

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2010年12月23日(23.12.2010)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2010/146773 A1

- (51) 国際特許分類:
G01Q 60/10 (2010.01) G01R 1/06 (2006.01)
G01Q 30/02 (2010.01) G01R 1/073 (2006.01)
G01Q 70/12 (2010.01) G01R 31/28 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2010/003504
- (22) 国際出願日: 2010年5月26日(26.05.2010)
- (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 2009-141784 2009年6月15日(15.06.2009) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社 日立ハイテクノロジーズ(HITACHI HIGH-TECHNOLOGIES CORPORATION) [JP/JP]; 〒1058717 東京都港区西新橋一丁目2番14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): 廣岡誠之(HIROOKA, Motoyuki) [JP/JP]; 〒3191292 茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株式会社 日立製作所 日立研究所内 Ibaraki (JP). 岡井誠(OKAI, Makoto) [JP/JP]; 〒3191292 茨城県日立市

大みか町七丁目1番1号 株式会社 日立製作所 日立研究所内 Ibaraki (JP).

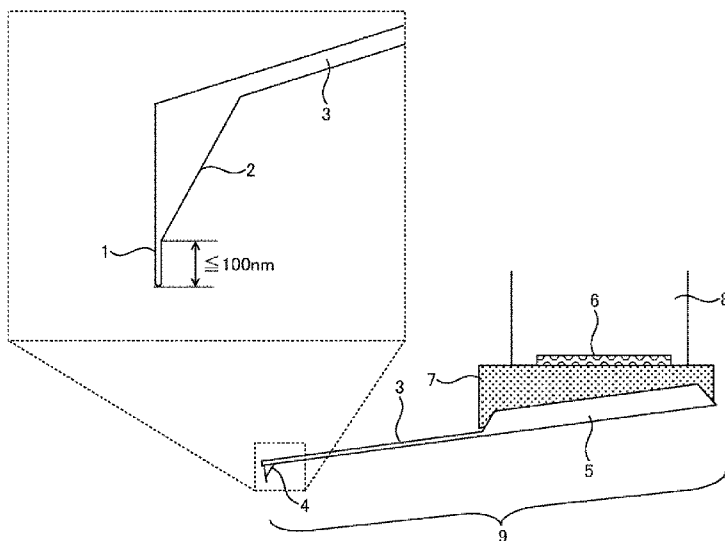
- (74) 代理人: 井上学(INOUE, Manabu); 〒1008220 東京都千代田区丸の内一丁目6番1号 株式会社 日立製作所内 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF,

[続葉有]

(54) Title: MICROCONTACT PROBER

(54) 発明の名称: 微小接触式プローバ

[図1]



(57) Abstract: The stress due to contact between a probe and a measurement sample is improved when using a microcontact prober having a conductive nanotube, nanowire, or nanopillar probe, the insulating layer at the contact interface is removed, thereby the contact resistance is reduced, and the performance of semiconductor device examination is improved. The microcontact prober comprises a cantilever probe in which each cantilever is provided with a nanowire, nanopillar, or a metal-coated carbon nanotube probe projecting by 50 to 100 nm from a holder provided at the fore end and a vibrating mechanism for vibrating the cantilever horizontally with respect to the subject. The fore end of the holder may project from the free end of the cantilever, and the fore end of the holder can be checked from above the cantilever.

(57) 要約: 導電性のナノチューブやナノワイヤ、またはナノピラー探針を搭載した微小接触式プローバにおける探針-測定サンプル間の接触応力を向上し、かつ接触界面の絶縁

層を除去することで、接触抵抗を低減し、半導体デバイス検査の性能を向上することにある。微小接触式プローバにおいて、カンチレバー型のプローブを有し、カンチレバーは先端に設置されたホルダーより長さ50~100nmで突出したナノワイヤやナノピラー、または金属被覆のカーボンナノチューブ探針と、各カンチレバーを被検体に対して水平方向に振動させるための加振機構を設置する。ホルダーの先端部は前記カンチレバーの自由端よりも突出してよく、カンチレバー上部よりホルダー先端を確認することができる。

WO 2010/146773 A1



BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, 添付公開書類:
SN, TD, TG).

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称： 微小接触式プローバ

技術分野

[0001] 本発明は、例えば、ナノワイヤやナノピラー、またはカーボンナノチューブ探針を用いた微小接触式プローバに係り、特にカンチレバー型プローブを採用した探針接触機構に関する。

背景技術

[0002] ナノテクノロジーの進展とともに微小領域における物性計測のニーズが高まっている。ナノメートルの空間分解能で物質の構造や物性を評価できる計測手法として、走査トンネル顕微鏡、原子間力顕微鏡、近接場光学顕微鏡、透過電子顕微鏡、多探針ナノプローブによる電気伝導特性の計測があげられる。多探針ナノプローブによる電気伝導特性の計測では四本以上の探針を用いることにより、半導体デバイス等の電子相関に関する情報が得られることが期待できる。

[0003] 多探針ナノプローブを用いた計測システム（以下、微小接触式プローバ）では、今後探針の細径化に伴う探針の短命化と接触抵抗の増大が問題となる。特に半導体デバイスの故障解析では、将来のデバイスの微細化に対応するため、探針の導電性の確保および機械強度の向上が重要な因子となる。

[0004] 従来の細径化した金属探針に代わり、金属ナノワイヤやカーボンナノチューブ等を探針として応用することが考えられている。例えば、カーボンナノチューブを探針として用いる場合、探針の導電性を確保するため、表面に金属被膜を形成する方法がある。金属被膜においては、カーボンナノチューブの根元から先端にかけて均一に被膜されていることが望ましい。しかしながら、カーボンナノチューブ表面との密着性のよい金属被膜を均一に形成することは容易ではない。

[0005] そのような背景の下、カーボンナノチューブ表面に金属を被膜する方法や、ナノプローブとして利用する方法が提案されている。金属被膜法としては

、非特許文献 1 に示されるように、パルスレーザーデポジション（PLD）法を用いた金属被膜方法がある。PtIr または W ターゲットにパルスレーザーを照射し発生するプラズマを利用してカーボンナノチューブ表面に金属を堆積するという方法である。PLD 法によって数 nm の極めて薄く良質な金属膜をカーボンナノチューブ表面に形成することができる。この方法によって探針抵抗値が数 10 k Ω オーダーまで低減することが可能となった。また、カーボンナノチューブのプロローバ探針応用に関する特許文献 1、2 では、電子ビーム堆積法によって金属探針に固定したカーボンナノチューブを作製し、四端子測定で接触抵抗をキャンセルし、微小インピーダンス測定する装置を提案している。

[0006] しかしながら、四端子測定では、ナノチューブやナノワイヤ等を固定している金属探針との間に生じる接触抵抗値、また、ナノチューブやナノワイヤそのものの抵抗値が数 k $\sim$ 数 10 k Ω と高くなるために、高分解能の抵抗値測定は困難であることが考えられる。基板コンタクトや配線、ビア抵抗測定では接触抵抗および探針抵抗はできるだけ低いことが望ましく、10 Ω 程度まで低減させる必要があるが、特許文献 1 に開示される均一な金属被膜カーボンナノチューブ探針においては、先端の接触抵抗が支配的であるため、数 10 k Ω 以下までの抵抗低減が困難であった。

[0007] 問題となる接触抵抗は探針－測定サンプル間の接触応力が小さいこと、また接触界面の酸化膜やコンタミネーション等の絶縁層に起因する。

[0008] 例えば、カーボンナノチューブを探針とした場合、ヤング率が 1 T a と非常に高い剛性を持っているのにも係わらず、数 n N の力で十分にアスペクト比 50 以上のカーボンナノチューブは曲がる。すなわち、探針に応用した際、いくらカーボンナノチューブを押し付けても接触応力が小さいために接触抵抗は大きくなる。また、接触界面における酸化膜やコンタミネーションは従来の金属探針では機械的に除去することが可能であるが、カーボンナノチューブでは上述のとおり曲がってしまうため、酸化膜やコンタミネーションを挟んだ状態となり、真の抵抗値が計測できない。

先行技術文献

特許文献

[0009] 特許文献1：特許第3638865号公報

特許文献2：特開2007-64812号公報

非特許文献

[0010] 非特許文献1：Japan Journal of Applied Physics Vol.44 L1563 (2005)

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0011] 本発明の目的は、導電性のナノ探針を搭載した微小接触式プローバにおける探針－測定サンプル間の接触応力を向上させ、かつ接触界面の絶縁層を除去することで、接触抵抗を低減し、半導体デバイス検査の性能を向上することにある。

課題を解決するための手段

[0012] 微小接触式プローバにおいて、カンチレバー型のプローブを有し、カンチレバーは先端に設置されたホルダーより突出した導電性ナノ探針と、各カンチレバーを被検体に対して水平方向に振動させるための加振機構を設置する。

[0013] 導電性ナノ探針はホルダーより長さ50～100nmで突出した金属または金属を含むナノワイヤやナノピラー、または金属を被覆したカーボンナノチューブからなることを特徴とする。

[0014] さらに、ホルダーの先端部は前記カンチレバーの自由端よりも突出してよく、カンチレバー上部よりホルダー先端を確認することができる。カンチレバーは、金属または、シリコンに金属被膜した導電性のカンチレバーからなる。

[0015] 接触を検知するために、カンチレバーに圧電体を設け、カンチレバーの撓み量を圧電体の電気信号によって検知したり、プローバにトンネル電流のフィードバック機構を設け、探針－測定サンプル間の接触をトンネル電流によ

って検知したりする。

発明の効果

- [0016] 本発明によれば、極めて短いカーボンナノチューブや、金属ナノワイヤを探針とし、カンチレバー型プローブを採用することで、微小接触式プローバにおける探針－測定サンプル間の接触応力を向上し、加振機構によって接触界面の絶縁層を除去することによって、接触抵抗が低減され、半導体デバイス検査の性能が向上する。

図面の簡単な説明

- [0017] [図1]本発明の第1の実施形態に係るプローブの概略を示した模式図である。
[図2]本発明の第2の実施形態に係るプローブの概略を示した模式図である。
[図3]本発明の第3の実施形態に係るプローブの概略を示した模式図である。
[図4]本発明の第4の実施形態に係るプローブの概略を示した模式図である。
[図5]本発明の第5の実施形態に係るプローブの概略を示した模式図である。
[図6]本発明の第6の実施形態に係るプローブの概略を示した模式図である。
[図7]本発明の第7の実施形態に係る接触検知型プローブの概略を示した模式図である。
[図8]本発明の第1の実施形態に係る微小接触式プローバの概略を示した模式図である。
[図9]本発明の第7の実施形態に係る微小接触式プローバの概略を示した模式図である。
[図10]本発明に係るカーボンナノチューブを用いたプローブのフォースカーブ測定時の荷重と電流を示したグラフである。
[図11]本発明に係るカーボンナノチューブを用いたプローブの加振前後の電流－電圧特性を示したグラフである。
[図12]比較例を示した模式図である。
[図13]本発明の第1の実施形態に係るプローブの加振方向を示した模式図である。
[図14]本発明の第8の実施形態に係る微小接触式プローバの概略を示した模

式図である。

[図15] 本発明の第9の実施形態に係る微小接触式プローバの概略を示した模式図である。

発明を実施するための形態

[0018] 以下に、図面を参照しながら、本発明に係る実施の形態を説明する。ただし、本発明はここで取り上げた実施の形態に限定されることはなく、適宜組み合わせてもよい。なお、図面中で同義の部分には同一の符号を付して重複する説明を省略する。

[0019] (第1の実施形態)

図1は、本発明の第1の実施形態に係る微小接触式プローバにおけるプローブの概略を示した模式図である。本発明に係るプローブ9は、基板5より突出したカンチレバー3先端に取り付けられたホルダー2と、そのホルダー2より50～100nmの長さで突出した直径10～20nmのナノピラー探針1からなる。

[0020] 基板5、カンチレバー3、およびホルダー2には、Au、PtIr、Ti/Pt、Ti/Pt/Auなどの導電性膜をコーティングしたSiやSiN、またはタングステン等の導電性素材を用いることができる。

[0021] カンチレバー3はバネ定数が0.1～100N/mの範囲のものを使用することが可能であり、ナノ探針の接触応力を大きくし、できるだけ接触抵抗を低減したい場合はバネ定数の高いものを、ナノ探針の接触応力を小さくし、なるべく探針の破損を防止する場合はバネ定数の低いものを選択する。

[0022] また、ナノピラー探針1は、荷電粒子ビームの照射で金属ガスを分解し導電性金属をピラー状に堆積することによって得られる。このとき用いられる前駆体ガスとしては、例えば、 $W(CO)_6$ 、 WF_6 、 $Me_2Au(tfc)$ 、 $Co_2(CO)_8$ 、 $Cr(C_6H_6)_2$ 、 $hfac-Cu-TMVS$ 、 $Fe(CO)_5$ 、 $Mo(CO)_6$ 、 $Ni(CO)_4$ 、 $Os_3(CO)_{12}$ 、 $Pd(OOCCH_3)_2$ 、 $Pt(PF_3)_4$ 等がある。ナノピラー探針1の導電性を確保するには、金、白金、またはパラジウムなどの貴金属類が好ましいが、特に限定されるものではない。

- [0023] 特に、電子顕微鏡を用いた電子ビーム堆積法（EBID：Electron Beam Induced Deposition）では、スポットサイズを10ナノメートル以下に絞り、試料電流値を100 pA～5000 pAの範囲で、電子線32を点照射することによって極めて細い金属ピラーを形成することが可能となる。また、必要に応じて電子顕微鏡の筐体26内に水や酸素ガスを導入することによってピラーの金属純度を向上させることができる。
- [0024] 図8は、本発明に係る導電性ナノピラー探針1を用いた微小接触式プローバの模式図である。第1の実施形態に係る微小接触式プローブは、筐体26において、電子源16、収束電子レンズ17、走査コイル27、焦点コイル28、対物レンズ29を含む鏡筒30と、微動・粗動スキャナー8に接続されている4本以上のプローブ9と、測定サンプル20を載置するステージ21と、二次電子検出器31と、排気装置24により構成される。
- [0025] サンプルとしては半導体デバイスを主に評価することができる。ソース、ゲート、ドレイン、半導体基板に接触させるために4本のプローブ9を用いる。各プローブ間には、探針間に電圧を印加するため半導体パラメータアナライザ23を設置した。
- [0026] また、走査コイル27および焦点コイル28への電流印加は電子顕微鏡制御コンピュータ18で制御できるようになっており、電子線32の照射位置や焦点位置をコンピュータ157によって設定可能である。なお、電子線32を照射するための電子源16には、低加速電圧でも直径を小さくすることができる電界放射型の電子銃を用いた。上記したようにコンピュータで電子線32の照射位置を制御可能なので、測定サンプル上に電子線32を走査させることができる。さらには、2次・反射電子検出器を設置したので、測定サンプル20より発生する2次電子・反射電子の強度を電子線32の走査位置に対応させ検出することができる。すなわち、走査型電子顕微鏡（SEM：Scanning Electron Microscope）の機能を有する。
- [0027] 微小接触式プローバは、SEM機能を有するため、測定サンプル20の表面の形状のみならず、プローブ9の先端におけるナノピラー探針1形状やそ

の水平方向の位置を容易に調べられる。さらに、測定サンプル20およびプローブ9に対してそれぞれ焦点をあわせることにより、焦点位置の違いを評価することができるため、プローブ9の測定サンプル20に対する高さを調べることができる。

[0028] 一方、微小接触式プローバでは、プローブ9の移動に粗動と微動を兼ねた粗動・微動スキャナーを用いた。特に、微動は圧電素子を含んで構成したため、ナノピラー探針1先端の位置を1nm以下の精度で移動できる。このため、上記SEM機能とあわせることにより、ナノピラー探針1先端を、測定サンプル20上の特定の位置に接触させることが可能となる。

[0029] 本実施形態におけるプローブ9はカンチレバー型であるため、カンチレバー3の機械的特性を利用した探針接触が可能である。探針接触時に撓むことによってナノピラー探針1に過剰な負荷がかかることを防止できる。ナノピラー探針1は測定サンプル20表面に対して略垂直に設置することによって、接触時には長軸方向への圧縮荷重がかかるようにすることによって、探針の最大曲げ強度を確保することが可能となる。また、図13に示すように、プローブホルダー7に設置した加振ピエゾ6によって、サンプル表面と水平方向にカンチレバー3を加振させ、表面のコンタミネーション等の電氣的接触を妨害する層を除去することが可能である。また、超音波振動させることで、ナノピラー探針1接触界面の摩擦や材料自体が受ける圧縮の繰り返しにより、その内部が発熱して温度上昇し、さらに超音波の衝撃力により測定サンプル20表面が軟化、溶融して溶着することも可能である。このときカンチレバー3を振動させる周波数は100～100MHz、振幅は1～100nmを適用した。この結果、測定サンプル20とナノピラー探針1との間で良好な電氣的接触を実現することができる。

[0030] (第2の実施形態)

図2は、本発明の第2の実施形態に係る微小接触式プローバにおけるプローブ9の概略を示した模式図である。本発明に係るプローブ9は、基板5より突出したカンチレバー3先端にカンチレバー3自由端よりも先端部が突出

しているホルダー２と、そのホルダー２より５０～１００ｎｍの長さで突出した先鋭化されたナノピラー探針１からなる。

[0031] 実施形態１と同様な材料や形態であるが、図８に示すＳＥＭ機構を備えた微小接触式プローバに適用することで、カンチレバー３自由端よりもホルダー２先端を突出させることによって、プローブ９どうしを接触させることなく、測定サンプル２０に探針を接触させることができた。このため、数１０ｎｍの間隔でプローブ９間に流れる電流を測定することによって、ナノスケールの電気伝導特性を評価することができた。

[0032] (第３の実施形態)

図３は、本発明の第３の実施形態に係る微小接触式プローバにおけるプローブ９の概略を示した模式図である。本発明に係るプローブ９は、基板５より突出したカンチレバー３先端に取り付けられたホルダー２と、そのホルダー２より５０～１００ｎｍの長さで突出させ、金属固定被膜１１で固定された直径１０～２０ｎｍのカーボンナノチューブ１０とその表面を金属被膜１２でコーティングした。

[0033] 基板５、カンチレバー３、およびホルダー２は、実施形態１と同様に導電性膜をコーティングしたＳｉやＳｉＮ、またはタングステン等の導電性素材を用い、カンチレバー３はバネ定数が０．１～１００Ｎ／ｍの範囲のものを使用した。

[0034] また、カーボンナノチューブ１０は、ホルダー２に担持させた状態で、荷電粒子ビームの照射で金属ガスを分解し導電性金属をシート状に金属を堆積することによって固定される。このとき用いられる前駆体ガスとしては、例えば、 $W(CO)_6$ 、 WF_6 、 $Me_2Au(tfc)$ 、 $Co_2(CO)_8$ 、 $Cr(C_6H_6)_2$ 、 $hfac-Cu-TMVS$ 、 $Fe(CO)_5$ 、 $Mo(CO)_6$ 、 $Ni(CO)_4$ 、 $Os_3(CO)_{12}$ 、 $Pd(OOCCH_3)_2$ 、 $Pt(PF_3)_4$ 等がある。導電性を確保するには、金、白金、またはパラジウムなどの貴金属類が好ましいが、特に限定されるものではない。ＥＢＩＤ法では、スポットサイズを１０ナノメートル以下に絞り、試料電流値を１００ｐＡ～５０００ｐＡの範囲で、電子線３２を１

00 nm角で面照射することによって金属固定皮膜を形成することが可能となる。

[0035] 本実施形態におけるカーボンナノチューブ10は、長さを50～100 nmの長さに調節するため、パルス電流を用いて切削した。ナノチューブの長さ調整には通電による切断が望ましい。例えばホルダー2に固定したナノチューブの先端部を、電極に担持されたもう1つのカーボンナノチューブ10の先端部電極対極の位置に用意した電極に接近、もしくは接触させ、探針ホルダーと電極の間にパルスやコンデンサ放電による電圧を印加して電流を流して、接触部分でナノチューブを切断し、この切断を繰り返して行うことで達成される。通電の方法は限定するものではないが、特に立ち上がりが急峻なパルス電圧電流を流して印加して切断する方法では、切断を複数回繰り返すことで、ナノチューブの長さを最小で約10 nmの精度で微調整していくことができ、最終的には50～100 nmまで長さを調節できる。

[0036] 本発明の探針ホルダー端面から直径が均一である探針が突出した形状を形成する他の方法としては、探針ホルダーの端面に設置した金属触媒よりナノチューブをCVDにより成長させたり、ナノチューブを低融点金属に埋め込んだりすることで解決することができる。

[0037] 金属被膜12は、スパッタ、抵抗加熱蒸着、または電子ビーム蒸着等を用いることが可能である。カーボンナノチューブ10との密着性を考慮した材料を選ぶ必要があり、Ti/Pt/Auの三層やTi/Ptの二層でコーティングすることで密着性のよい被膜を形成することが可能となる。

[0038] 本実施形態における図8に示す微小接触式プローバはカーボンナノチューブ10のダイヤモンド同様の強靱な機械的特性を利用できることから、サンプル接触時の破損や、磨耗を防止することが可能となる。

[0039] 図10に本実施形態のプローブ9のSEM写真と、それを用いたフォースカーブ測定時の、荷重および電流値を示す。この測定より、カーボンナノチューブ10が座屈する手前の約200 nNの荷重において電流値が最大となる、すなわち接触抵抗が最小となることが確認された。

[0040] また、図 11 はプローブ 9 を測定サンプル 20 に接触後測定した電圧－電流特性と、200 nN の荷重でカーボンナノチューブ 10 を接触後 100 Hz、1000 回の条件でカンチレバー 3 を加振させてから測定した電圧－電流特性を示す。加振後により、大きな電流が流れていることから加振による接触抵抗の低減が確認された。

[0041] カーボンナノチューブ 10 を用いることで、フォースカーブ測定、カンチレバー 3 の加振を用いたメカニカルに接触抵抗を低減させることによって探針の形態が崩れることが無くなり、プローブ 9 の高寿命化が可能となった。

[0042] (第 4 の実施形態)

図 4 は、本発明の第 4 の実施形態に係る微小接触式プローバにおけるプローブ 9 の概略を示した模式図である。本発明に係るプローブ 9 は、基板 5 より突出したカンチレバー 3 先端にカンチレバー 3 自由端よりも先端部が突出しているホルダー 2 と、そのホルダー 2 より 50～100 nm の長さで突出させ、金属固定被膜 11 で固定された直径 10～20 nm のカーボンナノチューブ 10 とその表面を金属被膜 12 でコーティングした。

[0043] 実施形態 3 と同様な材料や形態であるが、図 8 に示すような SEM 機構を備えた微小接触式プローバに適用することで、カンチレバー 3 自由端よりもホルダー 2 先端を突出させることによって、プローブ 9 どうしを接触させることなく、測定サンプル 20 に探針を接触させることができた。このため、数 10 nm のプローブ間隔でプローブ 9 間に流れる電流を測定することによって、ナノスケールの電気伝導特性を評価することができた。

[0044] (第 5 の実施形態)

図 5 は、本発明の第 5 の実施形態に係る微小接触式プローバにおけるプローブ 9 の概略を示した模式図である。本発明に係るプローブ 9 は、基板 5 より突出したカンチレバー 3 先端に取り付けられたホルダー 2 と、そのホルダー 2 より 50～100 nm の長さで突出させ、金属固定被膜 11 で固定された金属ナノワイヤ 13 からなる。

[0045] 基板 5、カンチレバー 3、およびホルダー 2 は、実施形態 1 と同様に導電

性膜をコーティングしたSiやSiN、またはタングステン等の導電性素材を用い、カンチレバー3はバネ定数が0.1～100N/mの範囲のものを使用した。

[0046] また、金属ナノワイヤ13は、ホルダー2に担持させた状態で、荷電粒子ビームの照射で金属ガスを分解し導電性金属をシート状に金属を堆積することによって固定される。このとき用いられる前駆体ガスとしては、例えば、 $W(CO)_6$, WF_6 , $Me_2Au(tfc)$, $Co_2(CO)_8$, $Cr(C_6H_6)_2$, $hfacc-Cu-TMVS$, $Fe(CO)_5$, $Mo(CO)_6$, $Ni(CO)_4$, $Os_3(CO)_{12}$, $Pd(OOCCH_3)_2$, $Pt(PF_3)_4$ 等がある。導電性を確保するには、金、白金、またはパラジウムなどの貴金属類が好ましいが、特に限定されるものではない。EBID法では、スポットサイズを10ナノメートル以下に絞り、試料電流値を100pA～5000pAの範囲で、電子線32を100nm角で面照射することによって金属固定皮被膜11を形成することが可能となる。

[0047] 本実施形態における金属ナノワイヤ13は、カーボンナノチューブ10と同様に長さを50～100nmの長さに調節するため、パルス電流を用いて切削した。

[0048] 本実施形態における図8に示すような微小接触式プローバはプローブ9先端に高純度の金属を有することから、サンプル接触時に超音波加振させることによって溶着が可能となる。

[0049] (第6の実施形態)

図6は、本発明の第6の実施形態に係る微小接触式プローバにおけるプローブ9の概略を示した模式図である。本発明に係るプローブ9は、基板5より突出したカンチレバー3自由端よりも先端部が突出しているホルダー2と、そのホルダー2より50～100nmの長さで突出させ、金属固定被膜11で固定された金属ナノワイヤ13からなる。

[0050] 実施形態5と同様な材料や形態であるが、図8に示すようなSEM機構を備えた微小接触式プローバに適用することで、カンチレバー3自由端よりも

ホルダー 2 先端を突出させることによって、プローブ 9 どうしを接触させることなく、測定サンプル 20 に探針を接触させることができた。このため、数 10 nm のプローブ 9 間隔でプローブ 9 間に流れる電流を測定することによって、ナノスケールの電気伝導特性を評価することができた。

[0051] (第 7 の実施形態)

図 7 は、本発明の第 7 の実施形態に係る微小接触式プローバにおける接触検知型プローブ 15 の概略を示した模式図である。本発明に係る接触検知型プローブ 15 は、基板 5 より突出したカンチレバー 3 先端に設置されたチップ 4 と、カンチレバー 3 および基板 5 の一面にコーティングされた圧電体 14 からなる。チップ 4 は実施形態 1 ～ 6 のいずれのホルダー 2 および探針を利用することが可能である。

[0052] 図 9 は、本発明に係る微小接触式プローバの模式図である。第 7 の実施形態に係る微小接触式プローブは、実施例 1 ～ 6 と同様に SEM 機構を有しているが、接触検知型プローブを適用していることから専用の接触検知型プローブ専用コントローラ 25 が設置されている点で異なる。

[0053] 本実施形態の接触検知型プローブ 15 を用いることで、チップ 4 先端と測定サンプル 20 の接触をカンチレバー 3 の撓みから発生する電気信号によって検知し、その接触応力を容易に調整することが可能となった。

[0054] (第 8 の実施形態)

図 13 は、本発明の第 8 の実施形態に係る微小接触式プローバの概略を示した模式図である。本発明に係る微小接触式プローバは、実施例 1 ～ 6 と同様に SEM 機構を有しているが、トンネル電流による探針－測定サンプル間の接触検知を適用していることから、ステージ接地 33 と、トンネル電流フィードバック制御機構 34 と、半導体パラメータアナライザ 23 との切り換えスイッチ 35 が設置されている点で異なる。

[0055] 本実施形態の接触検知型プローブ 15 を用いることで、チップ 4 先端と測定サンプル 20 の接触をトンネル電流によって検知し、探針のアプローチを容易に調整することが可能となった。

[0056] (第9の実施形態)

図15は、本発明の第9の実施形態に係る微小接触式プローバの概略を示した模式図である。本発明に係る微小接触式プローバは、実施例1～8と同様にSEM機構を有しておらず、光てこによる探針－測定サンプル間の接触検知を適用していることから、フォトディテクタ36と、半導体レーザ37と、AFMフィードバック制御回路38と、AFM制御コンピュータ39が設置されている点で異なる。

[0057] 本実施形態の接触検知型プローブ15を用いることで、チップ4先端と測定サンプル20の接触をカンチレバーのバネ反りによって検知し、かつ測定領域のAFM像を取得することでSEMの電子ビームによるコンタミネーションの付着が防止することが可能となり、接触抵抗を低減することが可能となった。

[0058] (比較例1)

図12に比較例を示す。従来型の微小接触式プローバは金属探針のみで構成される。このため、探針の先端極率半径が小さくなるにつれ接触時の荷重に耐えられなくなり、数回のプロービングで探針先端部が折れ曲がったり、磨耗したりする。そこでカーボンナノチューブ10のような剛性、弾性ともに高い探針をプローバに応用する。しかしながら、SEM観察方向がサンプルに対して垂直である場合、プローブ9のサンプルへのアプローチは垂直方向からでは不可能であり、45°の傾斜をもつため、カーボンナノチューブ10はサンプルと接触した瞬間に数nN程度の力で曲がってしまう。すなわち接触応力が小さいため接触抵抗は高いままである。

符号の説明

- [0059] 1 ナノピラー探針
2 ホルダー
3 カンチレバー
4 チップ
5 基板

- 6 加振ピエゾ
- 7 プローブホルダー
- 8 微動・粗動スキャナー
- 9 プローブ
- 10 カーボンナノチューブ
- 11 金属固定被膜
- 12 金属被膜
- 13 金属ナノワイヤ
- 14 圧電体
- 15 接触検知型プローブ
- 16 電子源
- 17 収束電子レンズ
- 18 電子顕微鏡制御コンピュータ
- 19 モニタ
- 20 測定サンプル
- 21 ステージ
- 22 プローブ専用コントローラ
- 23 半導体パラメータアナライザ
- 24 排気装置
- 25 接触検知型プローブ専用コントローラ
- 26 筐体
- 27 走査コイル
- 28 焦点コイル
- 29 対物レンズ
- 30 鏡筒
- 31 二次電子検出器
- 32 電子線
- 33 ステージ接地

- 3 4 トンネル電流フィードバック制御機構
- 3 5 切り換えスイッチ
- 3 6 フォトディテクタ
- 3 7 半導体レーザ
- 3 8 A F Mフィードバック制御回路
- 3 9 A F M制御コンピュータ

請求の範囲

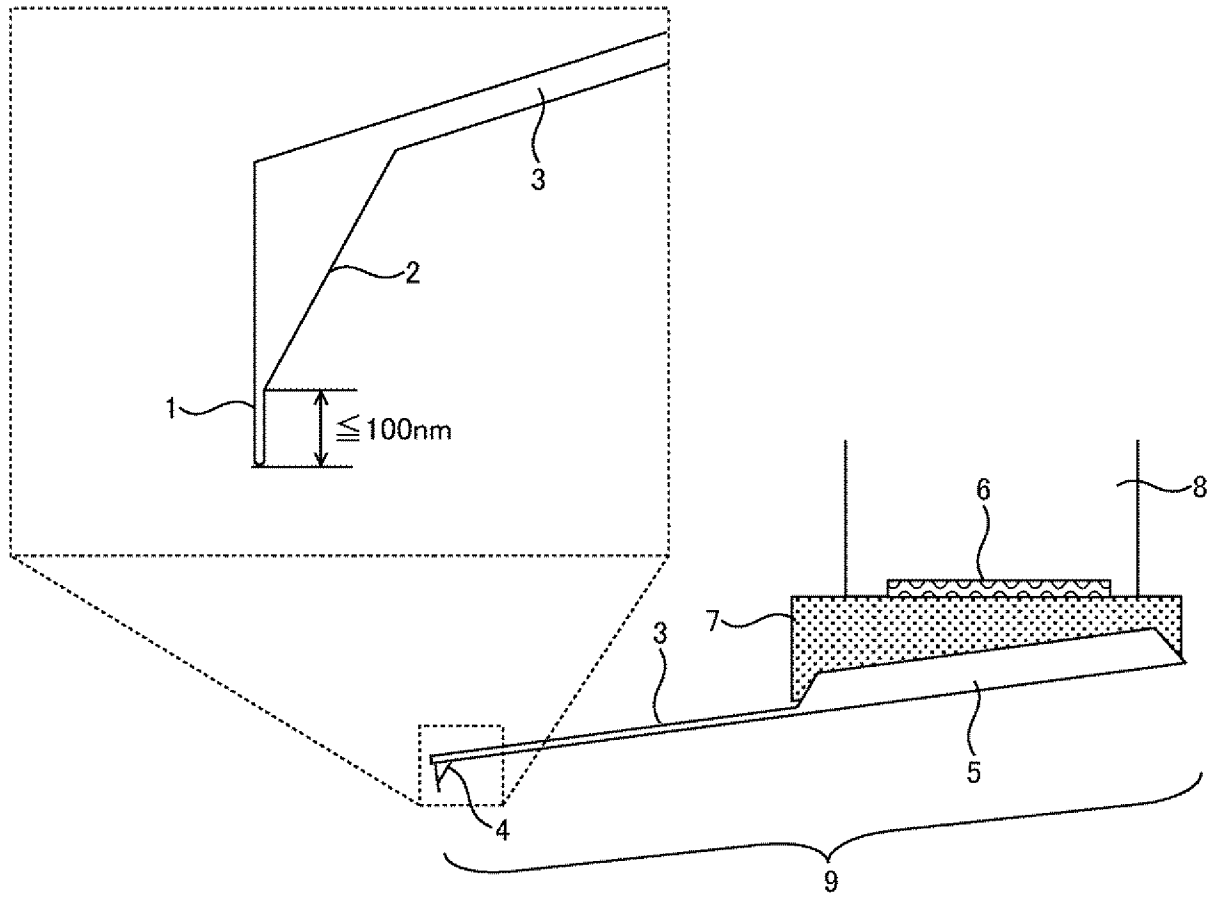
- [請求項1] 電子顕微鏡内で観察しながら複数のプローブ間に電気信号を与え、被検体の電気物性を評価する微小接触式プローバにおいて、前記プローブはカンチレバーを有し、
- 前記カンチレバーは、先端に設置されたホルダーより突出した探針と、
- 各カンチレバーを被検体に対して水平方向に振動させる加振機構と、
- 前記加振機構を駆動する信号発生装置と、
- カンチレバー間に所望の電圧を印加する電圧源と、
- 前記電圧源によって所望の電圧が印加されたプローブ間に流れる電流を計測する電流計と、を具備することを特徴とする微小接触式プローバ。
- [請求項2] 請求項1に記載の微小接触式プローバにおいて、前記探針は、前記ホルダーより長さ50～100nmで突出した金属または金属を含むナノワイヤやナノピラーからなることを特徴とする微小接触式プローバ。
- [請求項3] 請求項1に記載の微小接触式プローバにおいて、前記探針は、前記ホルダーより長さ50～100nmで突出した金属を被覆したカーボンナノチューブからなることを特徴とする微小接触式プローバ。
- [請求項4] 請求項1に記載の微小接触式プローバにおいて、前記ホルダーの先端部は前記カンチレバーの自由端よりも突出しており、カンチレバー上部より前記ホルダーおよび前記探針の先端を確認することを特徴とする微小接触式プローバ。
- [請求項5] 請求項1に記載の微小接触式プローバにおいて、前記カンチレバーは、金属またはシリコンに金属被膜した導電性のカンチレバーからなることを特徴とする微小接触式プローバ。
- [請求項6] 請求項1に記載の微小接触式プローバにおいて、前記カンチレバー

に圧電体を設け、カンチレバーの撓み量を前記圧電体の電気信号によって検知することを特徴とする微小接触式プローバ。

[請求項7] 請求項1に記載の微小接触式プローバにおいて、前記プローバにトンネル電流のフィードバック機構を設け、探針－測定サンプル間の接触をトンネル電流によって検知することを特徴とする微小接触式プローバ。

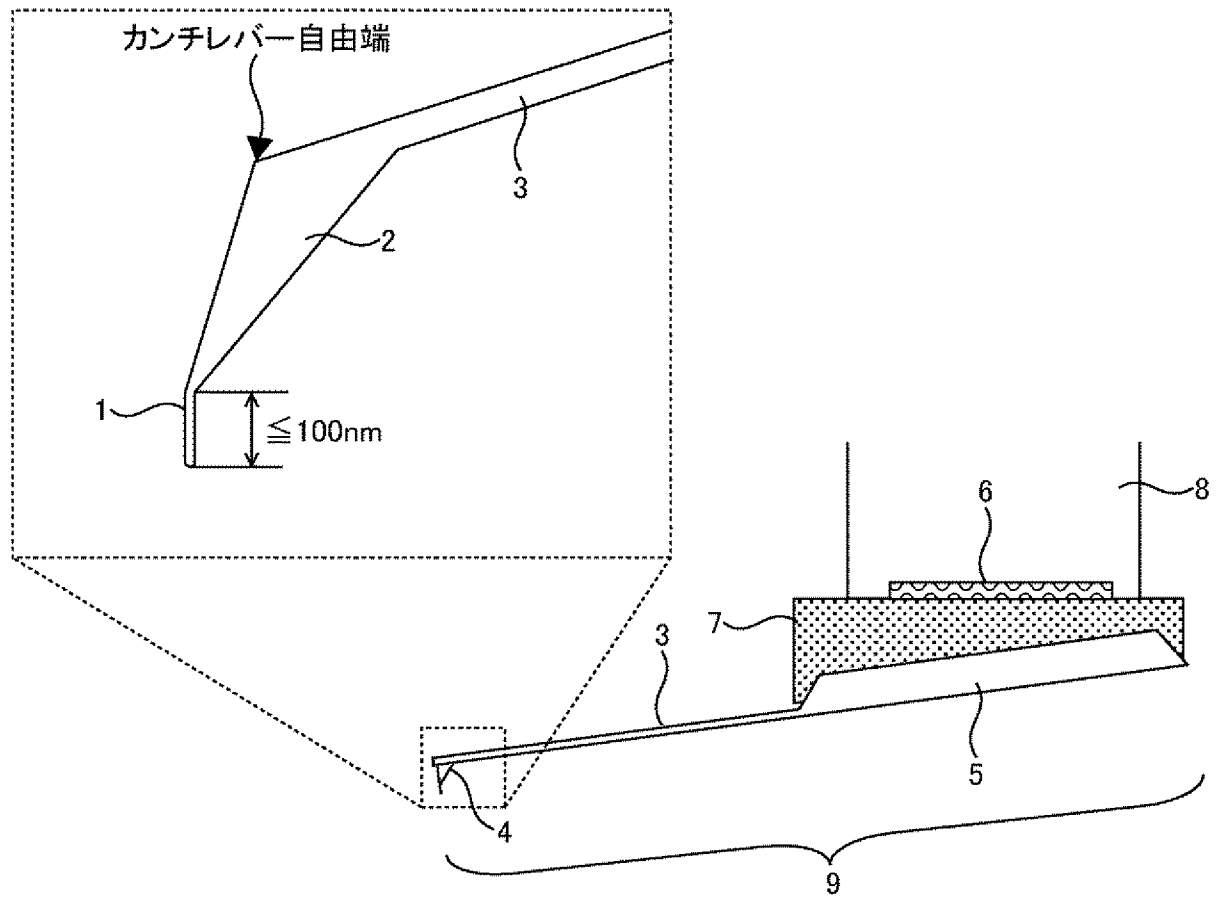
[図1]

図 1



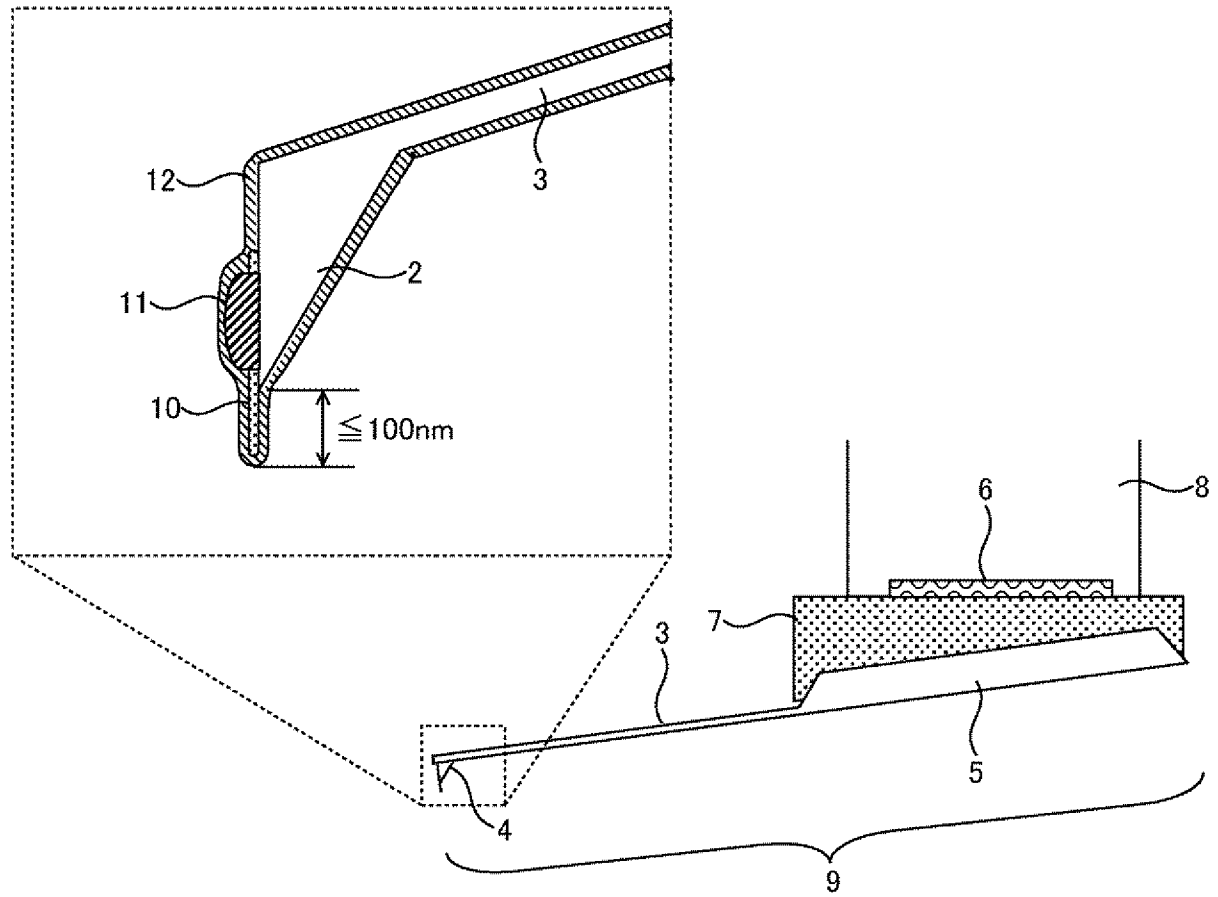
[図2]

図 2



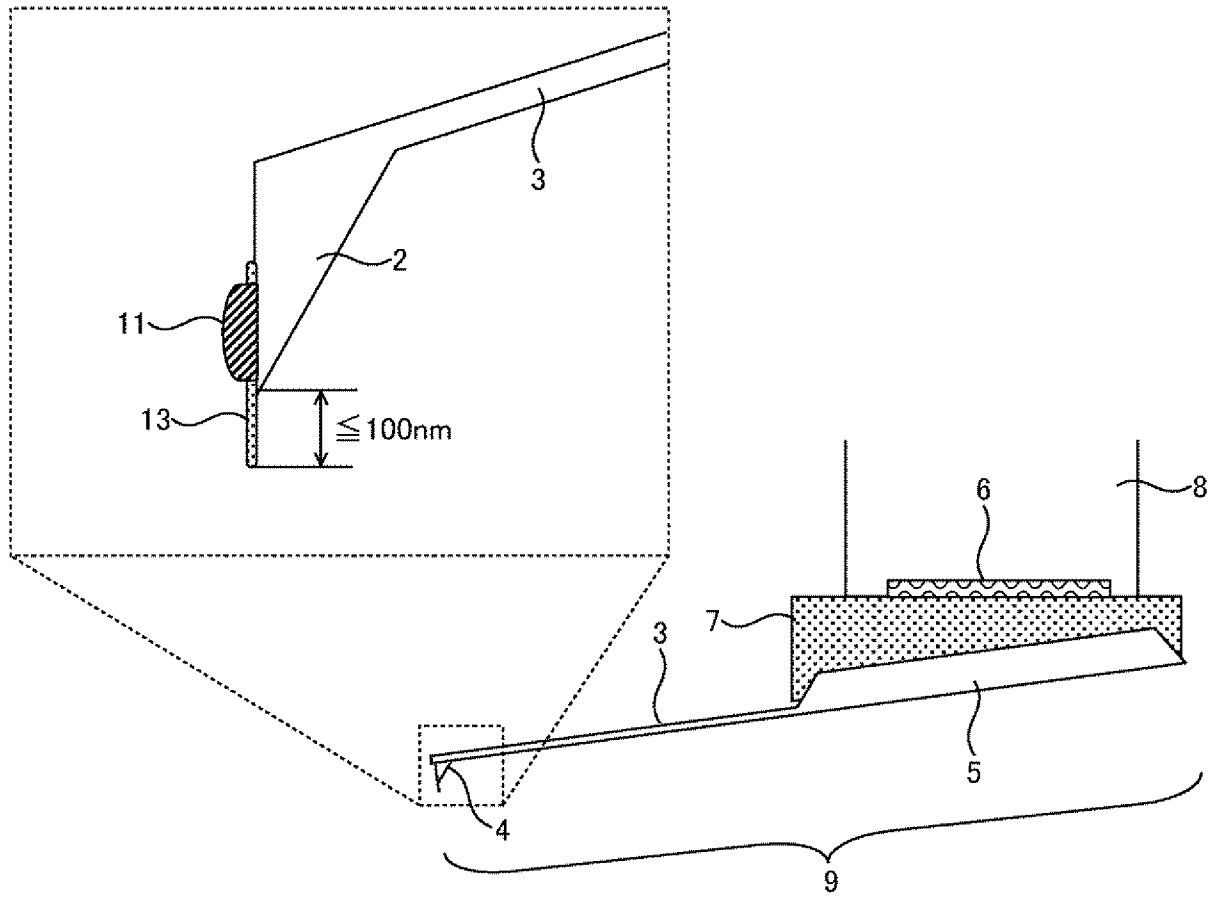
[図3]

図 3



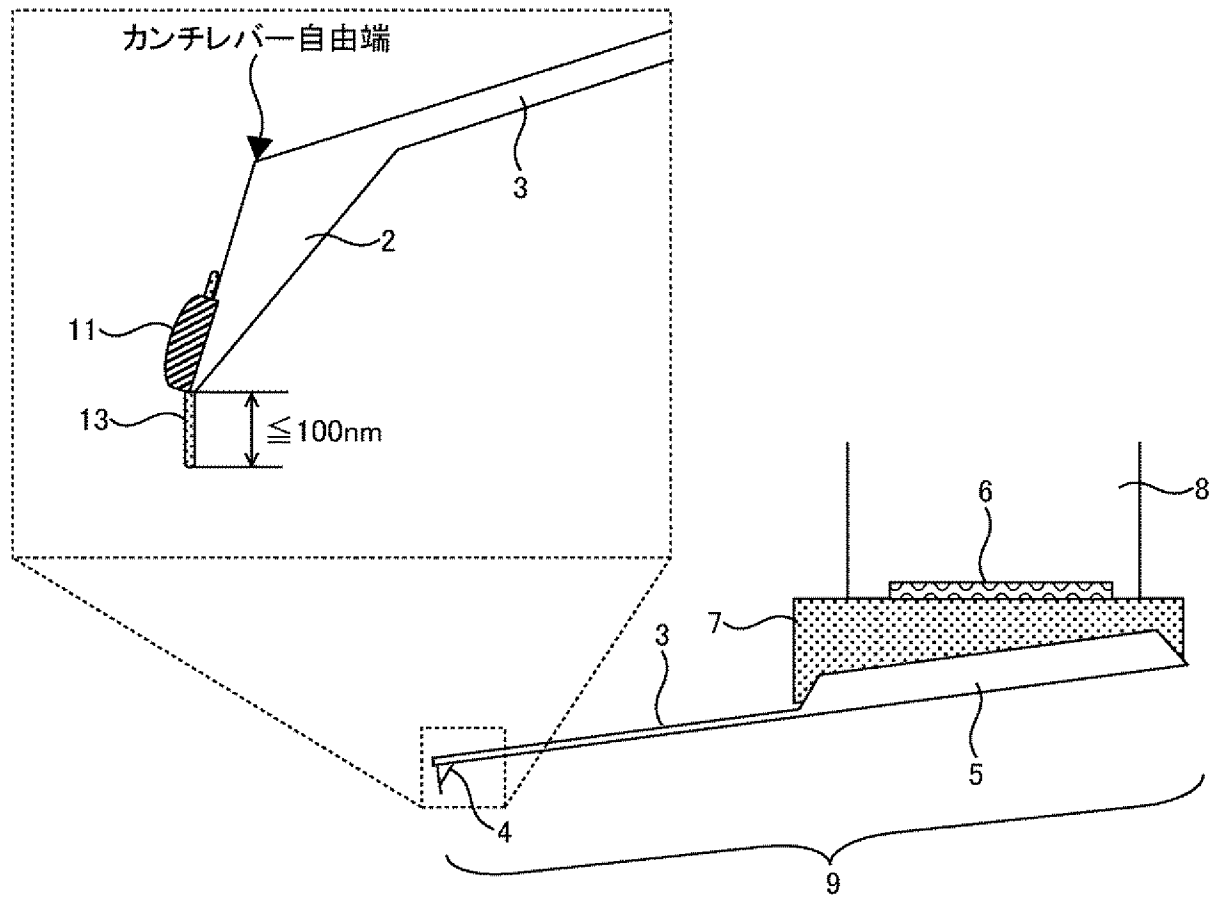
[図5]

図 5



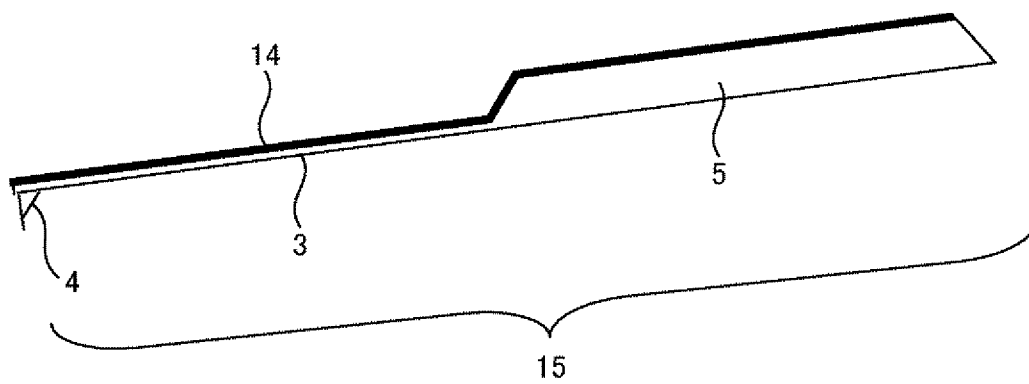
[図6]

図 6



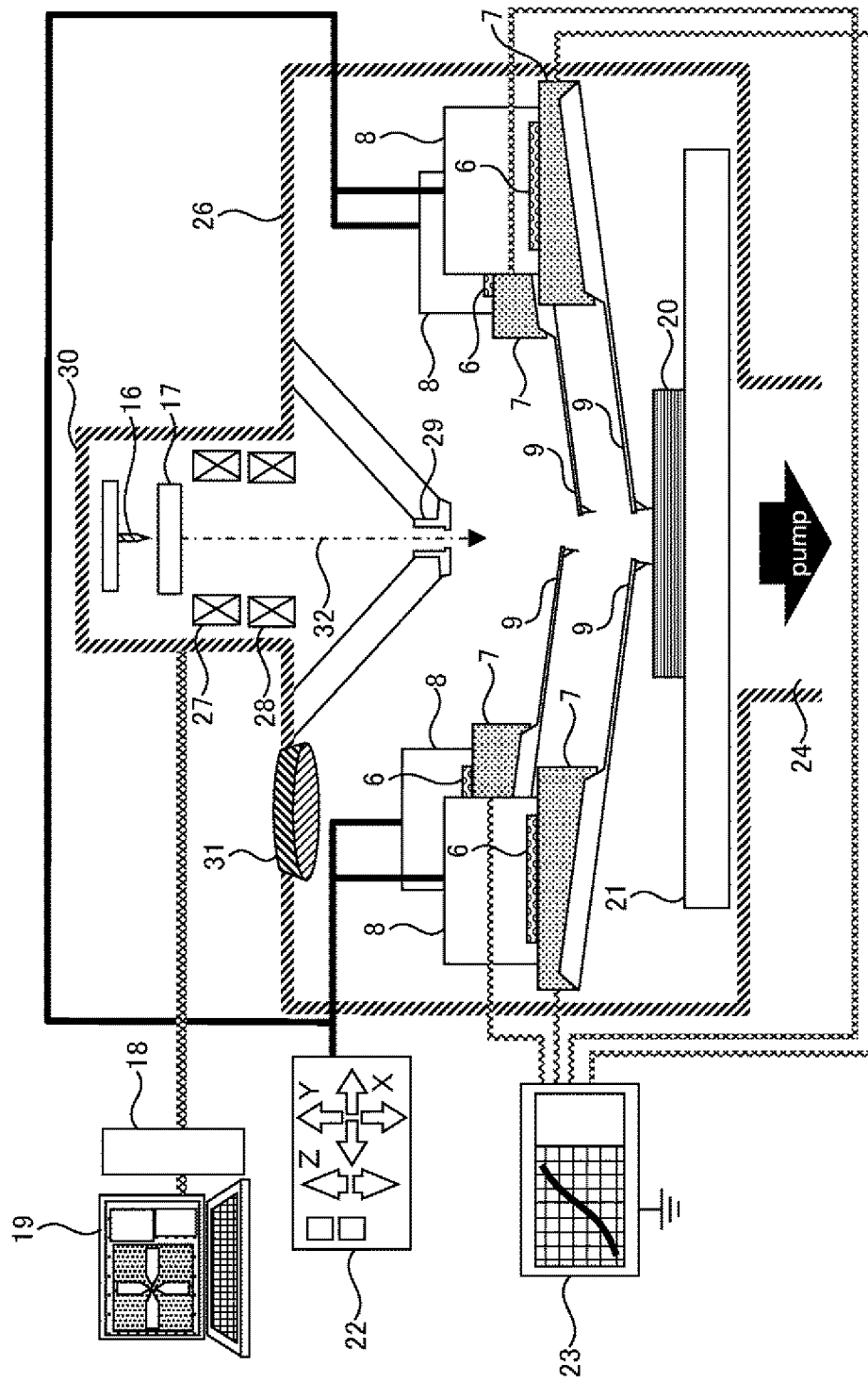
[図7]

図 7



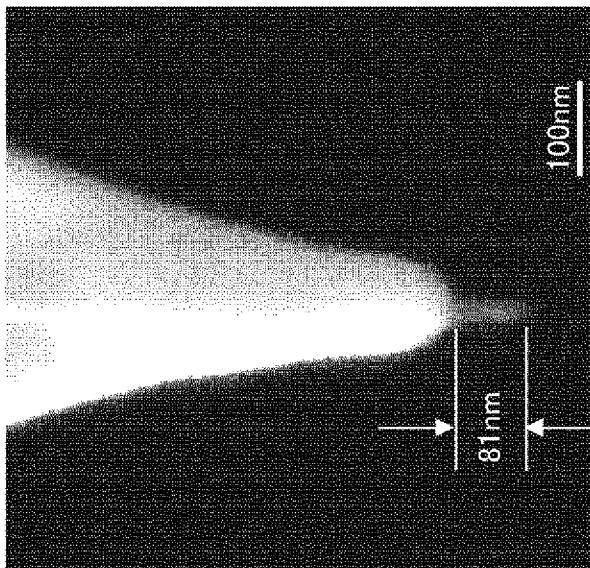
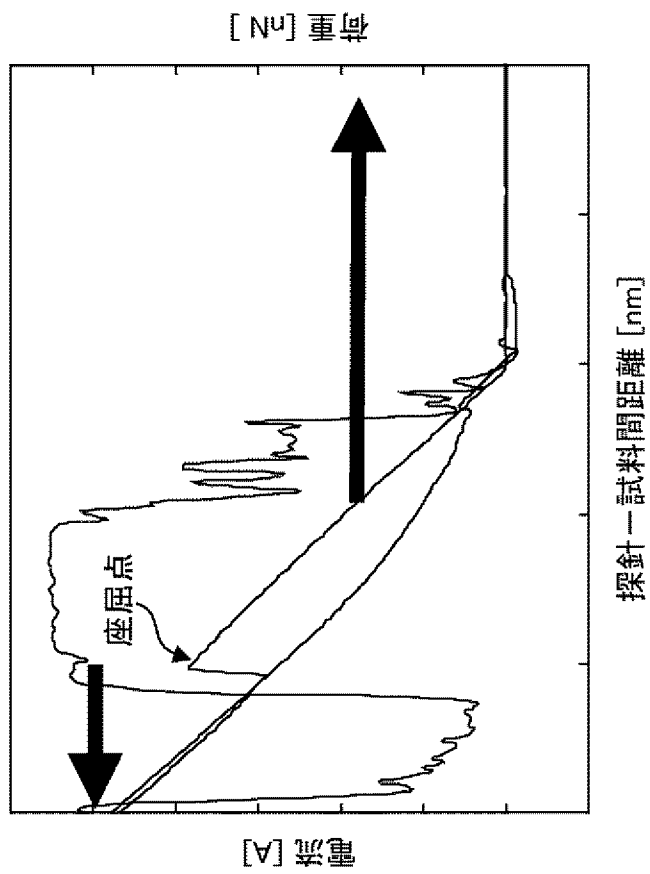
[図8]

図 8



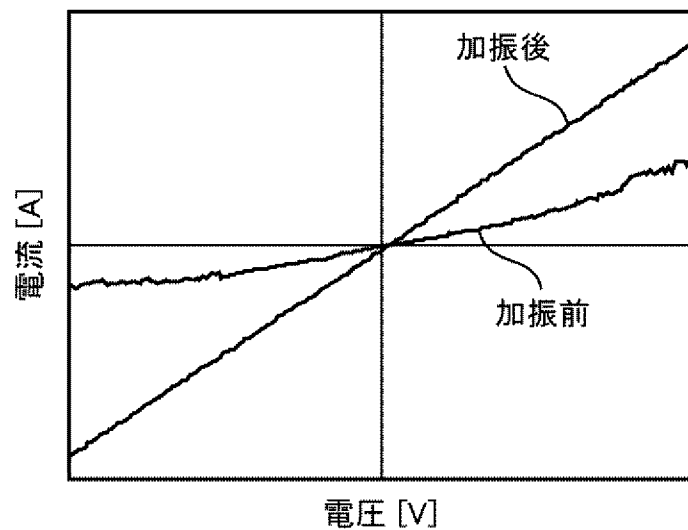
[図10]

図 10



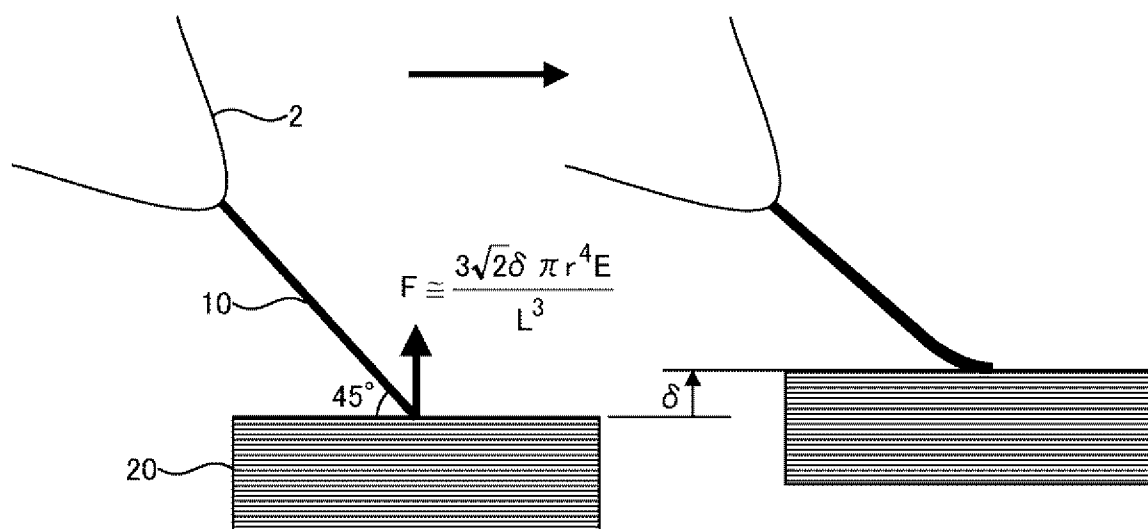
[図11]

図 11



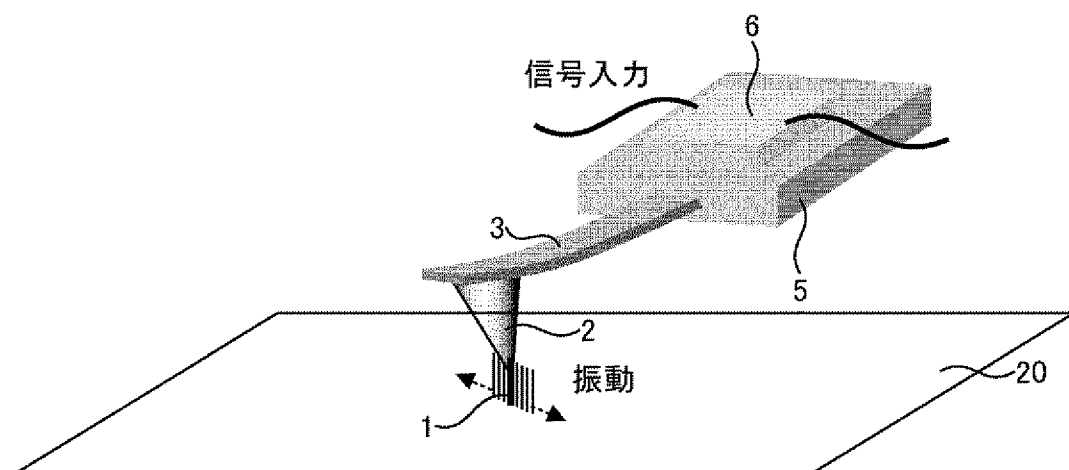
[図12]

図 12



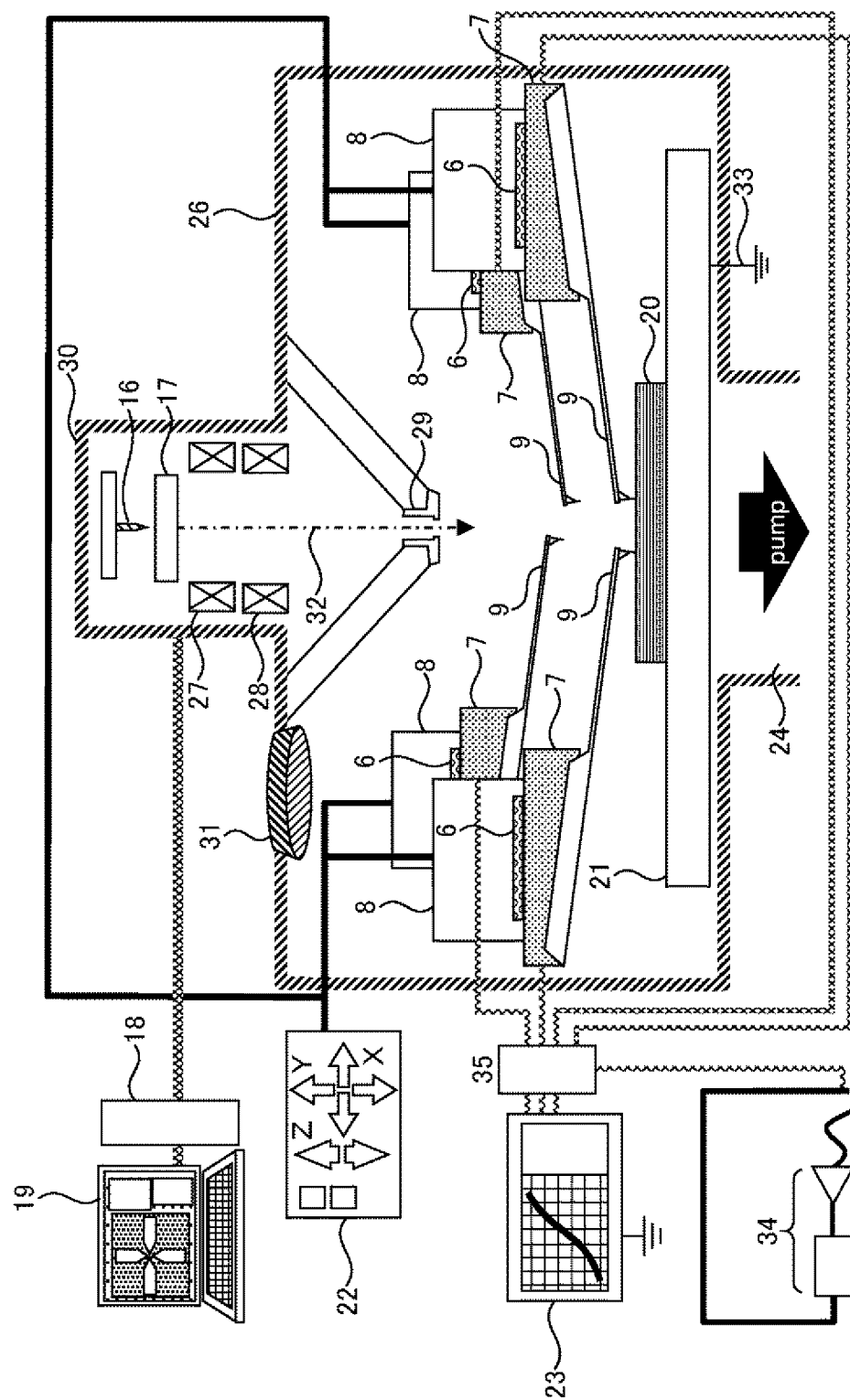
[図13]

図 13



[図14]

図 14



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/003504

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01Q60/10(2010.01)i, G01Q30/02(2010.01)i, G01Q70/12(2010.01)i, G01R1/06
(2006.01)i, G01R1/073(2006.01)i, G01R31/28(2006.01)i

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)

G01Q10/00-90/00, G01R1/06-1/073, G01R31/28-31/30

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2010
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2010	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2010

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.
Y	JP 2007-71884 A (Hitachi, Ltd.), 22 March 2007 (22.03.2007), paragraphs [0014] to [0016]; fig. 1, 2 (Family: none)	1-7
Y	JP 2002-31655 A (Daiken Chemical Co., Ltd.), 31 January 2002 (31.01.2002), paragraphs [0027] to [0030]; fig. 1, 2 & US 2002/0084790 A1	1-7
Y	JP 2006-267027 A (JEOL Ltd.), 05 October 2006 (05.10.2006), claim 1 (Family: none)	1-7

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent 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

"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

Date of the actual completion of the international search
05 August, 2010 (05.08.10)

Date of mailing of the international search report
17 August, 2010 (17.08.10)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/003504

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2007-17388 A (JEOL Ltd.), 25 January 2007 (25.01.2007), claim 3 & US 2007/0012095 A1	1-7
Y	JP 2005-308675 A (Olympus Corp.), 04 November 2005 (04.11.2005), claim 4 & US 2008/0000293 A1 & EP 1742034 A1 & WO 2005/103648 A1	2
Y	JP 2006-267113 A (Daiken Chemical Co., Ltd.), 05 October 2006 (05.10.2006), paragraphs [0051], [0052]; fig. 5 (Family: none)	3, 5
Y	JP 2007-187665 A (Samsung Electronics Co., Ltd.), 26 July 2007 (26.07.2007), paragraph [0021]; fig. 1, 2 & US 2007/0164214 A1 & KR 10-2007-0075660 A	3, 5
Y	JP 2002-310883 A (Olympus Optical Co., Ltd.), 23 October 2002 (23.10.2002), paragraphs [0006] to [0008]; fig. 12 & US 6694805 B2	4
Y	JP 2004-93574 A (Seiko Instruments Inc.), 25 March 2004 (25.03.2004), paragraph [0002]; fig. 1 (Family: none)	6

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. G01Q60/10(2010.01)i, G01Q30/02(2010.01)i, G01Q70/12(2010.01)i, G01R1/06(2006.01)i,
G01R1/073(2006.01)i, G01R31/28(2006.01)i

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 (I P C))

Int.Cl. G01Q10/00-90/00
G01R 1/06- 1/073
G01R31/28-31/30

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 0 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 0 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 0 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 請求項の番号
Y	JP 2007-71884 A (株式会社日立製作所) 2007.03.22, 【0014】 - 【0016】、【図1】、【図2】 (ファミリーなし)	1-7
Y	JP 2002-31655 A (大研化学工業株式会社) 2002.01.31, 【0027】 - 【0030】、【図1】、【図2】 & US 2002/0084790 A1	1-7
Y	JP 2006-267027 A (日本電子株式会社) 2006.10.05, 【請求項1】 (フ ァミリーなし)	1-7

☒ 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

0 5 . 0 8 . 2 0 1 0

国際調査報告の発送日

1 7 . 0 8 . 2 0 1 0

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)
郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5
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)

福田 裕司

2 J

4 6 3 5

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 5 2

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 請求項の番号
Y	JP 2007-17388 A (日本電子株式会社) 2007. 01. 25, 【請求項 3】 & US 2007/0012095 A1	1-7
Y	JP 2005-308675 A (オリンパス株式会社) 2005. 11. 04, 【請求項 4】 & US 2008/0000293 A1 & EP 1742034 A1 & WO 2005/103648 A1	2
Y	JP 2006-267113 A (大研化学工業株式会社) 2006. 10. 05, 【0051】、【0052】、【図5】 (ファミリーなし)	3, 5
Y	JP 2007-187665 A (三星電子株式会社) 2007. 07. 26, 【0021】、【図1】、【図2】 & US 2007/0164214 A1 & KR 10-2007-0075660 A	3, 5
Y	JP 2002-310883 A (オリンパス光学工業株式会社) 2002. 10. 23, 【0006】 - 【0008】、【図12】 & US 6694805 B2	4
Y	JP 2004-93574 A (セイコーインスツルメンツ株式会社) 2004. 03. 25, 【0002】、【図1】 (ファミリーなし)	6