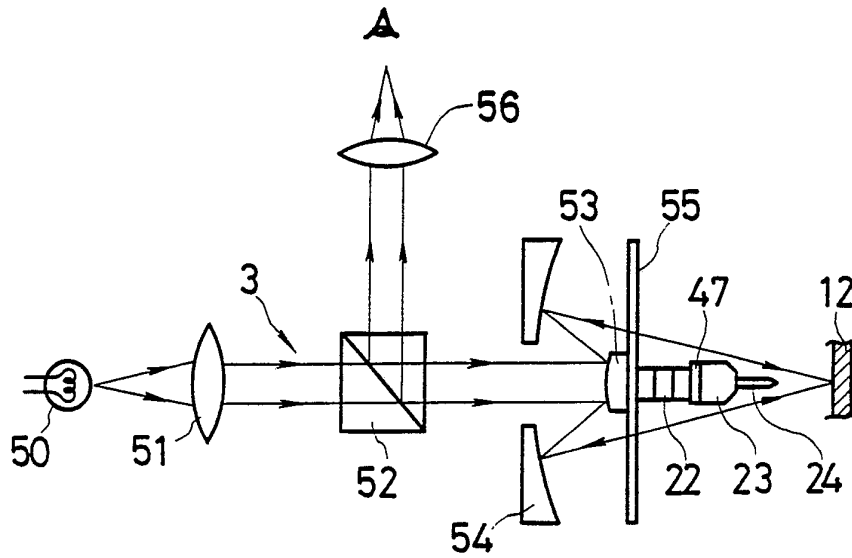


Fig. 6

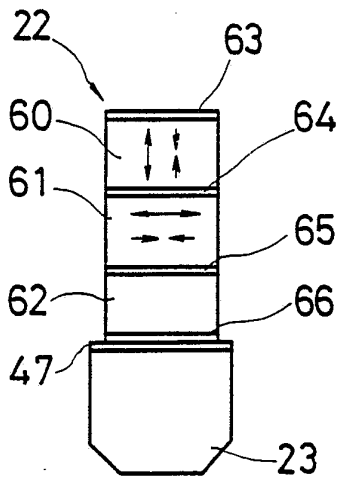


Fig. 7

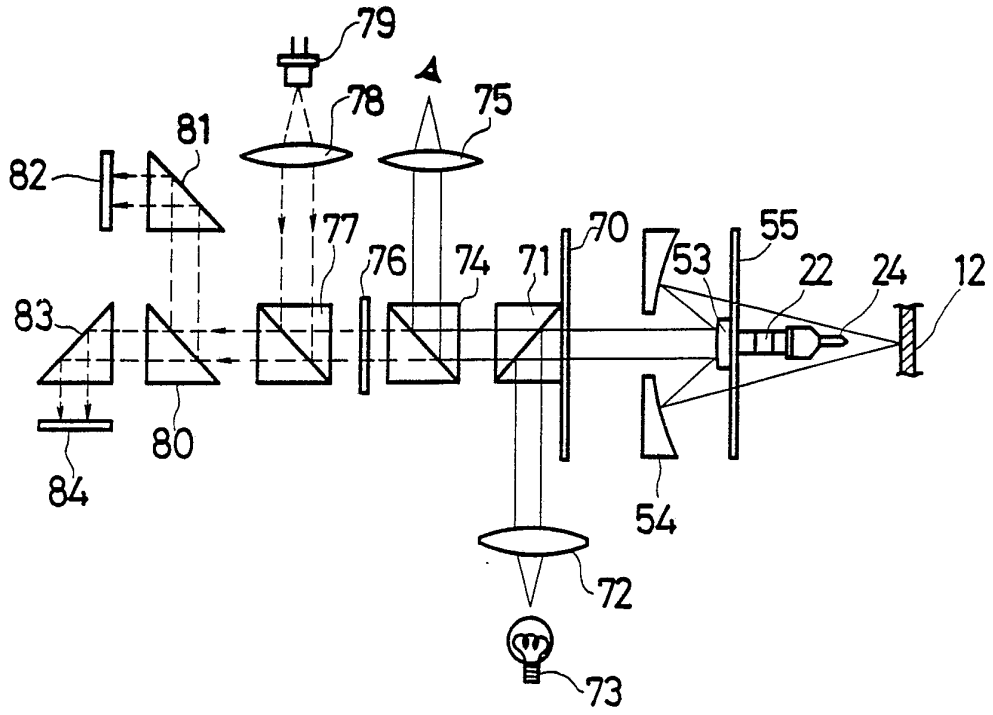


Fig. 8

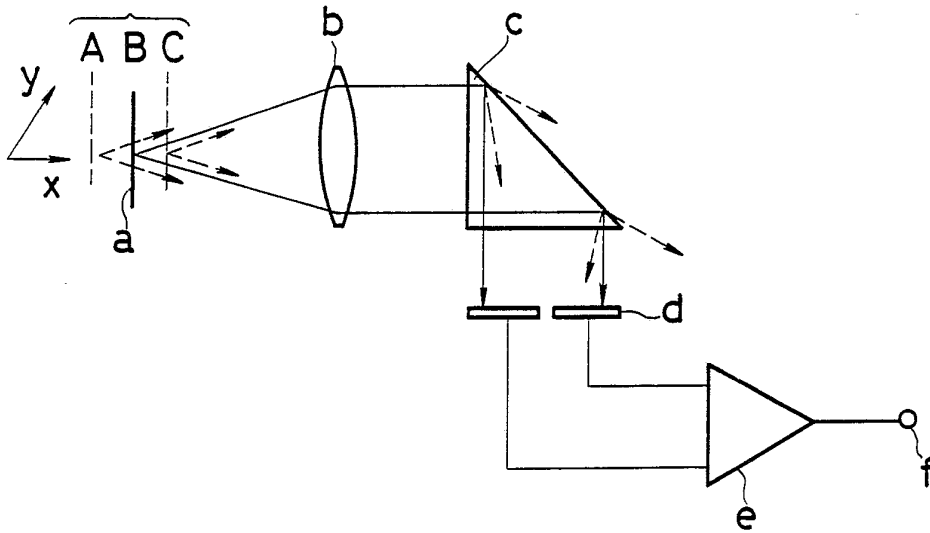


Fig. 9



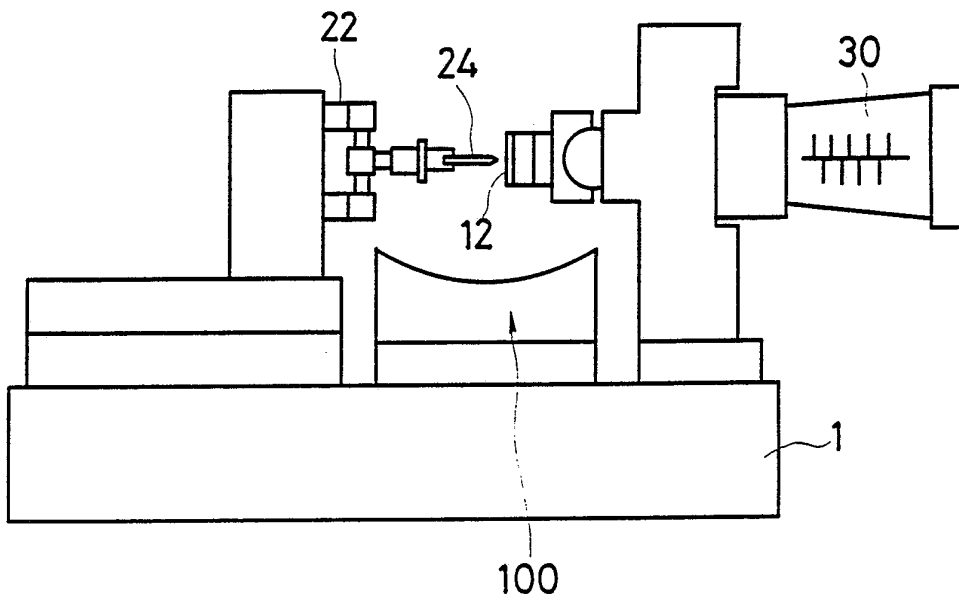


Fig. 10

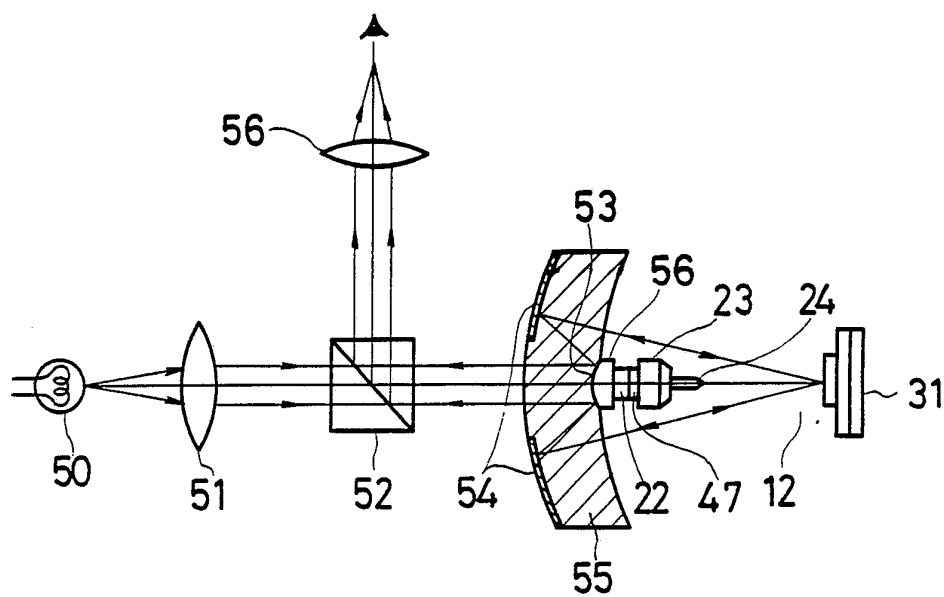


Fig. 11

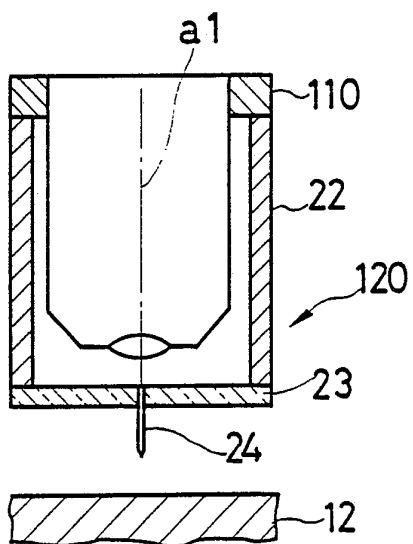


Fig. 12

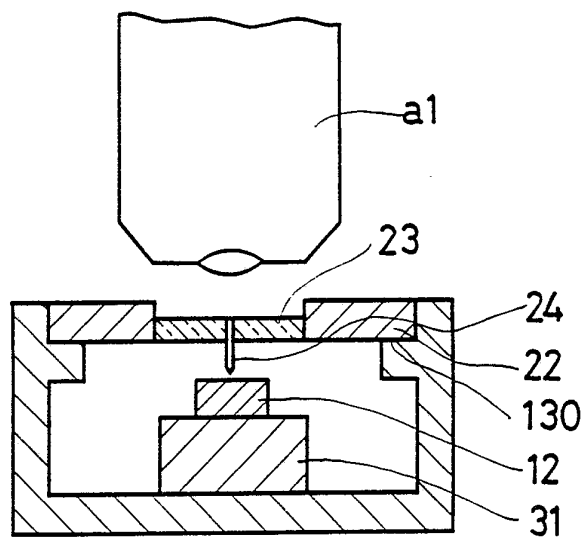


Fig. 13

7/20

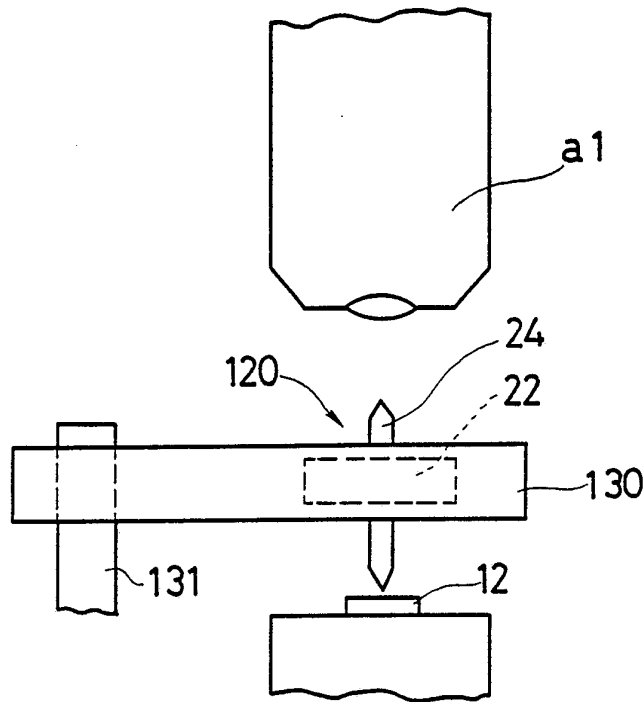


Fig. 14

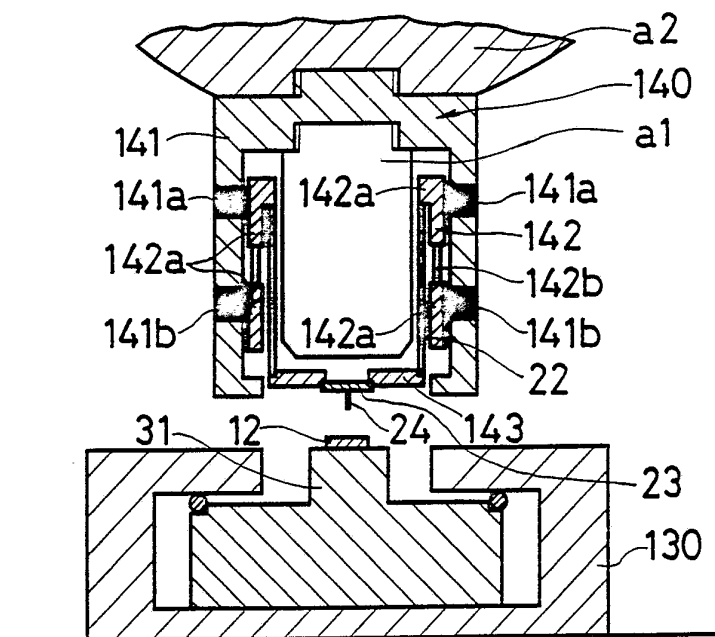


Fig. 15

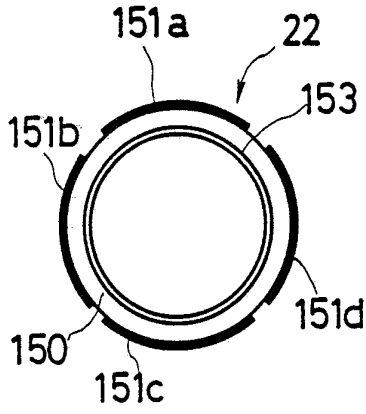


Fig. 16A

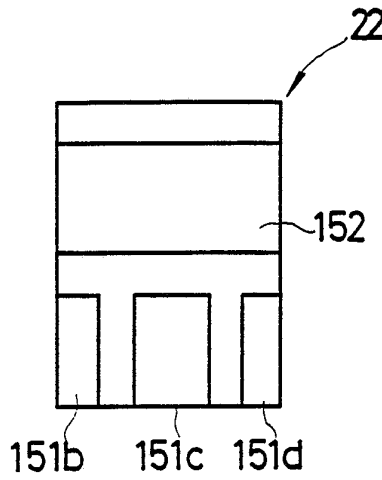


Fig. 16B

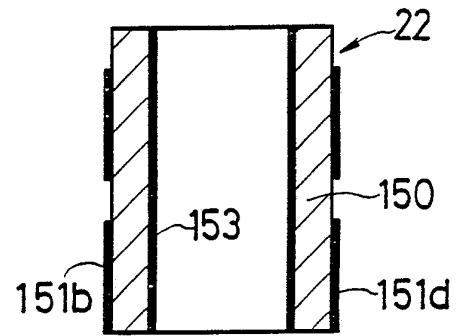


Fig. 16C

電極	印加電圧	移動方向	印加電圧	移動方向
X	+	+x	-	-x
Y	+	+y	-	-y
$\bar{X}$	-	+x	+	-x
$\bar{Y}$	-	+y	+	-y
Z	+	+z	-	-z

Fig. 16D

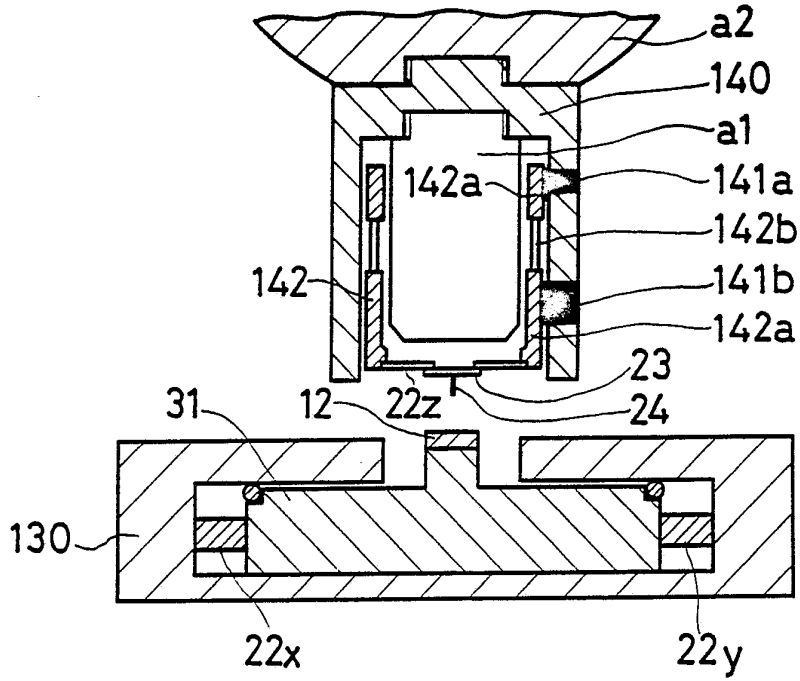


Fig. 17

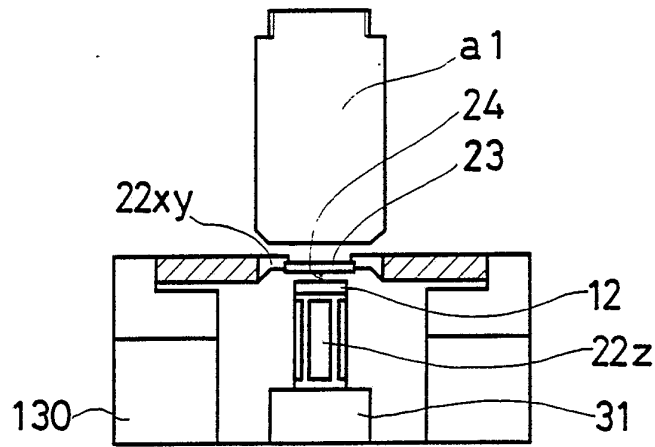


Fig. 18

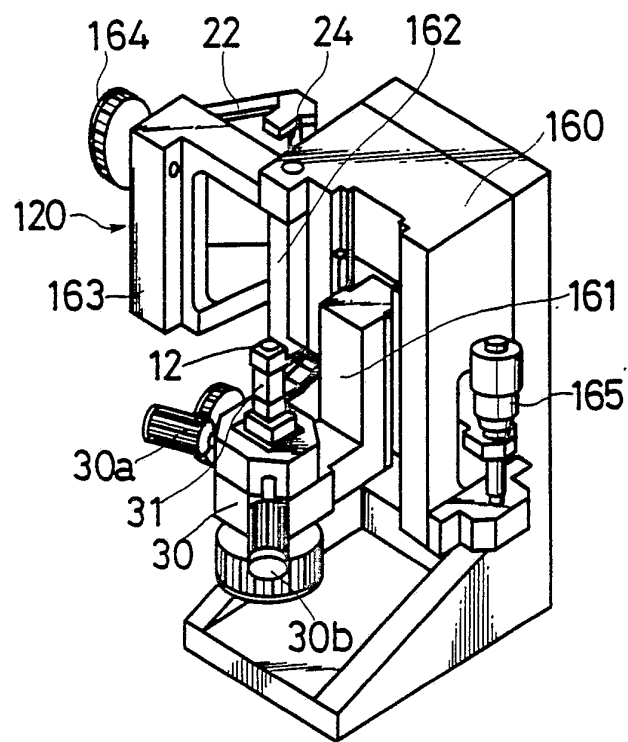


Fig. 19A

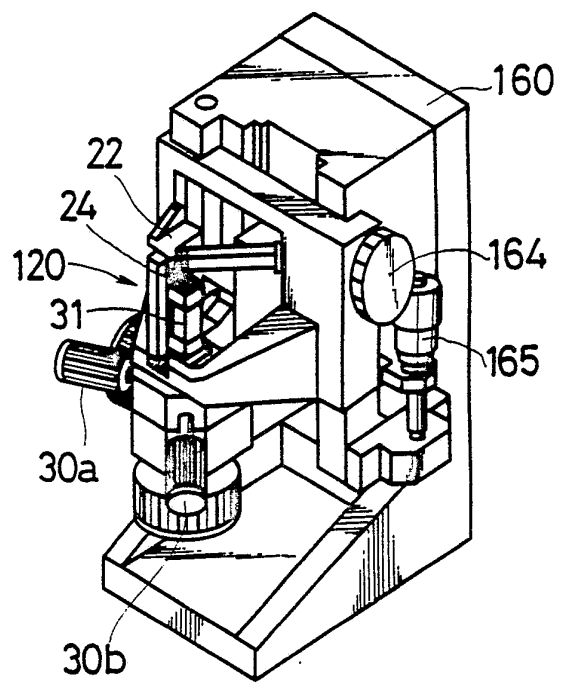


Fig. 19B

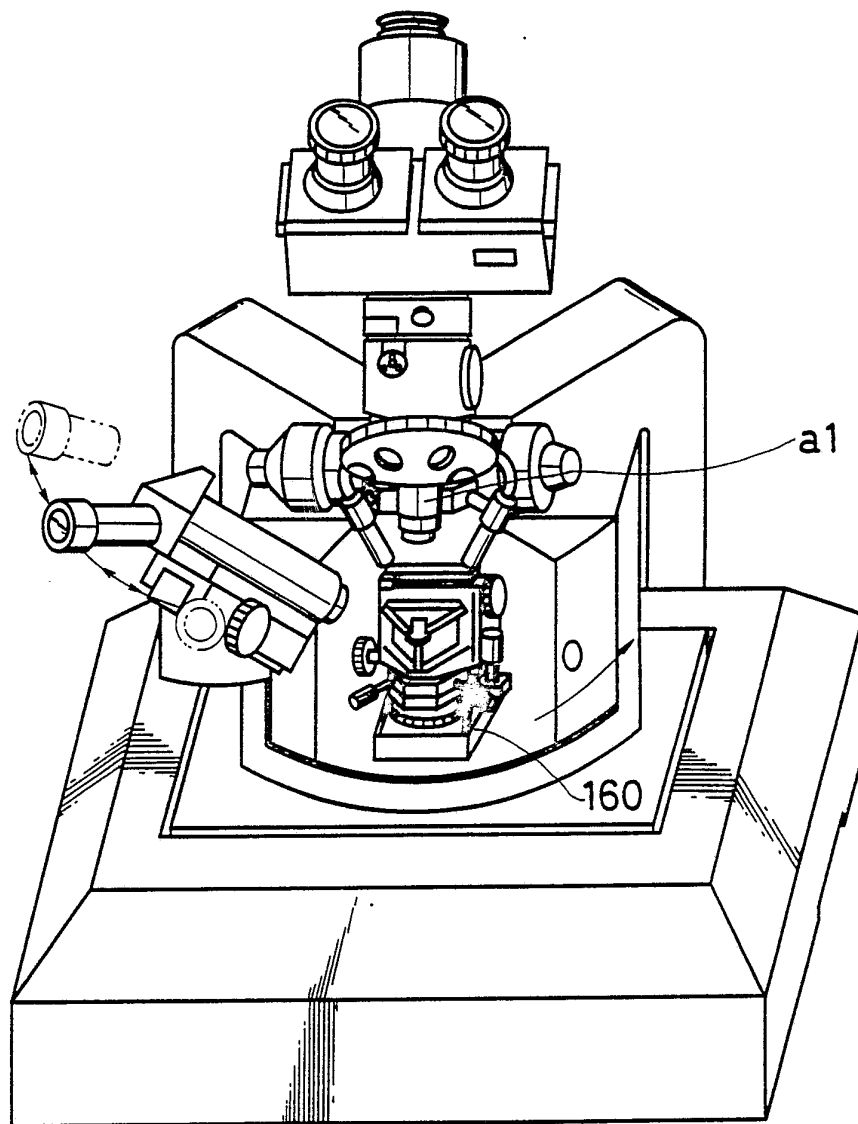


Fig. 19C

光学顕微鏡一体化トビニルユニット

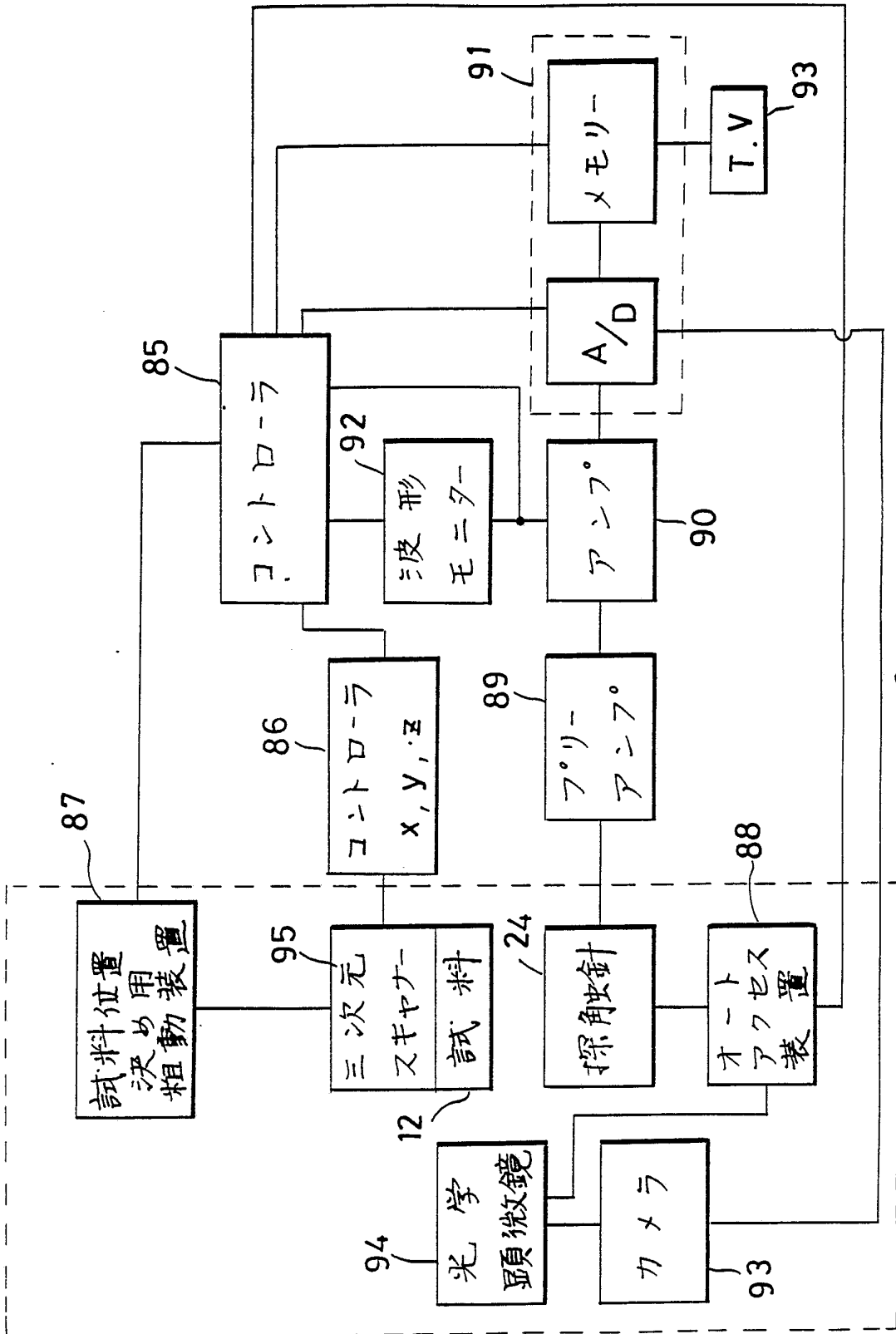


Fig.19D.



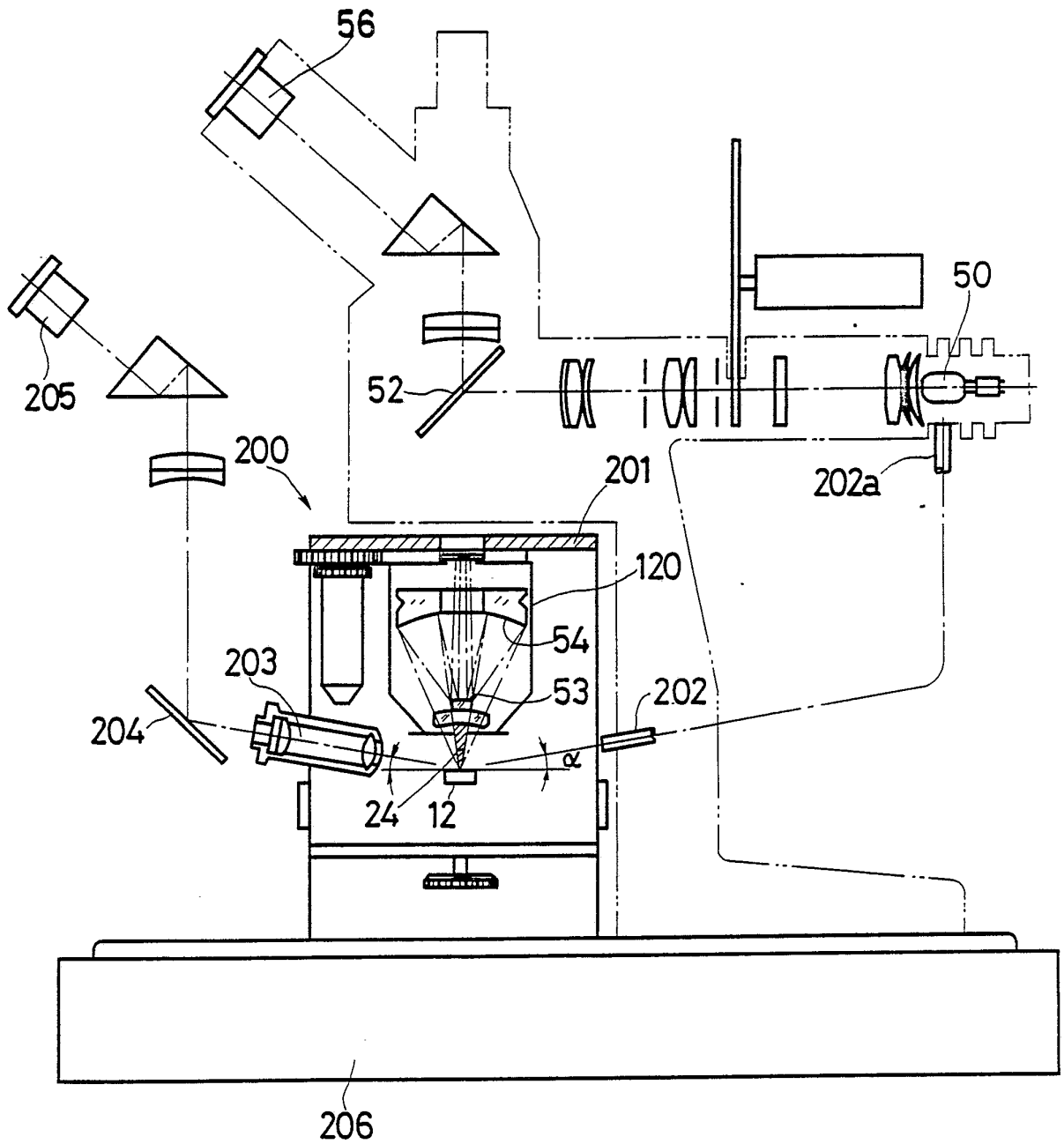


Fig. 20



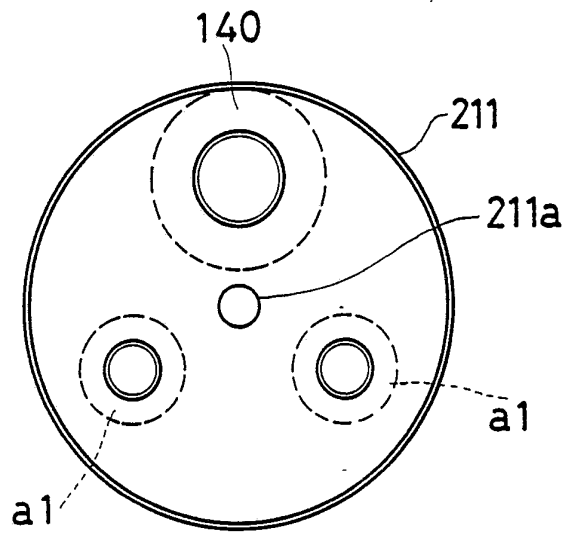


Fig. 21C

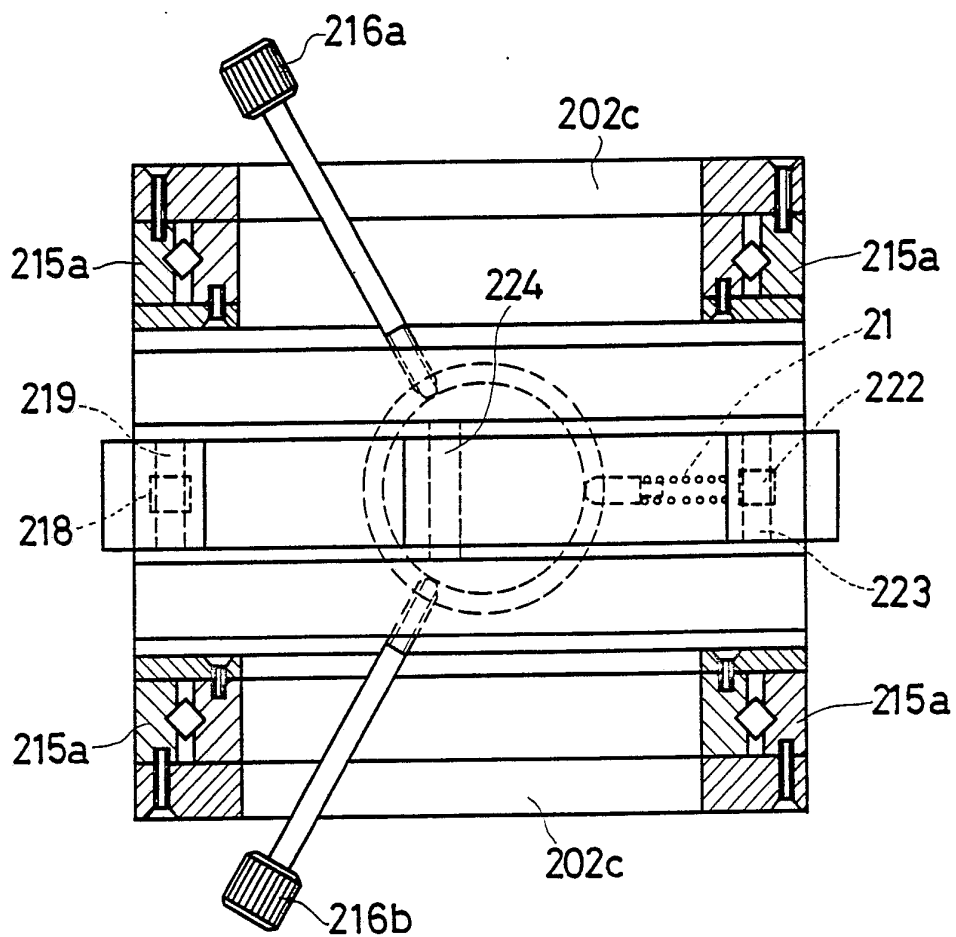


Fig. 21D

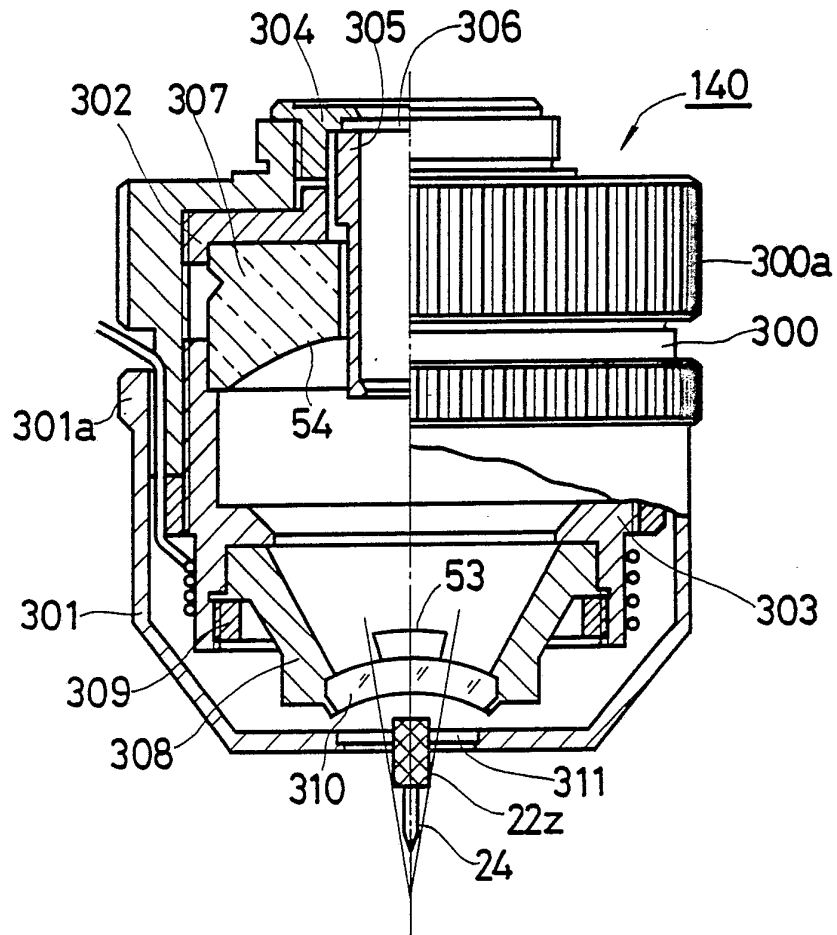


Fig. 22

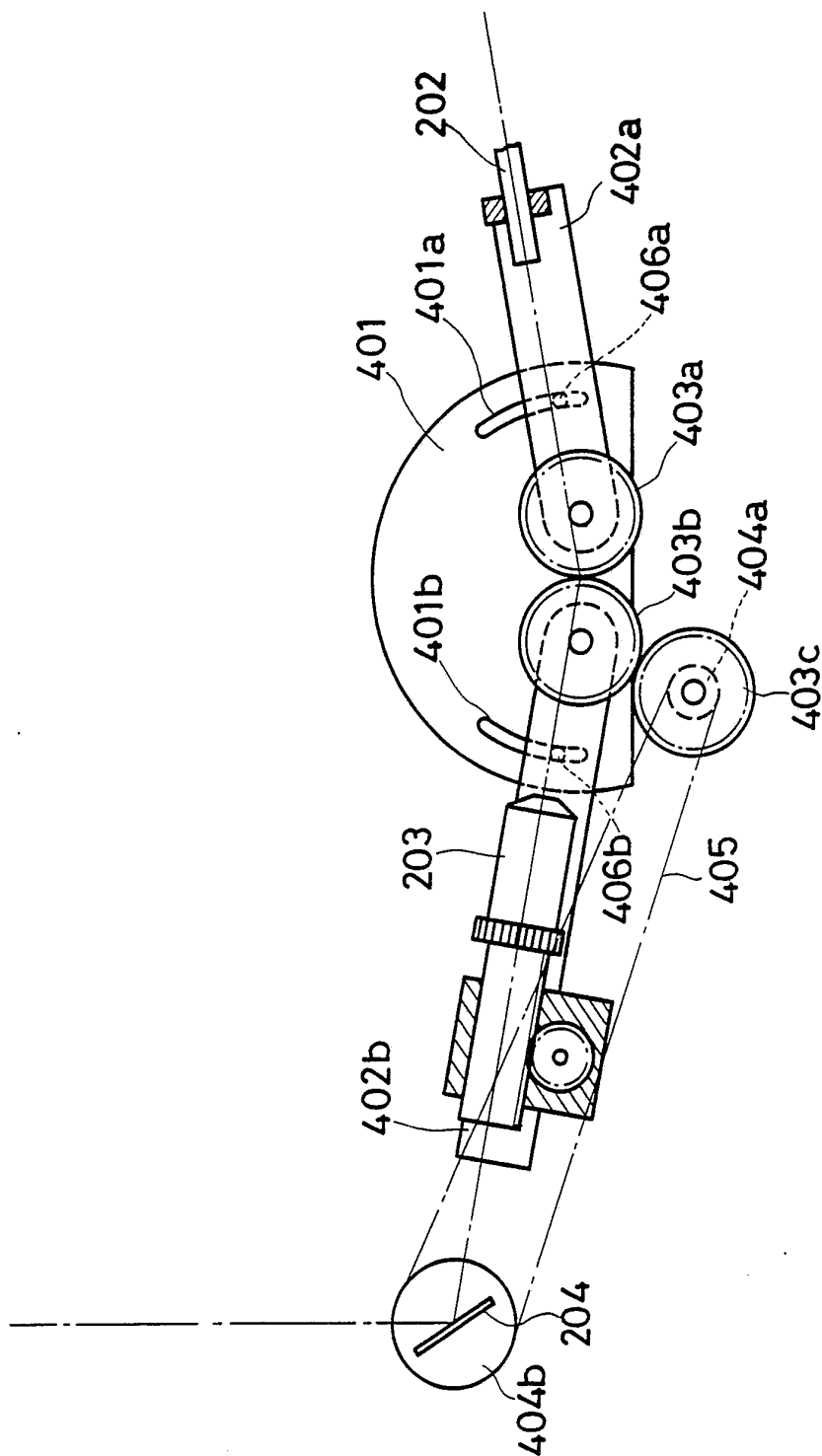


Fig. 23

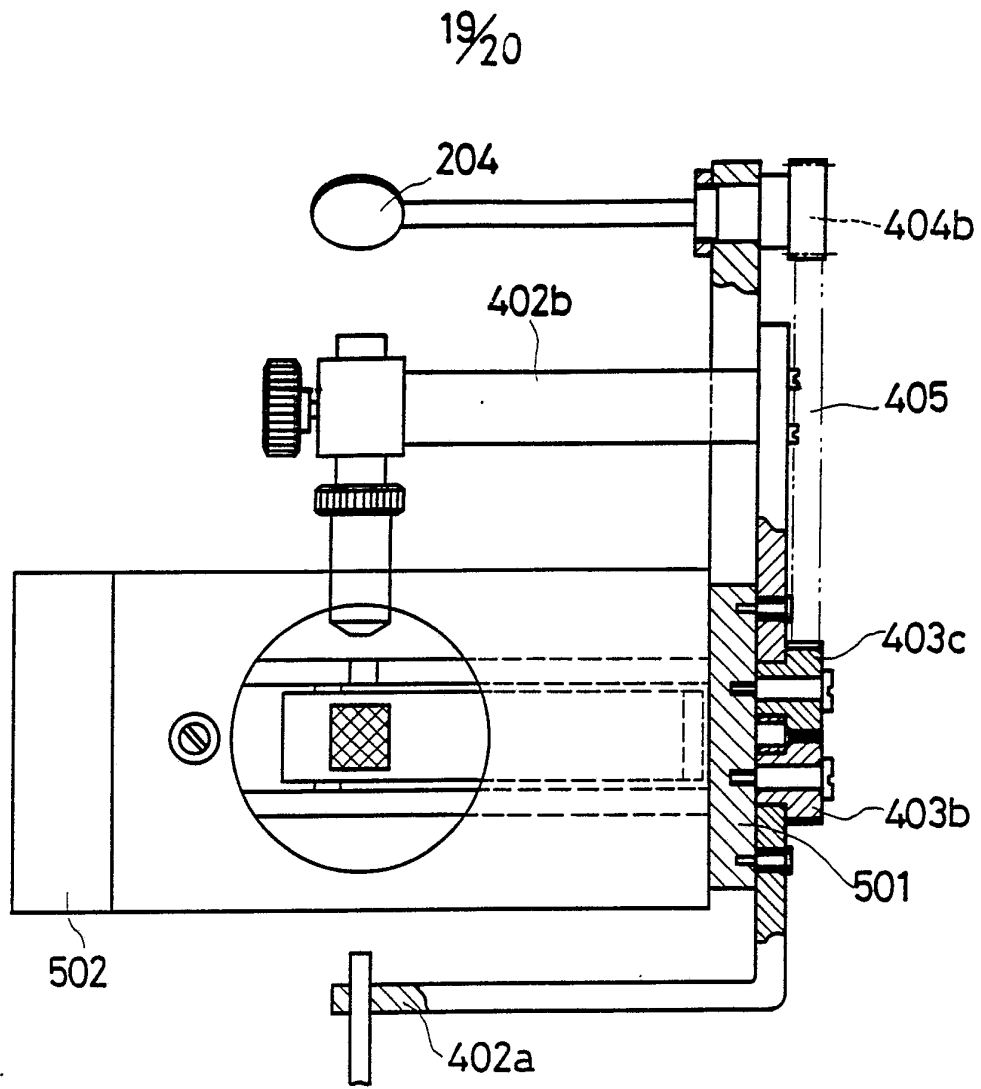


Fig. 24 A

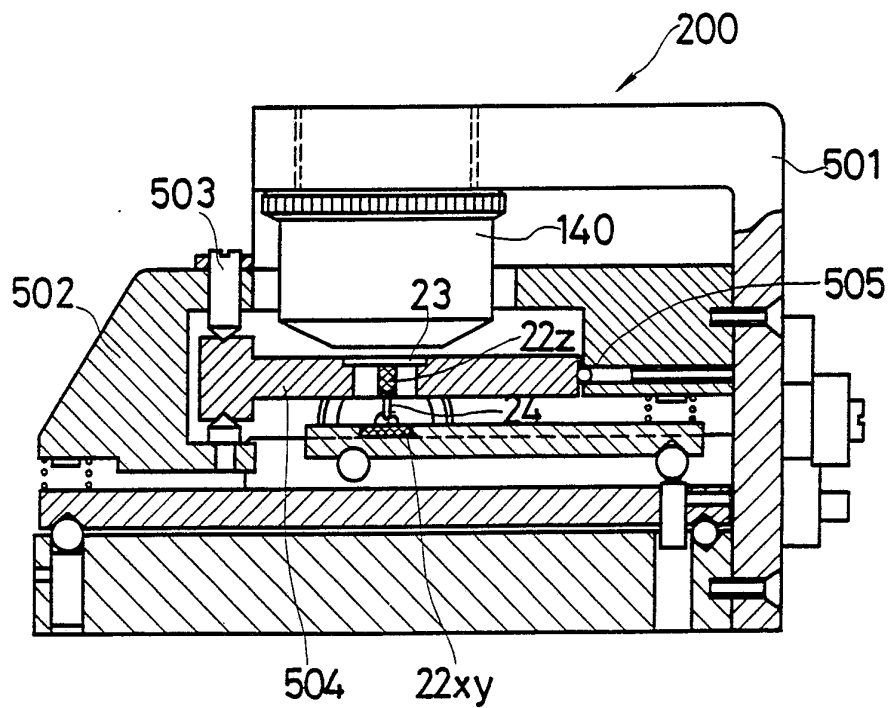


Fig. 24 B

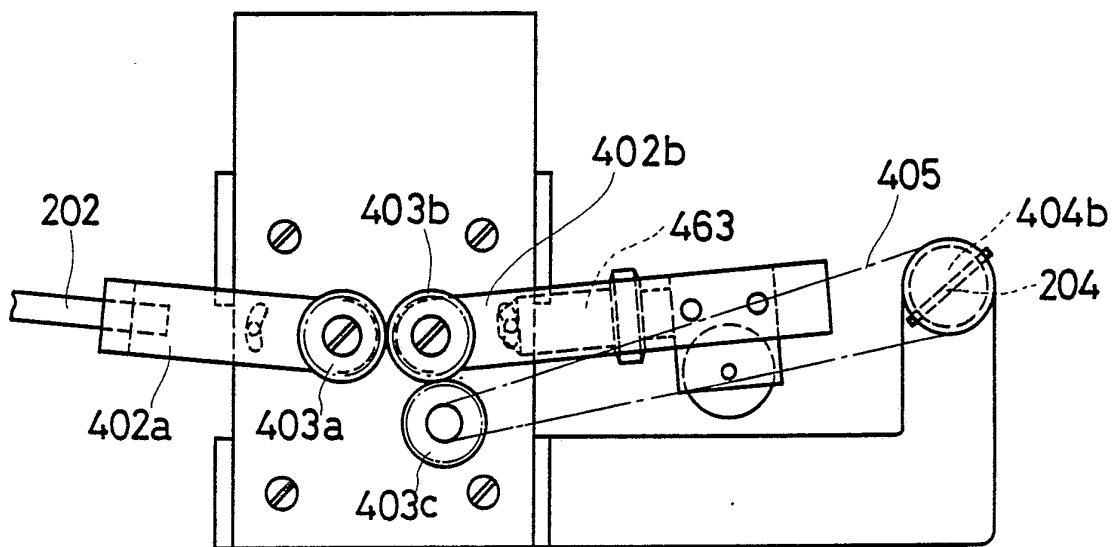


Fig. 24 C



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/JP88/00804

<b>I. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> (if several classification symbols apply, indicate all) <sup>6</sup>		
According to International Patent Classification (IPC) or to both National Classification and IPC		
Int.Cl <sup>4</sup> G01B7/34, G01N23/00, H01J37/28		
<b>II. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum Documentation Searched <sup>7</sup>		
Classification System	Classification Symbols	
IPC	G01B7/34	
Documentation Searched other than Minimum Documentation to the Extent that such Documents are Included in the Fields Searched <sup>8</sup>		
Jitsuyo Shinan Koho	1981 - 1987	
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1981 - 1987	
<b>III. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b> <sup>9</sup>		
Category <sup>*</sup>	Citation of Document, <sup>11</sup> with indication, where appropriate, of the relevant passages <sup>12</sup>	Relevant to Claim No. <sup>13</sup>
Y	US, A, 4343993 (International Business Machines Co.) 10 August 1982 (10. 08. 82) Column 3, line 55 to column 6, line 42	1-12
Y	JP, Y2, 59-10687 (JEOL Ltd.) 3 April 1984 (03. 04. 84) Column 1, line 37 to column 2, line 4 (Family: none)	1-12
<p><sup>*</sup> Special categories of cited documents: <sup>10</sup></p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>"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)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>"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</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step</p> <p>"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</p> <p>"&amp;" document member of the same patent family</p>		
<b>IV. CERTIFICATION</b>		
Date of the Actual Completion of the International Search		Date of Mailing of this International Search Report
September 19, 1988 (19. 09. 88)		October 3, 1988 (03. 10. 88)
International Searching Authority		Signature of Authorized Officer
Japanese Patent Office		

国際調査報告

国際出願番号 PCT/JP 88/00804

I. 発明の属する分野の分類		
国際特許分類 (IPC) <b>Int. Cl<sup>4</sup></b> <b>G01B7/34, G01N23/00, H01J37/28</b>		
II. 国際調査を行った分野		
調査を行った最小限資料		
分類体系	分類記号	
<b>IPC</b>	<b>G01B7/34</b>	
最小限資料以外の資料で調査を行ったもの		
<b>日本国実用新案公報 1981-1987年</b>		
<b>日本国公開実用新案公報 1981-1987年</b>		
III. 関連する技術に関する文献		
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	請求の範囲の番号
<b>Y</b>	<b>US, A, 4343993</b> <b>( International Business Machines Co. )</b> <b>10. 8月. 1982 ( 10. 08. 82 )</b> <b>第 3 欄 第 5 5 行 - 第 6 欄 第 4 2 行</b>	<b>1 - 1 2</b>
<b>Y</b>	<b>JP, Y2, 59-10687 ( 日本電子株式会社 )</b> <b>3. 4月. 1984 ( 03. 04. 84 )</b> <b>第 1 欄 第 3 7 行 - 第 2 欄 第 4 行 ( ファミリーなし )</b>	<b>1 - 1 2</b>
<p>※引用文献のカテゴリー</p> <p>「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</p> <p>「E」 先行文献ではあるが、国際出願日以後に公表されたもの</p> <p>「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)</p> <p>「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</p> <p>「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</p> <p>「T」 国際出願日又は優先日の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</p> <p>「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</p> <p>「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</p> <p>「&amp;」 同一パテントファミリーの文献</p>		
IV. 認 証		
国際調査を完了した日	<b>19. 09. 88</b>	国際調査報告の発送日 <b>03.10.88</b>
国際調査機関	日本国特許庁 (ISA/JP)	権限のある職員 特許庁審査官 <b>2 F 8 5 0 5</b> <b>中 村 和 夫</b>