

(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7月29日(29.07.2010)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2010/084662 A1

- (51) 国際特許分類:  
G01L 1/04 (2006.01) G01L 1/14 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2009/069612
- (22) 国際出願日: 2009年11月19日(19.11.2009)
- (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 2009-010322 2009年1月20日(20.01.2009) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 国立大学法人東北大学 (Tohoku University) [JP/JP]; 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 Miyagi (JP).
- (72) 発明者: および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 燈明 泰成 (TOHMYOH Hironori) [JP/JP]; 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). アカンダ モハマド アブドゥス サラム (Akanda Md. Abdus Salam) [JP/JP]; 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP).

- (74) 代理人: 須田 篤, 外 (SUDA Atsushi et al.); 〒9800012 宮城県仙台市青葉区錦町一丁目2番10-605号 Miyagi (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, JP, 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, 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, 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 (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, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

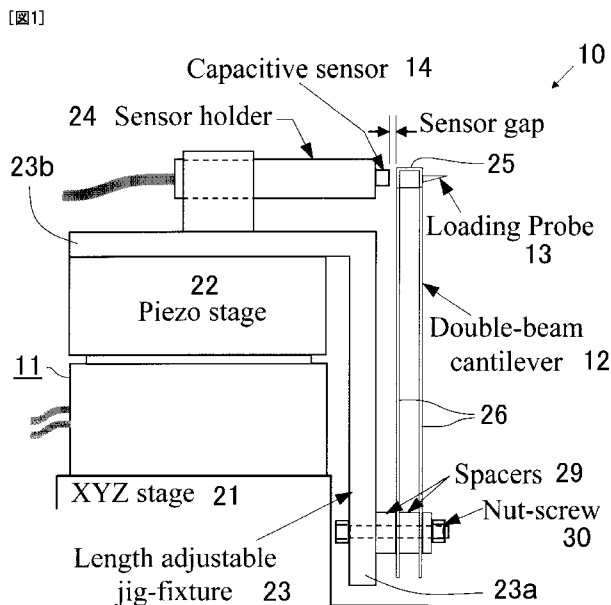
規則 4.17 に規定する申立て:

- 発明者である旨の申立て (規則 4.17(iv))

[続葉有]

(54) Title: LOAD MEASURING APPARATUS

(54) 発明の名称: 荷重測定装置



(57) Abstract: Provided is a high-precision load measuring apparatus having an expanded measurement range. A load section (13) is arranged on one end of a long and narrow beam member (12). A supporting member (11) supports the beam member (12) on the beam member (12) side closer to the other end than the load section (13). A displacement sensor (14) is composed of a capacitive sensor and is arranged to measure the displacement of the load section (13). The beam member (12) has a pair of long and narrow board-like leg sections (26), which are arranged in parallel with a space therebetween in the thickness direction, and a connecting section (25) which connects the end sections of the board-like leg sections (26) on the side of the load section (13). The beam member (12) is supported by the supporting member (11) such that the distance between the position where the beam member is supported by the supporting member (11) and the load section (13) can be varied. Each of the board-like leg sections (26) has a slot (28), which is composed of a long and narrow hole arranged in the length direction, in the center section in the width direction.

(57) 要約: 【課題】測定範囲を拡げることができる高精度な荷重測定装置を提供する。

[続葉有]

WO 2010/084662 A1



添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

---

【解決手段】細長い梁部材 1 2 の一端に、荷重部 1 3 が設けられている。支持部材 1 1 が、梁部材 1 2 の荷重部 1 3 より他端側で梁部材 1 2 を支持している。変位センサ 1 4 が、静電容量センサから成り、荷重部 1 3 の変位を測定可能に設けられている。梁部材 1 2 は、厚さ方向に間隔を開けて互いに平行に配置された細長い 1 対の板状脚部 2 6 と、荷重部 1 3 側の各板状脚部 2 6 の端部を連結する連結部 2 5 とを有している。梁部材 1 2 は、支持部材 1 1 による支持位置と荷重部 1 3 との距離を変更可能に、支持部材 1 1 に支持されている。各板状脚部 2 6 は、幅方向の中央部に長さ方向に沿って設けられた細長い穴から成るスロット 2 8 を有している。

## 明 細 書

**発明の名称**：荷重測定装置

### 技術分野

[0001] 本発明は、荷重測定装置に関する。

### 背景技術

[0002] 従来、マイクロやナノ領域における力の測定は、ピエゾ素子、ひずみゲージやピエゾ抵抗、静電容量や光学力センサのようなMEMS (Micro Electro Mechanical Systems ; 微小・電気機械システム) トランスデューサ (変換器) を用いて行われている。ピエゾ素子センサは、動的な力の検出に適しているが、構造上静的な力を検出することには適していない。これに対し、静電容量センサは、ピエゾ素子センサと比較して感度や安定性に優れている (例えば、特許文献1参照)。また、光学力センサは、その構成が大掛かりで高価であるが、現状において最も高感度な力の測定を実現できている。

[0003] 従来のMEMSトランスデューサとして、カンチレバー (片持ち梁) とレーザ変位計とを有するものがある (例えば、特許文献2参照)。このMEMSトランスデューサは、原子間力顕微鏡 (Atomic Force Microscope ; AFM) 等で利用されており、カンチレバー先端に固定されたチップが測定対象物に接触するとカンチレバーがたわみ、そのたわみをレーザ変位計で検出し、検出した変位量に基づいて微小力を求めるよう構成されている。

### 先行技術文献

#### 特許文献

[0004] 特許文献1：特許第3240390号公報

特許文献2：特開2004-205381号公報

### 発明の概要

#### 発明が解決しようとする課題

[0005] しかしながら、特許文献1や特許文献2に記載のような従来の測定装置では、測定範囲が固定されて変更できず、狭いという課題があった。また、特

許文献2に記載のMEMSトランスデューサでは、カンチレバーのたわみが増すごとに、チップが測定対象物の表面に対して首振りの回転運動を起こすため、チップの変位量とチップに加わった力とが非線形関係になり、測定範囲の縮小や測定精度の低下が生じるという課題もあった。

[0006] 本発明は、このような課題に着目してなされたもので、測定範囲を拡げることができる高精度な荷重測定装置を提供することを目的としている。

### 課題を解決するための手段

[0007] 本発明者等は、従来の測定装置での測定範囲が狭いという課題に対して、支持位置と荷重部（チップ）との距離を変更可能にすることにより、荷重部に加わる力に対する荷重部の変位量を調整可能にし、これにより、荷重部に加わる力の大きさに応じて、荷重部の変位量が、変位センサが測定可能な変位範囲内になるよう調整して、測定範囲を拡げることができることを見出した。また、本発明者等は、従来の測定装置での、チップの変位量とチップに加わった力とが非線形関係になり、測定範囲の縮小や測定精度の低下が生じるという課題に対して、支持位置と荷重部との距離に関係なく、荷重部の変位量と荷重部に加わった力とを常に線形関係に保つことにより、高精度に測定を行うことができることを見出した。こうして、本発明者等は、本発明に至った。

[0008] すなわち、本発明に係る荷重測定装置は、細長く、一端に荷重部が設けられた梁部材と、前記梁部材の前記荷重部より他端側で前記梁部材を支持する支持部材と、前記荷重部の変位を測定可能に設けられた変位センサとを有し、前記梁部材は、厚さ方向に間隔を開けて互いに平行に配置された細長い1対の板状脚部と、前記荷重部側の各板状脚部の端部を連結する連結部とを有し、前記支持部材による支持位置と前記荷重部との距離を変更可能に前記支持部材に支持されていることを、特徴とする。

[0009] 本発明に係る荷重測定装置は、以下のようにして使用される。まず、梁部材の一端の荷重部に測定対象物が接触して、各板状脚部の厚さ方向に力が加わると、梁部材の各板状脚部がたわんで、荷重部が各板状脚部の厚さ方向に

移動する。このとき、厚さ方向に間隔を開けて互いに平行に配置された細長い1対の板状脚部の荷重部側の端部を連結部で連結しているため、荷重部での各板状脚部の表面が、変位前の各板状脚部の厚さ方向に対して垂直の状態を維持したまま荷重部が移動する。これにより、荷重部が測定対象物に対して回転運動を起こすのを防ぐことができ、荷重部の変位量と荷重部に加わった力とを線形関係に保つことができる。

[0010] 次に、荷重部の変位を変位センサで検出し、検出した変位量に基づいて荷重部に加わった力を求める。このとき、荷重部の変位量と荷重部に加わった力とが線形関係であるため、非線形関係の場合と比べて、高精度で荷重部に加わった力を求めることができる。荷重部が測定対象物に対して回転運動を起こさないため、荷重部や各板状部材に対する変位センサの配置によっては、回転運動する場合に比べて、測定範囲を広く保つことができる。

[0011] 本発明に係る荷重測定装置は、支持部材による支持位置と荷重部との距離を変更することにより、荷重部に加わる力に対する荷重部の変位量を調整することができる。このため、荷重部に加わる力の大きさに応じて、荷重部の変位量が、変位センサが測定可能な変位範囲内になるよう調整することができる。また、剛性が異なる梁部材をあらかじめ複数準備しておき、各梁部材を適宜交換することにより、荷重部に加わる所定の大きさの力に対する荷重部の変位量を変えることができ、測定範囲をさらに広げることができるとともに、測定範囲を柔軟に調整することができる。

[0012] 梁部材が一枚の板状部材から成る場合、支持部材による支持位置と荷重部との距離を変更すると、その距離に応じた曲率で、力が加わった荷重部が測定対象物に対して回転運動を起こす。すなわち、支持部材による支持位置と荷重部との距離が短いほど、荷重部の回転運動の曲率が大きくなり、荷重部の変位量と荷重部に加わった力との非線形性が高くなって測定精度が低下する。これに対し、本発明に係る荷重測定装置は、梁部材が、厚さ方向に間隔を開けて互いに平行に配置された細長い1対の板状脚部の荷重部側の端部を

連結部で連結しているため、支持部材による支持位置と荷重部との距離を変更しても、その距離に関係なく、荷重部での各板状脚部の表面が、変位前の各板状脚部の厚さ方向に対して常に垂直の状態を維持したまま荷重部が移動する。このため、支持部材による支持位置と荷重部との距離に関係なく、荷重部の変位量と荷重部に加わった力とを常に線形関係に保つことができ、高精度に測定を行うことができる。

[0013] 梁部材が、厚さ方向に間隔を開けて互いに平行に配置された細長い1対の板状脚部の荷重部側の端部を連結部で連結しているため、各板状部材の幅方向にはたわみにくく、ねじれにくい。このため、荷重部に加わる力の内、各板状部材の厚さ方向の力を高精度で測定することができる。

[0014] 本発明に係る荷重測定装置で、前記変位センサは静電容量センサから成ることが好ましい。この場合、荷重部での各板状脚部の表面が、変位前の各板状脚部の厚さ方向に対して垂直の状態を維持したまま荷重部が移動するため、荷重部の変位を、各板状脚部の表面との距離の変化として静電容量センサで容易かつ高精度に測定することができる。このため、構成が大掛かりで高価なレーザを利用した変位計を使用しなくとも、十分な精度で測定を行うことができる。レーザを利用した変位計を使用する場合と比べ、簡単な構成で、小型かつ安価に製造することができる。また、装置全体を一体化するのも容易である。

[0015] 本発明に係る荷重測定装置で、各板状脚部は幅方向の中央部に長さ方向に沿って設けられた細長い穴から成るスロットを有していてもよい。この場合、スロットにより、梁部材の断面2次モーメントやばね定数を変更することなく、各板状脚部の幅を広くすることができる。これにより、梁部材の幅方向に対するねじり剛性を高くすることができるため、梁部材のねじりをさらに抑制することができる。また、スロットを設けることにより、梁部材の剛性を小さくすることができ、梁部材をたわみやすくして荷重に対する感度を高めることができる。スロットの長さや幅を変えることにより、任意の剛性を有する梁部材を形成することができる。

[0016] 本発明に係る荷重測定装置で、前記梁部材は、細長い板状の部材の両端部を中央部に対して同じ方向に垂直に折り曲げることにより、中央部が連結部を成し、折り曲げられた両端部が各板状脚部を成すよう形成され、各板状脚部の長さ方向に沿ってスライド可能に前記支持部材に支持されており、前記荷重部は針状のチップから成り、一方の板状脚部の表面から垂直に突出するよう前記梁部材の一端に固定され、前記変位センサは前記荷重部の突出方向の変位を測定可能であってもよい。この場合、梁部材を、一枚の細長い板状部材から容易に形成することができる。また、梁部材の支持部材による支持位置と荷重部との距離を調整しやすい。荷重部のチップの先端に加わる、各板状部材の厚さ方向の力を、より高精度に測定することができる。

[0017] 本発明に係る荷重測定装置で、前記梁部材は複数から成り、互いに剛性が異なっており、各梁部材の内、最も剛性が大きい梁部材を既存の荷重センサにより校正可能であり、校正された梁部材により前記変位センサを校正可能であり、さらに校正された梁部材および前記変位センサにより他の梁部材を校正可能であってもよい。この場合、各梁部材の荷重部の変位量と荷重部に加わった力とが線形関係であるため、孫校正となるものであっても、各梁部材および変位センサの校正を高精度で行うことができる。このため、剛性が小さく、既存の荷重センサでは校正できない梁部材であっても、高精度で校正することができる。

[0018] 本発明に係る荷重測定装置は、前記板状脚部の幅方向から、変位前後の前記荷重部を撮影可能に設けられた撮影手段を有していてもよい。この場合、荷重部の変位を見ながら、測定を行うことができ、測定の実施状態の確認が容易である。このため、微細な材料の試験装置など、変位状態を確認しながら測定を行う装置に搭載して使用されると、特に効果的である。

### **発明の効果**

[0019] 本発明によれば、測定範囲を拡げることができる高精度な荷重測定装置を提供することができる。

### **図面の簡単な説明**

[0020] [図1]本発明の実施の形態の荷重測定装置を示す側面図である。

[図2]図1に示す荷重測定装置の梁部材を形成する板状の部材を示す平面図である。

[図3] (a) 従来の荷重測定器の構造（一重はり構造カンチレバー）を示す側面図、(b) 図1に示す荷重測定装置の構造（二重はり構造カンチレバー）を示す側面図である。

[図4]図3 (a) に示す一重はり構造カンチレバーの (a) はりの長さ (Cantilever length;  $L$ ) と利用可能な変位範囲 (Deflection range) との関係を示すグラフ、(b) 様々な長さ ( $L$ ) のはりにおける、比静電容量 ( $C/C_0$ ) と変位 (Deflection;  $\delta_{y,s}$ ) との関係を示すグラフである。

[図5]図1に示す荷重測定装置の梁部材の校正方法を示すブロック図である。

[図6]図5に示す校正方法の第一段階 (step I) での、与えた変位 (Piezo displacement) と梁部材の反力 (Force) との関係を示すグラフである。

[図7]図5に示す校正方法の第一段階 (step I) での、カンチレバーの変位 (Cantilever deflection) と静電容量センサの出力の変化 (Change in CS output) との関係を示すグラフである。

[図8]図5に示す校正方法の第二段階 (step II) での、(a) 与えた変位 (Piezo displacement;  $\delta_{PZT}$ ) と静電容量センサの出力 (CS output,  $\Delta V$ ) との関係を示すグラフ、(b) Cant.-1およびCant.-2の変位 (Deflection) と荷重 (Force) との関係を示すグラフである。

[図9]図1に示す荷重測定装置の梁部材であるCant.-1およびCant.-2の、検出最大変位 ( $\delta_{y,d}$ ) が異なる2種類の静電容量センサを用いたときの、支持部材による支持位置と荷重部との距離 (Length;  $L$ ) と測定可能な最大の力 (Maximum force;  $F_{max}$ ) との関係を示すグラフである。

[図10]図1に示す荷重測定装置の微小力測定実験に用いた振り子の (a) 吊り下げ状態 (Free hanging) を示す側面図、(b) 変位 ( $\delta$ ) を与えたときの状態 (Under loading) を示す側面図である。

[図11]図1に示す荷重測定装置の、図10に示す振り子を用いた微小力測定



実験の結果の、力 (Force ;  $F$ ) と変位 (Displacement ;  $\delta$ ) との関係を示すグラフである。

[図12] 図 1 に示す荷重測定装置の、人毛を用いた曲げ試験の結果の (a) 梁部材の変位 ( $\delta$ ) と荷重 ( $F$ ) との関係を示すグラフ、(b) 梁部材の変位 ( $\delta$ ) と  $FL^3/(3I)$  との関係を示すグラフである。

### 発明を実施するための形態

[0021] 以下、図面に基づき本発明の実施の形態について説明する。

図 1 乃至図 1 2 は、本発明の実施の形態の荷重測定装置を示している。

図 1 および図 2 に示すように、荷重測定装置 1 0 は、支持部材 1 1 と梁部材 1 2 と荷重部 1 3 と変位センサ 1 4 とを有している。

[0022] 図 1 に示すように、支持部材 1 1 は、XYZ ステージ (XYZ stage) 2 1 とピエゾステージ (Piezo stage) 2 2 と長さ調整ジグ (Length adjustable jig-fixture) 2 3 とセンサホルダ (Sensor holder) 2 4 とを有している。XYZ ステージ 2 1 は、水平 2 軸 (XY) 方向および高さ (Z) 方向の位置を調整可能になっている。ピエゾステージ 2 2 は、コンピュータ制御により、高い位置精度で水平 2 軸 (XY) 方向に微小移動可能になっている。ピエゾステージ 2 2 は、XYZ ステージ 2 1 の上に載置されている。

[0023] 長さ調整ジグ 2 3 は、L 型の側面形状を成し、一方の腕部分 2 3 a がピエゾステージ 2 2 より鉛直下方に垂れ下がるよう、他方の腕部分 2 3 b をピエゾステージ 2 2 の上に水平に載置して取り付けられている。センサホルダ 2 4 は、長さ調整ジグ 2 3 の他方の腕部分 2 3 b の上に取り付けられている。センサホルダ 2 4 は、長さ調整ジグ 2 3 の一方の腕部分 2 3 a の方向に向かって水平に伸びている。

[0024] 図 2 に示すように、梁部材 (カンチレバー ; Double-beam cantilever) 1 2 は、ステンレス製の細長い板状の部材から形成されている。梁部材 1 2 は、中央の矩形状の連結部 2 5 と、その両端側の細長い 1 対の板状脚部 2 6 とを有している。梁部材 1 2 は、中央の連結部 2 5 に対して、図 2 中の点線部で、その両端側の各板状脚部 2 6 を同じ方向に垂直に折り曲げて形成されて

いる。これにより、各板状脚部 26 は、厚さ方向に間隔を開けて互いに平行に配置され、連結部 25 は、各板状脚部 26 の一端部を連結するよう構成されている。

[0025] 梁部材 12 は、各板状脚部 26 の連結部 25 側の端部に、1 対の円形のチップ固定部 27 を有している。梁部材 12 は、一方のチップ固定部 27 の中央に貫通孔 27 a が形成されている。梁部材 12 は、各板状脚部 26 の幅方向の中央部に、各板状脚部 26 の長さ方向に沿って設けられた細長い穴から成るスロット (slot) 28 を有している。なお、図 2 に示す具体的な一例では、梁部材 12 は、厚さ 100  $\mu\text{m}$ 、80  $\times$  50  $\mu\text{m}$  のステンレス薄板から、エッチングにより抜き出した部材から形成されている。また、連結部 25 は、長さが約 4mm、幅が 2mm である。各板状脚部 26 は、長さが約 41mm、幅が 2mm である。チップ固定部 27 の径は 2.5mm、貫通孔 27 a の径は 1mm である。

[0026] 図 1 に示すように、梁部材 12 は、支持部材 11 の長さ調整ジグ 23 の一方の腕部分 23 a の下端部に、各板状脚部 26 で取り付けられている。梁部材 12 は、連結部 25 を上にした状態で、各板状脚部 26 が鉛直になるよう取り付けられている。また、梁部材 12 は、各板状脚部 26 の厚さ方向が、センサホルダ 24 の伸び方向に沿うよう取り付けられている。梁部材 12 は、長さ調整ジグ 23 側の板状脚部 26 と長さ調整ジグ 23 との間、および、各板状脚部 26 の間にそれぞれスペーサ 29 (Spacers) を挟み、ナット 30 (Nut-screw) により長さ調整ジグ 23 に取り付けられている。梁部材 12 は、ナット 30 を緩めたり締めたりすることにより、各板状脚部 26 の長さ方向に沿ってスライド可能に、支持部材 11 に支持されている。

[0027] 図 1 に示すように、荷重部 (Loading Probe) 13 は、針状のチップから成り、梁部材 12 の上端の、チップ固定部 27 の貫通孔 27 a に貫通させて固定されている。荷重部 13 は、長さ調整ジグ 23 とは反対側の板状脚部 26 の表面から垂直に突出するよう、各チップ固定部 27 の間に樹脂を充填して固定されている。荷重部 13 は、例えば、直径 20  $\mu\text{m}$  のタングステンワイヤの先端を FIB 加工して成り、紫外光硬化性のポリエステル樹脂 (Polyester resi

n) を用いて梁部材 12 に固定されている。

[0028] なお、梁部材 12 は、支持部材 11 による支持位置、すなわちナット 30 による固定位置と、荷重部 13 との距離を変更可能に、支持部材 11 に支持されている。また、梁部材 12 は、荷重部 13 よりも下端側で、支持部材 11 に支持されている。

[0029] 図 1 に示すように、変位センサ 14 は、静電容量センサ (Capacitive sensor) から成り、支持部材 11 のセンサホルダ 24 の先端に取り付けられている。変位センサ 14 は、長さ調整ジグ 23 側の板状脚部 26 の上端部の表面との間に隙間 (Sensor gap) をあけて、その表面に対向するよう取り付けられ、その表面との距離の変化を測定可能になっている。これにより、変位センサ 14 は、その表面とは反対側に取り付けられた荷重部 13 の突出方向、すなわち各板状脚部 26 の厚さ方向の変位を測定可能になっている。なお、変位センサ 14 は、押し付け力、引き付け力のどちらか、または両方を測定するかで、梁部材 12 との初期隙間をピエゾステージ 22 により変更可能になっている。

[0030] 次に、作用について説明する。

荷重測定装置 10 は、以下のようにして使用される。まず、荷重部 13 の先端に測定対象物が接触して、各板状脚部 26 の厚さ方向に力が加わると、梁部材 12 の各板状脚部 26 がたわんで、荷重部 13 が各板状脚部 26 の厚さ方向に移動する。このとき、各板状脚部 26 の荷重部 13 側の端部を、樹脂を使用して連結部 25 で剛に連結しているため、荷重部 13 が、変位前の各板状脚部 26 の厚さ方向に平行な状態を維持したまま移動する。これにより、荷重部 13 が測定対象物に対して回転運動を起こすのを防ぐことができ、荷重部 13 の変位量と荷重部 13 に加わった力とを線形関係に保つことができる。また、荷重部 13 と測定対象物の表面との間に摩擦が発生するのを防ぐこともできる。

[0031] 次に、荷重部 13 の変位を変位センサ 14 で検出し、検出した変位量に基づいて荷重部 13 に加わった力を求める。このとき、荷重部 13 の変位量と

荷重部 13 に加わった力とが線形関係であるため、非線形関係の場合と比べて、高精度で荷重部 13 に加わった力を求めることができる。荷重部 13 が測定対象物に対して回転運動を起こさないため、回転運動する場合に比べて、測定範囲を広く保つことができる。

[0032] これらのことを、従来のAFM等で利用される荷重測定器と比較して検討を行う。従来の荷重測定器の構造（以下、「一重はり構造カンチレバー」と呼ぶ）を図3（a）に、本発明の実施の形態の荷重測定装置10の構造（以下、「二重はり構造カンチレバー」と呼ぶ）を図3（b）に示す。ここで、二重はり構造カンチレバーでは、連結部25の側の自由端におけるはり支持部が剛（Rigid joint）であることが鍵である。

[0033] 図3に示した直交座標系において、荷重Fはy方向に加わる。この場合、長さLの一重はり構造カンチレバーおよび二重はり構造カンチレバーのy方向の変位は、それぞれ（1）式および（2）式で与えられる。

[数1]

$$\delta_{y,s} = \frac{FL^3}{3EI}, \quad (1)$$

$$\delta_{y,d} = \frac{FL^3}{24EI} \quad (2)$$

ここで、E：ヤング率

I：カンチレバーの断面二次モーメント

[0034] 従来の一重はり構造カンチレバーおよび二重はり構造カンチレバーの中立軸におけるたわみ角は、それぞれ（3）式および（4）式で与えられる。

[数2]

$$\theta_s = \frac{3\delta_{y,s}}{2L} (1 - \bar{x}^2). \quad (3)$$

$$\theta_d = -\frac{6\delta_{y,d}}{L} (\bar{x} - \bar{x}^2). \quad (4)$$

ここで、 $\bar{x} (= x/L)$  : はり自由端からの規格化距離

[0035] (3) 式より、従来の一重はり構造カンチレバーでは、自由端 ( $x=0$ ) における回転が最大で ( $\theta_s = 1.5 \delta_{y,s}/L$ ) となるのに対し、(4) 式に示す二重はり構造カンチレバーではゼロであり、梁部材 1 2 の先端付近に取り付けられる荷重部 1 3 に回転運動を生じない。

[0036] 従来の一重はり構造カンチレバーに取り付けたチップ (二重はり構造カンチレバーの荷重部 1 3 に対応) の先端における  $x$  方向変位は、

[数3]

$$\delta_{x,s} = \frac{-3\delta_{y,s} l}{2L} \quad (5)$$

である。(5) 式より、 $\delta_{x,s}/\delta_{y,s}$  は  $l/L$  の 1.5 倍である。通常、試験領域は非常に小さく、カンチレバー (二重はり構造カンチレバーの梁部材 1 2 に対応) の先端のチップは、観察およびアクセス性の観点からそれなりの長さが要求される。しかしながら、チップの横方向の動きは、力観察点を変更することになるので避けたい。これに対し、二重はり構造カンチレバーの荷重部 1 3 の先端における  $x$  方向変位は  $\delta_{y,d} \times 10^{-3}$  のオーダーであり、無視できる。

[0037] 静電容量センサ (CS) には測定可能な隙間範囲が存在するが、一重はり構造カンチレバーがたわんだ場合にカンチレバー (Cantilever) とセンサとの並行度が保たれず、これにより、力測定範囲の減少と測定精度の低下とが生じる。静電容量センサの直径を  $d$  とした場合、一重はり構造カンチレバーの可能な変位 ( $\delta_m$ ) は (6) 式で与えられる。

[数4]

$$\delta_m + \frac{d}{2} \tan\left(\frac{3\delta_m}{2L}\right) = \delta_g \quad (6)$$

ここで、 $\delta_g$ ：センサの測定可能な隙間範囲

[0038] 一重はり構造カンチレバーの利用可能な変位範囲 (Deflection range) ( $\delta_m / \delta_g$ ) × 100の例を、カンチレバーの長さ (Cantilever length) Lの関数として図4 (a) に示す。ここでは $d=2.36$ と $2.84\text{mm}$ 、 $\delta_g=25$ と $50\mu\text{m}$ について計算した。図4 (a) に示すように、Lを小さくするほど、利用可能なセンサ範囲が小さくなるのがわかる。一方、二重はり構造カンチレバーでは、利用可能なセンサ範囲は、Lに依らず常に100%である。

[0039] 静電容量センサでは、センサと並行に配置した導体との間の静電容量変化を利用して隙間を測る。ここで、センサと導体との並行度が低下した場合、隙間と静電容量変化との比例関係がずれ、この非線形挙動は隙間測定誤差、すなわち力測定誤差につながる。二枚の導体を隔てた系における静電容量変化は、(7) 式で近似できる。

[数5]

$$\frac{C}{C_p} = \frac{s}{2} \int_0^R \frac{1}{b} \ln\left(\frac{s+b}{s-b}\right) dr, \quad (7)$$

$$s = \delta_g - \delta_{y,s},$$

$$b = \frac{3\delta_{y,s}}{2L} \sqrt{R^2 - r^2},$$

ここで、 $C_p$ ：完全平行な導体についての静電容量  
 $R$ ：センサ部の半径

[0040] 図4 (b) に、理論的に求めた、一重はり構造カンチレバーの $C/C_p$ と変位 (Deflection)  $\delta_{y,s}$ との関係を示す。ここでは、 $R = 0.535\text{mm}$ 、 $\delta_g = 25\mu\text{m}$ を仮定した。図4 (b) に示すように、 $C/C_p$ は、 $\delta_{y,s}$ が増加するほど、また、L

が小さくなるほど大きくなることがわかる。また、 $C/C_0$ が $\delta_{y,s}$ と比例関係にないところにおいては、隙間が誤って測定されることとなり、力測定精度が低下することがわかる。一方、二重はり構造カンチレバーでは、常に梁部材 12 と静電容量センサとが並行に保たれるので、 $C/C_0$ は常に 1 であり、測定範囲に対する力測定精度の低下は生じない。

[0041] 一重はり構造カンチレバーの場合、図 4 (b) に示すように、カンチレバーの支持位置とチップとの距離、すなわちカンチレバーの長さ  $L$  を変更すると、その距離に応じた曲率で、力が加わったチップが測定対象物に対して回転運動を起こす。すなわち、カンチレバーの支持位置とチップとの距離が短いほど、チップの回転運動の曲率が大きくなり、チップの変位量とチップに加わった力との非線形性が高くなって測定精度が低下する。これに対し、二重はり構造カンチレバーでは、支持部材 11 による支持位置と荷重部 13 との距離を変更しても、その距離に関係なく、荷重部 13 が、変位前の各板状脚部 26 の厚さ方向に対して常に平行な状態を維持したまま移動する。このため、支持部材 11 による支持位置と荷重部 13 との距離に関係なく、荷重部 13 の変位量と荷重部 13 に加わった力とを常に線形関係に保つことができ、高精度に測定を行うことができる。

[0042] このように、荷重測定装置 10 では、荷重部 13 が、測定対象物に対して回転運動を起こさず、変位前の各板状脚部 26 の厚さ方向に平行な状態を維持したまま移動するため、荷重部 13 の変位を、各板状脚部 26 の表面との距離の変化として静電容量センサで容易かつ高精度に測定することができる。このため、構成が大掛かりで高価なレーザを利用した変位計を使用しなくとも、十分な精度で測定を行うことができる。レーザを利用した変位計を使用する場合と比べ、簡単な構成で、小型かつ安価に製造することができる。また、装置全体を一体化するのも容易である。

[0043] 荷重測定装置 10 は、ナット 30 を利用したシンプルなねじ機構により、支持部材 11 による支持位置と荷重部 13 との距離を容易かつ自在に変更することができる。このため、梁部材 12 を交換することなく、荷重部 13 に

加わる力に対する荷重部 13 の変位量を調整することができる。このため、荷重部 13 に加わる力の大きさに応じて、荷重部 13 の変位量が、変位センサ 14 が測定可能な変位範囲内になるよう調整することができ、測定範囲を拡げることができる。

[0044] なお、剛性が異なる梁部材 12 をあらかじめ複数準備しておき、各梁部材 12 を適宜交換することにより、荷重部 13 に加わる所定の大きさの力に対する荷重部 13 の変位量を変えることができ、測定範囲をさらに拡げることができるとともに、測定範囲を柔軟に調整することができる。

[0045] 荷重測定装置 10 では、梁部材 12 のスロット 28 により、梁部材 12 の断面 2 次モーメントやばね定数を変更することなく、各板状脚部 26 の幅を広くすることができる。これにより、梁部材 12 の幅方向に対するねじり剛性を高くすることができるため、梁部材 12 のねじりをさらに抑制することができ、変位センサ 14 の静電容量センサと板状脚部 26 との間の並行度を保つことができる。このため、荷重部 13 に加わる力を、高精度で測定することができる。また、スロット 28 を設けることにより、梁部材 12 の剛性を小さくすることができ、梁部材 12 をたわみやすくして荷重に対する感度を高めることができる。穴の長さや幅を変えることにより、任意の剛性を有する梁部材 12 を形成することができる。

[0046] なお、梁部材 12 の剛性 (stiffness)  $k$  は、(8) 式で与えられる。(8) 式より、 $k$  は  $L$  に依存するため、これを利用して所望の  $k$  を有する梁部材 12 を容易に得ることができる。

[数6]

$$k = \frac{24EI}{L^3} \quad (8)$$

[0047] なお、荷重測定装置 10 は、板状脚部 26 の幅方向から、変位前後の荷重部 13 を撮影可能に設けられた撮影手段を有していてもよい。この場合、荷重部 13 の変位を見ながら、測定を行うことができ、測定の実施状態の確認



が容易である。このため、微細な材料の試験装置など、変位状態を確認しながら測定を行う装置に搭載して使用されると、特に効果的である。

### 実施例 1

[0048] 変位センサ 14 として、測定範囲が  $25\mu\text{m}$  および  $50\mu\text{m}$  の 2 種類の静電容量センサを用いた。出力電圧は、それぞれ  $0.4\text{V}/\mu\text{m}$  および  $0.2\text{V}/\mu\text{m}$  であった。この 2 種類の静電容量センサを交換することで、測定力範囲を変更できる。また、梁部材 12 として、剛性 (k 値) が  $10\mu\text{N}/\mu\text{m}$  のカンチレバー (以下、「Cant.-1」と呼ぶ)、および  $1\mu\text{N}/\mu\text{m}$  のカンチレバー (以下、「Cant.-2」と呼ぶ) を作製した。k 値は、 $E=207\text{GPa}$  と仮定して (8) 式より計算した。両カンチレバーの寸法詳細を、表 1 に示す。

[0049] [表1]

Parameter	Cant.-1	Cant.-2
$a$ (mm)	3	3
$b-c$ (mm)	0.8	0.544
$t$ (mm)	0.10	0.05
$l$ (mm)	6	6
$L$ (mm)	31.6	29.5
Expected, $k^{\text{b}}$ ( $\mu\text{N}/\mu\text{m}$ )	10.5	1.10

<sup>b)</sup>The value of  $E$  was assumed as 207 GPa

[0050] 図 5 に示すように、カンチレバーの校正は、二段階で行った。第一段階 (step I) では、市販の荷重センサ (最小検出荷重は大) を用いて、k の大きな Cant.-1 の k を実測し、次いで、この Cant.-1 を用いて静電容量センサの校正を行う。第二段階 (step II) では、校正した Cant.-1 を用いて、より k の小さな Cant.-2 の校正を行う。

[0051] [Cant.-1の校正]

Cant.-1 は、市販の荷重センサ (測定範囲  $20\text{mN}$ 、精度  $0.025\text{mN}$ ) を用いて校正した。ピエゾステージ 22 によりカンチレバーの先端部に  $50\mu\text{m}$  まで  $1\mu\text{m}$  ステップで強制変位 (Piezo displacement) を与えたときに、静電容量センサで検出されたはりの反力 (Force) を、図 6 に示す。  $50\mu\text{m}$  の変位に対して  $0.5$

mNの反力が生じたが、これは用いた静電容量センサの測定範囲の僅か2.5%である。得られたデータを最小二乗近似して得られた近似曲線の傾きは $9.87 \mu\text{N}/\mu\text{m}$ であった。ロードセルの剛性 (stiffness) は $167 \mu\text{N}/\mu\text{m}$ であり、ロードセルの変形を考慮することでCant. -1の剛性は $k_1 = 10.5 \mu\text{N}/\mu\text{m}$ と求まった。

[0052] 校正したCant. -1と静電容量センサ (測定範囲 $25 \mu\text{m}$ ) とを隙間を設けて配置した。ピエゾステージ22によりCant. -1に強制変位を与えたときの、静電容量センサ出力の変化 (Change in GS output) とカンチレバーの変位 (Cantilever deflection) との関係を、図7に示す。実験データを最小二乗近似して、静電容量センサの感度は $S_{CP} = 0.4\text{V}/\mu\text{m}$ と求まった。 $25 \mu\text{m}$ 範囲の静電容量センサとCant. -1とを組み合わせる場合、力測定感度は $26.25 \mu\text{N}/\text{V}$ となり、 $0\sim 10\text{V}$ 静電容量センサ出力に対する力測定範囲は $0\sim 262.5 \mu\text{N}$ となる。当然のことながら、Cant. -1と測定範囲が倍の $50 \mu\text{m}$ 静電容量センサとを組み合わせた場合の力測定範囲は倍になる。

[0053] [Cant. -2の校正]

Cant. -2の校正には、先に校正したCant. -1を用いる。Cant. -2を固定し、ピエゾステージ22に取り付けたCant. -1により先端部に負荷した。図8 (a) に、ピエゾステージ22の変位 (Piezo displacement)  $\delta_{PZT}$ と静電容量センサ出力 (GS output,  $\Delta V$ ) との関係を示す。両者には良い線形関係が認められる。Cant. -1により先端部に負荷した力 $F$ 、Cant. -1の変位 $\delta_1$ 、Cant. -2の変位 $\delta_2$ は、それぞれ (9) ~ (11) 式で与えられる。

[数7]

$$F = k_1 \Delta V / S_{CP}, \quad (9)$$

$$\delta_1 = \Delta V / S_{CP}, \quad (10)$$

$$\delta_2 = \delta_{PZT} - \Delta V / S_{CP}, \quad (11)$$

ここで  $k_1$  : Cant. -1 の stiffness ( $10.5 \mu\text{N}/\mu\text{m}$ )

$S_{CP}$  : 静電容量センサの感度 ( $0.4\text{V}/\mu\text{m}$ )

[0054] 実験結果から得られたCant. -1およびCant. -2の変位 (Deflection) と荷重

(Force) との関係を示す。図 8 (b) に示す。両カンチレバーともに、良い線形関係が認められる。これより、Cant. -2のkは $1.10 \mu\text{N}/\mu\text{m}$ と求まった。表 1 に、両カンチレバーに対するkの予測値を示したが、実測値と予測値とはよく一致している。このように、各カンチレバーの荷重部 1 3 の変位量と荷重部 1 3 に加わった力とが線形関係であるため、各カンチレバーおよび静電容量センサの校正を高精度で行うことができる。このため、剛性が小さく、既存の荷重センサでは校正できないカンチレバーであっても、高精度で校正することができる。

[0055]  $25 \mu\text{m}$  範囲の静電容量センサと Cant. -2 とを組み合わせる場合、力測定感度は  $2.75 \mu\text{N}/\text{V}$  となり、 $0 \sim 10\text{V}$  静電容量センサ出力に対する力測定範囲は  $0 \sim 27.5 \mu\text{N}$  となる。もちろん、力の測定範囲は、二重カンチレバーのたわみを制御することで容易に変更できる。例えば、二重カンチレバーの長さを  $5.9\text{mm}$  (全長の  $1/5$ ) にしたならば、(8) 式より k は  $137.5 \mu\text{N}/\mu\text{m}$  ( $=1.10 \times 5^3$ ) となり、測定範囲は 125 倍になる。また、力測定精度について、本実験配置と Cant-2 とで実現される最小計測力はおおよそ  $100\text{nN}$  と推定される。

[0056] [測定範囲]

静電容量センサの検出最大変位を  $\delta_{y,d}$  とした場合、測定可能な最大の力 (Maximum force ;  $F_{\text{max}}$ ) は、(12) 式で求まる。

[数8]

$$F_{\text{max}} = \frac{24EI\delta_{y,d}}{L^3} \quad (12)$$

[0057] Cant. -1 および Cant. -2 を用いる場合の  $F_{\text{max}}$  を、支持部材 1 1 による支持位置と荷重部 1 3 との距離 (Length)  $L$  の関数として、図 9 に示す。 $F_{\text{max}}$  は、図 9 に示した  $L$  の範囲において  $10 \mu\text{N}$  から  $0.1\text{N}$  の範囲まで変動している。この場合、測定可能な力範囲は  $0 \sim F_{\text{max}}$  となるが、静電容量センサの最小検出変位に対する最小検出力は、 $F_{\text{max}}$  が小さいほど小さく、力分解能が向上するため、対象の力範囲に対して適切な  $F_{\text{max}}$  の下で、力センシングを行うのが望ましい。

## 実施例 2

[0058] 図10に示す小さな振り子を用いて、微小力測定に関する実験を行った。振り子は、金属製で、長さ66mm、幅1.5mm、厚さ100 $\mu$ mであり、薄いポリエチレンフィルム (Polyethylene thin film) で固定具に吊るされている。この振り子には重力が作用するが、その作用点 (重心c.g) は振り子の中央である。実験にはCant.-2を用い、振り子上端からaの位置に、ピエゾステージ22により1.0 $\mu$ mステップで強制変位を与えたときの反力を測定した。aは、5.8mm、10.3mm、19.8mmの3通りであり、a = 19.8mmでは逆向きの変位を与える行程についても計測を行った。

[0059] 図11に、実験により得られた、力 (Force ; F) と変位 (Displacement ;  $\delta$ ) との関係 (F- $\delta$  関係) を示す。図11に示すように、aが増加する程、反力は低下することが確認された。特に、a = 19.8mmの実験において、0~3.5 $\mu$ N範囲の微小力を、精度よく検出できていることが確認された。また、逆向きの変位 (Reverse) を与えた場合の測定結果が、順向き (Forward) のそれとよく一致しており、計測の再現性が極めて良いことも確認できた。

[0060] 力 (F) は、理論的に (13) 式で与えられる。

[数9]

$$F = \left( \frac{mgl}{2a^2} \right) \delta, \quad (13)$$

ここで、g : 重力加速度

m : 振り子の質量 (= 0.0914 $\times 10^{-3}$  kg)

3つの場合 (a = 5.8, 10.3 and 19.8mm) の、(13) 式による理論値も図11に実線で示したが、実験値は理論値とよく一致している。

## 実施例 3

[0061] 直径の異なる4本の人毛サンプルに対して、曲げ試験を行った。それぞれのサンプルは、光硬化樹脂によって、ニードルチップの先端に固定されている。各サンプルの (直径D、固定長さL) は、それぞれ (89.9 $\mu$ m、2078 $\mu$ m) 、

(52.4  $\mu\text{m}$ 、1000  $\mu\text{m}$ )、(37.6  $\mu\text{m}$ 、1000  $\mu\text{m}$ )、(52.9  $\mu\text{m}$ 、900  $\mu\text{m}$ )である。実験にはCant. -1を用いた。得られた変位 ( $\delta$ ) と荷重 (F) との関係を、図12 (a) に示す。図12 (a) に示すように、人毛サンプルの曲げ挙動は線形的であり、弾性的な挙動を示すことが確認された。

[0062] また、図12 (b) に示すように、人毛の弾性率は、 $FL^3/(3I) - \delta$  関係の傾きで与えられる。ここで、 $I = \pi D^4/64$ である。図12 (b) に示すように、異なる4本の人毛の関係が一本の直線で近似でき、その弾性率が $2.6 \pm 0.1 \text{GPa}$ であることが確認された。

[0063] これまで、微小力を測定可能な荷重測定装置として、mNレンジやnNレンジの力の測定に適したものは存在していたが、その間の $\mu\text{N}$ レンジの力の測定に適した高精度のものは存在していなかった。これに対し、本発明の実施の形態の荷重測定装置10は、 $\mu\text{N}$ レンジの力を高精度かつ容易に測定することができ、 $\mu\text{N}$ レンジの力の測定に最も適した、これまでにない全く新しいタイプの測定装置である。

## 符号の説明

- [0064]
- 10 荷重測定装置
  - 11 支持部材
  - 12 梁部材
  - 13 荷重部
  - 14 変位センサ
  - 21 XYZステージ
  - 22 ピエゾステージ
  - 23 長さ調整ジグ
  - 24 センサホルダ
  - 25 連結部
  - 26 板状脚部
  - 27 チップ固定部
  - 28 スロット

29 スペース

30 ナット

## 請求の範囲

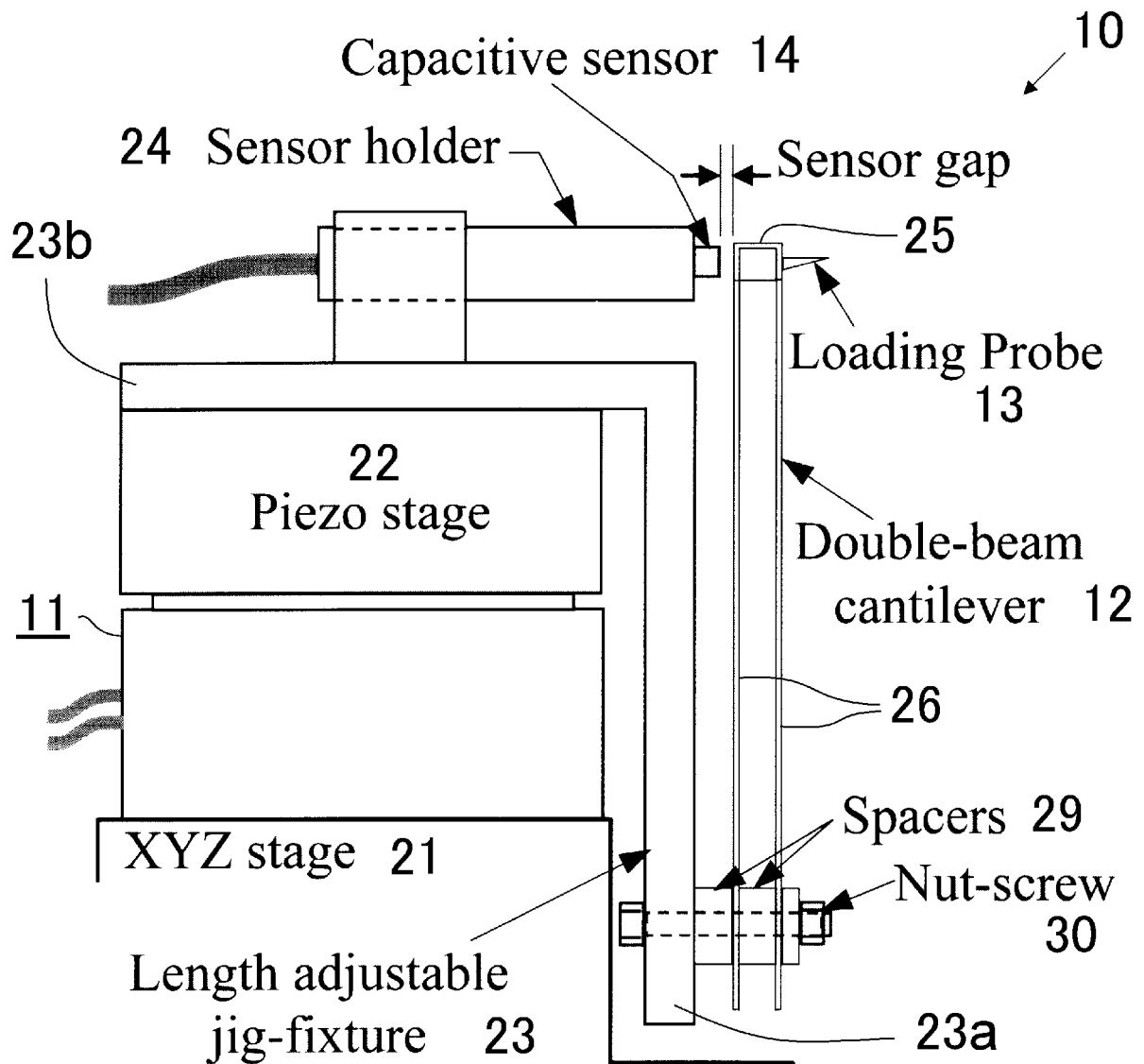
- [請求項1] 細長く、一端に荷重部が設けられた梁部材と、  
前記梁部材の前記荷重部より他端側で前記梁部材を支持する支持部材と、  
前記荷重部の変位を測定可能に設けられた変位センサとを有し、  
前記梁部材は、厚さ方向に間隔を開けて互いに平行に配置された細長い1対の板状脚部と、前記荷重部側の各板状脚部の端部を連結する連結部とを有し、前記支持部材による支持位置と前記荷重部との距離を変更可能に前記支持部材に支持されていることを、  
特徴とする荷重測定装置。
- [請求項2] 前記変位センサは静電容量センサから成ることを、特徴とする請求項1記載の荷重測定装置。
- [請求項3] 各板状脚部は幅方向の中央部に長さ方向に沿って設けられた細長い穴から成るスロットを有することを、特徴とする請求項1または2記載の荷重測定装置。
- [請求項4] 前記梁部材は、細長い板状の部材の両端部を中央部に対して同じ方向に垂直に折り曲げることにより、中央部が連結部を成し、折り曲げられた両端部が各板状脚部を成すよう形成され、各板状脚部の長さ方向に沿ってスライド可能に前記支持部材に支持されており、  
前記荷重部は針状のチップから成り、一方の板状脚部の表面から垂直に突出するよう前記梁部材の一端に固定され、  
前記変位センサは前記荷重部の突出方向の変位を測定可能であることを、  
特徴とする請求項1、2または3記載の荷重測定装置。
- [請求項5] 前記梁部材は複数から成り、互いに剛性が異なっており、各梁部材の内、最も剛性が大きい梁部材を既存の荷重センサにより校正可能であり、校正された梁部材により前記変位センサを校正可能であり、さらに校正された梁部材および前記変位センサにより他の梁部材を校正

可能であることを、特徴とする請求項 1、2、3 または 4 記載の荷重測定装置。

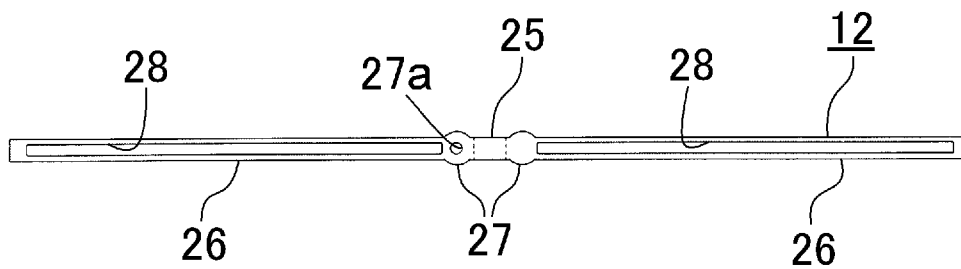
[請求項6] 前記板状脚部の幅方向から、変位前後の前記荷重部を撮影可能に設けられた撮影手段を有することを、特徴とする請求項 1、2、3、4 または 5 記載の荷重測定装置。



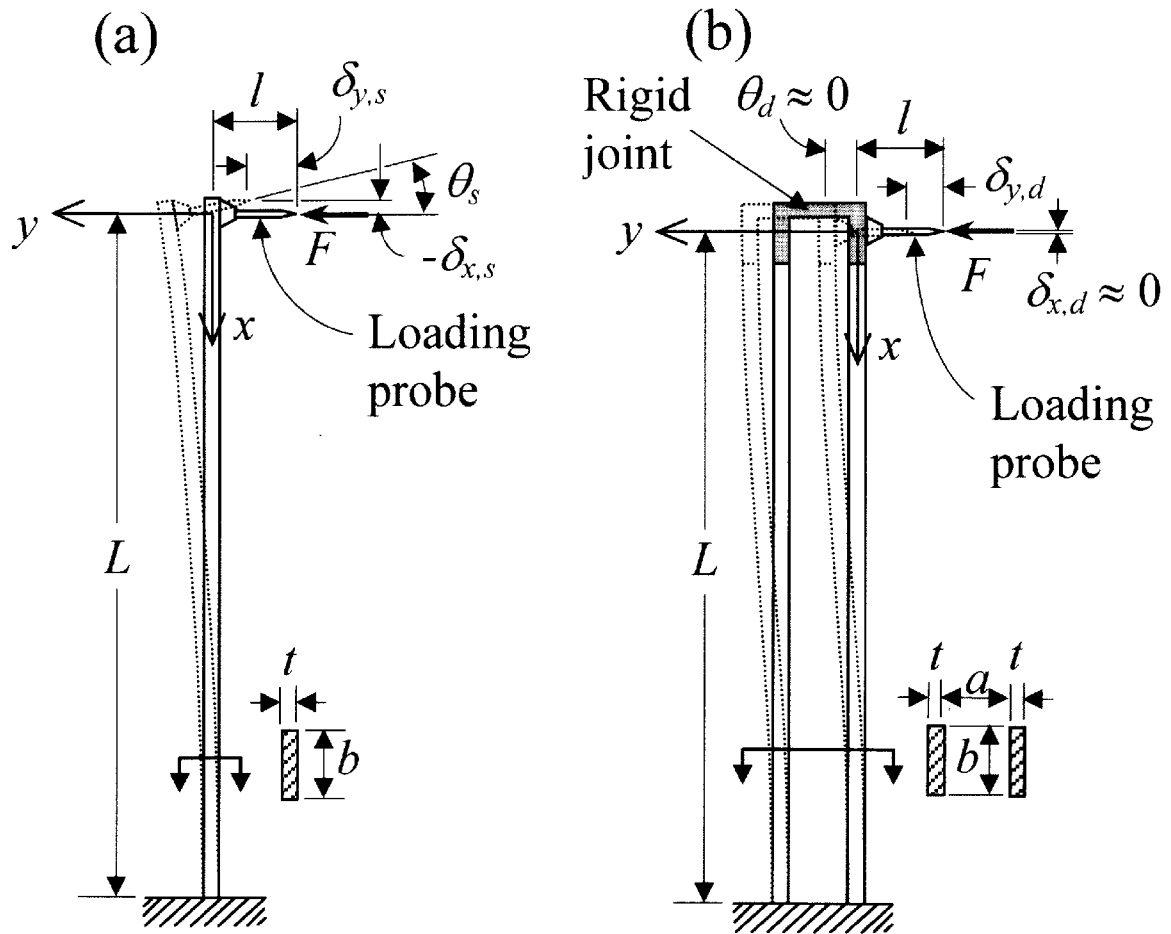
[図1]



[図2]

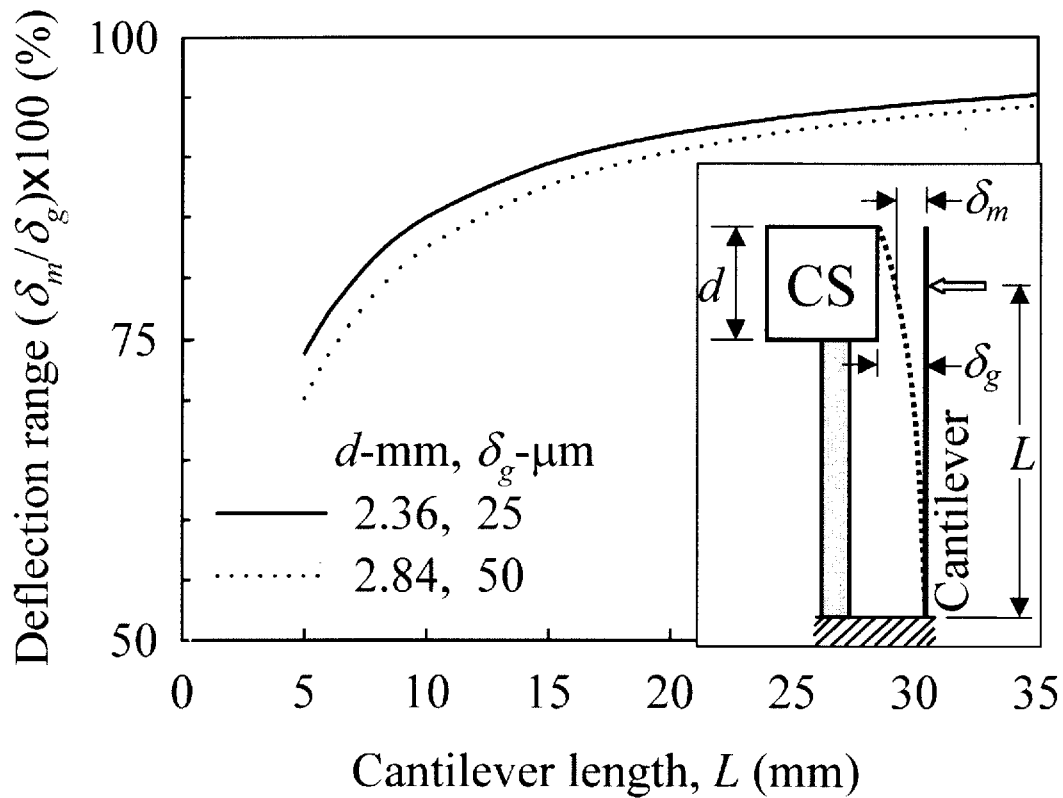


[圖3]

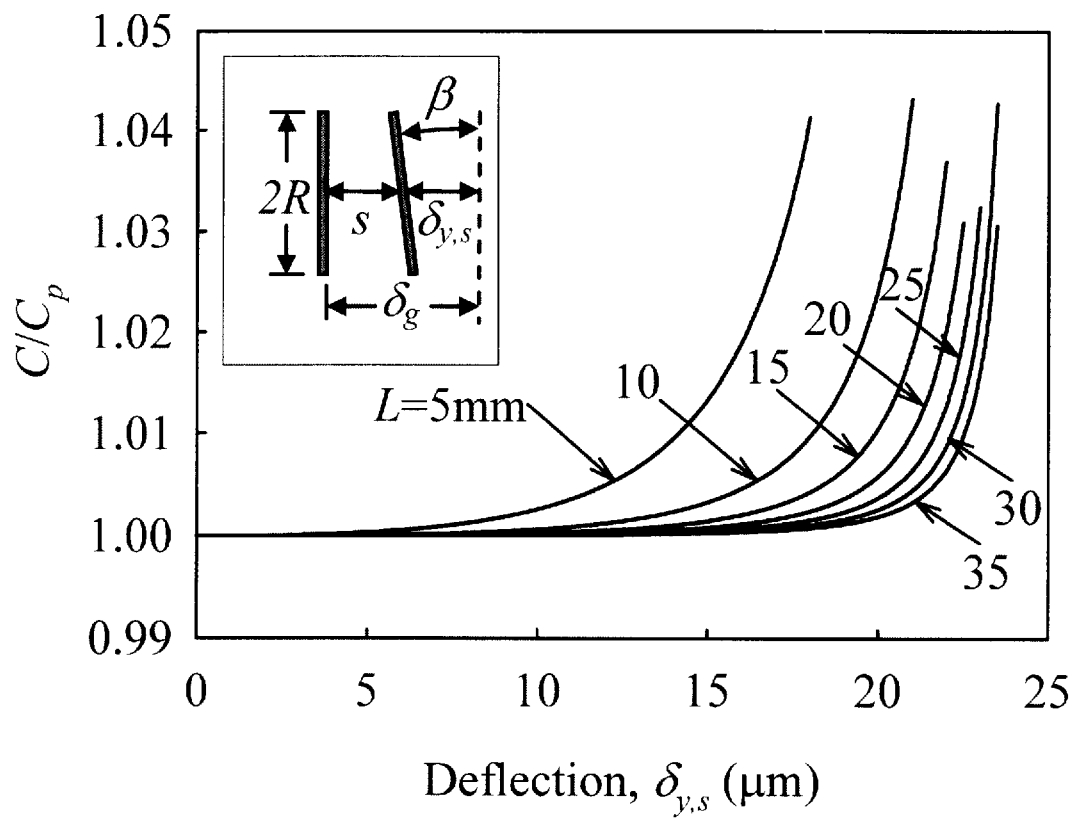


[圖4]

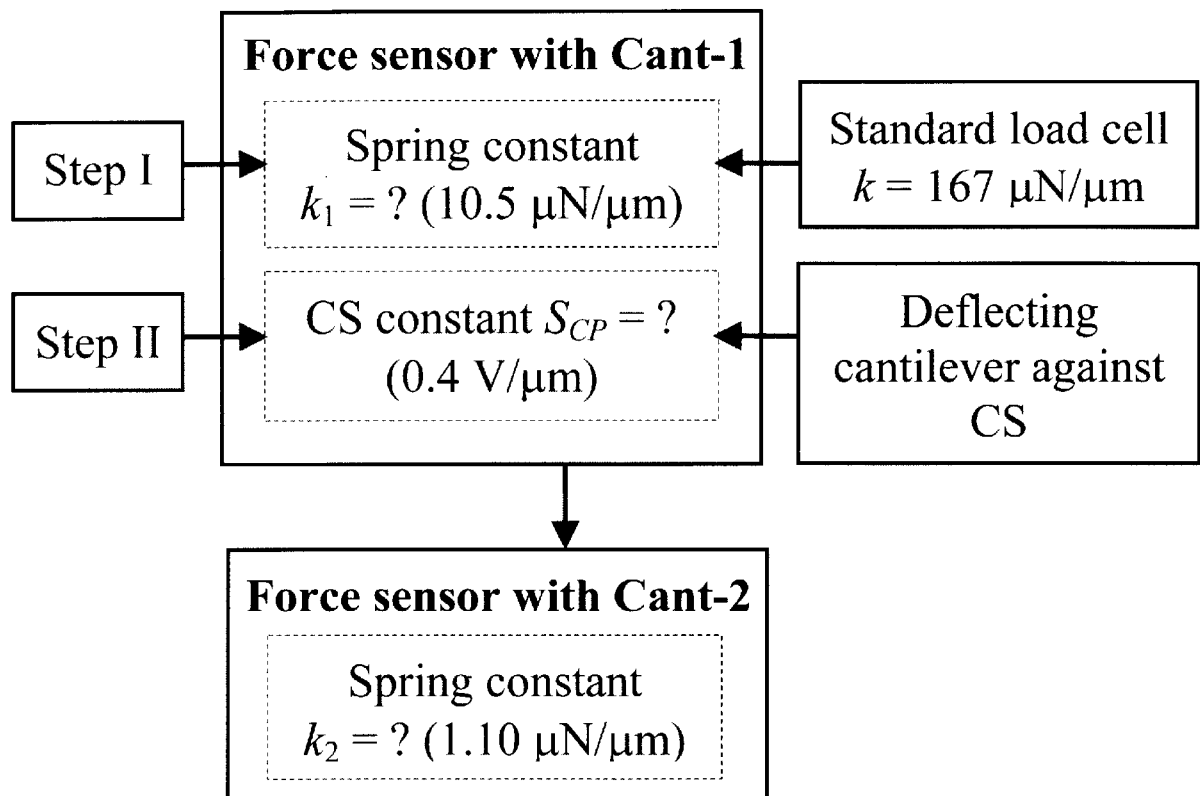
(a)



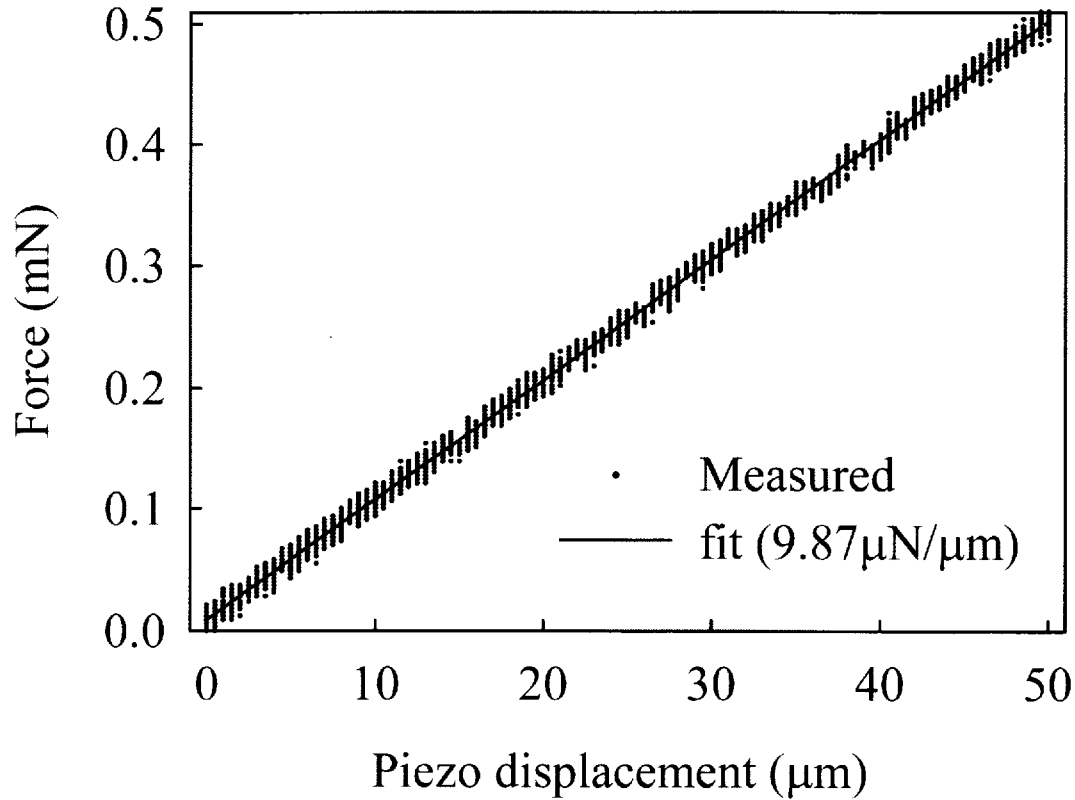
(b)



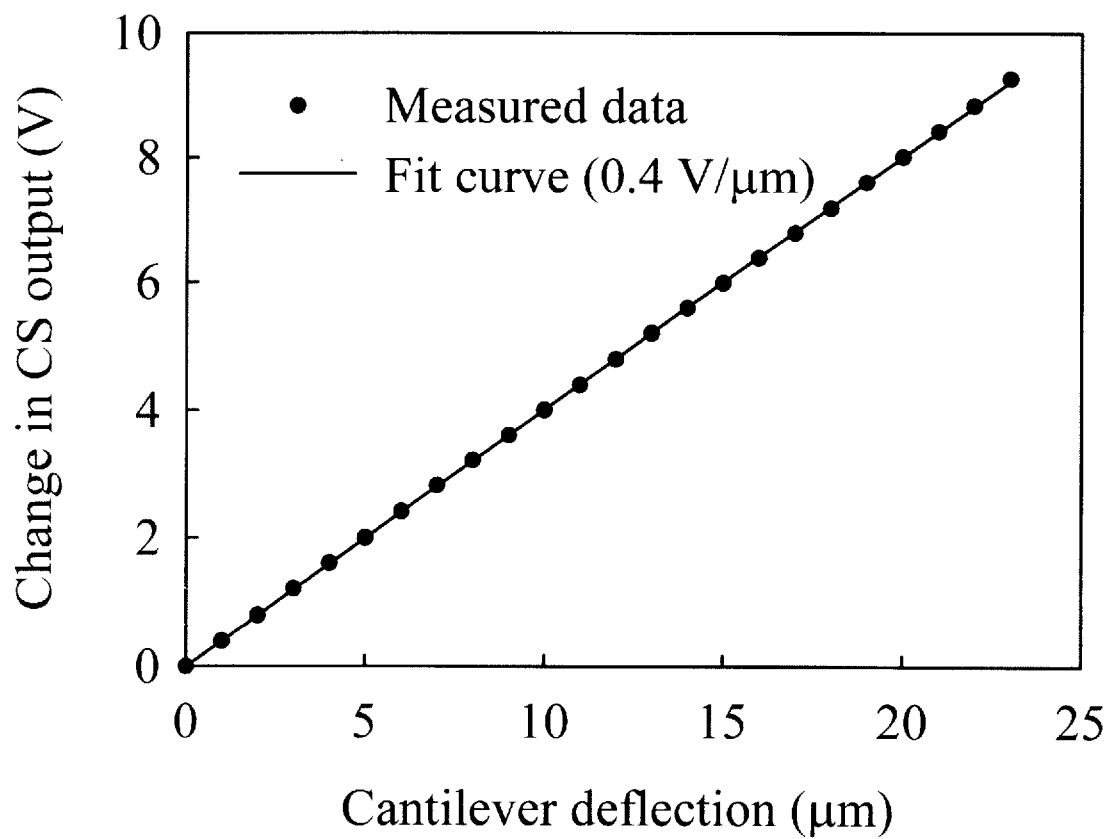
[圖5]



[圖6]

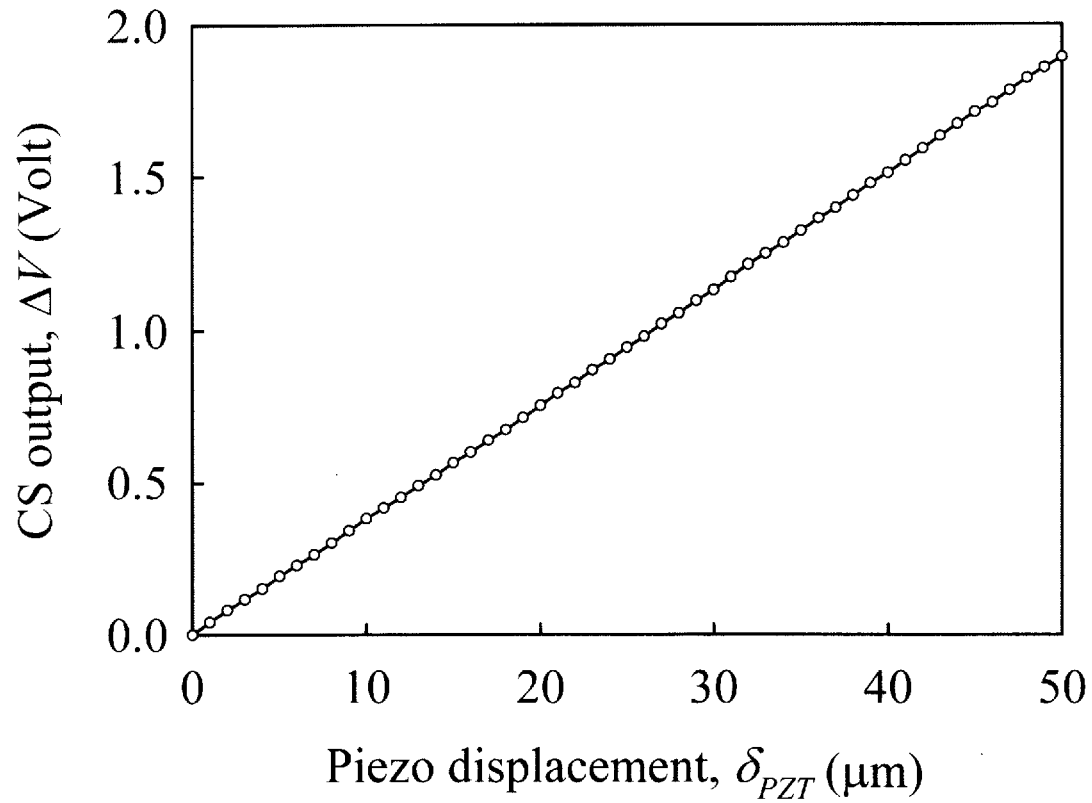


[7]

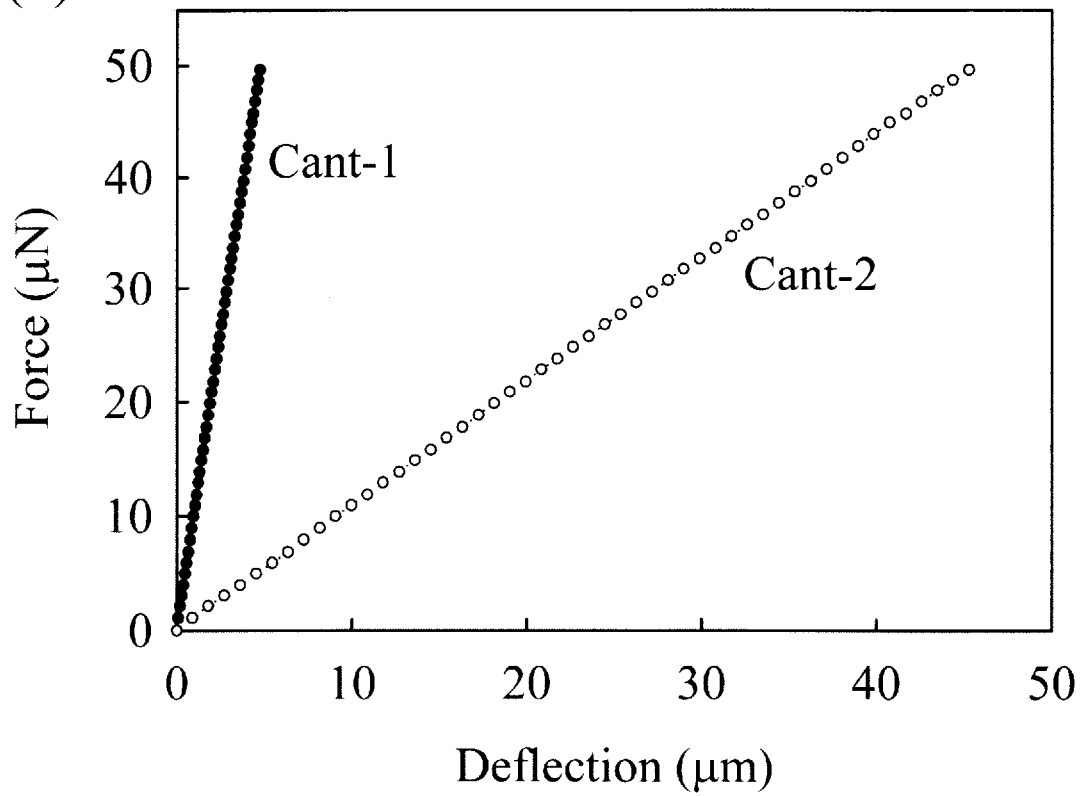


[8]

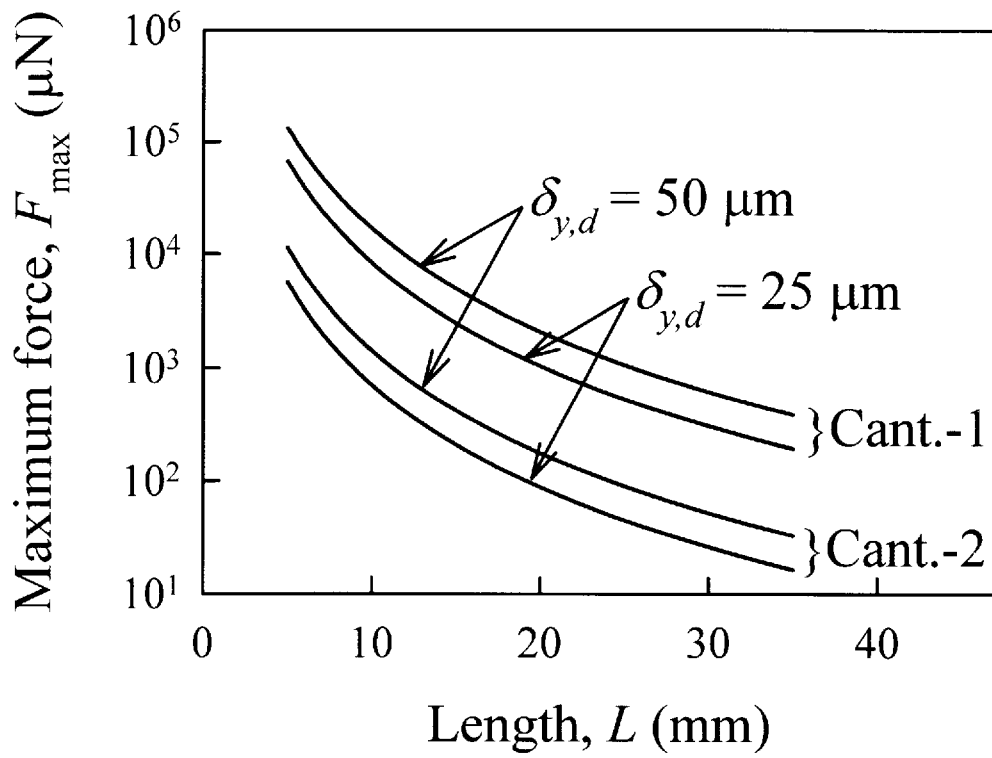
(a)



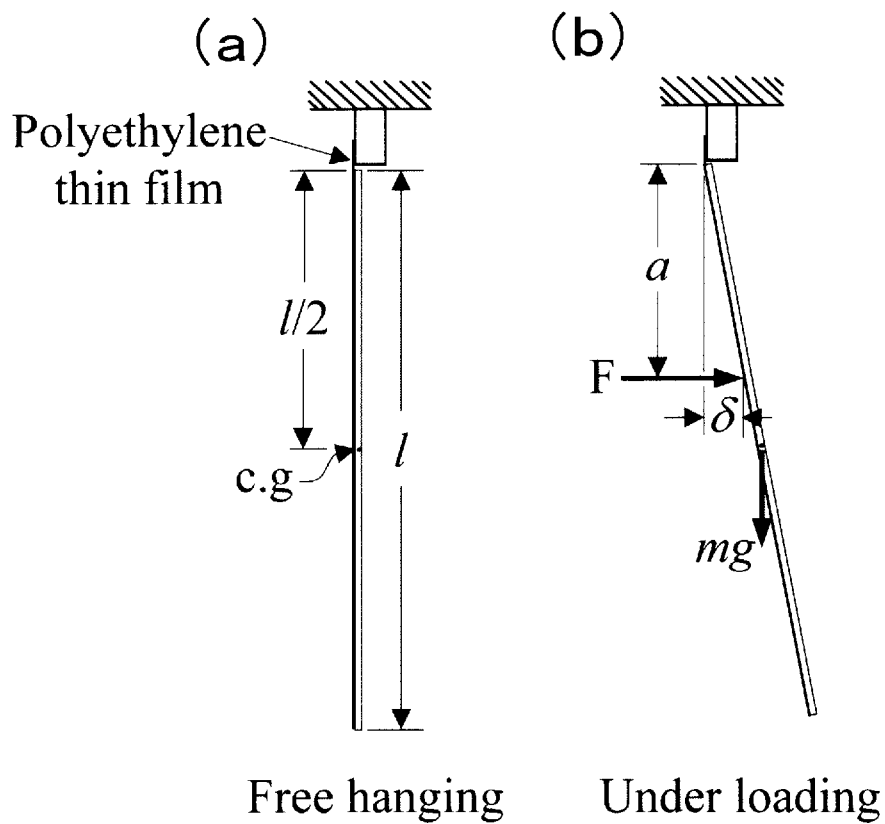
(b)



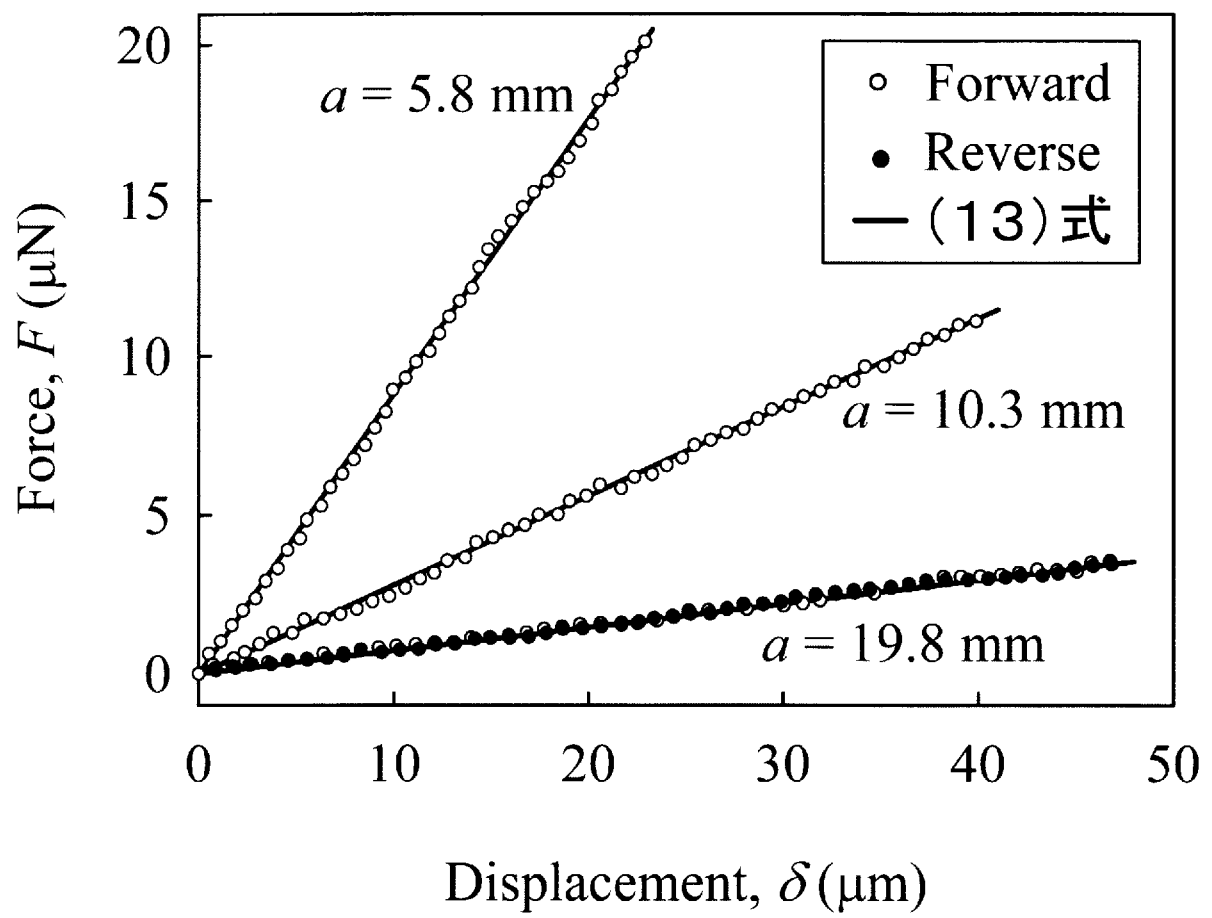
[図9]



[図10]



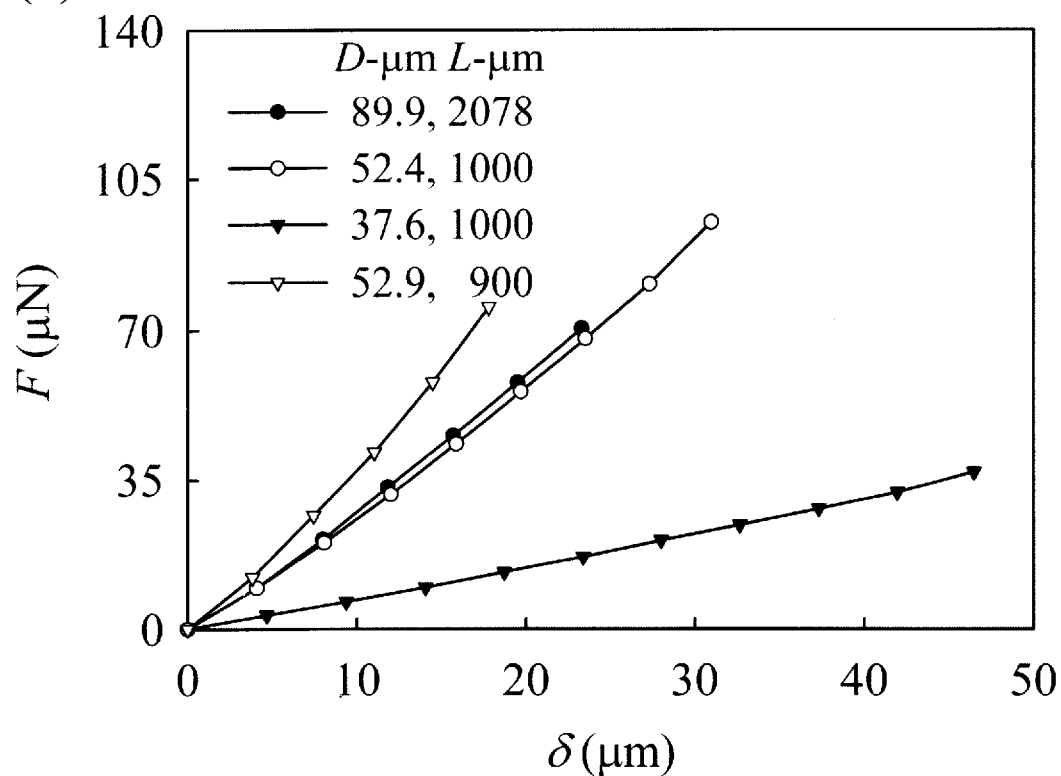
[図11]



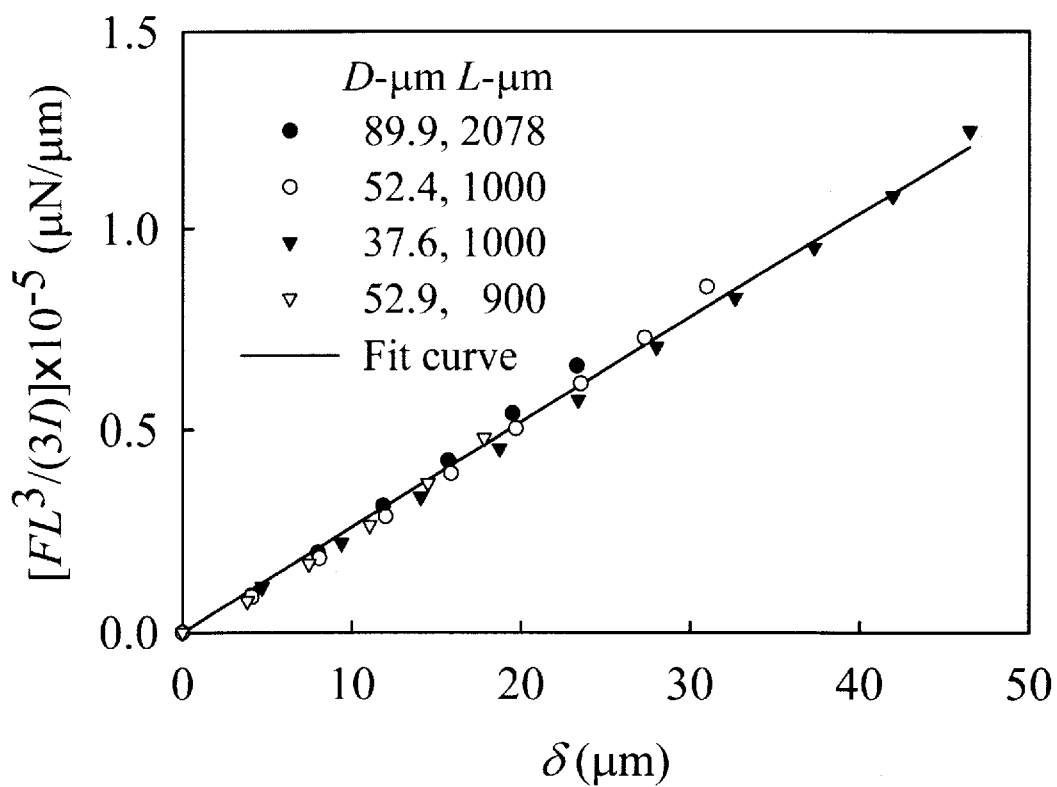


[図12]

(a)



(b)



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2009/069612

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**

G01L1/04(2006.01) i, G01L1/14(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)

G01L1/00-G01L5/28, G01Q10/00-90/00

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 2004-205381 A (Olympus Corp.), 22 July 2004 (22.07.2004), paragraphs [0025] to [0026], [0019]; fig. 4 (Family: none)	1-6
Y	JP 2000-283747 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 13 October 2000 (13.10.2000), paragraphs [0020] to [0035]; fig. 3 to 5 & US 6480286 B1 & TW 425471 B	1-6
Y	JP 2006-78219 A (Canon Inc.), 23 March 2006 (23.03.2006), paragraphs [0019] to [0030]; fig. 1 (Family: none)	1-6

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  
22 January, 2010 (22.01.10)

Date of mailing of the international search report  
02 February, 2010 (02.02.10)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/069612

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 1-195301 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 07 August 1989 (07.08.1989), page 3, upper left column, line 13 to lower right column, line 18; fig. 1 (Family: none)	2
Y	JP 42-12120 B1 (Shih Ying Lee), 10 July 1967 (10.07.1967), page 3, right column, line 37 to page 4, left column, line 34; fig. 6 to 10 & US 3199345 A & GB 1064957 A	3
Y	JP 2003-42861 A (Japan Science and Technology Corp.), 13 February 2003 (13.02.2003), paragraphs [0025] to [0026]; fig. 1 (Family: none)	4

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. G01L1/04(2006.01)i, G01L1/14(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 (IPC))

Int.Cl. G01L1/00-G01L5/28, G01Q10/00-90/00

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	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2010年
日本国実用新案登録公報	1996-2010年
日本国登録実用新案公報	1994-2010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 2004-205381 A (オリンパス株式会社) 2004.07.22, 【0025】 - 【0026】, 【0019】, 第4図 (ファミリーなし)	1-6
Y	JP 2000-283747 A (松下電器産業株式会社) 2000.10.13, 【0020】 - 【0035】, 第3-5図 & US 6480286 B1 & TW 425471 B	1-6
Y	JP 2006-78219 A (キヤノン株式会社) 2006.03.23, 【0019】 - 【0030】, 第1図 (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	の日の後に公表された文献
「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	「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
「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	「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
「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)	「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
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」同一パテントファミリー文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日 22.01.2010	国際調査報告の発送日 02.02.2010
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) 田邊 英治 電話番号 03-3581-1101 内線 3216

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 1-195301 A (日本電信電話株式会社) 1989.08.07, 第3頁左上欄 第13行目-同頁右下欄第18行目, 第1図 (ファミリーなし)	2
Y	JP 42-12120 B1 (シー・ヤン・リー) 1967.07.10, 第3頁右欄第3 7行-第4頁左欄第34行, 第6-10図 & US 3199345 A & GB 1064957 A	3
Y	JP 2003-42861 A (科学技術振興事業団) 2003.02.13, 【0025】 - 【0026】, 第1図 (ファミリーなし)	4