

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4134571号
(P4134571)

(45) 発行日 平成20年8月20日 (2008. 8. 20)

(24) 登録日 平成20年6月13日 (2008. 6. 13)

(51) Int. Cl.	F I
B 8 1 B 3/00 (2006. 01)	B 8 1 B 3/00
B 8 1 C 1/00 (2006. 01)	B 8 1 C 1/00

請求項の数 24 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2002-31980 (P2002-31980)	(73) 特許権者	000004237
(22) 出願日	平成14年2月8日 (2002. 2. 8)		日本電気株式会社
(65) 公開番号	特開2003-231095 (P2003-231095A)		東京都港区芝五丁目7番1号
(43) 公開日	平成15年8月19日 (2003. 8. 19)	(74) 代理人	100079164
審査請求日	平成17年1月14日 (2005. 1. 14)		弁理士 高橋 勇
		(72) 発明者	石田 真彦
			東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株
			式会社内
		(72) 発明者	藤田 淳一
			東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株
			式会社内
		審査官	富岡 和人

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 微小物体固定装置及び微小物体固定方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

所定の基板の面とほぼ平行に配設されると共に、一端部が前記基板上に固定された所定の長さを有する本体部材を、光トラップ力を用いて変形させて、当該本体部材と前記基板との間に微小物体を捕捉して固定することを特徴とする微小物体固定装置。

【請求項2】

所定の基板の面とほぼ平行に配設されると共に、一端部が前記基板上に固定された所定の長さを有する本体部材を、集光された光を受光することにより当該光の焦点位置に被集光物体を移動する力を用いて変形させて、当該本体部材と前記基板との間に微小物体を捕捉して固定することを特徴とする微小物体固定装置。

【請求項3】

微小物体を所定の基板上に固定する微小物体固定装置であって、
前記基板上に、所定の長さを有する本体部材を、その一端部を前記基板に固定して当該基板上の面とほぼ平行に備え、
この本体部材の前記一端部以外の箇所に、集光された光を受光することにより当該光の焦点位置に移動する受光部を形成すると共に、前記本体部材のうち前記受光部と前記一端部との間の少なくとも一部に前記受光部の移動を許容する変形部を形成したことを特徴とする微小物体固定装置。

【請求項4】

前記変形部を、弾性部材にて形成したことを特徴とする請求項3記載の微小物体固定装置

。

【請求項 5】

前記本体部材のうち弾性部材にて形成した部分を、いずれの方向にも変形しうる部材にて形成したことを特徴とする請求項 4 記載の微小物体固定装置。

【請求項 6】

前記受光部は、前記本体部材の一端部と他端部との間に位置することを特徴とする請求項 3, 4 又は 5 記載の微小物体固定装置。

【請求項 7】

前記本体部材に、当該本体部材と前記基板との間に前記微小物体を保持して当該微小物体の位置を固定する作用部を形成したことを特徴とする請求項 3, 4, 5 又は 6 記載の微小物体固定装置。

10

【請求項 8】

前記作用部は、当該作用部と前記基板との間に所定の間隙を有して位置することを特徴とする請求項 7 記載の微小物体固定装置。

【請求項 9】

前記作用部の前記基板に対向する箇所、前記微小物体を許容する前記基板と反対方向にくぼんだ凹部を形成したことを特徴とする請求項 7 又は 8 記載の微小物体固定装置。

【請求項 10】

前記作用部の前記基板に対向する箇所、前記微小物体を許容する貫通孔を形成したことを特徴とする請求項 7 又は 8 記載の微小物体固定装置。

20

【請求項 11】

前記本体部材の作用部近傍に、前記基板に向かって突出する突起を設けたことを特徴とする請求項 7, 8, 9 又は 10 記載の微小物体固定装置。

【請求項 12】

前記作用部の周囲に対向する前記基板上の所定箇所に、前記本体部材の方向に突出して当該本体部材を吸着する吸着突起部を備えたことを特徴とする請求項 7, 8, 9, 10 又は 11 記載の微小物体固定装置。

【請求項 13】

前記受光部を、光が透過する部材にて形成すると共に略球体に形成したことを特徴とする請求項 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 又は 12 記載の微小物体固定装置。

30

【請求項 14】

前記受光部を、前記本体部材に形成された貫通孔と、光が透過する部材であって前記貫通孔よりも大きい径を有する球体とにより構成し、
前記貫通孔に前記球体を嵌着したことを特徴とする請求項 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 又は 12 記載の微小物体固定装置。

【請求項 15】

前記微小物体は、集光された光を照射されて当該光の焦点位置に移動されることにより、前記本体部材と前記基板との間に固定される物体であることを特徴とする請求項 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 又は 14 記載の微小物体固定装置。

40

【請求項 16】

微小物体を所定の基板上に固定する微小物体固定装置であって、
前記基板上に、所定の長さを有する本体部材を、その一端部を前記基板に固定して当該基板上の面とほぼ平行に備え、
前記本体部材の他端部に、当該他端部と前記基板との間に前記微小物体を保持して当該微小物体の位置を固定する作用部を形成すると共に、前記本体部材のうち前記作用部と前記一端部との間の少なくとも一部を弾性部材にて形成し、
前記微小物体は、集光された光を照射されて当該光の焦点位置に移動されることにより前記作用部と前記基板との間に介挿されて固定される物体であることを特徴とする微小物体固定装置。

50

【請求項 17】

前記作用部の前記基板に対向する箇所周囲に、外縁に向かうにつれて前記基板との間隙が大きくなるよう傾斜部を形成したことを特徴とする請求項 16 記載の微小物体固定装置。

【請求項 18】

前記作用部の前記基板に対向する箇所に、前記微小物体を許容する前記基板と反対方向にくぼんだ凹部を形成したことを特徴とする請求項 16 又は 17 記載の微小物体固定装置。

【請求項 19】

前記作用部の前記基板に対向する箇所に、前記微小物体を許容する貫通孔を形成したことを特徴とする請求項 16 又は 17 記載の微小物体固定装置。

10

【請求項 20】

前記本体部材を、金にて作製したことを特徴とする請求項 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 又は 19 記載の微小物体固定装置。

【請求項 21】

前記本体部材を、シリコン系化合物にて作製したことを特徴とする 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 又は 19 記載の微小物体固定装置。

【請求項 22】

前記本体部材を、集束イオンビーム励起によるアモルファスカーボン堆積法を用いてアモルファス状炭素にて作製したことを特徴とする 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 又は 19 記載の微小物体固定装置。

20

【請求項 23】

微小物体を所定の基板上に固定する微小物体固定方法であって、
前記基板に、一端部が固定されて当該基板上の面とほぼ平行に備えられた所定の長さを有する本体部材を、当該本体部材の前記一端部以外の箇所に形成された受光部に集光された光を受光することにより当該受光部を光の焦点位置に移動して前記本体部材を変形し、当該本体部材の一部を前記基板から離隔した状態に保ち、
前記基板と前記本体部材との間隙に、前記微小物体に集光された光を照射して当該光の焦点位置に前記微小物体を移動し、
前記本体部材の変形状態を解除して、前記基板から離隔している前記本体部材の一部を当該基板に近接するよう移動し、前記微小物体を前記基板と前記本体部材との間に固定することを特徴とする微小物体固定方法。

30

【請求項 24】

微小物体を所定の基板上に固定する微小物体固定方法であって、
前記基板に、一端部が固定されて当該基板上の面とほぼ平行に備えられた所定の長さを有する本体部材が備えられていて、当該本体部材の他端部には、当該他端部と前記基板との間に前記微小物体を保持して当該微小物体の位置を固定する作用部が形成されていると共に、前記本体部材のうち前記作用部と前記一端部との間の少なくとも一部が弾性部材にて形成され、
前記微小物体に集光された光を照射して、前記本体部材の作用部と前記基板との間に前記微小物体を介挿するよう前記光の焦点位置に当該微小物体を移動して、前記本体部材の作用部が前記基板から離隔するよう前記本体部材を変形させることにより、前記微小物体を前記基板と前記本体部材の作用部との間に固定することを特徴とする微小物体固定方法。

40

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、微小物体固定装置及び方法にかかり、特に、所定の基板上にて微小物体の位置を固定する微小物体固定装置及び方法に関する。

50

【0002】

【従来の技術】

従来より、ミクロンオーダー以下の大きさである微小な物体を操作する手法として、以下のようなものが知られている。その一つとして、直接物体に接触せずに操作を実現する光ピンセット技術がある（米国特許4893886号）。光ピンセット技術は、集光レンズの明るさを表すNA値が高いレンズで集束させた光線の焦点に、物体を捕捉する力（光トラップ力）が働くことを利用して、当該物体を操作する技術である。

【0003】

ここで、この光ピンセット技術の原理について、図8を参照して簡単に説明する。図8は、光ピンセット技術の原理を説明する説明図である。まず、レーザを対物レンズを用いて集光し、微小物体である細胞や微粒子などに集光照射すると、当該レーザは媒質の違いから屈折し、光の運動量がaだけ変化する。この運動量を合成したものがbになる（図8（a）参照）。この際、粒子は、運動量を保存しようとするため、bと逆向きの力が生じ、その結果粒子は焦点に移動される（図8（b）参照）。

10

【0004】

また、上記光ピンセット技術の他には、微小物体を操作する方法として、微細なピンセット状の構造体を作製し、その構造体の間に物体をはさんで操作を行う技術が開示されている。例えば、2本のカーボンナノチューブをピンセットのように開閉させて利用する技術や（特開2001?252900号）、同様に半導体の細線結晶を用いる技術（特開平7?156082号）等がある。前者のカーボンナノチューブピンセットは、原子間力顕微鏡（AFM）の探針の先端に固定した、2本のカーボンナノチューブにリード線をつなげ、その間に電圧を印加してピンセットのように開閉するものである。また、後者の半導体の細線結晶を用いる方法は、自己形成させた細線結晶を、光を照射した部分の熱膨張によって湾曲させ、同様の動作を起こすものである。

20

【0005】

そして、上記のような技術を用いることで微小な物体の位置を固定することができ、かかる物体に対して所定の処理を行ったり、観察等することが容易にでき、ユーザの利便性が向上する。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

30

しかしながら、上記従来例には以下のような不都合があった。まず、光ピンセット技術におけるの第一の問題点は、物体を捕捉するために、高強度のレーザーを物体に照射し続けなければならない点である。特に液中の試料を扱う場合、試料サイズが小さいほどブラウン運動が顕著になるため、レーザーの継続的照射が不可欠である。その結果、光吸収による試料の破壊を防ぐために、試料に合わせたレーザの波長の選択が必要であるし、たとえ最適な波長を選んでも長時間レーザを当てつづけることで、試料の損傷を招くという問題が生じる。また、第二の問題点は、基本的に一つの対象物を操作するためには、光源、焦点位置制御用のミラー、レンズを含むレーザ光学系を一セット使用しなければならず、複数の物体を同時に操作するためには当該物体と同数の工学系を組む必要がある。従って、大掛かりなシステムが必要になり、装置に多大なコストがかかってしまうという問題が生じる。

40

【0007】

そして、上述した従来の機械式ピンセットにも様々な問題がある。まず、カーボンナノチューブピンセットの場合、ナノチューブ自身が直径100nm以下程度と小さいため、AFM短針などの支持母体にナノチューブを接着する工程が非常に困難であるという問題が生じる。また、半導体細線結晶は、自己形成により作製するため、結晶を成長させる位置や結晶の形状の制御が困難であるという問題が生じる。

【0008】

さらには、上記各ピンセットの動作機構に関しても問題がある。まず、カーボンナノチューブピンセットにおいては、電圧を印加することでナノチューブ間に働く静電気力や、ナ

50

ノチューブを支持する部分に設置した圧電体の変形をもって、ピンセットの開閉を行うため、電圧を印加する為の微細なリード線の作製や、ナノチューブの部分との電氣的接触の確保、もしくは圧電体の作製などの工程が必要となるなど、構造が複雑となるという問題が生じる。そして、電解質中での利用に際しては、電圧を印加する部分の絶縁被覆を施す必要があり、さらに装置自体が複雑となる。また、半導体細線結晶ピンセットにおいては、ピンセットの開閉をするために光を照射し、ピンセットを熱膨張させ開閉を行うため、ピンセット自体が加熱するため、微小物体である試料が加熱されるという事態が発生する。従って、加熱されることが好ましくない試料によっては、後の適切な処理が実行できないという問題が生じる。

【0009】

10

【発明の目的】

本発明は、上記従来例の有する不都合を改善し、特に、固定対象である微小物体の破損等を抑制しつつ、当該物体を容易に固定することができ、ユーザの利便性の向上を図ると共に、構成が簡略であり製造コストの削減を図ることができる微小物体固定装置及び方法を提供すること、をその目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】

そこで、本発明では、所定の基板の面とほぼ平行に配設されると共に、一端部が基板上に固定された所定の長さを有する本体部材を、光トラップ力、すなわち、集光された光を受光することにより当該光の焦点位置に被集光物体を移動する力、を用いて変形させて、当該本体部材と基板との間に微小物体を捕捉して固定する、という構成を採っている（請求項1、2）。

20

【0011】

このような構成にすることにより、本体部材に所定の照射手段から集光を照射し、当該集光の焦点位置に本体部材の所定箇所を光トラップ力にて基板から離間するよう移動する。すると、固定されている一端部を支点として基板から離間するよう本体部材は変形するが、この変形された本体部材の下部に微小物体を位置させ、当該本体部材を元の状態に戻すことで、該本体部材と基板との間に微小物体を捕捉して固定することができる。

【0012】

また、本発明では、基板上に、所定の長さを有する本体部材を、その一端部を基板に固定して当該基板上の面とほぼ平行に備え、この本体部材の一端部以外の箇所に、集光された光を受光することにより当該光の焦点位置に移動する受光部を形成すると共に、本体部材のうち受光部と一端部との間の少なくとも一部に受光部の移動を許容する変形部を形成した、という構成を採っている（請求項3）。

30

【0013】

このような構成にすることにより、照射手段から受光部に対して集光照射されると、当該受光部がその焦点位置に移動する。このとき、本体部材は変形部付近にて変形することで、受光部の移動を可能にする。そして、受光部が移動すると共に、本体部材の他端部側が基板と離隔する方向に移動する。その後、受光部の位置を照射手段を用いて、本体部材の一部を微小物体の上方から当該微小物体に覆いかぶせるよう移動することにより、本体部材にて微小物体を捕捉して基板との間に固定することができる。

40

【0014】

ちなみに、上記微小物体を、集光された光を照射して当該光の焦点位置に移動することにより、本体部材と基板との間に移動すると、容易に微小物体を固定することができる（請求項15）。すなわち、受光部に光を照射する照射手段とは別に備えた微小物体に光を照射する微小物体用照射手段にて、微小物体に集光を照射して、当該微小物体の位置を移動することで、本体部材を光トラップ力にて基板から離隔するよう移動した状態で、当該本体部の真下に微小物体を移動することで、簡易な操作で微小物体を捕捉して固定することができ、ユーザの利便性の向上を図ることができる。

【0015】

50

そして、上記の場合に、本体部材に形成された変形部を弾性部材にて形成すると望ましい（請求項４）。これにより、本体部材の一部が光トラップ力により基板と離隔された状態に変形されたときには、当該本体部が弾性変形している状態となる。従って、光照射が遮断されて光トラップ力が働かなくなると、弾性部材の復元力により本体部材の形状は当初の状態に戻り、基板に対して離隔していた本体部材の一部が基板に近づくよう自動的に移動される。これにより、基板と本体部との間に容易に微小物体を固定することができる。

【００１６】

また、本体部材のうち弾性部材にて形成した部分を、いずれの方向にも変形しうる部材にて形成することとすると望ましい（請求項５）。これにより、本体部材の他端部付近の移動範囲が広がり、容易に微小物体を捕捉し、固定することができる。

10

【００１７】

また、受光部は、本体部材の一端部と他端部との間に位置することとすると望ましい（請求項６）。これにより、他端部に受光部を形成することが抑制され、当該他端部である先端部にて微小物体を固定することができるため、操作性の向上を図ることができる。

【００１８】

そして、本体部材に、当該本体部材と基板との間に微小物体を保持して当該微小物体の位置を固定する作用部を形成すると望ましい（請求項７）。これにより、微小物体を固定するために形成された作用部にて当該微小物体を固定することができるため、微小物体を容易かつ確実に固定することができる。

【００１９】

20

また、作用部は、当該作用部と基板との間に所定の間隙を有して位置することとすると望ましい（請求項８）。これにより、あらかじめ作用部が基板と所定の間隙を有しているため、かかる間に固定される微小物体が作用部と基板と挟まれて、つぶされるなどの不都合を抑制することができる。

【００２０】

また、上記作用部の基板に対向する箇所に、微小物体を許容する基板と反対方向にくぼんだ凹部を形成したり（請求項９）、微小物体を許容する貫通孔を形成すると望ましい（請求項１０）。これにより、微小物体が作用部にて固定されているときに、当該微小物体は作用部に形成された凹部や貫通孔の空洞部に位置するため、確実に固定されると共に、微小物体が作用部にて押しつぶされることなど、当該微小物体の損傷をより抑制することができる。

30

【００２１】

さらに、上記構成に加えて、本体部材の作用部近傍に、基板に向かって突出する突起を設けると望ましい（請求項１１）。これにより、作用部を基板から離間する方向に移動して、その後、光トラップ力により移動したり、弾性復元力により自動的に基板に向かって移動するときに、本体部材に設けられた突起が基板に当接することで、作用部が基板に当接することが抑制される。従って、作用部と基板との間に微小物体が挟まれることが抑制され、当該微小物体の損傷を抑制することができる。

【００２２】

また、上記構成に加えて、作用部の周囲に対向する基板上の所定箇所に、本体部材の方向に突出して当該本体部材を吸着する吸着突起部を備えると望ましい（請求項１２）。これにより、作用部が吸着突起部に当接するよう照射手段にて移動されたときに、当該作用部の周囲と吸着突起部との間に、分子間力、残留電荷の静電気力、化学吸着力等が接触面に働く。従って、作用部が吸着突起部に接触した状態にて保持されることで、作用部に捕捉された微小物体をより確実に固定することができる。

40

【００２３】

また、上記本体部材に受光部が備えられている場合には、当該受光部を、光が透過する部材にて形成すると共に略球体に形成すると望ましい（請求項１３）。さらには、受光部を、本体部材に形成された貫通孔と、光が透過する部材であって貫通孔よりも大きい径を有する球体とにより構成し、貫通孔に球体を嵌着すると、なお望ましい（請求項１４）。こ

50

れにより、受光部に集光照射による光トラップ力が発生し易くなり、当該受光部の位置を精度よく操作することができるため、効率よく微小物体を捕捉して、固定することができる。そして、かかる場合には、いずれの方向から受光部に光を照射しても、光トラップ力を発生させることができ、作用部の位置を容易に操作することができる。

【0024】

本発明では、また、基板上に、所定の長さを有する本体部材を、その一端部を基板に固定して当該基板上の面とほぼ平行に備え、本体部材の他端部に、当該他端部と基板との間に微小物体を保持して当該微小物体の位置を固定する作用部を形成すると共に、本体部材のうち作用部と一端部との間の少なくとも一部を弾性部材にて形成し、微小物体は、集光された光を照射されて当該光の焦点位置に移動されることにより作用部と基板との間に介挿されて固定される物体である、という構成の微小物体固定装置をも提供している（請求項16）。すなわち、本体部材に受光部を形成しない構成を採っている。そして、かかる場合に、上記作用部の基板に対向する箇所の周囲に、外縁に向かうにつれて基板との間隙が大きくなるよう傾斜部を形成するとなお望ましい（請求項17）。

10

【0025】

このような構成にすることにより、微小物体に集光照射されると、かかる焦点位置に微小物体が捕捉されて、その焦点の移動に伴って微小物体も移動する。そして、照射光の焦点位置を移動することにより、本体部材の作用部外周から当該作用部のほぼ中心に微小物体を移動させることで、本体部材の弾性部材にて形成された箇所が上方に反り返るよう弾性変形し、作用部が上方に移動して微小物体が作用部の下部に滑り込む。従って、微小物体を作用部にて固定することができ、かかる場合に微小物体自体には作用部の下部に移動する際に照射するのみであるため、当該微小物体への光の照射時間の短縮化を図ることができる。そして、作用部の外周に傾斜を設けると、微小物体を容易に作用部に潜り込ませることができ、当該微小物体の固定を容易に行うことができる。

20

【0026】

そして、上記構成にて、作用部の基板に対向する箇所に、微小物体を許容する基板と反対方向にくぼんだ凹部、あるいは、貫通孔を形成すると（請求項18、19）、上述したように微小物体の損傷を抑制することができる。

【0027】

また、上記本体部材を、金やシリコン系の材料にて作製すると望ましい（請求項20、21）。これにより、ヤング率が高く、高弾性力を有する本体部材を作製することができ、微小物体を捕捉する際の可動性の向上を図ることができる。

30

【0028】

さらに、本体部材を集束イオンビーム励起によるアモルファスカarbon堆積法を用いてアモルファス状炭素にて作製すると望ましい（請求項22）。これにより、ビーム照射位置を制御することで、堆積物であるアモルファス状炭素の形状を任意に形成することができるため、固定する微小物体に対応した本体部材を容易に作製することができる。また、堆積物の成長速度を制御することにより、アモルファス状炭素のヤング率を任意に設定することができるため、固定する微小物体に応じて、固定力や可動性を重視した、適切な弾性力を有する本体部材を得ることができる。

40

【0029】

また、本発明では、基板に、一端部が固定されて当該基板上の面とほぼ平行に備えられた所定の長さを有する本体部材を、当該本体部材の一端部以外の箇所に形成された受光部に集光された光を受光することにより当該受光部を光の焦点位置に移動して本体部材を変形し、当該本体部材の一部を基板から離隔した状態に保ち、基板と本体部材との間隙に、微小物体に集光された光を照射して当該光の焦点位置に微小物体を移動し、本体部材の変形状態を解除して、基板から離隔している本体部材の一部を当該基板に近接するよう移動し、微小物体を基板と本体部材との間に固定する、という微小物体を固定する方法をも提供している（請求項23）。

50

【0030】

そして、基板に、一端部が固定されて当該基板上の面とほぼ平行に備えられた所定の長さを有する本体部材が備えられていて、当該本体部材の他端部には、当該他端部と基板との間に微小物体を保持して当該微小物体の位置を固定する作用部が形成されていると共に、本体部材のうち作用部と一端部との間の少なくとも一部が弾性部材にて形成され、微小物体に集光された光を照射して、本体部材の作用部と基板との間に微小物体を介挿するよう光の焦点位置に当該微小物体を移動して、本体部材の作用部が基板から離隔するよう本体部材を変形させることにより、微小物体を基板と本体部材の作用部との間に固定する、という方法をも提供している（請求項24）。

このようにしても、上述と同様に作用し、同様の効果を得ることができる。

10

【0031】

【発明の実施の形態】

〈第1の実施形態〉

以下、本発明の第1の実施形態を、図1乃至図5を参照して説明する。図1は、本発明の第1の実施形態における構成を示す概略図である。図2乃至図4は、本発明の具体的な構成を示す構成図である。図5は、本実施形態における動作を説明する説明図である。

【0032】

（構成）

図1に示すように、本発明である微小物体固定装置は、所定の基板1上に配設された所定の長さを有する本体部材2を備えている。そして、当該本体部材2の他端部3は開放端になっていると共に、その一端部4は基板1に固定されていて、本体部材2は、片持ち梁となっている。そして、他端部3の基板1側には作用部31が形成されていて、かかる作用部31と基板1との間に形成された間隙に微小物体5を保持するようになっている。以下、これを詳述する。

20

【0033】

（微小物体）

本発明である微小物体固定装置にて所定の基板上に固定する微小物体5は、例えば、細胞や微粒子といったミクロン（1メートルの100万分の1）オーダーの物体である。これら微小物体5は、後述するように、レーザを集光照射することで、その焦点に移動される（光トラップ力）。また、これに限らず、光を照射することで、微小物体5にかかる光圧力によっても移動される。そして、微小物体5は所定の実験や観察の対象物であり、その動きが固定されることが必要とされる。本発明では、後に詳述するように、基板1と作用部31とにより、固定されるようになっている。

30

【0034】

（基板）

基板1は、略直方体形状であって、その上面に本体部材2を固着している。また、当該上面は、平面となっていて、特に、本体部材2の他端部3付近は、微小物体を固定する平面部11を形成している。そして、その材質は、例えばガラスである。但し、基板の材質はガラスに限定されないが、透明部材であると望ましい。

【0035】

そして、本願では、ガラスにて形成することで、後述するように本体部材2や微小物体5を照射手段にて操作する際には、基板1の下部方向から操作することができる。従って、基板1の上方から操作することが抑制されるため、照射手段による光の照射が本体部材2等にて遮られることが抑制される。

40

【0036】

（本体部材）

本体部材2は、上述したように、その一端部4が基板1に固定されている。このとき、本体部材2の一端部4以外の箇所が基板1に対して所定の間隔を有した状態で、一端部4が固定され、片持ち梁状態となっている。但し、本体部材2のうち、少なくとも後述する作用部31が基板1から離れた状態になっていればよい。すなわち、一端部4を除いた本体

50

部材 2 のほぼ全体が基板に対して離れた状態に成っていなくてもよい。

【0037】

また、上記作用部 3 1 と基板 1 との距離は、例えば、微小物体 5 の高さよりも短く形成されている。これにより、微小物体 5 が作用部 3 1 と基板 1 との間から容易に離脱することが抑制され、確実に固定することができる。

【0038】

ところで、上記本体部材 2 は、必ずしも上記の状態、すなわち、基板 1 と隙間を有して当該基板 1 に備えられている必要はない。基板 1 に本体部材 2 全体が当接した状態にて備えられていてもよい。このようにすると、後述するように、基板 1 と本体部材 2 とで固定する微小物体 5 を挟むことになってしまい、当該微小物体 5 押しつぶしてしまうこともあり得る。しかし、例えば、微小物体 5 が粒状でなく、DNA などの紐状であるときには、その両端を 2 つの微小部材固定装置にて固定することで、観察する中央の箇所は保護することができる。そして、このように DNA を固定して、特定部位に吸着させた蛍光物質の蛍光などの輝度の弱い光を観察する場合には、当該特定部位にはレーザ光を照射していないため、その微小物質及び蛍光物質の保護効果は顕著である。

【0039】

(作用部)

そして、この本体部材 2 の他端部 3 には、当該他端部 3 と基板 1 との間隙に微小物体 5 を収容して当該微小物体 5 の位置を固定する作用部 3 1 が形成されている。また、本体部材 2 の作用部 3 1 と一端部 4 との間には、集光された光を受光することにより当該光の焦点位置に移動する受光部 6 が形成されている。

【0040】

作用部 3 1 は、当該作用部 3 1 の基板 1 に対向する箇所に、微小物体 5 を許容する基板 1 と反対方向にくぼんだ凹部 3 2 が形成されている。すなわち、作用部 3 1 は、下方に開口部を有する碗形状になっている。かかる凹部 3 2 は、対象物である微小物体 5 を収容することができる程度の大きさであって、当該微小物体 5 を押しつぶしてしまうことは抑制される。このとき、凹部 3 2 の形状を、微小物体 5 の形状よりも大きく形成することで、さらに微小物体 5 が押しつぶされてしまうことが抑制される。但し、作用部 3 1 の形状は、上記の形状に限定されるものではない。

ここで、作用部 3 1 は、本体部材 2 の他端部 3 に形成されていることに限定されない。作用部 3 1 は、他端部 3 と後述する受光部 6 との間に形成されていてもよく、一端部 4 と受光部 6 との間に形成されていてもよい。

【0041】

(受光部)

受光部 6 は、作用部 3 1 と一端部 4 との間に位置するが、具体的には、本体部材 2 の中央よりも作用部 3 1 側に位置して設けられている。そして、受光部 6 は、光が透過する部材にて形成されていると共に、略球体に形成されている。このように形成することで、球体である受光部 6 に、後述する照射手段（図示せず）から集光された光が照射されることにより、当該受光部 6 は光トラップ力にて、焦点位置に移動する。

【0042】

ここでいう光トラップ力とは、上述した光ピンセット技術で用いられる力である。レーザ光をレンズ等の集光手段を用いて集光し、この集光を非照射物体に照射させると、非照射物体内に入ったレーザ光は屈折率の違いにより当該運動量に変化が生じるが、かかる運動量を保存すべく被照射物体に力が生じる。この力が光トラップ力である（図 8 参照）。そして、この光トラップ力は、照射する光の波長、非集光物体の大きさ、形状、屈折率等の様々なパラメータによって大きく変化するが、ここでは必要とする力の大きさに応じて好適な条件に設定できる。

【0043】

また、受光部 6 の基板 1 に対向する箇所に、当該基板 1 に向かって突出する突起 6 1 が形成されている。但し、図 1 における突起とは、略球体である受光部 6 の下側がその役割を

果たしており、基板 1 と当接するようになっている。これにより、本体部材 2 において受光部 6 よりも先端側にある作用部 3 1 が、その自重により基板方向に垂れ下がることが抑制され、当該作用部 3 1 にて微小物体がつぶされることが抑制される。

【0044】

ここで、上記突起 6 1 は、受光部 6 にて形成されることに限定されない。本体部材 2 のうち、作用部 3 1 付近の基板 1 に対向する箇所に備えることで、上述したような効果を得ることができる。例えば、上記突起 6 1 を、受光部 6 と作用部 3 1 との間に形成してもよい。

【0045】

さらに、受光部 6 は、本体部材 2 の全体に形成されていてもよい。すなわち、本体部材 2 自体が光トラップ力を発生する形状に形成されていてもよい。例えば、本体部材 2 は主に長手方向に中心軸を有する円柱形状（棒状）にて形成されることで、かかる部分にレーザー光が照射されると光トラップ力が発生する。これにより、操作者は、本体部材 2 のいかなる箇所にレーザー光を照射しても作用部 3 1 を操作することができるので、装置自体の操作性の向上を図ることができる。ちなみに、本体部材 2 を半円柱形状にて形成しても、同様の効果を有する。

【0046】

（変形部）

また、本体部材 2 のうち、上記一端部 4 と受光部 6 との間は、あらゆる方向に変形可能な弾性部材にて形成されていて、変形部 7 を構成している。すなわち、変形部 7 は、ばね特性を有していて、一端部 4 を支点として他端部 3 である作用部 3 1 が上下左右方向に移動できるようになっている。従って、一端部 4 付近、つまり、固定端付近は、本体部材 2 の形状は線に近い形状である。具体的な形状については後述する。

【0047】

このとき、本体部材 2 のうち、弾性部材にて形成されている部分は、当該本体部材 2 の一部のみであってもよく、本体部材 2 全体が弾性部材にて形成されていてもよい。本体部材 2 全体が弾性特性を有することで、当該本体部材 2 が容易に弾性変形するようになるため、作用部 3 1 の移動が容易となる。

【0048】

但し、上記変形部 7 は、弾性部材で形成されていることに限定されない。塑性変形する部材でもよい。かかる場合には、受光部 6 を移動すると本体部材 2 の変形部 7 が塑性変形して、変形した状態に留まるが、さらに受光部 6 を光トラップ力にて移動して、作用部 3 1 を元の位置に戻すことにより、微小物体 5 を捕捉して固定することができる。従って、変形部 7 は、ヒンジ等により構成されるリンク機構となってもよい。

【0049】

（照射手段）

また、上述した基板 1 等の下方には、上記受光部 6 に光を照射する照射手段（図示せず）が備えられている。この照射手段は、光源と、レンズとを備えている。そして、光源には、高強度の平行光線を得やすいレーザー光を用いていて、かかるレーザー光をレンズにより集束して用いられる。ここで、レンズとは、例えば光学顕微鏡の対物レンズである。また、かかるレーザー光の焦点を、操作者が操作できるよう、操作手段も備えられている（図示せず）。

【0050】

また、上記照射手段とは別に、微小物体 5 が集光された光を受光することにより当該光の焦点位置に移動するよう当該微小物体 5 に光を照射する微小物体用照射手段（図示せず）をも備えている。当該微小物体用照射手段も上記照射手段と同様の構成となっている。

【0051】

そして、照射手段による光は、必ずしも所定のレンズにて集光されるものでなくてもよい。単に光を受光部 6 や微小物体 5 に照射するのみで、当該光の圧力によりこれらを移動してもよい。

10

20

30

40

50

【0052】

また、照射手段は、基板1の下方に備えられていることに限定されない。すなわち、受光部6や微小物体5への光の照射は、基板1の下方から行われることに限られず、上方から行われてもよい。但し、上述したように下方から照射することで、基板1は透明なガラス部材にて形成されていることから、光が遮られることが抑制され、光トラップによる受光部6や微小物体5の操作を容易に行うことができる。

【0053】

(具体的構成)

ここで、微小物体固定装置の構成の一例を、図2を参照して説明する。図2(a)は、本装置を上方から見た図であって、その作製途中を説明する説明図である。図2(b)は、図2(a)の側面図である。図2(c)は、作製された微小物体固定装置の側面図である。

10

【0054】

上述したように、基板1上には本装置の重要な役割を果たす本体部材2が備えられる。そして、その一端部4は基板1に固定されていて、他端部3には作用部31が形成されている。また、本体部材2の中央部より作用部31よりの所定箇所には、受光部6が形成されている。また、本体部材2は、後述するように、作用部31、受光部6、一端部4を除いては、図2(a)(b)に示すように、略線形状となっている。

【0055】

作用部31及び受光部6は、図示するように、円環状である。ただし、その外径と内径は異なっており、受光部6の方が大きく形成されている。作用部31の中心付近に形成された貫通孔33は、微小物体5よりも大きい径を有していて、当該微小物体5を空間部に許容するものである。従って、後述するように、基板1と作用部31との間隙よりも大きい微小物体5が当該作用部31にて捕捉された場合には、上記貫通孔33内部に微小物体5が位置するため、かかる貫通孔33にて微小物体5が取り囲まれるため、拘束されると共に保護される。また、受光部6を構成する本体部材2に形成された貫通孔62は、同様に受光部6を構成する球体63を嵌着する。すなわち、かかる例では、受光部6は、本体部材2に形成された貫通孔62と、当該貫通孔32よりも大きい径を有する球体63とにより構成されている。そして、球体63は、例えば、ポリスチレンビーズにて形成されている。

20

30

【0056】

また、一端部4は、略五角形状であって、当該端部4側が基板1に固着されている。また、一端部4の他端部3側は、段状に曲折されていて、かかる箇所よりも他端部3側自体が全体的に基板1に対して所定の隙間を有するようになっている。

【0057】

そして、本体部材2自体が弾性部材にて形成されていることと、他端部3、受光部6、一端部4以外の箇所は、細線形状であるため、当該本体2自体がばねとして作用する。すなわち、本体部材2は、サスペンド型構造となっている。当該サスペンド型構造を作製する方法を、以下に示す。

【0058】

まず、ガラス基板1上に、ネガ型フォトリソグレイドなどを用いて、厚さ1 μ m程度の犠牲層(レジスト層8)をパターンニングする。次に、図2(a)のような配置で本体部材2のパターンを作製する。本体部材2の材質に制限はないが、マスク蒸着により作製する場合、Au、Pt、Al、W、Ti等の金属や、炭化タングステン等の金属化合物、Si、SiO₂、SiN_xや、有機樹脂などが使用できる。また、光硬化性樹脂などをマスク露光によりパターンニングしたり、集束イオンビームを用いた化学気相堆積法によりアモルファス炭素や、炭化タングステンを直接パターンニングすることもできる。その後、レジスト犠牲層8を有機溶剤に溶解したり、酸素プラズマ処理などにより除去することで、サスペンド型構造を作製することが出来る。

40

【0059】

50

次に、受光部 6 の作製方法を説明する。受光部 6 を構成する球体 6 3 (ビーズ) には、使用する光に対して透明性が高い材質を用いる。例えば、ポリスチレン等の有機樹脂や、光学ガラスなどが適当である。形状は、球形に限定されることなく、両凸レンズ状であってもよい。ビーズを接着するために、ビーズを拡散させた溶液に本体部材 2 を作製した基板を浸し、光ピンセットを用いて、ビーズを図 2 (b) に示すように本体部材 2 に形成された受光部用の貫通孔 6 2 に配置する。このとき溶液に、乾燥硬化性の樹脂を少量溶解させておくと、溶液を除去、乾燥させたときに、当該接着用樹脂 9 にてビーズ 6 2 と本体部材 2 とが接着する。その他の接着方法としては、荷電粒子ビームをビーズとマニピュレータの接触部付近に照射して、雰囲気中のガスの分解物を堆積させ接着しても良い。

【0060】

また、ビーズ接着と、レジスト犠牲層除去工程の順番は実施例に記述した順でなくても良い。そして、溶剤への浸漬や、真空装置への導入など共通する工程を含む場合には、同時に行うことも出来る。

【0061】

ここで、本体部材 2 の材質に内部ストレスの少ない金を使用した場合の作成例を説明する。電子ビーム露光により、細線部 (変形部 7) の幅 150 nm、厚さ 150 nm、全長約 40 μm の金の本体部材 2 を作製する。変形部 7 の長さは約 30 μm で、その先端に受光部 6 として直径 3 μm のポリスチレンビーズ 6 3 を接着しやすくするための内径 2.5 μm 程度の円形のホルダ (貫通孔 6 2) を形成する。さらに本体部材 2 先端には、作用部 3 1 として内径 2 μm 程度の同様のホルダ (貫通孔 3 3) を形成し、対象物の固定が容易となる。

【0062】

このとき、変形部 7 のバネ定数は、約 $3.3 \times 10^{-4} \text{ N/m}$ となる。固体レーザ (例えば、ネオジムドープのイットリウムリチウムフロライド結晶を使ったレーザ) 等を用いた光ピンセットシステムでポリスチレンビーズを操作する場合、最大 1 nN 程度のトラップ力を得ることができる。このとき、変形部 7 の先端すなわち作用部 3 1 において、当該作用部 3 1 の元の位置と比較して 4 μm 以上の変位を得ることができる。

【0063】

次に、本装置の材料として、特に Si 系材料を使用した例を、図 3 を参照して説明する。具体的には、 SiO_2 、 SiN_x を使ったシリコン酸化膜製の本体部材 2 の作製例を説明する。図 3 (a) ~ (g) は、微小物体固定装置の作製手順を示す説明図である。

【0064】

まず、150 nm 程度の厚さシリコン酸化物 2 1 で表面全体が被われたシリコン基板 8 1 を準備する (図 3 (a))。このシリコン基板の背面の酸化膜 2 1 を、リソグラフィなどを用いて一部除去し (図 3 (b))、TMAH (テトラメチルアンモニウムハイドレート) 溶液や、水酸化カリウム溶液などに浸漬すると、シリコン基板部 8 1 がエッチングされて、図 3 (c) に示すようなシリコン酸化膜 2 1 だけが残るメンブレン構造を得ることができる。

【0065】

続いて、酸化膜が残る表面側にレジストを塗布、同じくリソグラフィにより上述した作製例の場合と同様の大きさ、形状の本体部をパターンニングし、レジストの現像、ドライエッチングによるパターン転写を経て、サスペンド構造の本体部材 2 を得る (図 3 (d), (e))。このとき、シリコン酸化膜のヤング率は金と同様の 70 GPa 程度なので、このように作製された本体部材 2 は、上記と同様の可動性能を有する。また、シリコン酸化物の代わりに、シリコン窒化物を用いることもできる。シリコン窒化物はヤング率が高いので、強い弾性力を得ることができる。

【0066】

続いて、100 nm 程度の PMMA (ポリメチルメタクリレート) を塗布したガラスなどの透明基板表面と、シリコン基板の本体部材 2 を作製した表面を向かい合わせて張りつける (図 3 (g))。PMMA が硬化した後、本体部材 2 とガラス基板 1 を接着する部分の

10

20

30

40

50

PMMAは、有機溶剤などで軽く洗浄して除去する。

【0067】

張り合わせ構造にする利点は、本体部と基板の隙間の制御が容易なことと、シリコン基板など可視光に不透明な基板上に本体部材2を作製した場合でも、ガラス基板などの透明な基板上に用意に微小物体固定装置を設置することができることなどである。

【0068】

最後に、上述したのと同様に、受光用のビーズ63を接着する。または、シリコン酸化物やシリコン窒化物は絶縁体で可視光に対して透明であるので、本体と同じ材質で受光部6を作製することが可能である。その場合、受光部6となる部分の形状を光トラップに適した形にするとよい。具体的には光の波長以上の幅、長さ、高さなどを持たせるとよい。また、本体部材2と同じ材質で受光部を作ること、後から受光用ビーズ63を接着する必要がなくなり、作製の工程数が少なくてすむ。また、シリコン酸化物やシリコン窒化物は膜の作製条件を変えることで、サスペンド構造を作製した時に反った状態にすることができる(図3(f))。これを利用して、接着する透明基板との隙間の大きさや、押さえつける力を制御することができる。

【0069】

また、材料にアモルファスカーボンを使った例を図4を参照して説明する。すなわち、集束イオンビーム(FIB)励起によるアモルファスカーボン堆積法を用いてマニピュレータの作製する例を説明する。図4(a)～(c)は、その作製例を示す説明図である。

【0070】

まず、フェナントレンやピレンなどの芳香性炭化水素ガスが 1×10^{-4} Pa程度の分圧で存在する真空中で、加速電圧30 keV、ビーム電流5 pA以下のGa⁺FIBを基板に照射すると、直径100 nm以下の局所にビーム励起反応による炭化水素ガスの分解生成物が堆積する。そのまま、一定点で照射を続けるとビーム照射方向に最大100 μm、直径100 nm程度のピラーを作製することができる。

【0071】

さらに、堆積物の成長スピードと同程度の速度でビーム照射位置を移動すると、ビーム照射位置を追うように、斜め方向に堆積物が生成する。この原理を利用することでピラーの成長中に、ピラーの断面形状を任意に変えることができる。この分解生成物の成分は、アモルファスカーボンで、成長速度に依存してヤング率も100～600 GPaの範囲で制御することができる。具体的には、供給する炭化水素のガス分圧を上げて、高速に成長させるとヤング率は低く、逆に低速で成長させるとヤング率は高くなる。これを用いることにより、例えば、受光部6と一端部との間の部分(変形部7箇所)は、変形しやすいようにヤング率を低く形成し、受光部6と他端部との間の部分はヤング率を高くするということが可能である。またアモルファスカーボンの場合、ヤング率の高低により炭素の結合状態に違いが生じるため、透明度も変化する。従って、用途によって成長速度を制御することによって透明度を調整することも可能である。このため、受光部6部分を、光トラップ力を発生させるために十分な透明度に形成することができる。

【0072】

図4(a)は、FIB励起によるアモルファスカーボンで作製した微小物体固定装置である。まず、基板1上に、長さ30 μm、直径100 nmのピラー1(P1)を作製する。続いて、ピラー1から100 nm～数μm離れた位置に、長さ33 μm、直径100 nmのピラー2(P2)を作製する。さらにピラー2の先端には、受光部6として同じくFIB励起により直径1 μm程度の球体を作製することで、微小物体固定装置を得る。

【0073】

そして、ピラー2の先端を、100 mW、スポット径約1 μmのアルゴンイオンレーザーにより光トラップを試みた結果、光トラップが可能で、少なくとも5 μm程度のたわみを観測した。力にして1nN程度のトラップ力に対応する。このようにすることで、ピラー1と、ピラー2の間に、微小物体を固定することができる固定装置を作製することができる。つまり、ピラー1自体が基板1と同様の働きを果たし、ピラー1自体とピラー2の棒状

10

20

30

40

50

部分にて微小物体を挟むことができる。従って、ピラー 2 の棒状の部分は変形部 7 でもあり、作用部 3 1 も兼ねている。ピラー 1 とピラー 2 の間の距離は、微小物体の大きさに合わせて選ぶことができる。

【0074】

また、図 4 (b) に示すようにピラー 1 の代わりに、ガラス基板 1 表面を使用することも出来る。すなわち、ピラー 2 を作製した部材 (シリコン基板 8 1) をガラス基板 1 に固定することで、固定装置を作製することができる (図 4 (c) 参照)。

【0075】

その作製手順を詳述すると、まず、本体部材 2 となりうるシリコン基板 8 1 の劈開面 1 0 1 などの端部に、高速成長にてヤング率の低いつまり弾性変形しやすい特性を持つ変形部 7 を作製する。次に、F I B を照射する範囲を徐々に広げ受光部 6 を作製する。さらに、先端に低速成長にて高強度の作用部 3 1 を作製するか、受光部 6 自身を作用部 3 1 として使う。作用部 3 1 を低速成長で作製することで、直接他の物体と接触する作用部 3 1 の耐久性をあげることができる。最後に、このシリコン基板 2 をガラス基板 1 などに接着剤 1 0 2 等を用いて張り合わせることで、固定装置を得ることができる。Ga F I B で作製したアモルファスカーボン、不純物として Ga を含んでいる。このガリウムは、500 度以上の高温処理によって、除去することができる。その結果、光吸収の低減や、ヤング率の増大などの効果を得ることができる。

【0076】

(動作)

次に、本実施形態における動作を、図 5 を参照して説明する。図 5 (a) は、受光部 6 及び固定対象である微小物体 5 にレーザ光を照射している状態を示す説明図である。図 5 (b) は、微小物体 5 を固定している状態を示す説明図である。

【0077】

まず、図 5 (a) に示すように、図示しない照射手段にて受光部 6 に集光照射し、その焦点を受光部 6 の元の位置よりも上方に移動する。すると、本体部材 2 の変位部 7 が弾性変形することにより、受光部 6 が上方に移動する (矢印 A 1 参照)。すなわち、光ピンセット技術にて受光部 6 を移動する。これに伴い、本体部材 2 の一端部 3 に形成された作用部 3 1 も上方に移動する。このとき、照射手段は、基板 1 の下方、すなわち、図 5 の下方向に備えられていて、レーザ光 L 1, L 2 は、同様に下方から受光部 6 及び微小物体 5 に照射されている。これにより、レーザ光 L 1, L 2 は、ガラス基板 1 を透過して確実に受光部 6 や微小物体 5 に照射されるため、微小物体固定装置の操作性の向上を図ることができる。すなわち、上方からの照射であると、微小物体 5 を照射している際に、レーザ光 L 2 が本体部材 2 にて遮られるおそれも生じるが、上記の場合にはかかる不都合は抑制される。

【0078】

続いて、作用部 3 1 の位置を元の位置より上方に移動した状態に保ったまま、図示しない他の照射手段 (微小物体用) から微小物体 5 に集光照射することで、すなわち、光ピンセット技術を用いることで、固定したい微小物体を作用部 3 1 の直下に移動し (矢印 A 2 参照)、その場で保持する。その後、受光部 6 に集光照射している照射手段からのレーザを遮断することで、変形部 7 に弾性復元力が働き、本体部材 2 が元の形状に戻る。すると、図 5 (b) に示すように、作用部 3 1 に形成された凹部 3 2 に微小物体 5 が収まり、当該微小物体 5 は基板 1 と、凹部 3 2 の内面により、その位置が固定される。このとき、レーザを遮断して作用部 3 1 を微小物体 5 の上部から移動させることに限らず、レーザにて受光部 6 の位置を操作して、作用部 3 1 が微小物体 5 の上部に覆い被さるよう、操作してもよい。

【0079】

このようにすることにより、微小物体 5 が作用部 3 1 に形成された凹部に収まり、当該作用部 3 1 と基板 1 との間にて固定することができる (図 5 (b) 参照)。このとき、微小物体 5 へのレーザの照射は、当該微小物体 5 を作用部 3 1 直下に移動するときに照射した

だけであって、その時間は短いため、光照射による微小物体 5 の破壊、変質等を抑制することができる。また、従来は、微小物体 5 を固定するために利用していた照射手段である光学系を他の用途に使用できるため、光ピンセットシステムの効率を高めることができる。

【0080】

さらに、本体部材 2 の駆動に光を用いることで、従来のピンセット型マニピュレータに比べ、単純な構造にすることができ、同時に、圧電体や光歪素子などの特別な機能を持った材料を必要としないため、低コストで大量生産が可能である。さらに、光が照射される受光部 6 は、ポリスチレンビーズやガラスを利用しているため、微小物体 5 を保持する作用部 31 を一部に有する本体部材 2 自身が、光吸収による発熱を伴わないので、本体部材 2 自体及び微小物体 5 の加熱破壊、変質等をより抑制することができる。

10

【0081】

ここで、本体部材 2 の変形部 7、作用部 31 の形状や、受光部 6 のポリスチレンビーズの大きさ、各部の配置や、本体部材 2 と基板 1 との間隔は、上記のものに限定されず、効率良く物体を固定するために、固定する対象である微小物体 5 によって選択される。

【0082】

また、一般に光トラップ力や光圧力は、 pN から nN オーダーの弱い力であるので、変形部 7 は弱い力でも変形しやすいように、長さ／断面積の比を大きくするとよい。また、受光部 6 については光トラップ力を大きくするために、直径が用いるレーザの波長の 1 から数倍程度で、屈折率が高い球体を用いるとよい。光圧力を大きくするには、反射率が高く面積の広いミラーを用いればよい。

20

【0083】

（他の動作例）

ここで、上記とは異なる動作例を説明する。この動作例では、特に、本体部材 2 の変形部 7 があらゆる方向に変形可能であると共に、多少、その長手方向にも伸縮可能である弾性部材を使用した本体部材 2 を用いることとする。

【0084】

そして、本体部材 3 の作用部 31 の元の位置付近に、固定対象である微小物体 5 が存在している場合には、受光部 6 に光を照射し、光駆動力によって変形部が変形することで、作用部 31 の位置を制御し、これにより、微小物体 5 を捕捉する。すなわち、上述したように、微小物体 5 にレーザ光を照射して移動することなく、受光部 6 にのみ集光照射することで、微小物体 5 の上方から作用部 31 が覆い被さるよう、作用部の位置を移動する。

30

【0085】

このようにすることにより、直接微小物体 5 に光を照射せずに、作用部 31 にて固定することができる。当該微小物体 5 に対して他の処理を施すことができる。その結果、光照射による微小物体の破壊、変質を防ぐことができる。

【0086】

〈第 2 の実施形態〉

次に、本発明の第 2 の実施形態について、図 6 を参照して説明する。図 6 は、本実施形態における構成を示す側面図である。

40

【0087】

（構成）

本実施形態における微小物体固定装置は、上述した第 1 の実施形態における装置とほぼ同様の構成要素を備えている。そして、当該第 2 の実施形態では、さらに、本体部材 2 に形成された作用部 31 の周囲に対向する基板 1 上の所定箇所に、本体部材 2 の方向に突出して当該本体部材 2 を吸着する吸着突起部 10 を備えている。

【0088】

吸着突起部 10 は、作用部 31 の再端部、すなわち、本体部材 2 の最先端部付近の基板 1 上に備えられていて、基板 1 と作用部 31 との間に形成された隙間よりも高さの低い突起である。従って、当該突起部 10 の上端部と作用部 31 との間には、依然として所定の隙

50

間が生じている。そして、この吸着突起部 10 の上端部に作用部 31 が接触すると、分子間力、残留電荷の静電気力、化学吸着力等が接触面に働く。これにより、作用部 31 が吸着突起部 10 に当接した状態で保持されることとなる。すなわち、吸着突起部 10 はラッチ機能を有する。

【0089】

例えば、本体部材 2 及び吸着突起 10 に金を用いる場合には、本装置をアルカンチオール溶液に浸しておくことにより、本体部材 2 及び吸着突起部 10 に吸着したアルカンチオール分子のアルキル基同士の化学吸着力により、両者が吸着する。本体部材 2 及び吸着突起 10 を絶縁体で作製した場合、残留電荷による静電気力や分子間力により吸着する。また、本体部材 2 及び吸着突起 10 をマスク蒸着などで作製した Cr などの磁性体を用いることで、かかる場合にも吸着する。

10

【0090】

(動作)

ここで、上述したラッチ機能が作用する際の動作について説明する。まず、第 1 の実施形態と同様に、受光部 6 にレーザ光を集光照射することにより、作用部 31 の位置を移動して当該作用部 31 にて微小物体 5 を捕捉する。このとき、上述したように、微小物体 5 にレーザ光を集光照射して、当該微小物体 5 を移動してもよい。そして、これと同時に、あるいは、受光部 6 をレーザ光にて基板方向に移動することにより、作用部 31 も基板 1 方向に移動し、当該作用部 31 の先端部が吸着突起部 10 に接触する。これにより、吸着突起部 10 に働く吸着力により、作用部 31 と吸着突起部 10 が固定され、作用部 31 と基板 1 との間に捕捉された微小物体 5 の位置も固定される。

20

【0091】

このようにすることにより、作用部 31 の位置が固定されるため、安定して微小物体 5 を保持することができる。従って、装置に外力が働いたり、ユーザの誤操作などにより、ユーザが意図しないときに作用部 31 が持ち上がることが抑制され、一度固定した微小物体 5 を逃すというような事態が発生することが抑制される。このため、ユーザが固定された微小物体に対して行う作業を効率よく実行することができ、当該ユーザの利便性の向上を図ることができる。

【0092】

〈第 3 の実施形態〉

30

次に、本発明の第 3 の実施形態について、図 7 を参照して説明する。図 7 (a) は、図 7 (a)、(b) は、それぞれ第 3 の実施形態における構成の一例を示す部分構成図である。

【0093】

(構成)

本実施形態においては、上述した第 1 の実施形態とほぼ同様の構成要素を備えているが、このうち、上述した受光部 6 及び当該受光部 6 にレーザ光等を照射する照射手段 (図示せず) を備えていない。すなわち、本体部材 2 は、その一端部 3 に作用部 31 が備えられていて、他端部 4 が基板 1 に固定されているだけであって、両端部以外は細線形状となっている。そして、かかる場合であっても、細線形状部分は、弾性部材にて形成されていればね特性を有する。ちなみに、このとき、作用部 31 と微小物体 5 との距離は、微小物体 5 の高さよりも、やや短く形成されている (図 7 (a) 参照)。

40

【0094】

また、備えていない照射手段は上述した受光部用のものであって、本実施形態では、微小物体 5 に所定の光を集光して照射することにより当該微小物体を移動する微小物体用照射手段 (図示せず) を備えている。すなわち、一の照射手段は備えている。

【0095】

(動作)

次に、当該第 3 の実施形態における動作を、図 7 (a) を参照して説明する。まず、微小物体 5 に基板 1 下方からレーザ光 L2 が集光照射されると、かかる焦点位置に微小物体 5

50

が捕捉されて（光ピンセット技術によりトラップされて）、その焦点の移動に伴って微小物体も移動する（矢印A 3参照）。そして、レーザ光L 2の焦点位置を本体部材2の作用部3 1上部に移動することで、微小物体5は作用部3 1に向かって移動するが、このとき微小物体5の上部は作用部3 1の外周部に当接する。

【0096】

そして、さらに微小物体5の移動を続け、本体部材2の作用部3 1外周から当該作用部3 1のほぼ中心に微小物体5を移動させると、本体部材3の弾性部材にて形成された箇所が上方に反り返るよう弾性変形し、作用部3 1が上方に移動して（矢印A 4参照）、微小物体5が当該作用部3 1の下部に滑り込む。すなわち、光トラップにて移動される微小物体5自体が本体部材2の作用部3 1を上方に押し上げるよう作用し、当該作用部3 1と基板1との間に入り込む。また、同様にして、作用部3 1にて固定されている微小物体5を、当該作用部3 1から取り出すこともできる。

10

【0097】

このようにすることにより、上記実施形態の場合と同様に、微小物体5を固定することができると共に、上述したような本体部材2に受光部6を形成することなく、さらには、照射手段も2つを必要としないため、構成の簡略化を図ることができ、製造コストの削減を図ることができる。そして、微小物体5自体には、作用部3 1の下部に移動する際にレーザ光等を照射するのみであるため、当該微小物体5への光の照射時間は、従来例における光トラップによる固定の場合と比較して短縮化を図ることができ、照射による微小物体5の損傷を抑制することができる。

20

【0098】

ここで、本実施形態において、図7（b）に示すように、作用部3 1の基板1に対向する箇所の周囲に、外縁に向かうにつれて基板1との間隙が大きくなるよう傾斜部3 4を形成してもよい。すなわち、円環状である作用部3 1の外周が、基板1方向に向かってその直径が小さくなるテーパ状になっている。同様の構造は、レジスト犠牲層8作製時に露光量制御によって予めテーパを設けておくか、集束イオンビームによる局所エッチングなどにより作製することができる。このように、傾斜部3 4を設けることで、微小物体5を容易に作用部3 1の下部に潜り込ませることができ、微小物体5を光ピンセットにて操作するユーザの操作が容易となり、当該ユーザの利便性の向上を図ることができる。

30

【0099】

【発明の効果】

本発明は、以上のように構成され機能するので、これによると、微小物体を固定する作用部が形成された本体部材に、光を焦点照射して駆動する受光部を備えたので、かかる受光部を操作することにより作用部の位置を操作することができ、これにより微小物体を捕捉して固定することができるため、微小物体に直接光を照射する必要がなく、また、微小物体を固定する作用部自体に光を照射していないので、微小物体が加熱されることが抑制され、当該微小物体の変質や破壊、損傷などを抑制することができると共に、容易に微小物体を固定することができる、という従来にない優れた効果を有する。

【0100】

そして、光ピンセット技術のように強い光を必要とせず、一旦固定してしまえばその後さらに観察時に光を照射する必要がないため、例えばDNAなどの微小物体を固定して特定部位に吸着させた蛍光物質の蛍光などを観察する場合には、当該蛍光の輝度の弱い光を容易に観察することができ、研究、実験などの容易化、迅速化を図ることができる。

40

【0101】

また、受光部に、光が透過する部材からなる球体を用いることで、受光部に集光照射による光トラップ力が発生し易くなり、当該受光部の位置すなわち作用部の位置を精度よく操作することができるため、効率よく微小物体を捕捉して、固定することができる。

【0102】

また、微小物体用照射手段を備えた場合には、微小物体に集光照射して当該微小物体の位置を移動することができるため、作用部の真下に微小物体を移動することで、作用部から

50

離れた箇所位置する微小物体をも当該作用部にて捕捉して固定することができ、ユーザの利便性の向上を図ることができると共に、かかる場合であっても、微小物体への光の照射時間が従来例と比較して減少するため、当該光による微小物体の変質、破壊等を抑制することができる。

【0103】

さらに、微小物体にのみ光を照射して、光トラップにて微小物体を移動して作用部の下部に当該微小物体を潜り込ませる場合には、受光部やこれに光を照射する照射手段を備える必要がないため、装置自体の構成の簡略化を図ることができ、製造コストの削減を図ることができる。そして、かかる場合にも、微小物体自体には作用部の下部に移動する際に光を照射するのみであって、作用部にて固定しているときには微小物体に光を照射していないため、当該微小物体への光の照射時間の短縮化を図ることができ、照射による微小物体の損傷を抑制することができる。

10

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施形態における構成を示す概略図である。

【図2】本発明の第1の実施形態における構成の具体的な一例を示す構成図である。図2(a)は、その形成過程を説明する上面図であり、図2(b)はその側面図である。図2(c)は、その完成図を示す側面図である。

【図3】図3(a)～(g)は、第1の実施形態における構成を、Si系材料を用いて作製する際の作製手順を示す説明図である。

【図4】図4(a)～(c)は、第1の実施形態における構成を、アモルファスカーボンを用いて作製する際の作製手順を示す説明図である。

20

【図5】本発明の第1の実施形態における動作を説明する説明図である。図5(a)は、動作中の様子を示す図であり、図5(b)は、微小物体を固定してる状態を示す図である。

【図6】本発明の第2の実施形態における構成を示す構成図である。

【図7】本発明の第3の実施形態における構成の一部を示す構成図である。図7(a)、(b)は、それぞれ、その構成の一例を示す構成図である。

【図8】光ピンセット技術の原理を説明する説明図である。図8(a)、(b)は、微小物体がレーザの焦点位置に移動する際の動作の前後を示す説明図である。

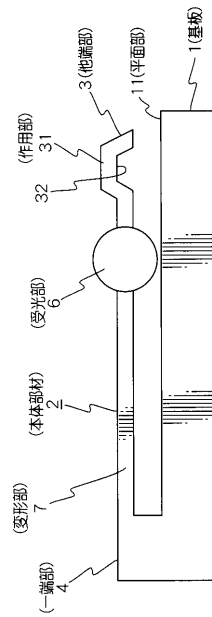
30

【符号の説明】

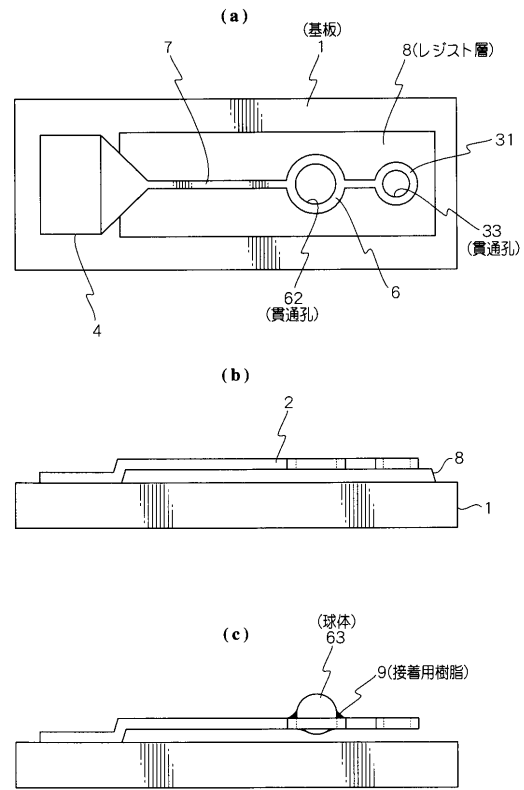
- 1 基板（ガラス基板）
- 2 本体部材
- 3 他端部
- 4 一端部
- 5 微小物体
- 6 受光部
- 7 変形部
- 10 吸着突起部
- 11 平面部
- 31 作用部
- 32 凹部
- 33 貫通孔（作用部側）
- 34 傾斜部
- 61 突起
- 62 貫通孔（受光部側）
- L1, L2 レーザ光
- P1, P2 ピラー

40

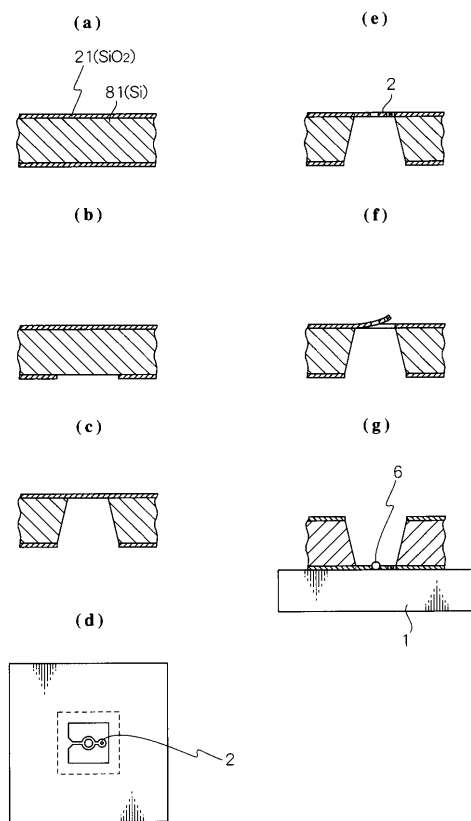
【図 1】



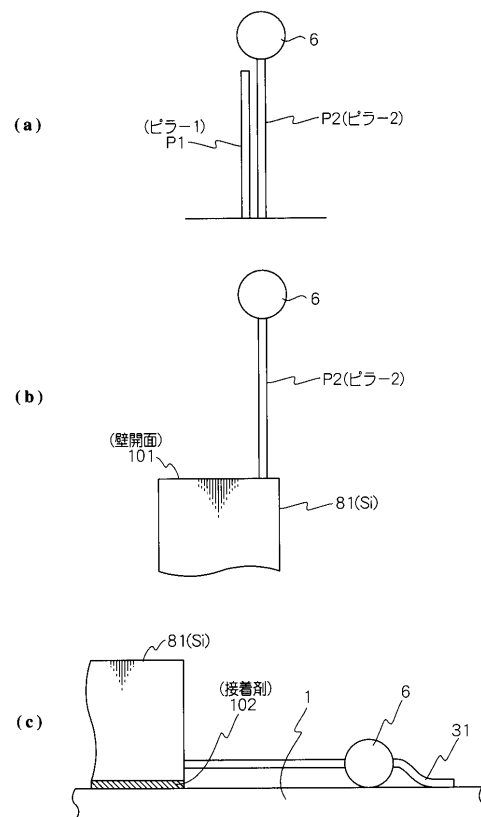
【図 2】



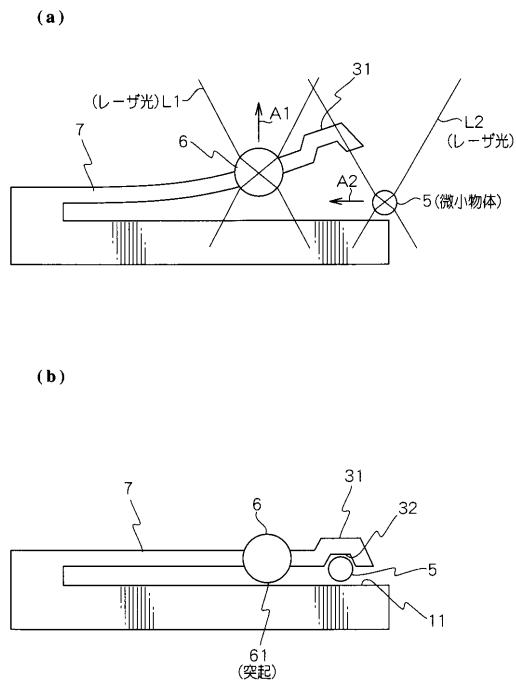
【図 3】



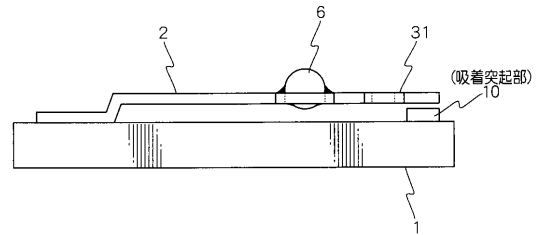
【図 4】



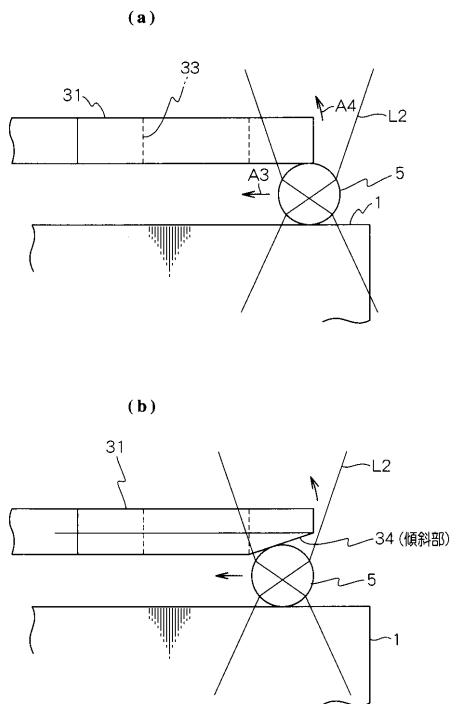
【図 5】



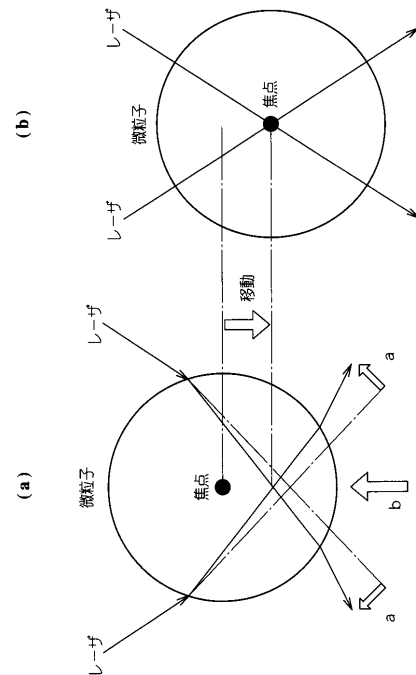
【図 6】



【図 7】



【図 8】



フロントページの続き

(58)調査した分野(Int.Cl., D B名)

B81B 3/00

B81C 1/00