

(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
2017 年 9 月 8 日(08.09.2017)



(10) 国際公開番号

WO 2017/150574 A1

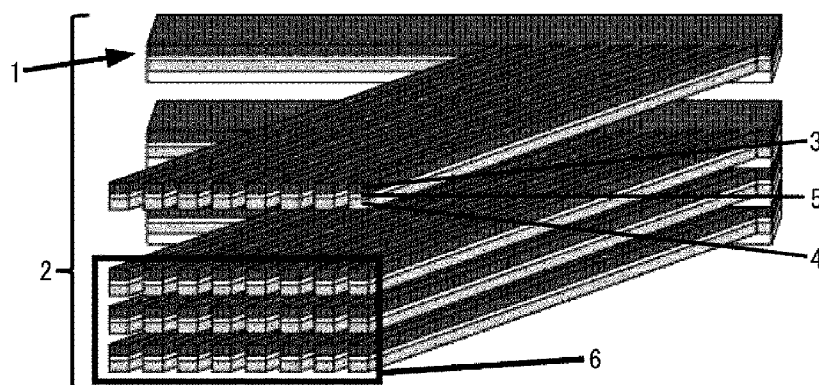
- (51) 国際特許分類:
H02N 13/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2017/007987
- (22) 国際出願日: 2017 年 2 月 28 日(28.02.2017)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2016-038109 2016 年 2 月 29 日(29.02.2016) JP
- (71) 出願人: 国立大学法人東京工業大学(TOKYO INSTITUTE OF TECHNOLOGY) [JP/JP]; 〒1528550 東京都目黒区大岡山 2-1-2 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 齋藤 滋規(SAITO, Shigeki); 〒1528550 東京都目黒区大岡山 2-1-2-1 国立大学法人東京工業大学内 Tokyo (JP). 河野 健人(KAWANO, Kento); 〒1528550 東京都目黒区大岡山 2-1-2-1 国立大学法人東京工業大学内 Tokyo (JP). 田尻 陽亮(TAJIRI, Yosuke); 〒1528550 東京都目黒区大岡山 2-1-2-1 国立大学法人東京工業大学内 Tokyo (JP). ▲高▼橋 邦夫(TAKAHASHI, Kunio); 〒1528550 東京都目黒区大岡山 2-1-2-1 国立大学法人東京工業大学内 Tokyo (JP). デリカ ラドン(DHELIKA, Radon); 〒1528550 東京都目黒区大岡山 2-1-2-1 国立大学法人東京工業大学内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 青木 篤, 外(AOKI, Atsushi et al.); 〒1058423 東京都港区虎ノ門三丁目 5 番 1 号 虎ノ門 3 7 森ビル 青和特許法律事務所 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, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, 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, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, 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, RS, SE, SI, SK, SM, TR),

[続葉有]

(54) Title: BIPOLAR ELECTROSTATIC CHUCK MODULE AND PRODUCTION METHOD THEREFOR

(54) 発明の名称: 双極型静電チャックモジュールおよびその製造方法

図1



(57) Abstract: The purpose of the present invention is to provide a bipolar electrostatic chuck that has a fine hair structure in an attachment surface and that can be used for a thin film dielectric such as a plastic sheet. The bipolar electrostatic chuck module is configured such that a fine hair structure is provided to an electrostatic chuck attachment surface to which an attachment object is to be attached, an insulating layer is disposed between the positive electrode and the negative electrode at the tip of a fine hair on the attachment surface, and an electrostatic force is generated when a voltage is applied between the positive electrode and the negative electrode to cause the attachment object to attach to the electrostatic chuck attachment surface.

(57) 要約: 本発明は、吸着面に微細毛構造を有し、プラスチックシートなどの薄膜誘電体に対応し得る双極型静電チャックを提供することを目的とする。吸着対象物を吸着するための静電チャック吸着面に微細毛構造を有し、吸着面の微細毛の先端部分には正極および負極間に絶縁層が配置され、正極と負極間に電圧を印加することにより静電力が生じ、静電チャック吸着面に吸着対象物が吸着されるように構成してなる双極型静電チャックモジュール。



WO 2017/150574 A1

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

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：双極型静電チャックモジュールおよびその製造方法 技術分野

[0001] 本発明は、双極型静電チャックモジュールおよびその製造方法に関する。

背景技術

[0002] 静電チャックは電圧印加時に対象物との間に働く静電力を利用し物体を把持、脱離するデバイスである。静電チャックは、誘電層と把持対象物の間に電位差を与え、発生した静電力により、把持対象物を吸着する機構であり、たとえば誘電体として絶縁材料を使用するクーロン力型がある。静電チャックはシリコンウェハーなど表面が平坦な物体の把持などに用いられているが、静電力は電極と対象物の間の距離に依存するため曲面など表面形状を有する物体に対しては吸着力が減少するという問題がある。

[0003] Radonらは、静電誘導ファイバーの集積構造によって吸着面に柔軟性を持つ静電チャックを開発した（非特許文献1）。しかし、その製作工程は、ファイバー1本1本を精密に配列する作業となるため、大面積化や電極の配線が困難であった。また、熔融紡糸法により製作されたファイバーは残留応力による変形のため先端が不揃いになる。またハンドリングが困難なことから集積が難しいという問題があった。そこで猿渡らは半導体製造に用いられるフォトリソグラフィ技術を用いて微細な導電性梁を配列し曲面对応デバイスを開発することを提案した（非特許文献2）。しかしながら、これらの既存研究における静電チャックは単極型であることから誘電体へ対応できない難点がある。

先行技術文献

非特許文献

[0004] 非特許文献1：R.Dheliha et al., Smart Mater Struct., Vol.22pp.095010(1-9)2013

非特許文献2：猿渡ら，2015年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集，

pp. 805-8062015

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 本発明は、吸着面に微細毛構造を有し、プラスチックシートなどの薄膜誘電体に対応し得る双極型静電チャックを提供することを目的とする。さらに本発明は、2つの導電体間に絶縁体を挟む3層一体成形したものを1つの双極型静電チャックモジュールとし、このモジュールを積層することで吸着面である微細毛構造の大面积化を可能にするものである。

課題を解決するための手段

[0006] 本発明は上記の問題を解決するために、以下の発明を提供するものである。

(1) 吸着対象物を吸着するための静電チャック吸着面に微細毛構造を有し、吸着面の微細毛の先端部分には正極および負極間に絶縁層が配置され、正極と負極間に電圧を印加することにより静電力が生じ、静電チャック吸着面に吸着対象物が吸着されるように構成してなる双極型静電チャックモジュール。

(2) 上記(1)に記載の複数の双極型静電チャックモジュールを積層してなる双極型静電チャックモジュール。

(3) 静電チャック吸着面に吸着させる吸着対象物が布地、フィルムまたは紙である上記(1)または(2)に記載の双極型静電チャックモジュール。

(4) 吸着対象物を吸着するための静電チャック吸着面に微細毛構造を有する双極型静電チャックモジュールを製造するに際して、導電体を用いてエッチング加工により、吸着面である先端部分に微細毛構造を有する梁集合体を製造し、得られた梁集合体に絶縁コーティングし、ついで絶縁コーティングされた2つの梁集合体を張り合わせて、正極および負極間に絶縁層を形成してなる双極型静電チャックモジュールを形成させることを特徴とする双極型静電チャックモジュールの製造方法。

(5) 吸着対象物を吸着するための静電チャック吸着面に微細毛構造を有す

る双極型静電チャックモジュールを製造するに際して、導電体として導電性材料、絶縁体として絶縁性材料を用いて、３Ｄプリンターにより造形して２つの導電体である正極および負極間に絶縁体を形成し、吸着面に微細毛構造を有する双極型静電チャックモジュールを形成させることを特徴とする双極型静電チャックモジュールの製造方法。

（６）３Ｄプリンターが熱溶解積層法である上記（５）に記載の双極型静電チャックモジュールの製造方法。

（７）導電性材料が導電性樹脂フィラメントである上記（５）または（６）に記載の双極型静電チャックモジュールの製造方法。

発明の効果

[0007] 本発明によれば、微細毛構造を有する双極型静電チャックモジュールを提供し得る。さらに、本発明によれば、３Ｄプリンターやリソグラフィー技術を用いて双極型静電チャックを一体造形することでモジュール化し、複数のモジュールを積層することによって微細毛構造の大面积化を行うことができ、任意の面積を有する面を把持可能な微細毛構造を持つ双極型静電チャックモジュールを提供し得る。したがって、本発明によれば、各モジュールが微細毛を有しているため、静電吸着面に柔軟性を確保することが可能であり、従来円滑にハンドリングできない（吸着できてもうまく離脱できなかったり、吸着時に対象に損傷を与えたりする）ものを自由自在に吸着・離脱可能にすることができる。

図面の簡単な説明

[0008] [図１]本発明の微細毛構造を有する双極型静電チャックモジュールの概念図。

[図２]実施例１における加工プロセスを示す図。

[図３]実施例１で製作した梁集合体の走査電子顕微鏡（ＳＥＭ）観察写真。

[図４]実施例１で製作した双極型静電チャックモジュールを示す。

[図５]双極型静電チャックの吸着力測定実験の実験系を示す。

[図６]吸着性能の評価のため有限要素法解析モデルを示す。

[図７]測定した吸着力のフォースカーブとCOMSOLによる解析結果を示す。

[図8]先端形状を考慮した吸着力解析結果と測定結果を示す。

[図9]実施例2で製作したモジュールの寸法および外観を示す。

[図10]製作した双極型静電チャックモジュールの持上げ試験結果を示す。

[図11]フォースカーブを測定するための実験装置の概要を示す。

[図12]フォースカーブの測定結果を示す。

[図13]光造形法を用いる3Dプリンターによる造形でみられる、ファイバー先端形状を示す。

[図14]実施例3における加熱平板を用いた吸着部の平滑化法を示す。

[図15]実施例3で用いた原型モジュールおよび吸着部先端が平滑化されたモジュールを示す。

[図16]実施例3で得られた双極型静電チャックについて測定されたフォースカーブを示す。

[図17]本発明の双極型静電チャックモジュールを用いて、プラスチック等の薄膜の把持、搬送および引き剥がしを行う模式図である。

発明を実施するための形態

[0009] 本発明の静電チャックモジュールは、吸着対象物を吸着するための静電チャック吸着面に微細毛構造を有し、吸着面の微細毛の先端部分には正極および負極間に絶縁層が配置され、正極と負極間に電圧を印加することにより静電力が生じ、静電チャック吸着面に吸着対象物が吸着されるように構成してなる双極型静電チャックモジュールである。本発明の双極型静電チャックは、微細毛構造により吸着面に柔軟性を持つため、プラスチックフィルムや紙、布といった薄い軟材料に対して過剰なストレスを与えることのない面による繊細な把持・搬送・貼り付け（剥離動作）を可能にし、年々複雑化するウェアラブルデバイスにおける製造工程の自動化やフレキシブルエレクトロニクスといった柔軟媒体に対するハンドリング技術への適用に好適である。さらに本発明によれば、複数の双極型静電チャックモジュールを積層してなる双極型静電チャックモジュール積層体を提供し得る。すなわち、好適には3Dプリンターを用いて双極型静電チャックを一体造形することでモジュール

化し、複数のモジュールを積層することによって微細毛構造の大面积化を行うことができる。本発明の静電チャックモジュールは、双極型であるために、通電しなくても誘電体材料を把持し得る。

[0010] 図1に、双極型静電チャック単層モジュール1、および単層モジュールを積層することによって実現される大面积化された微細毛構造を有する双極型静電チャック（積層体）2の概念図を示す。図1において、3は正極、4は負極、5は絶縁層、6は微細毛構造を有する接触面（吸着面）を示す。

[0011] 本発明の静電チャックモジュールにおいて、吸着対象物を吸着するための静電チャック吸着面の微細毛構造は、正極と負極、および絶縁層を構成する梁の先端部である吸着面に形成され、好適には、先端面積 $5\mu\text{m}\times 10\mu\text{m}\sim 100\mu\text{m}\times 100\mu\text{m}$ 程度、長さ $5\text{mm}\sim 300\text{mm}$ 程度、間隔 $5\mu\text{m}\sim 100\mu\text{m}$ 、吸着面に対する取り付け角度 $30^\circ\sim 60^\circ$ 程度を有する梁集合体により形成されるが、これらに限定されるものではなく、吸着対象物の種類等により形状、寸法等が選択され得る。梁の本数も特に制限されないが、好適には、たとえば20～200本程度から選択される。微細毛構造は、好適には先端の形状がヘラ状である。

[0012] 本発明の静電チャックモジュールは、微細毛構造を有するため、薄い軟材料に対してストレスを与えることのない面による繊細で、十分な把持力と容易な脱離機構を備える。すなわち、梁の先端が把持対象物に吸着（凝着）するので、把持力が吸着面に対して垂直方向に発生し、吸着面に対して回転してモーメントを与える方向に力を与えると吸着面に応力分布が発生し、高い応力状態が発生する部分から、把持対象物が脱離することになる。

[0013] 本発明の好適な1実施態様において、本発明の微細毛構造を有する双極型静電チャックモジュールは、導電体を用いてエッチング加工により、吸着面である先端部分に微細毛構造を有する梁集合体を製造し、得られた梁集合体に絶縁コーティングし、ついで絶縁コーティングされた2つの梁集合体を張り合わせて、正極および負極間に絶縁層を形成してなる双極型静電チャックモジュールを形成させることにより製造される。

- [0014] 吸着面に微細毛構造を有する梁集合体を得るためにエッチング加工する導電体は、ステンレス鋼、アルミニウム、等の金属、ドーピングされたシリコン等の半導体、等が用いられる。
- [0015] エッチング加工により先端部に微細毛構造を有する梁集合体が製造されるが、エッチングは、ウェットおよびドライのいずれも使用され得る。ウェットエッチングは、たとえば板状の導電体に所定のレジストマスクパターンを形成した後に、エッチング溶液に浸漬して行われる。エッチング溶液は、目的に応じて酸、アルカリ等の化学溶液から選定される。ドライエッチングは、真空容器内の放電プラズマ雰囲気下で行われ、たとえばプラズマ中で生成されたラジカル、ガスによる化学的エッチングが挙げられる。
- [0016] 微細毛構造を有する梁集合体は、前記のとおりである。
- [0017] ついで、得られた梁集合体は、絶縁剤により絶縁コーティングされる。絶縁剤としては、パラキシリレンポリマー等の樹脂系、シリカ等のセラミックス系等が好適に使用される。コーティングは、蒸着法、浸漬法、スプレー法、ロールコーター法等によることができる。コーティング層の厚さは、得られる層の絶縁性、耐性等に応じて、適宜選定され得る。
- [0018] ついで、絶縁コーティングされた2つの梁集合体を張り合わせて、2つの梁集合体、すなわち正極および負極間に絶縁層を形成させる。張り合わせは、位置合わせを行い、加圧、加熱して行い得る。
- [0019] さらに、本発明の好適な1実施態様において、本発明の微細毛構造を有する双極型静電チャックモジュールは、導電体として導電性材料、絶縁体として絶縁性材料を用いて、3Dプリンターにより造形して2つの導電体間に絶縁体を形成し、吸着面に微細毛構造を有する双極型静電チャックモジュールを形成させることにより製造される。微細毛構造は、前記のとおりである。
- [0020] 3Dプリンターは、特に制限されず、熔融樹脂を押し出して積層する熱溶解積層法、液体樹脂を紫外線レーザーで硬化する光造形法、紫外線硬化性樹脂等をインクジェットヘッドを用いて微粒子状で噴射して積層面を印刷するインクジェット方式、樹脂または金属粉末材料にレーザーを照射し焼結させ

る粉末焼結法、等が採用され得る。

[0021] 熱溶解積層法を用いる場合、導電性材料としては、導電性樹脂フィラメントが好適であり、グラフェン、カーボンナノファイバー、金属等の導電性フィラーが配合されたABS（アクリロニトリル・ブタジエン・スチレン）樹脂、PLA（ポリ乳酸）樹脂等の熱可塑性樹脂のフィラメントが挙げられる。絶縁性材料としては、ABS樹脂、等が挙げられる。熱溶融樹脂を溶解ヘッドから押し出して、成形テーブル上で1層ずつ積層して所定の立体形状が造形される。微細毛構造を有する双極型静電チャックモジュールの造形は、たとえば後述の実施例のように行われる。

[0022] 光造形法を用いる場合、紫外線照射により硬化する光硬化性樹脂が用いられ、導電性樹脂としては、好適にはエポキシ樹脂が用いられ、絶縁性樹脂としては、各種のUV絶縁性インキ、等が挙げられる。造形ステージ上において1層目を形成後に、造形ステージは一層分下がり、2層目以降を繰り返して所定の造形物を得る。

熱溶解積層法を用いて導電性樹脂と絶縁性樹脂の2種の材料を用いた双極型静電チャックを作製し得るが、高精細なファイバーを造形しようとする、ファイバー先端において狙った形状を正確に再現することが困難であることが多い（図13）。そこで、本発明の好適な1実施態様において、実施例3で詳細に説明するように、加熱されたガラス板平滑面を押し当てることにより、デバイスの吸着部を平滑化し、把持性能を向上し得る。

実施例

[0023] 以下、実施例により本発明をさらに詳細に説明する。

実施例1

（フォトリソグラフィ技術による双極型静電チャックの作製）

図2に示す加工プロセスを用いて、ウェットエッチング加工により微細毛構造を持つ梁集合体を製作した。製作した梁の材質はSUS304、形状は先端面積 $50\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$ 、長さ8mm、取り付け角が 45° 、ばね定数は1.72N/mである。梁本数は12本で $400\mu\text{m}$ の間隔で配列されている。製

作した梁集合体の走査電子顕微鏡（SEM）観察写真を図3に示す。(a)は全体、(b)は先端を示す。

次に、製作した梁集合体に絶縁コーティングを行った。使用した絶縁剤はパラキシリレン系ポリマー「パリレンC」10gであり、真空蒸着でコーティングを行った。パリレンCの緒元は、絶縁耐力200V/mm、比誘電率3.15であった。絶縁コーティングを行った梁集合体を2枚張り合わせた。この時、先端が揃うよう顕微鏡で観察を行いながら手で位置を調整し張り合わせを行った。製作した双極型静電チャックを図4に示す。(a)は全体、(b)は側面を示す。

[0024] （吸着力測定実験）

製作した双極型静電チャックの吸着力測定実験を行った。測定対象は厚さ1mmの表面が平坦なスライドガラスを使用し、室温、大気中で測定した。

[0025] 静電チャックを対象に押し込む方向を負とし対象表面を0点とし、以降これを変位Zと呼ぶ。静電チャックに±200Vの電圧を印加した状態でステージを $Z = 150\ \mu\text{m}$ の位置から5秒ごとに $1\ \mu\text{m}$ ずつ引き下げていき、 $Z = -50\ \mu\text{m}$ 押し込む。また、そこから同様の速度で $Z = 150\ \mu\text{m}$ まで引き上げる。吸着力は電子天秤の値を読み取ることにより測定を行い、値を読み取る間隔は5秒である。電子天秤の分解能は $0.1\ \mu\text{N}$ である。自動ステージ、電子天秤はファラデーケージ内に設置されており、外部電場の影響を受けないようにしている。図5に実験系を示す。

[0026] （吸着力の有限要素法解析）

吸着性能の評価のため有限要素法解析ソフト「COMSOL Multiphysics」（登録商標）の静電場解析を用いて、吸着力の見積もりを行った。解析モデルは、梁が $400\ \mu\text{m}$ の間隔で12本配列された梁集合体を2つ作成し、梁集合体間に誘電体を挟むものである（図6）。境界条件は梁集合体境界に±200V、十分離れた境界を接地している。解析対象は比誘電率4.1のガラスを使用した。また、対象表面と梁先端間の距離を $150\ \mu\text{m}$ から $10\ \mu\text{m}$ までは $10\ \mu\text{m}$ ごとに、 $10\ \mu\text{m}$ から $1\ \mu\text{m}$ までは $1\ \mu\text{m}$ ごとに变化させた。吸着

力は対象表面のマクスウェル応力を面積分することにより求める。

$$F = \int_{\partial \Omega} n T dS \quad (1)$$

この時、 n は 1×3 の単位行ベクトル、 T はマクスウェル応力テンソルである (COMSOL AC/DC Module User's Guide, pp.43-45)。

[0027] (結果)

測定したフォースカーブとCOMSOLによる解析結果を図7を示す。測定した最大吸着力は $63.6 \mu\text{N}$ 、解析による最大吸着力の見積もりは $360 \mu\text{N}$ であった。静電チャック先端が対象表面に近づくと吸着力が大きくなるというところは定性的に解析結果と一致している。しかし定量的には測定した最大吸着力が解析値の1/6程度に低下した。最大吸着力が解析値よりも低下した原因として2枚の梁集合体を張り合わせた際の梁先端のミスアライメントと先端形状が考えられる。今回製作した静電チャックは梁先端に $10 \mu\text{m}$ のズレが観察された。また、梁1本の先端形状を観察すると平面が出ておらず、尖った形状をしていることが図8から分かる。図8に先端形状を考慮した解析結果と測定結果を示す。(a)は先端のシフト、(b)は先端の形状、(c)はフォースカーブを示す。

[0028] 先端の形状を考慮すると吸着力が低下する傾向がみられた。先端のズレは2枚の梁集合体を張り合わせる際に生じたものである。また梁先端に平面が出ていないのはエッチング加工の際に生じたと考えられる。しかし、静電チャック先端の形状を考慮しても最大吸着力が解析値の方が測定値よりも大きい。これは梁24本すべてが同時に測定対象表面に接触するのではなく、押し込み開始直後は対象を押し込んでいる梁と静電力を発生させている梁があるため、測定対象に働く力が押し込む力と静電力の和になる。この時、梁のばね定数が大きいと押し込み力が静電力よりも大きくなってしまい測定対象に働く吸着力が低下してしまう。梁のばね定数は線形梁理論より求められる剛性

$$k = 3EI/l^3 \cos \theta \quad (2)$$

により決まる。この時、 E はヤング率、 I は断面二次モーメント、 l は梁長さ、 θ は梁の取付け角である。これより、例えば梁長さを2倍にすることでばね定

数は1/8まで小さくすることができ、吸着力の向上が期待できる。

[0029] 上記のように、ここではエッチング加工により梁集合体を製作し、それを用いて双極型静電チャックを作製し、吸着力測定実験とCOMSOLによる有限要素法解析を比較することにより吸着性能の評価を行った。また梁先端の幾何形状が吸着力に与える影響を示した。電極層－絶縁層－電極層からなる3層一体構造をフォトリソグラフィ技術により1モジュールとして製作することで手作業により生じた先端のすれなどを解消でき、また複数モジュールを積層することにより大面積化も期待できる。またエッチング方法や梁寸法を変えることにより梁のばね定数を今よりもさらに小さくすることが期待できる。

[0030] 実施例2

(3Dプリンターによる双極型静電チャックの製作)

3Dプリンターとして、FDM方式(熱溶解積層法)のMakerBot Replicator 2Xを使用してモジュールの造形を行った。諸元はノズル径: $400\mu\text{m}$ 、最小積層ピッチ: $100\mu\text{m}$ 、位置決め精度はXY方向: $11\mu\text{m}$ 、Z方向: $2.5\mu\text{m}$ であった。繰り返し性の確保される安定した造形を行うために、積層ピッチは $200\mu\text{m}$ とした。導電体に導電性樹脂フィラメント(ESUN 3D FILAMENT CONDUCTIVE BLACK)、絶縁体にMakerBot純正のABS樹脂を使用した。導電体の厚さ 0.4mm 、絶縁体の厚さ 0.8mm とし、2つの導電体間に絶縁体を挟む厚さ 1.6mm の3層一体構造とした。吸着面の幅 1.2mm 、間隔 3.2mm とした。製作したモジュールの寸法および外観を図9(a)および(b)に示す。

(双極型静電チャックモジュールの性能評価)

[0031] 製作した双極型静電チャックモジュールの電極に、正極: 600V 、負極: -600V の印加電圧を与え、接触・持上げ・脱離の3行程による対象物の持上げ試験を行った。ポリプロピレン(PP)フィルム(厚さ $50\mu\text{m}$)、ティッシュペーパーおよび印刷用紙を双極型静電チャックモジュールの吸着面に合わせて約 $8\text{mm}\times 55\text{mm}$ の長方形に切り取り試験片とした(質量は、それぞれ 5.9mg 、 10.2mg および 31.2mg)。全ての試験

片において5回ずつ試験を行い、どの試験片も確実な把持・脱離が可能であることが確認された（図10(a)：PPフィルム、(b)：ティッシュペーパーおよび(c)印刷用紙）。図10(a)については、元画像からPPフィルムを認識することが困難なため、コントラスト調整などの加工を施した。

[0032] 続いて、試験片をスライドガラス（松浪硝子工業株式会社S1111，サイズ：76×26×0.91mm、質量：4.59g）とし、対象物を固定した実験系でフォースカーブを測定した。実験装置の概要を図11に示す。自動直動ステージによりステップ状の変位を20秒毎に最小0.01mmとして与え、各位置での発生力を分析天秤（島津製作所AUW220D、分解能：10 μ gf，応答時間：15秒）により測定した。まず初めに印加電圧 $V=0$ として、スライドガラスとモジュールの間隔を十分に近づけ、水平に設置されたスライドガラスの上面とモジュールの吸着面の傾きを相対的に比較し目視で平行を調整した後、5 μ m間隔でスライドガラスに近づけ、分析天秤の示す値が増加したときの位置を変位 Z の原点とした。変位 Z は、モジュールからスライドガラスに向かう方向を正と定義し、開始点 $Z=-0.5$ mmから折り返し点 $Z=0.4$ mmの範囲で往復させて測定した。持ち上げ試験と同様に、印加電圧は正極：600V、負極：-600Vとした。

[0033] 以上の実験条件により得られたフォースカーブを図12に示す。最大吸着力は0.5495gfであった。近づける過程に比べ引き離す過程の方が最大吸着力は大きくなり、全体としてもヒステリシスが確認できる。これは、微細毛構造による吸着方向のコンプライアンスと静電力が起因していると考えられる。図12のi、iiに示すように、モジュールの梁先端がスライドガラスから離れるとともに吸着力の急激な減少が確認できた。コンプライアンスを大きくし、ヒステリシスを大きくできれば、搬送時に外乱が生じるといった状況に対してもより安定した把持が可能になる。コンプライアンスを大きくするには、梁を長くする、梁の断面二次モーメントを小さくする、または曲げ弾性率の小さい材料を使用すること等が考えられる。

[0034] ここでは、上記のように、微細毛構造を持った双極型静電チャックモジュ

ールを3Dプリンター用いて製作し、フィルムおよび紙に対する持上げ試験、ガラス板に対するフォースカーブの測定を行い、単層モジュールは薄い軟材料を把持するハンドリングデバイスとして十分機能することを確認した。さらに、モジュールの積層によって、任意の広さを持つ材料に対しても把持が行えるようにし得る。また、FDM方式3Dプリンターの高精細化によって、さらに小さなスケールの微細毛構造を造形することができ、コンプライアンスの点でより自由度の高い双極型静電チャックモジュールを提供し得る。

[0035] 実施例3

(加熱平板を用いた吸着部の平滑化)

FDM方式(熱溶解積層法)の3Dプリンターを用いて実施例2と同様に作成された、微細毛構造を持った単層モジュールを2枚積層した双極型静電チャックモジュール(図15)を使用して、次のようにして吸着部の平滑化を行った(図14)。

- a. ホットプレート上に固定されたガラス平板に、目視で平行を合わせたデバイス吸着面を0.15mm押し当てる。
- b. 大気中(26℃雰囲気)において、加熱温度200℃に設定されたホットプレート(HHP-411V、最大定格出力800W)により、ガラス平板(厚さ0.9mm)を介してデバイス吸着部を加熱し、熱により軟化した吸着部にガラスの平滑面を転写する。
- c. ガラス平板表面の温度が70℃に低下するまでファンを用いて冷却し、デバイス吸着部を固化させる。
- d. デバイスを上昇させ、ガラス平板に固着しているデバイス吸着部を引き剥がす。

以上により平滑化されたデバイス吸着部の様子を図15に示す。

[0036] (把持性能改善の評価)

平滑化前後の双極型静電チャックの電極に、電圧を印加し、接触・持ち上げによる把持実験を行った。対象物は、デバイス把持部の大きさに合わせて8×55mmの長方形(質量:59mg、厚さ:50μm)に切り取られた

ポリプロピレン（PP）フィルムとする。

[0037] 各印加電圧において5回の実験を行い、把持の成功率を得た（表1）。平滑化後の方が平滑化前に比べて、低い印加電圧でも把持可能であることから、平滑化によってデバイスの把持性能が高められていることがわかる。

[表1]

表1 PPフィルム把持の成功率

印加電圧	±100V	±600V
平滑化なし	0% (0/5)	100% (5/5)
平滑化あり	100% (5/5)	100% (5/5)

[0038] 続いて、対象物をスライドガラス（松浪硝子興業株式会社 S1111、サイズ：76×26×0.91mm、質量4.59g）とし、対象物が固定された実験系でフォースカーブを図11に示す実験装置を用いて測定した。自動直動ステージによりステップ状の変位を5g毎に0.01mmを与え、各位置での発生力を電子天秤（sartorius TE153S, 読取限度：0.001g, 応答時間：2.5秒）により測定した。初めに印加電圧 $V=0$ として、目視で平行を調整した後、5 μ m間隔でスライドガラスに近づけ、電子天秤の示す値が増加したときの位置を変位 Z の原点とした。変位 Z は、モジュールからスライドガラスに向かう方向を正と定義し、開始点 $Z=-1.5$ mmから折り返し点 $Z=0.4$ mmの範囲で往復させて測定した。印加電圧は正極：600V、負極：-600V（電極配線：片側から-、+、+、-（図15））とした。

[0039] 以上により得られたフォースカーブ（図16（a）：±600V）から接近と引き離しの間にヒステリシスが確認され、引き離し時に発生する最大吸着力が、平滑化前0.562gfから平滑化後2.446gfと、約4.35倍向上していることがわかる。一方、印加電圧0Vの条件におけるフォースカーブ（図16（b）：0V）から、吸着力やヒステリシスがほとんど見られないため、吸着力の向上において固体間凝着力（分子間力）の影響は十分無視してよいといえる。以上のことから、本デバイスは、平滑化によりフ

アイバー先端の吸着部と対象物の間で近接する面が増大し、吸着減少において支配的となる静電力がより効果的に働くように改善されていると考えられる。

[0040] 実施例 4

(フォトリソグラフィ技術による双極型静電チャックの作製)

2つのSi層の間に、SiO₂が挟まれたSOI (Silicon on Insulator) ウェハを用いることにより、導体/誘電体/導体の3層一体構造の双極型静電チャックモジュールを製作した。2つのSi層が双極になり、SiO₂が両極の間を絶縁する。製作したモジュールを積層することで、梁先端が形成する吸着面の大面積化を図ることができた。互いに接するモジュールの電極部は同じ極となるように配置した。

[0041] SOIウェハは活性層 (Si)、絶縁層 (SiO₂) および支持層 (Si) の3層で構成し、各層の厚さはそれぞれ、60 μm、3 μm、435 μmとした。微細毛構造を持つ梁の形状は、先端面積200 μm×498 μm、長さ8 mm、取り付け角が45°である。梁本数は12本で300 μmの間隔で配列されている。ドライエッチングを用いた梁集合体を有する双極型静電チャックの製作プロセスは下記のとおりである。

[0042] まず、ウェハ全面をCr薄膜でコートした。ついで、フォトレジスト (PR) (ネガティブ型SU-8) を塗布し、パターン通りに現像した。PRを3000 rpmで30秒間、スピコートし、厚さ38 μmのPRマスクを得た。次に、露光作業を行い、ウェハ上にPRによるパターンを形成した。そして、Cr薄膜をPRパターン通りにエッチングした。以上のように、SOIウェハ表面の一部をCr薄膜とPRでマスクしたことにより、マスクされていない領域のウェハをエッチング作業で除去し得た。

Cr薄膜とPRによるエッチングマスクを製作した後に、活性層のSiをDRIE (Deep Reactive Ion Etching) 法で削った。用いたエッチングガスSF₆と保護膜ガスC₄F₈のサイクル条件は、表2の通りである。

[表2]

表 2

パラメータ	エッチング	堆積
S F ₆ (sccm)	130	0
C ₄ F ₈ (sccm)	0	85
ステップ時間 (秒)	12	8
圧力 (Pa)	5.3	3.3
コイルパワー (W)	600	600
プラトンパワー (W)	12	0

[0043] この条件において、平均 $1.8 \mu\text{m}/\text{分}$ のエッチレートが得られ、活性層 $60 \mu\text{m}$ 厚さの Si を 40 分間、エッチングすると SiO₂ がウェハー全表面に現れた。ついで、この SiO₂ 絶縁層をエッチング溶液としてフッ酸を用いて、ウェットエッチングした。ついで、残りの支持層 Si を DRIE 法でエッチングすることにより、梁集合体を有する双極型静電チャックを製作した。

[0044] 図 17 に、本発明の微細毛構造を有する双極型静電チャックモジュールを用いて、プラスチックフィルム等の任意の面積を有する薄膜の把持、搬送および引き剥がしを行う場合の模式図を示す。

産業上の利用可能性

[0045] 本発明によれば、微細毛構造を有する双極型静電チャックモジュールを提供し得る。さらに、本発明によれば、3D プリンターやリソグラフィー技術を用いて双極型静電チャックを一体造形することでモジュール化し、複数のモジュールを積層することによって微細毛構造の大面积化を行うことができ、任意の面積を有する面を把持可能な微細毛構造を持つ双極型静電チャックモジュールを提供し得る。

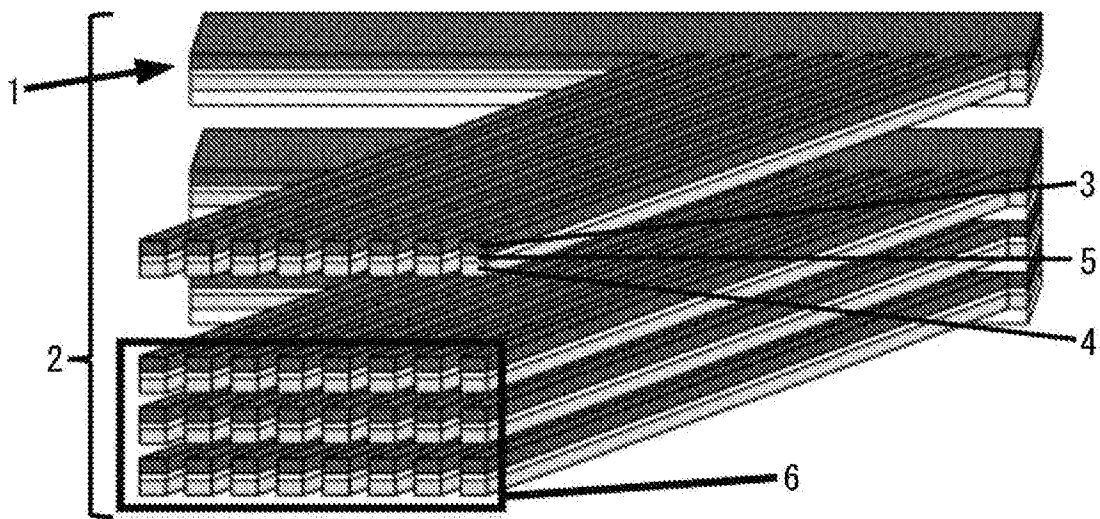
請求の範囲

- [請求項1] 吸着対象物を吸着するための静電チャック吸着面に微細毛構造を有し、吸着面の微細毛の先端部分には正極および負極間に絶縁層が配置され、正極と負極間に電圧を印加することにより静電力が生じ、静電チャック吸着面に吸着対象物が吸着されるように構成してなる双極型静電チャックモジュール。
- [請求項2] 請求項1に記載の複数の双極型静電チャックモジュールを積層してなる双極型静電チャックモジュール。
- [請求項3] 静電チャック吸着面に吸着させる吸着対象物が布地、フィルムまたは紙である請求項1または2に記載の双極型静電チャックモジュール。
- [請求項4] 吸着対象物を吸着するための静電チャック吸着面に微細毛構造を有する双極型静電チャックモジュールを製造するに際して、導電体を用いてエッチング加工により、吸着面である先端部分に微細毛構造を有する梁集合体を製造し、得られた梁集合体に絶縁コーティングし、ついで絶縁コーティングされた2つの梁集合体を張り合わせて、正極および負極間に絶縁層を形成してなる双極型静電チャックモジュールを形成させることを特徴とする双極型静電チャックモジュールの製造方法。
- [請求項5] 吸着対象物を吸着するための静電チャック吸着面に微細毛構造を有する双極型静電チャックモジュールを製造するに際して、導電体として導電性材料、絶縁体として絶縁性材料を用いて、3Dプリンターにより造形して2つの導電体である正極および負極間に絶縁体を形成し、吸着面に微細毛構造を有する双極型静電チャックモジュールを形成させることを特徴とする双極型静電チャックモジュールの製造方法。
- [請求項6] 3Dプリンターが熱溶解積層法である請求項5に記載の双極型静電チャックモジュールの製造方法。
- [請求項7] 導電性材料が導電性樹脂フィラメントである請求項5または6に記

載の双極型静電チャックモジュールの製造方法。

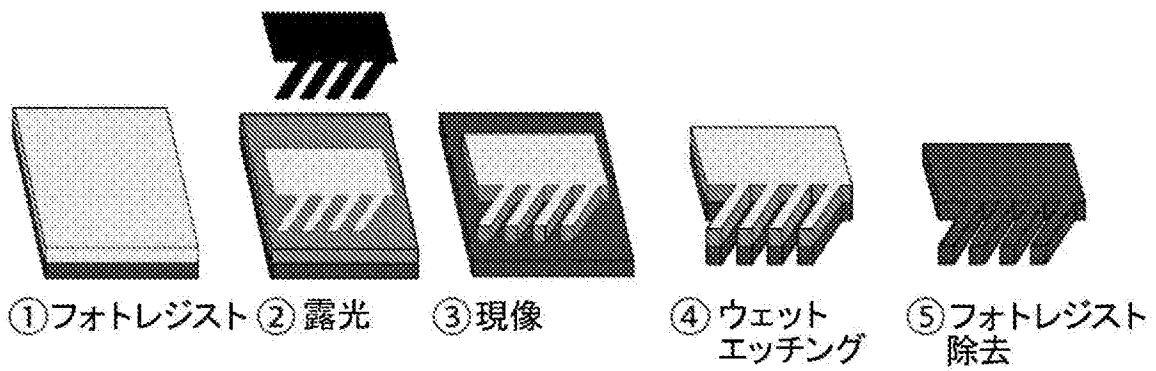
[図1]

図1



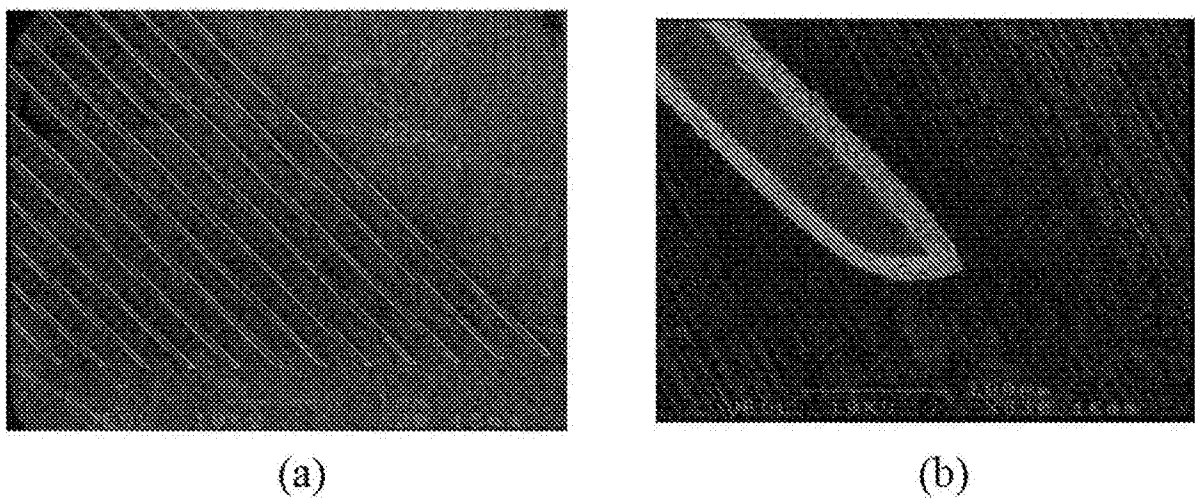
[図2]

図2



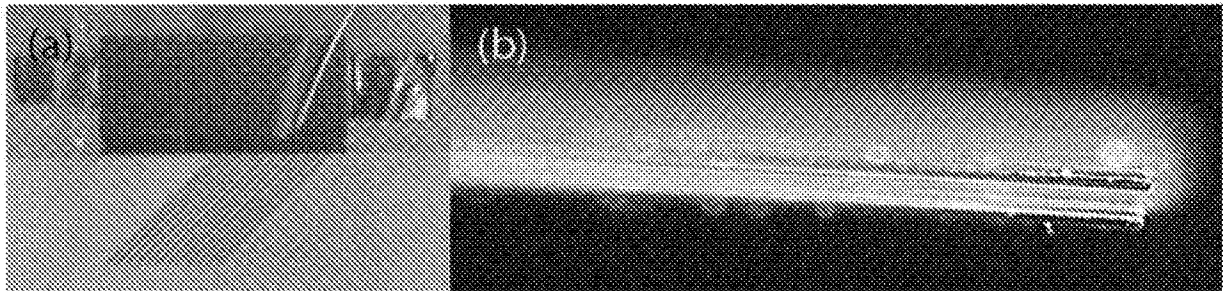
[図3]

図3



[図4]

図4

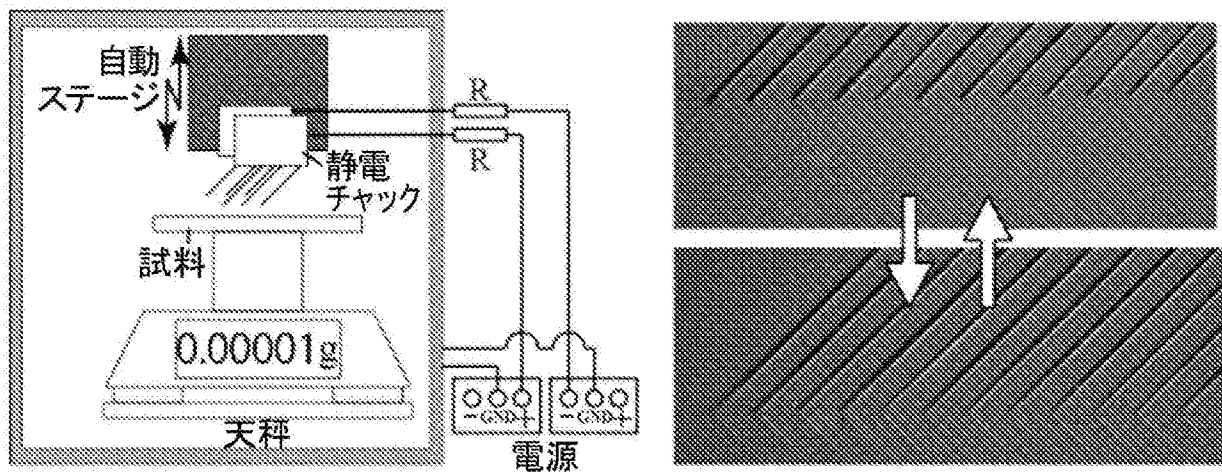


(a)

(b)

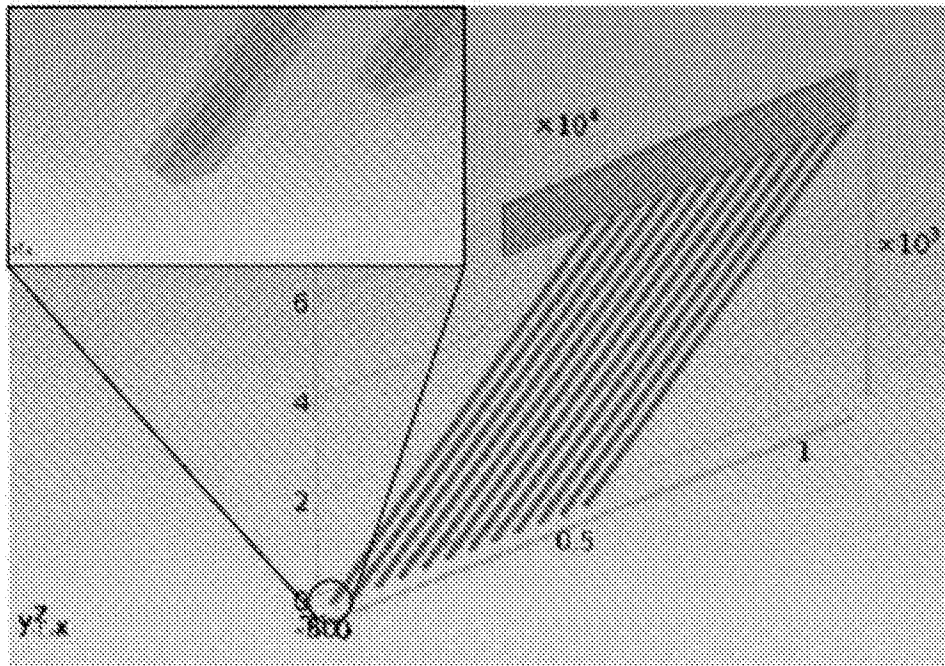
[図5]

図5



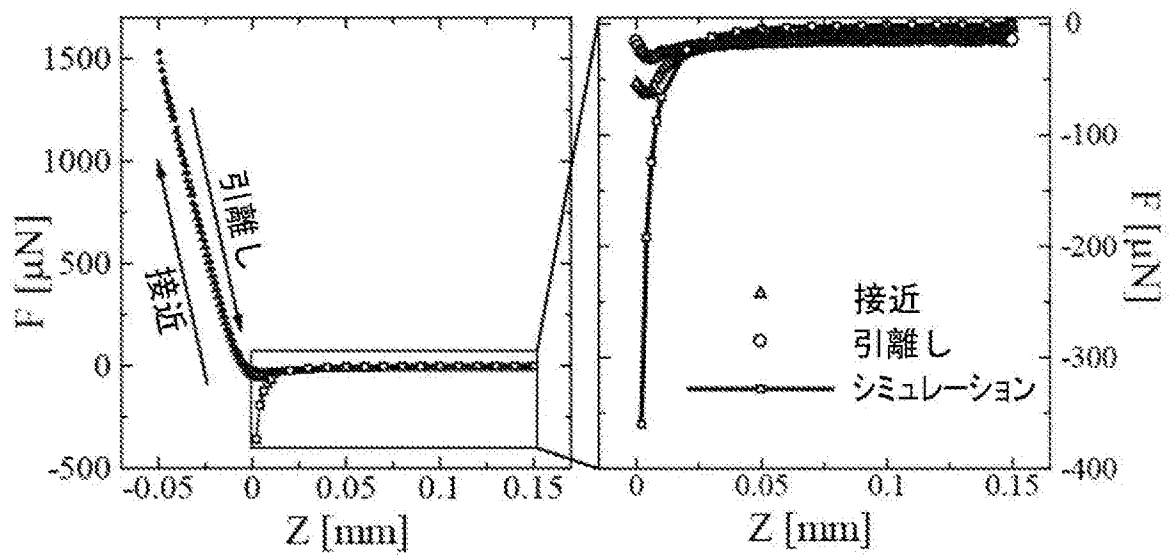
[図6]

図6



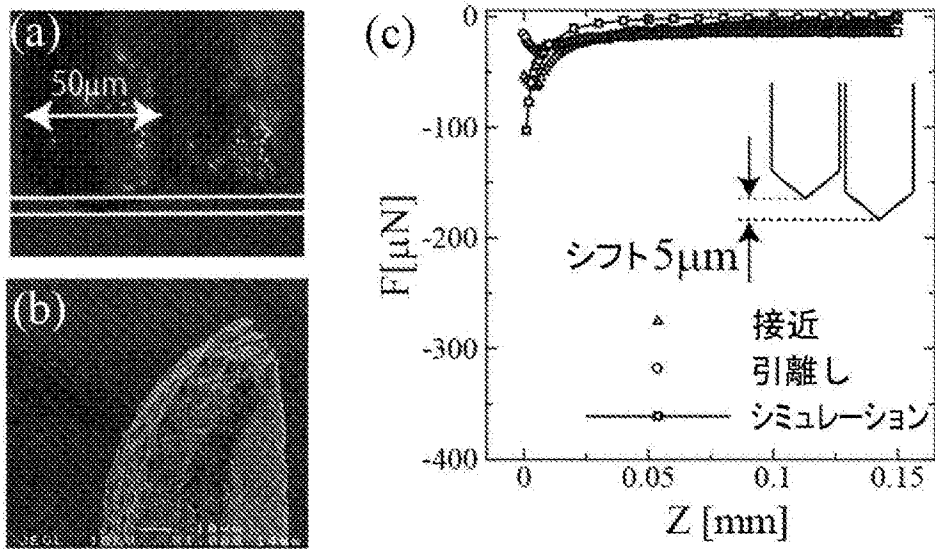
[図7]

図7



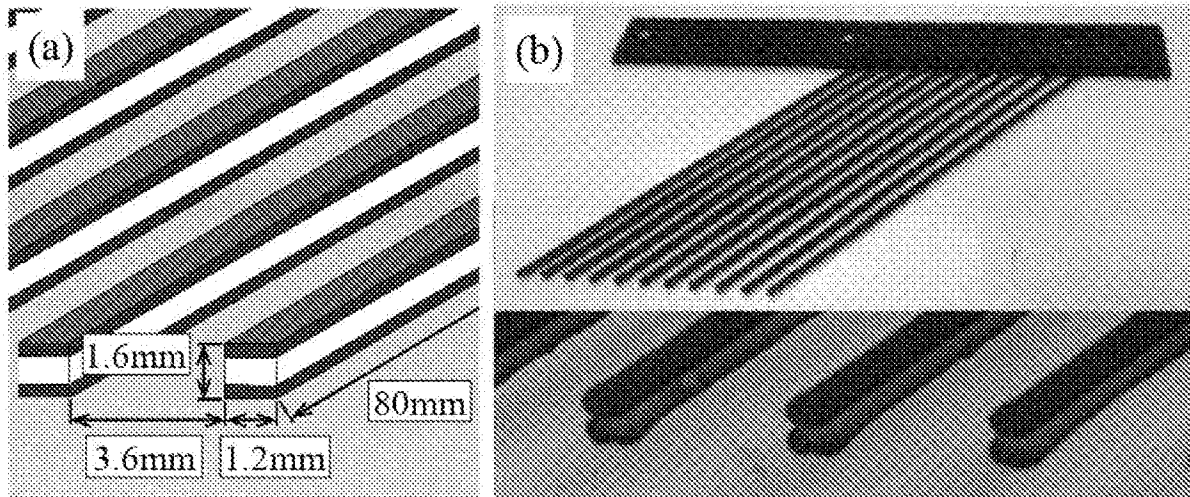
[図8]

図8



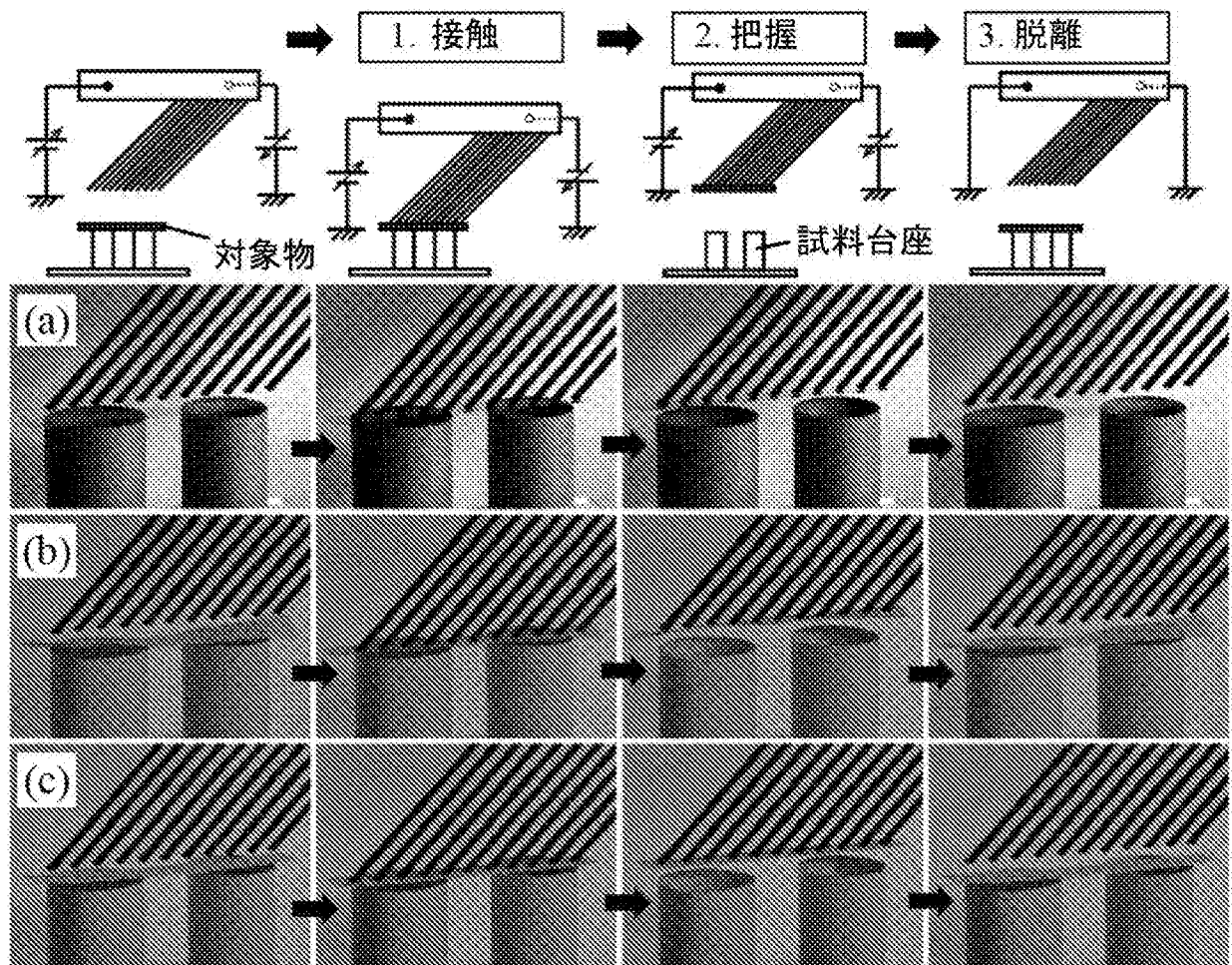
[図9]

図9



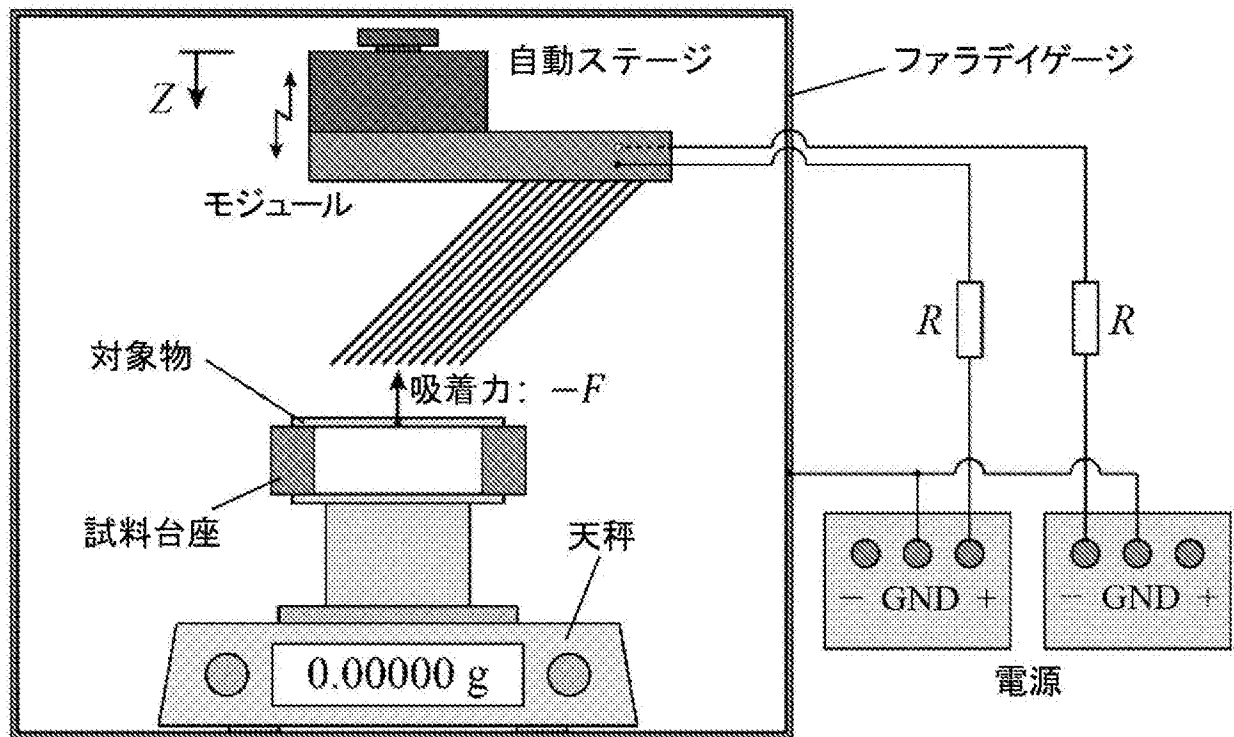
[図10]

図10



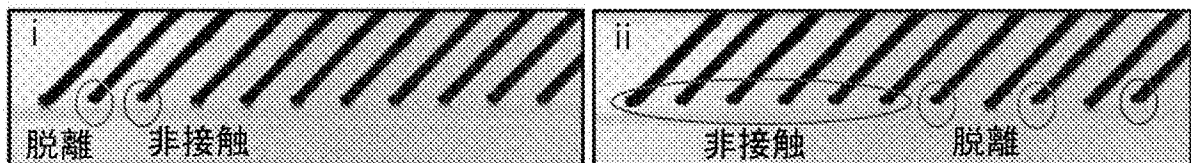
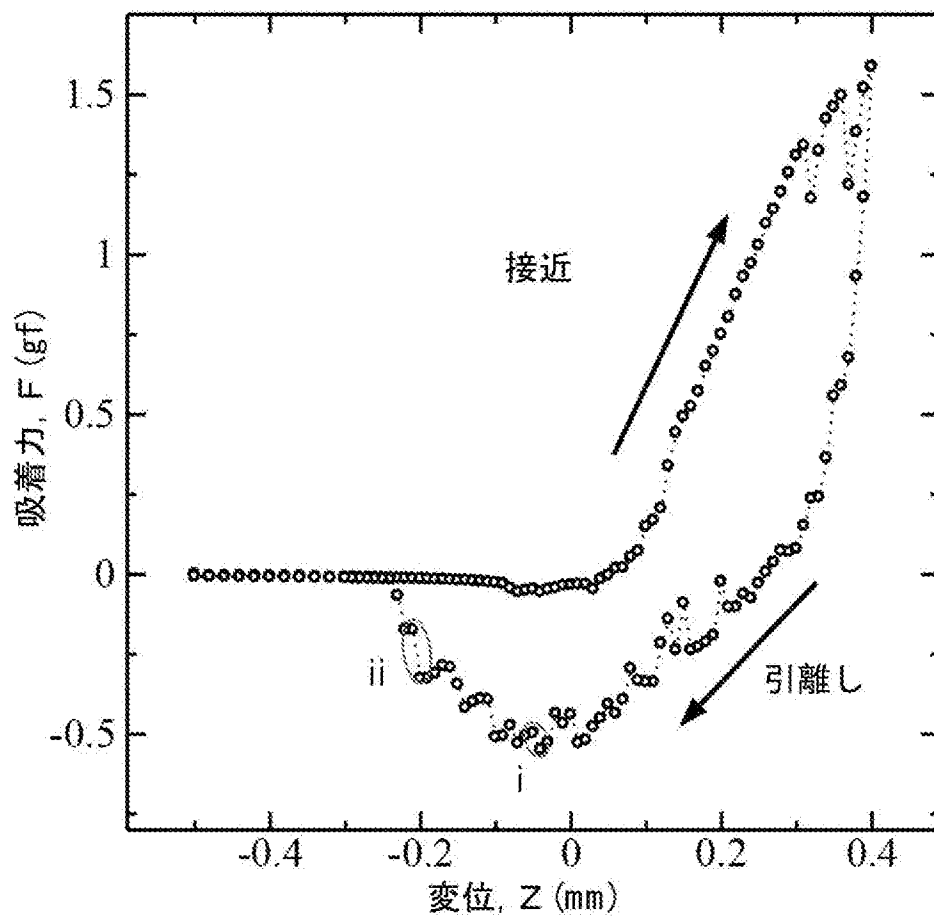
[図11]

図11



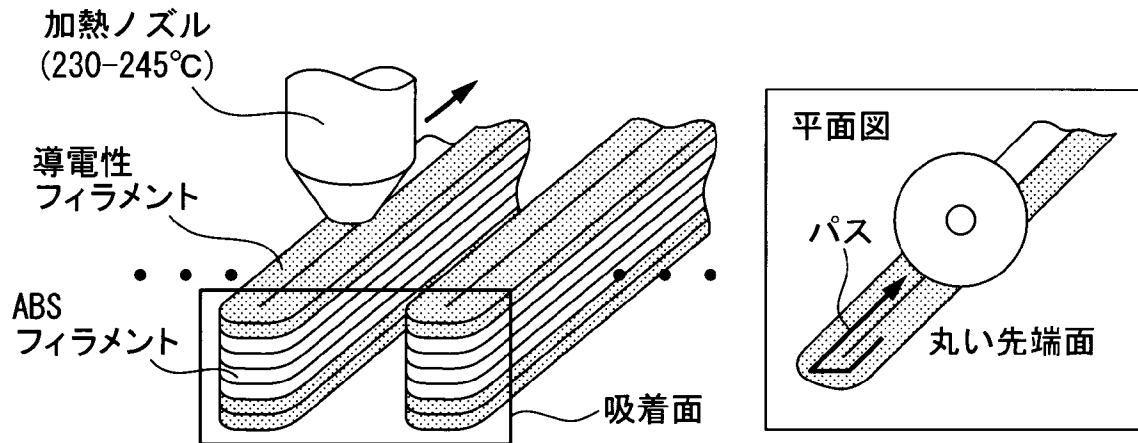
[図12]

図12



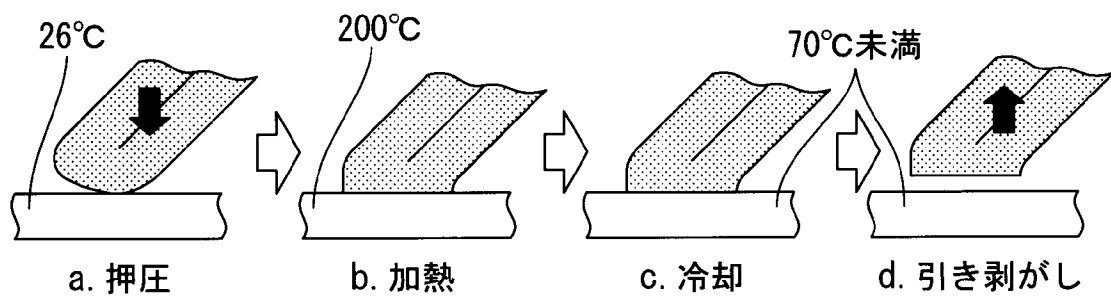
[図13]

図13



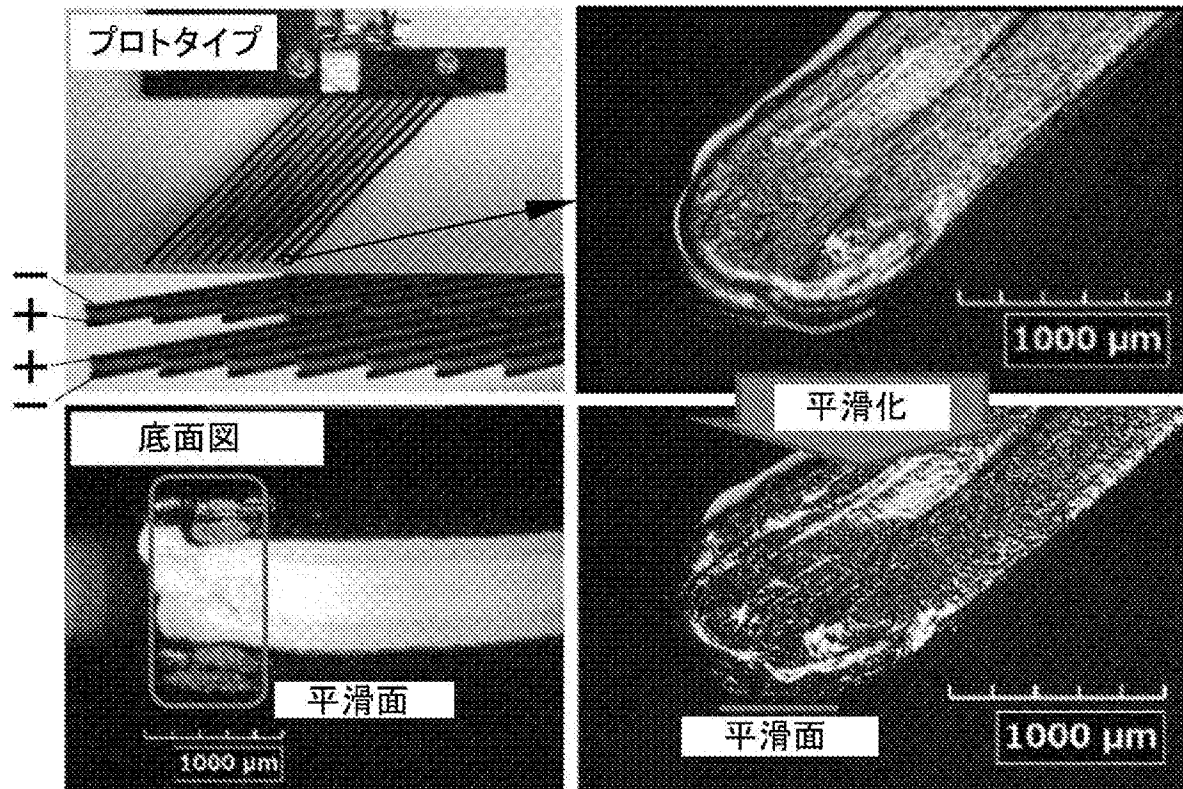
[図14]

図14



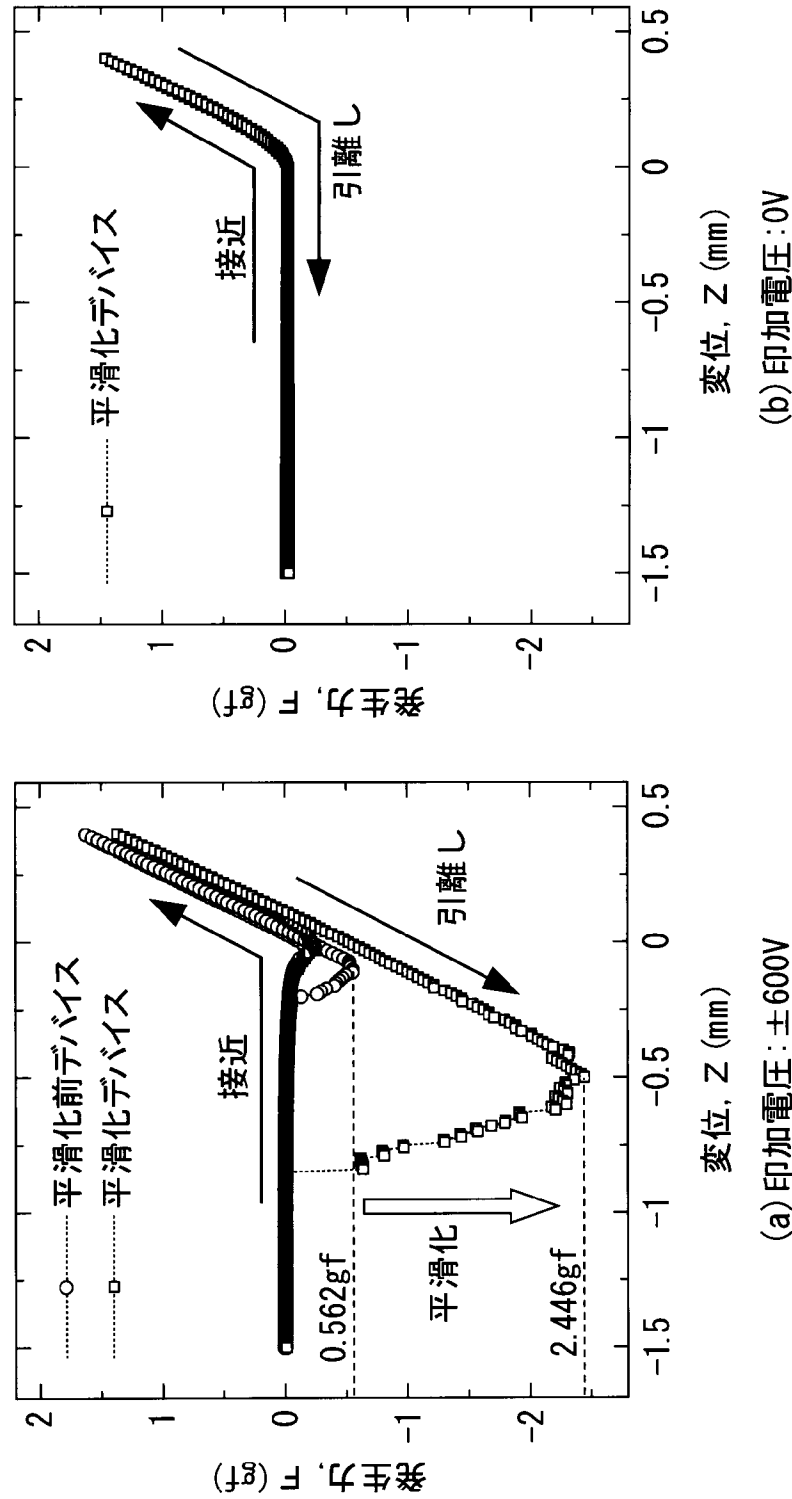
[図15]

図15



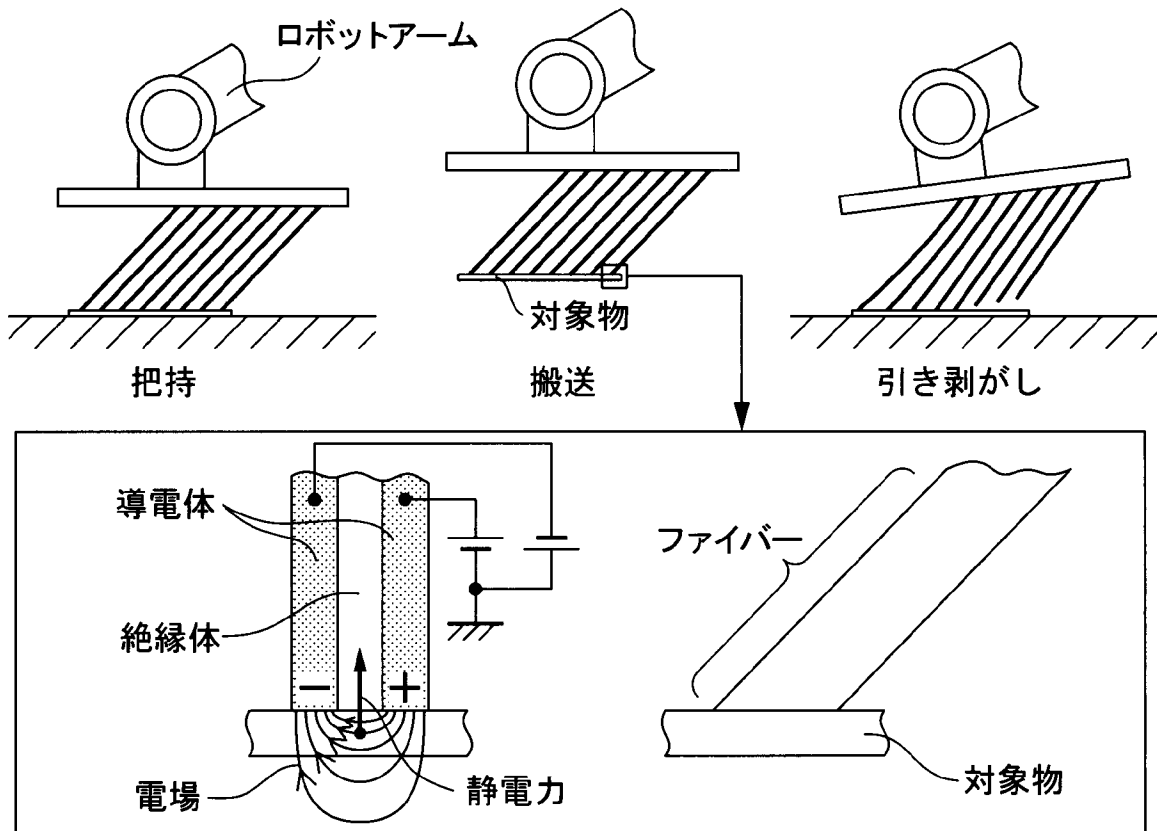
[図16]

図16



[図17]

図17



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/007987

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02N13/00(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)

H02N13/00

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	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	Keisuke MAEZONO et al., "Sokyoku-gata Seiden	1
Y	Yuden Fiber ni Okeru Denkyoku Danmen Keijo no	2-3
A	Hasseiryoku eno Eikyo", 2012 Nendo The Japan Society for Precision Engineering Shunki Taikai Gakujutsu Koenkai Koen Ronbunshu, 01 March 2012 (01.03.2012), I14, pages 701 to 702, particularly, page 701, left column, line 1 to right column, line 3, fig. 2	4-7
Y	DHELIKA Radon et al, Electrostatic chuck consisting of polymeric electrostatic inductive fibers for handling of objects with rough surfaces, SMART MATERIALS AND STRUCTURES, 2013.08.05, 095010, p.1-9, particularly, fig. 2	2-3

☒ 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
27 April 2017 (27.04.17)

Date of mailing of the international search report
16 May 2017 (16.05.17)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/007987

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 4961554 B2 (Tokyo Institute of Technology), 27 June 2012 (27.06.2012), paragraphs [0007] to [0018]; all drawings (Family: none)	1-7
P,X	Yosuke TAJIRI et al., "Photolithography Gijutsu o Mochiita Bisaimo Kozo ni yoru Sokyoku-gata Seiden Chuck no Kaihatsu", 2016 Nendo The Japan Society for Precision Engineering Shunki Taikai Gakujutsu Koenkai Koen Ronbunshu, 01 March 2016 (01.03.2016), G23, pages 505 to 506	1-4
P,X	Kento KAWANO et al., "3D Printer o Mochiita Bisaimo Kozo o Motsu Sokyoku-gata Seiden Chuck Module no Kaihatsu", 2016 Nendo The Japan Society for Precision Engineering Shunki Taikai Gakujutsu Koenkai Koen Ronbunshu, 01 March 2016 (01.03.2016), G24, pages 507 to 508	1-3,5-7

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H02N13/00(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. H02N13/00

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	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017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
X Y A	前菌圭佑 ほか、双極型静電誘電ファイバーにおける電極断面形状の発生力への影響、2012年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集、2012.03.01, I14, p.701-702, 特に p.701 左欄第1行-同右欄第3行, 図2	1 2-3 4-7
Y	DHELIKA Radon et al, Electrostatic chuck consisting of polymeric electrostatic inductive fibers for handling of objects with rough surfaces, SMART MATERIALS AND STRUCTURES, 2013.08.05, 095010, p.1-9, 特に図2	2-3

☒ C欄の続きにも文献が列举されている。

☐ 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	「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

27.04.2017

国際調査報告の発送日

16.05.2017

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

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）

土田 嘉一

3V

9825

電話番号 03-3581-1101 内線 3357

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
A	JP 4961554 B2 (国立大学法人東京工業大学) 2012.06.27, 段落 [0007]-[0018], 全図 (ファミリーなし)	1-7
P, X	田尻陽亮 ほか, フォトリソグラフィ技術を用いた微細毛構造による 双極型静電チャックの開発, 2016年度精密工学会春季大会学術講 演会講演論文集, 2016.03.01, G23, p. 505-506	1-4
P, X	河野健人 ほか, 3Dプリンターを用いた微細毛構造を持つ双極型静 電チャックモジュールの開発, 2016年度精密工学会春季大会学術講 演会講演論文集, 2016.03.01, G24, p. 507-508	1-3, 5-7