

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2018-64445  
(P2018-64445A)

(43) 公開日 平成30年4月19日(2018.4.19)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>HO2N 11/00 (2006.01)</b>	HO2N 11/00 A	5G301
<b>B82Y 30/00 (2011.01)</b>	B82Y 30/00	5G307
<b>HO1B 5/02 (2006.01)</b>	HO1B 5/02 A	
<b>HO1B 5/14 (2006.01)</b>	HO1B 5/14 Z	
<b>HO1B 1/04 (2006.01)</b>	HO1B 1/04	

審査請求 有 請求項の数 5 O L (全 25 頁)

(21) 出願番号 特願2017-172738 (P2017-172738)  
 (22) 出願日 平成29年9月8日(2017.9.8)  
 (31) 優先権主張番号 201610890804.2  
 (32) 優先日 平成28年10月12日(2016.10.12)  
 (33) 優先権主張国 中国 (CN)  
 (31) 優先権主張番号 201610890254.4  
 (32) 優先日 平成28年10月12日(2016.10.12)  
 (33) 優先権主張国 中国 (CN)

(71) 出願人 598098331  
 ツインファ ユニバーシティ  
 中華人民共和国 ベイジン 100084  
 , ハイダン ディストリクト  
 (71) 出願人 500080546  
 鴻海精密工業股▲ふん▼有限公司  
 台湾新北市土城區中山路66號  
 (74) 代理人 110002262  
 T R Y 国際特許業務法人  
 (72) 発明者 馬 赫  
 中華人民共和国北京市海淀区清華園一号  
 (72) 発明者 魏 洋  
 中華人民共和国北京市海淀区清華園一号  
 (72) 発明者 劉 ▲カイ▼  
 中華人民共和国北京市海淀区清華園一号  
 最終頁に続く

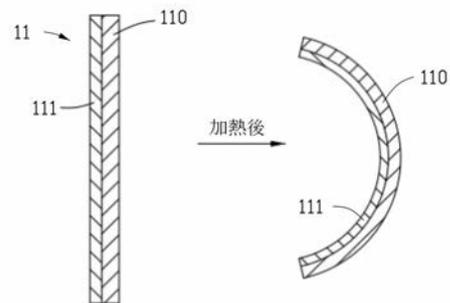
(54) 【発明の名称】 アクチュエータ及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】本発明は、アクチュエータ及びその製造方法に関する。

【解決手段】本発明のアクチュエータは、カーボンナノチューブ構造体と、二酸化バナジウム構造体と、を含む。カーボンナノチューブ構造体及び二酸化バナジウム構造体は積層して設置される。また、本発明は、アクチュエータの製造方法を提供する。

【選択図】 図1



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

カーボンナノチューブ構造体と、二酸化バナジウム構造体と、を含むアクチュエータであって、

前記カーボンナノチューブ構造体及び前記二酸化バナジウム構造体は積層して設置されることを特徴とするアクチュエータ。

**【請求項 2】**

前記アクチュエータは、少なくとも一枚のカーボンナノチューブフィルムを含み、

前記少なくとも一枚のカーボンナノチューブフィルムは、前記二酸化バナジウム構造体の内部に設置され、前記少なくとも一枚のカーボンナノチューブフィルムと前記二酸化バナジウム構造体とは複合構造体に形成され、

前記少なくとも一枚のカーボンナノチューブフィルムは前記カーボンナノチューブ構造体と間隔をあけて設置されることを特徴とする請求項 1 に記載のアクチュエータ。

**【請求項 3】**

前記二酸化バナジウム構造体は元素がドーパされた二酸化バナジウム構造体であることを特徴とする請求項 1 に記載のアクチュエータ。

**【請求項 4】**

アクチュエータと、励起装置と、を含むアクチュエータの応用システムであって、

前記アクチュエータはカーボンナノチューブ構造体と、二酸化バナジウム構造体と、を含み、

前記カーボンナノチューブ構造体及び前記二酸化バナジウム構造体は積層して設置されることを特徴とするアクチュエータの応用システム。

**【請求項 5】**

カーボンナノチューブ構造体を提供する第一ステップと、

前記カーボンナノチューブ構造体の表面に、バナジウム酸化物層を設置する第二ステップと、

酸素の雰囲気の前記バナジウム酸化物層をアニールして、二酸化バナジウム構造体を形成する第三ステップと、を含むことを特徴とするアクチュエータの製造方法。

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】****【0001】**

本発明は、アクチュエータに関し、特にカーボンナノチューブを含むアクチュエータ及びその製造方法に関する。

**【背景技術】****【0002】**

アクチュエータは、電気エネルギーを機械エネルギーに変換させるデバイスである。また、アクチュエータは、電歪アクチュエータ、電磁気アクチュエータ及び電熱アクチュエータの 3 種類に分類することができる。従来の電熱アクチュエータは、ポリマーを主体とするフィルム状の構造体であるため、電流によって、ポリマーの温度を上昇させて体積を膨張させる。これにより、電熱アクチュエータを動作させる。従って、電熱アクチュエータの材料は、優れた導電性、柔軟性、熱安定性を有する必要がある。

**【0003】**

従来の技術においては、カーボンナノチューブを含む複合材料を採用して、電熱アクチュエータ用の電熱複合構造体を形成することがある。具体的には、カーボンナノチューブを含む電熱複合構造体は、柔軟性を有する高分子構造体及び該柔軟性を有する高分子構造体に分散されたカーボンナノチューブを含む。カーボンナノチューブを含む電熱複合構造体に通電して熱を発生させ、カーボンナノチューブを含む電熱複合構造体の体積を膨張させ、湾曲させ、電熱アクチュエータを動作させる。しかし、電熱複合構造体の変形量は制限があり、しかも反応速度が遅い。

**【先行技術文献】**

10

20

30

40

50

## 【特許文献】

【0004】

【特許文献1】中国特許出願公開第101239712号明細書

## 【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

本発明の目的は、前記課題を解決するための大きい変形量及び速い反応速度を有するアクチュエータ及びその製造方法を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明のアクチュエータはカーボンナノチューブ構造体と、二酸化バナジウム構造体と、を含み、カーボンナノチューブ構造体及び二酸化バナジウム構造体は積層して設置される。

【0007】

本発明のアクチュエータの応用システムはアクチュエータと、励起装置と、を含み、アクチュエータはカーボンナノチューブ構造体と、二酸化バナジウム構造体と、を含み、カーボンナノチューブ構造体及び二酸化バナジウム構造体は積層して設置される。

【0008】

本発明のアクチュエータの製造方法はカーボンナノチューブ構造体を提供する第一ステップと、カーボンナノチューブ構造体の表面に、バナジウム酸化物層を設置する第二ステップと、酸素の雰囲気中でバナジウム酸化物層をアニールして、二酸化バナジウム構造体を形成する第三ステップと、を含む。

【発明の効果】

【0009】

従来の技術に比べて、本発明のアクチュエータは以下の優れる点がある。アクチュエータはカーボンナノチューブ構造体と、二酸化バナジウム構造体と、を含む。カーボンナノチューブ構造体及び二酸化バナジウム構造体は積層して複合構造体を形成する。二酸化バナジウム構造体が相転移する際、二酸化バナジウム構造体の変形量は大きく、且つ反応速度は速い。これにより、アクチュエータの変形量は大きく、且つ反応速度は速い。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】本発明の実施例1におけるアクチュエータの構造を示す図である。

【図2】本発明の実施例1におけるアクチュエータの製造方法のフローチャートである。

【図3】本発明の実施例2におけるアクチュエータの構造を示す図である。

【図4】本発明の実施例2におけるアクチュエータの製造方法のフローチャートである。

【図5】本発明の実施例3におけるアクチュエータの構造を示す図である。

【図6】本発明の実施例3におけるアクチュエータの製造方法のフローチャートである。

【図7】本発明の実施例4におけるアクチュエータの構造を示す図である。

【図8】本発明の実施例4におけるアクチュエータの製造方法のフローチャートである。

【図9】本発明の実施例5におけるアクチュエータの構造を示す図である。

【図10】本発明の実施例6におけるアクチュエータの応用システムの構造を示す図である。

【図11】本発明の実施例6におけるアクチュエータの応用システムの製造方法のフローチャートである。

【図12】本発明の実施例6におけるアクチュエータの走査型電子顕微鏡（SEM）写真である。

【図13】本発明の実施例6におけるアクチュエータの局所のSEM写真である。

【図14】本発明の実施例6におけるアクチュエータの透過電子顕微鏡（TEM）写真である。

【図15】本発明の実施例6におけるアクチュエータのEDX（EDX）（Energy

10

20

30

40

50

Dispersive X-ray) スペクトルである。

【図 16】本発明の実施例 6 におけるアクチュエータのラマン散乱スペクトルである。

【図 17】本発明の実施例 7 におけるアクチュエータの応用システムの構造を示す図である。

【図 18】本発明の実施例 8 におけるアクチュエータの応用システムの構造を示す図である。

【図 19】本発明の実施例 8 におけるアクチュエータの局所の SEM 写真である。

【図 20】本発明の実施例 8 におけるアクチュエータの EDS スペクトルである。

【図 21】本発明の実施例 8 における 32 から 46 まで加熱する際の湾曲のアクチュエータの光学写真である。

10

【図 22】温度は常温 26 及び 50 である際、実施例 8 におけるアクチュエータのラマン散乱スペクトルである。

【図 23】本発明の実施例 9 におけるアクチュエータシステムの構造を示す図である。

【図 24】本発明の実施例 10 における温度検出システムの構造を示す図である。

【図 25】本発明の実施例 11 における温度検出システムの構造を示す図である。

【図 26】本発明の実施例 11 におけるアクチュエータの SEM 写真である。

【図 27】本発明の実施例 11 における温度検出システム 20 A を採用して、人体温度をテストする結果を示す図である。

【図 28】本発明の実施例 12 におけるロボットの構造を示す図である。

【図 29】本発明の実施例 12 におけるバイオニックアームの光学写真である。

20

【図 30】本発明の実施例 12 におけるバイオニックアームによって紙を移動する光学写真である。

【図 31】本発明の実施例 13 におけるバイオニック昆虫の構造を示す図である。

【図 32】本発明の実施例 13 におけるバイオニック昆虫の光学写真である。

【図 33】本発明の実施例 13 におけるバイオニック昆虫がウイングを振動する光学写真である。

【図 34】本発明の実施例 13 におけるバイオニック蝶の光学写真である。

【0011】

以下、図面を参照して、本発明の実施例について説明する。

【0012】

30

図 1 を参照すると、実施例 1 はアクチュエータ 11 を提供する。アクチュエータ 11 は、カーボンナノチューブ構造体 110 と、二酸化バナジウム構造体 111 と、を含む。カーボンナノチューブ構造体 110 及び二酸化バナジウム構造体 111 は積層して設置される。カーボンナノチューブ構造体 110 は発熱或いは熱を吸収することによって、二酸化バナジウム構造体 111 に熱を伝達して、二酸化バナジウム構造体 111 を二酸化バナジウム構造体 111 の表面と平行する方向（二酸化バナジウム構造体 111 の厚さと垂直する方向）に沿って収縮させ、アクチュエータ 11 を湾曲させる。カーボンナノチューブ構造体 110 は二酸化バナジウム構造体 111 をサポートして、且つ加熱することに用いる。カーボンナノチューブ構造体 110 が高い光熱変換効率、高い電熱変換効率及び小さな熱容量を有するので、アクチュエータ 11 に速い反応速度を有することができる。

40

【0013】

二酸化バナジウム構造体 111 の厚さ及び形状は制限されず、必要に応じて選択できる。二酸化バナジウム構造体 111 の厚さは 100 nm ~ 500 μm であってもよい。好ましくは、二酸化バナジウム構造体 111 の厚さは 1 μm ~ 10 μm である。二酸化バナジウム構造体 111 の厚さが 150 nm である際、二酸化バナジウム構造体 111 の光透過率は 40% である。二酸化バナジウム構造体 111 の相転移温度は 68 である。二酸化バナジウム構造体 111 の温度が二酸化バナジウム構造体 111 の相転移温度より小さい際、例えば、室温で二酸化バナジウム構造体 111 は絶縁相を呈する。この際、二酸化バナジウム構造体 111 は絶縁体である。二酸化バナジウム構造体 111 の温度が二酸化バナジウム構造体 111 の相転移温度に達した後、二酸化バナジウム構造体 111 は絶縁相

50

から金属相に変化し、且つ金属相のc軸方向に沿って体積を収縮する。相転移前後の二酸化バナジウム構造体111の体積収縮率は1%~2%である。金属相に変化した後の二酸化バナジウム構造体111の体積仕事密度(volumetric work density)は $7\text{ J/cm}^3 \sim 28\text{ J/cm}^3$ であり、その弾性率は $140\text{ GPa}$ である。カーボンナノチューブ構造体110の体積が変化しないので、アクチュエータ11を二酸化バナジウム構造体111の側に向かって湾曲させる。二酸化バナジウム構造体111の相転移温度より小さい温度に下がる際、二酸化バナジウム構造体111は金属相から絶縁相に変化して、アクチュエータ11の形状は初期の形状に戻る。二酸化バナジウム構造体111は絶縁相から金属相に変化した後、二酸化バナジウム構造体111及びカーボンナノチューブ構造体110からなる複合構造体の抵抗値は11%減少する。

10

**【0014】**

アクチュエータ11の初期の形状は平面状或いは曲面状であってもよい。アクチュエータ11の初期の形状が平面状である際、アクチュエータ11は二酸化バナジウム構造体111の側に向かって湾曲して、アクチュエータ11の形状を曲面状に変える。アクチュエータ11の初期の形状が曲面状である際、アクチュエータ11は二酸化バナジウム構造体111の側に向かってさらに湾曲して、初期の曲面の曲率半径を大きくさせる。

**【0015】**

二酸化バナジウム構造体111は元素がドーブされた二酸化バナジウム構造体であってもよい。元素がドーブされることによって、二酸化バナジウム構造体111の相転移温度を変えることができる。ドーブされる元素は、タングステン、モリブデン、アルミニウム、リン、ニオブ、タリウム、フッ素の中のいずれか一種である。ドーブされる元素の重量比は0.5%~5%である。原子の寸法が大きい元素(例えば、タングステン、モリブデン)がドーブされる際、二酸化バナジウム構造体111の相転移温度を下げるができる。原子の寸法が小さい元素(例えば、アルミニウム、リン)がドーブされる際、二酸化バナジウム構造体111の相転移温度を上げることができる。一つの例において、重量比が1.5%であるタングステンがドーブされる際、二酸化バナジウム構造体111の相転移温度は34%である。タングステンがドーブされる二酸化バナジウム構造体111は絶縁相から金属相に変えた後、二酸化バナジウム構造体111及びカーボンナノチューブ構造体110からなる複合構造体の抵抗値は6.8%を減少する。

20

**【0016】**

カーボンナノチューブ構造体110の厚さ及び形状は制限されず、必要に応じて選択できる。カーボンナノチューブ構造体110は複数のカーボンナノチューブを含む連続な構造体である。好ましくは、カーボンナノチューブ構造体110は複数のカーボンナノチューブからなる構造体である。複数のカーボンナノチューブは、カーボンナノチューブ構造体110の表面に平行している。カーボンナノチューブ構造体110には、複数のカーボンナノチューブが配向し又は配向せずに配置されている。複数のカーボンナノチューブの配列方法により、カーボンナノチューブ構造体110は非配向型のカーボンナノチューブ構造体及び配向型のカーボンナノチューブ構造体に分類される。非配向型のカーボンナノチューブ構造体では、カーボンナノチューブが異なる方向に沿って配置され、又は絡み合っている。配向型のカーボンナノチューブ構造体では、複数のカーボンナノチューブが同じ方向に沿って配列している。カーボンナノチューブ構造体110におけるカーボンナノチューブは、単層カーボンナノチューブ、二層カーボンナノチューブ、多層カーボンナノチューブであってもよい。カーボンナノチューブの長さ及び直径は制限されず、必要に応じて選択できる。カーボンナノチューブ構造体110の厚さは $100\text{ nm} \sim 100\text{ }\mu\text{m}$ である。好ましくは、カーボンナノチューブ構造体110の厚さは $1\text{ }\mu\text{m} \sim 10\text{ }\mu\text{m}$ である。

30

40

**【0017】**

カーボンナノチューブ構造体110はカーボンナノチューブフィルム或いはカーボンナノチューブワイヤを含んでもよい。カーボンナノチューブ構造体110は一枚のカーボンナノチューブフィルムを含んでもよく、或いは積層された複数のカーボンナノチューブフ

50

ィルムを含んでもよい。カーボンナノチューブ構造体 110 は相互に平行する複数のカーボンナノチューブワイヤを含んでもよく、或いは、交差して設置される複数のカーボンナノチューブワイヤを含んでもよい。カーボンナノチューブフィルムはドローン構造カーボンナノチューブフィルム、綿毛構造カーボンナノチューブフィルム或いはプレシッド構造カーボンナノチューブフィルムであってもよい。本実施例において、カーボンナノチューブ構造体 110 は 50 層のドローン構造カーボンナノチューブフィルムを含む。

#### 【0018】

ドローン構造カーボンナノチューブフィルムは、複数のカーボンナノチューブが形成する自立構造である。複数のカーボンナノチューブが同じ方向に沿って配列されている。多数のカーボンナノチューブの延伸する方向はカーボンナノチューブフィルムの表面と基本的に平行である。また、複数のカーボンナノチューブは分子間力で接続されている。具体的には、多数のカーボンナノチューブにおける各カーボンナノチューブは、延伸する方向における隣接するカーボンナノチューブと、分子間力で端と端とが接続されている。カーボンナノチューブフィルムには、少数のランダムなカーボンナノチューブ含まれているが、これは、多数のカーボンナノチューブが同じ方向に沿って配列されていることに影響しない。

10

#### 【0019】

ドローン構造カーボンナノチューブフィルムは自立構造である。ここで、自立構造とは、支持体材を利用せず、カーボンナノチューブフィルムを独立して利用することができる形態のことである。すなわち、カーボンナノチューブフィルムを対向する両側から支持して、ドローン構造カーボンナノチューブフィルムの構造を変化させずに、カーボンナノチューブフィルムを懸架させることができることを意味する。

20

#### 【0020】

具体的には、カーボンナノチューブフィルムにおける多数のカーボンナノチューブは、絶対的に直線状ではなく少し湾曲している。または、延伸する方向に完全に配列せず、少しずれている場合もある。従って、同じ方向に沿って配列されている多数のカーボンナノチューブの中において、隣同士のカーボンナノチューブが部分接触する可能性がある。

#### 【0021】

ドローン構造カーボンナノチューブフィルムは、複数のカーボンナノチューブセグメントを含む。複数のカーボンナノチューブセグメントは、長さ方向に沿って分子間力で端と端とが接続されている。それぞれのカーボンナノチューブセグメントは、相互に平行に、分子間力で結合された複数のカーボンナノチューブを含む。単一のカーボンナノチューブセグメントにおいて、複数のカーボンナノチューブの長さは同じである。カーボンナノチューブセグメントの長さ、厚さ、均一性及び形状は制限されない。カーボンナノチューブアレイの一部を引き出して、ドローン構造カーボンナノチューブフィルムを得ることができる。ドローン構造カーボンナノチューブフィルムの厚さは、1 nm ~ 500 μm である。ドローン構造カーボンナノチューブフィルムの幅は、カーボンナノチューブアレイのサイズに関係する。好ましくは、ドローン構造カーボンナノチューブフィルムの厚さは 100 nm ~ 10 μm である。カーボンナノチューブ構造体 110 において、ドローン構造カーボンナノチューブフィルムが積層された場合、隣接する二つのカーボンナノチューブフィルムにおけるカーボンナノチューブは、それぞれ 0° ~ 90° の角度で交差している。好ましくは、隣接するカーボンナノチューブフィルムにおけるカーボンナノチューブは、90° の角度で交差している。前記ドローン構造カーボンナノチューブフィルムの製造方法は、特許文献 1 に掲載されている。

30

40

#### 【0022】

カーボンナノチューブ構造体 110 は複数のカーボンナノチューブ及び添加材料を含む複合構造体であってもよい。添加材料はグラファイト、グラフェン、炭化ケイ素、窒化ホウ素、窒化ケイ素、二酸化ケイ素、アモルファスカーボン、金属炭化物、金属酸化物、金属窒化物のいずれか一種または多種である。添加材料はカーボンナノチューブ構造体 110 の少なくとも一部の表面を被覆する。好ましくは、添加材料はカーボンナノチューブ

50

構造体 1 1 0 におけるカーボンナノチューブの表面を被覆する。

【 0 0 2 3 】

図 2 を参照すると、アクチュエータ 1 1 の製造方法を提供する。

S 1 1、カーボンナノチューブ構造体 1 1 0 を提供する。

S 1 2、カーボンナノチューブ構造体 1 1 0 の表面に、バナジウム酸化物層 1 1 2 を沈積する。

S 1 3、酸素の雰囲気中でバナジウム酸化物層 1 1 2 をアニールして、二酸化バナジウム構造体 1 1 1 を形成する。

【 0 0 2 4 】

S 1 2 において、カーボンナノチューブ構造体 1 1 0 の表面にバナジウム酸化物層 1 1 2 を沈積する方法は制限されず、例えば、化学気相成長法或いはマグネトロンスパッタリング法であってもよい。S 1 3 において、空気或いは酸素でバナジウム酸化物層 1 1 2 をアニールして、二酸化バナジウム構造体 1 1 1 を形成する。

10

【 0 0 2 5 】

本実施例において、S 1 1 において、50 層のドローン構造カーボンナノチューブフィルムを交差して設置して、カーボンナノチューブ構造体 1 1 0 を形成する。S 1 2 において、直流マグネトロンスパッタリング法によって、カーボンナノチューブ構造体 1 1 0 の表面にバナジウム酸化物層 1 1 2 を沈積する。S 1 2 において、スパッターゲットは高純度バナジウム金属であり、スパッタリング電力は 60 W であり、スパッタリング温度は室温であり、作動ガスは 49 . 7 s c c m のアルゴン及び 0 . 3 s c c m の酸素からなる混合ガスであり、作動圧力は 0 . 55 Pa であり、スパッタリング時間は 30 分間である。バナジウム酸化物層 1 1 2 の成分は  $VO_x$  である。S 1 3 において、アニールの圧力は  $3 \times 10^{-2}$  m b a r であり、アニールの温度は 450 であり、アニールの時間は 10 分間である。バナジウム酸化物層 1 1 2 をアニールして、バナジウム酸化物層 1 1 2 を結晶させて、二酸化バナジウム構造体 1 1 1 を形成する。バナジウム酸化物層 1 1 2 が沈積されたカーボンナノチューブ構造体 1 1 0 を加熱炉に入れて加熱して、バナジウム酸化物層 1 1 2 をアニールすることができる。または、電流がカーボンナノチューブ構造体 1 1 0 に流れて、カーボンナノチューブ構造体 1 1 0 を加熱することによって、バナジウム酸化物層 1 1 2 をアニールすることができる。好ましくは、アニールの温度が 500 より高い際、カーボンナノチューブ構造体 1 1 0 を完全に酸化しないため、アニールの雰囲気は真空に微量の酸素を導入する雰囲気である。本実施例において、酸素の流量は 2 s c c m より小さい。アニールの温度が 450 より低い際、空気でバナジウム酸化物層 1 1 2 をアニールして、カーボンナノチューブ構造体 1 1 0 を完全に酸化させない。

20

30

【 0 0 2 6 】

バナジウム酸化物層 1 1 2 をアニールして、二酸化バナジウム構造体 1 1 1 を形成する工程において、カーボンナノチューブ構造体 1 1 0 及び二酸化バナジウム構造体 1 1 1 の界面に格子がミスマッチである。二酸化バナジウム構造体 1 1 1 の格子定数が小さい側は収縮応力を生じ、カーボンナノチューブ構造体 1 1 0 の格子定数が大きい側は抵抗収縮応力を生じる。二酸化バナジウム構造体 1 1 1 の収縮応力がカーボンナノチューブ構造体 1 1 0 の抵抗収縮応力より大きい際、二酸化バナジウム構造体 1 1 1 及びカーボンナノチューブ構造体 1 1 0 からなる複合構造体は二酸化バナジウム構造体 1 1 1 の側に向かって湾曲して、曲面状のアクチュエータ 1 1 を形成する。収縮応力及び抵抗収縮応力はそれぞれ二酸化バナジウム構造体 1 1 1 の厚さ及びカーボンナノチューブ構造体 1 1 0 の厚さによって決められる。カーボンナノチューブ構造体 1 1 0 の厚さが小さい際、曲面状のアクチュエータ 1 1 を形成できる。カーボンナノチューブ構造体 1 1 0 の厚さが大きい際、平面状のアクチュエータ 1 1 を形成できる。

40

【 0 0 2 7 】

タングステンがドーブされる二酸化バナジウム構造体 1 1 1 を形成する際、S 1 2 において、スパッターゲットはタングステンがドーブされるバナジウムであり、スパッタリング電力は 60 W であり、スパッタリング温度は室温であり、作動ガスは 49 . 5 s c c

50

mのアルゴン及び0.5 s c c mの酸素からなる混合ガスであり、作動圧力は0.6 Paであり、スパッタリング時間は30分間である。バナジウム酸化物層112の成分は $W - VO_x$ である。S13において、アニールの圧力は $4.5 \times 10^{-2}$  mbarであり、アニールの温度は450 であり、アニールの時間は10分間である。バナジウム酸化物層112をアニールすることによって、バナジウム酸化物層112を結晶させて、二酸化バナジウム構造体111を形成する。

#### 【0028】

図3を参照すると、実施例2はアクチュエータ11Aを提供する。アクチュエータ11Aは、カーボンナノチューブ構造体110と、二酸化バナジウム構造体111と、を含む。カーボンナノチューブ構造体110及び二酸化バナジウム構造体111は積層して設置される。

10

#### 【0029】

実施例2におけるアクチュエータ11Aの構造は、実施例1におけるアクチュエータ11の構造と基本的に同じであるが、以下の点は異なる。アクチュエータ11Aは少なくとも一枚のカーボンナノチューブフィルム113を含む。少なくとも一枚のカーボンナノチューブフィルム113は二酸化バナジウム構造体111の内部に設置され、且つカーボンナノチューブ構造体110と間隔をあけて設置される。少なくとも一枚のカーボンナノチューブフィルム113と二酸化バナジウム構造体111とは複合構造体を形成する。アクチュエータ11Aは複数のカーボンナノチューブフィルム113を含む際、複数のカーボンナノチューブフィルム113は相互に間隔をあけて設置される。

20

#### 【0030】

レーザーがカーボンナノチューブ構造体110の側を照射する際、カーボンナノチューブフィルム113はカーボンナノチューブ構造体110から透過したレーザーを吸収して、熱を生じ、且つ熱を二酸化バナジウム構造体111に均一に伝導できる。カーボンナノチューブフィルム113の厚さは小さいので、二酸化バナジウム構造体111の収縮に伴って収縮でき、二酸化バナジウム構造体111の変形に影響を与えない。好ましくは、カーボンナノチューブフィルム113はドローン構造カーボンナノチューブフィルムであり、その厚さは30 nmであり、隣接する二つのカーボンナノチューブフィルム113の距離は30 nmより大きい。

#### 【0031】

図4を参照すると、アクチュエータ11Aの製造方法を提供する。

S21、複数のカーボンナノチューブフィルム113を提供する。

S22、各カーボンナノチューブフィルム113の表面にバナジウム酸化物層112を堆積する。

S23、カーボンナノチューブ構造体110の表面に、バナジウム酸化物層112が堆積された複数のカーボンナノチューブフィルム113を積層して設置する。

S24、酸素の雰囲気中でバナジウム酸化物層112をアニールして、二酸化バナジウム構造体111を形成する。

#### 【0032】

アクチュエータ11Aの製造方法におけるバナジウム酸化物層112の堆積方法及びアニール方法はアクチュエータ11の製造方法におけるバナジウム酸化物層112の堆積方法及びアニール方法と基本的に同じである。S22において、バナジウム酸化物層112はカーボンナノチューブフィルム113の表面に堆積するだけでなく、カーボンナノチューブフィルム113の微孔を充填する。好ましくは、バナジウム酸化物層112はカーボンナノチューブフィルム113の対向する二つの表面に堆積して、且つカーボンナノチューブフィルム113の微孔を充填する。これにより、複数のバナジウム酸化物層112をアニールした後、完全な二酸化バナジウム構造体111を形成できる。この際、複数のカーボンナノチューブフィルム113は二酸化バナジウム構造体111に被覆される。

40

#### 【0033】

図5を参照すると、実施例3はアクチュエータ11Bを提供する。アクチュエータ11

50

Bは、カーボンナノチューブ構造体110と、二酸化バナジウム構造体111と、複数のカーボンナノチューブフィルム113と、を含む。複数のカーボンナノチューブフィルム113は二酸化バナジウム構造体111の内部に設置される。これにより、複数のカーボンナノチューブフィルム113と二酸化バナジウム構造体111とは複合構造体を形成する。カーボンナノチューブ構造体110は複合構造体と積層して設置される。

【0034】

実施例3におけるアクチュエータ11Bの構造は実施例2におけるアクチュエータ11Aの構造と基本的に同じであるが、以下の点は異なる。複数のカーボンナノチューブフィルム113の寸法は二酸化バナジウム構造体111の寸法より大きい。これにより、複数のカーボンナノチューブフィルム113の一部は二酸化バナジウム構造体111の外部に延伸する。すなわち、複数のカーボンナノチューブフィルム113の辺縁一部は二酸化バナジウム構造体111に被覆されない。

10

【0035】

好ましくは、二酸化バナジウム構造体111に被覆されない複数のカーボンナノチューブフィルム113の辺縁部分は積層して設置される。積層して設置される複数のカーボンナノチューブフィルム113の辺縁部分には電極を設置して、電源に接続できる。これにより、複数のカーボンナノチューブフィルム113に電流を入力して、二酸化バナジウム構造体111を加熱できる。

【0036】

さらに好ましくは、二酸化バナジウム構造体111に被覆されない複数のカーボンナノチューブフィルム113の部分はカーボンナノチューブ構造体110と接触して、且つ電氣的に接続される。カーボンナノチューブフィルム113及びカーボンナノチューブ構造体110には共に電極を設置し、且つ電源に接続できる。カーボンナノチューブ構造体110は光エネルギーを吸収して熱に変える際、カーボンナノチューブフィルム113に熱を直接に伝導でき、さらに、二酸化バナジウム構造体111に伝導できる。一つの例において、二酸化バナジウム構造体111に被覆されない複数のカーボンナノチューブフィルム113の辺縁部分はカーボンナノチューブ構造体110と接触して且つ電氣的に接続され、または、間隔をあけて設置される二つの電極とそれぞれ接触して且つ電氣的に接続される。

20

【0037】

本実施例において、カーボンナノチューブ構造体110の寸法は二酸化バナジウム構造体111の寸法より大きい。二酸化バナジウム構造体111に被覆されないカーボンナノチューブフィルム113の辺縁部分は二酸化バナジウム構造体111に被覆されないカーボンナノチューブ構造体110の部分と積層して設置される。カーボンナノチューブ構造体110の寸法及び形状が二酸化バナジウム構造体111の寸法及び形状と同じである際、二酸化バナジウム構造体111に被覆されないカーボンナノチューブフィルム113の辺縁部分は湾曲して、カーボンナノチューブ構造体110と二酸化バナジウム構造体111と間に設置され、或いは、二酸化バナジウム構造体111と離れるカーボンナノチューブ構造体110の表面に設置される。

30

【0038】

図6を参照すると、アクチュエータ11Bの製造方法を提供する。

S31、複数のカーボンナノチューブフィルム113を提供する。

S32、各カーボンナノチューブフィルム113の表面の一部にバナジウム酸化物層112を堆積する。

S33、カーボンナノチューブ構造体110の表面に、バナジウム酸化物層112が堆積された複数のカーボンナノチューブフィルム113を積層して設置する。

S34、酸素の雰囲気中でバナジウム酸化物層112をアニールして、二酸化バナジウム構造体111を形成し、各カーボンナノチューブフィルム113の一部は二酸化バナジウム構造体111の外部に延伸する。

40

【0039】

50

アクチュエータ 1 1 B の製造方法はアクチュエータ 1 1 A の製造方法と基本的に同じであるが、以下の点は異なる。S 3 2 において、バナジウム酸化物層 1 1 2 はカーボンナノチューブフィルム 1 1 3 の中部に堆積する。これにより、カーボンナノチューブフィルム 1 1 3 の辺縁部分はバナジウム酸化物層 1 1 2 に被覆されない。さらに、二酸化バナジウム構造体 1 1 1 に被覆されない複数のカーボンナノチューブフィルム 1 1 3 の部分は積層して設置し、且つカーボンナノチューブ構造体 1 1 0 と接触するステップを含む。例えば、揮発性有機溶剤の処理或いは圧力によって、二酸化バナジウム構造体 1 1 1 に被覆されない複数のカーボンナノチューブフィルム 1 1 3 の部分は積層して設置される。

【 0 0 4 0 】

図 7 を参照すると、実施例 4 はアクチュエータ 1 1 C を提供する。アクチュエータ 1 1 C は、カーボンナノチューブ構造体 1 1 0 と、二酸化バナジウム構造体 1 1 1 と、カーボンナノチューブアレイ 1 1 4 と、を含む。カーボンナノチューブ構造体 1 1 0 及び二酸化バナジウム構造体 1 1 1 は積層して設置される。

10

【 0 0 4 1 】

実施例 4 におけるアクチュエータ 1 1 C の構造は実施例 1 におけるアクチュエータ 1 1 の構造と基本的に同じであるが、以下の点は異なる。アクチュエータ 1 1 C はカーボンナノチューブアレイ 1 1 4 を含む。カーボンナノチューブアレイ 1 1 4 は複数のカーボンナノチューブを含む。複数のカーボンナノチューブは二酸化バナジウム構造体 1 1 1 に相互に平行して間隔をあけて設置される。これにより、カーボンナノチューブアレイ 1 1 4 と二酸化バナジウム構造体 1 1 1 とは複合構造体を形成する。

20

【 0 0 4 2 】

カーボンナノチューブアレイ 1 1 4 におけるカーボンナノチューブはカーボンナノチューブ構造体 1 1 0 と垂直して設置される。カーボンナノチューブの軸方向に、カーボンナノチューブは対向する第一端部及び第二端部を有する。第一端部はカーボンナノチューブ構造体 1 1 0 と接触して設置される。第二端部はカーボンナノチューブ構造体 1 1 0 と離れる。二酸化バナジウム構造体 1 1 1 は相互に平行して間隔をあけるカーボンナノチューブの間に設置される。

【 0 0 4 3 】

カーボンナノチューブの径方向における熱伝導性よりカーボンナノチューブの軸方向における熱伝導性が優れているので、カーボンナノチューブ構造体 1 1 0 と垂直するカーボンナノチューブはカーボンナノチューブ構造体 1 1 0 の熱を完全の二酸化バナジウム構造体 1 1 1 に伝導することに有利である。

30

【 0 0 4 4 】

カーボンナノチューブアレイ 1 1 4 におけるカーボンナノチューブは二酸化バナジウム構造体 1 1 1 と垂直して設置されるので、二酸化バナジウム構造体 1 1 1 はその厚さ方向に収縮する際、カーボンナノチューブアレイ 1 1 4 におけるカーボンナノチューブは収縮方法に沿って移動でき、二酸化バナジウム構造体 1 1 1 の厚さ方向における収縮に影響を与えない。

【 0 0 4 5 】

図 8 を参照すると、アクチュエータ 1 1 C の製造方法を提供する。アクチュエータ 1 1 C の製造方法は下記のステップを含む。

40

S 4 1、カーボンナノチューブアレイ 1 1 4 を提供し、カーボンナノチューブアレイ 1 1 4 は相互に平行して間隔をあけて設置される複数のカーボンナノチューブを含む。

S 4 2、カーボンナノチューブの軸方向と垂直する方向に沿って、カーボンナノチューブアレイ 1 1 4 を引き伸ばして、隣接する二本のカーボンナノチューブの距離を増加する。

S 4 3、隣接する二本のカーボンナノチューブの間にバナジウム酸化物層 1 1 2 を堆積して、カーボンナノチューブ構造体 1 1 0 の表面に、バナジウム酸化物層 1 1 2 が堆積されたカーボンナノチューブアレイ 1 1 4 を積層して設置する。

S 4 4、酸素の雰囲気中でバナジウム酸化物層 1 1 2 をアニールして、二酸化バナジウム

50

構造体 1 1 1 を形成する。

【 0 0 4 6 】

S 4 1 において、カーボンナノチューブアレイ 1 1 4 は化学気相成長法によって、基板の表面に成長する。この際、カーボンナノチューブアレイ 1 1 4 において、隣接する二本のカーボンナノチューブの距離は小さいので、隣接する二本のカーボンナノチューブの間にバナジウム酸化物層 1 1 2 を堆積し難い。S 4 2 において、伸縮性テープ 1 1 6 によって、カーボンナノチューブアレイ 1 1 4 を基板から伸縮性テープ 1 1 6 に転移する。伸縮性テープ 1 1 6 を引き伸ばすことよって、カーボンナノチューブアレイ 1 1 4 における隣接する二本のカーボンナノチューブの距離を増加する。S 4 3 において、伸縮性テープ 1 1 6 を引き伸ばす状態を維持して、隣接する二本のカーボンナノチューブの大きい距離を保証する。これにより、隣接する二本のカーボンナノチューブの間にバナジウム酸化物層 1 1 2 を堆積しやすい。

10

【 0 0 4 7 】

図 9 を参照すると、実施例 5 はアクチュエータ 1 1 D を提供する。アクチュエータ 1 1 D は、カーボンナノチューブ構造体 1 1 0 と、二酸化バナジウム構造体 1 1 1 と、保護層 1 1 5 と、を含む。カーボンナノチューブ構造体 1 1 0 及び二酸化バナジウム構造体 1 1 1 は積層して設置される。カーボンナノチューブ構造体 1 1 0 或いは二酸化バナジウム構造体 1 1 1 の少なくとも一部は保護層 1 1 5 に被覆される。

【 0 0 4 8 】

実施例 5 におけるアクチュエータ 1 1 D の構造は実施例 1 におけるアクチュエータ 1 1 の構造と基本的に同じであるが、以下の点は異なる。アクチュエータ 1 1 D は、保護層 1 1 5 を含む。カーボンナノチューブ構造体 1 1 0 或いは二酸化バナジウム構造体 1 1 1 の少なくとも一部は保護層 1 1 5 に被覆される。

20

【 0 0 4 9 】

カーボンナノチューブ構造体 1 1 0 は二酸化バナジウム構造体 1 1 1 から脱しやすく、或いは不純物を吸着しやすい。二酸化バナジウム構造体 1 1 1 は腐蝕されやすい。保護層 1 1 5 を設置することによって、アクチュエータ 1 1 D を保護でき、アクチュエータ 1 1 D を異なる環境に正常に作動させる。保護層 1 1 5 の材料は可撓性材料であり、例えば、ポリマー或いはシリコンゴムである。好ましくは、保護層 1 1 5 の厚さは小さく、且つ保護層 1 1 5 は弾力を有する。これにより、二酸化バナジウム構造体 1 1 1 が収縮する際、保護層 1 1 5 も収縮する。本実施例において、保護層 1 1 5 はシリコンゴムからなり、且つカーボンナノチューブ構造体 1 1 0 及び二酸化バナジウム構造体 1 1 1 を完全に被覆する。

30

【 0 0 5 0 】

アクチュエータ 1 1 D の製造方法はアクチュエータ 1 1 の製造方法と基本的に同じであるが、異なるのは、アクチュエータ 1 1 D の製造方法が保護層 1 1 5 を設置するステップを含む点である。

【 0 0 5 1 】

図 1 0 を参照すると、実施例 6 はアクチュエータの応用システム 1 0 を提供する。アクチュエータの応用システム 1 0 はアクチュエータ 1 1 と、固定装置 1 2 と、励起装置 1 3 と、を含む。アクチュエータ 1 1 は実施例 1 ~ 5 のアクチュエータであってもよい。

40

【 0 0 5 2 】

アクチュエータ 1 1 は、カーボンナノチューブ構造体 1 1 0 と、カーボンナノチューブ構造体 1 1 0 と積層される二酸化バナジウム構造体 1 1 1 と、を含む。アクチュエータ 1 1 は湾曲のストリップ状である。アクチュエータ 1 1 の両端は固定装置 1 2 に設置され、ほかの部分は懸架される。アクチュエータ 1 1 の一端部のみは固定装置 1 2 に設置され、ほかの一端部は懸架されてもよい。好ましくは、励起装置 1 3 はカーボンナノチューブ構造体 1 1 0 と近接する側に設置される。励起装置 1 3 は無線によりアクチュエータ 1 1 に刺激を与える。励起装置 1 3 は光源である。本実施例において、アクチュエータ 1 1 の湾曲部の先は尖っている。励起装置 1 3 はレーザーである。好ましくは、励起装置 1 3 はバル

50

スレーザー信号を提供する。

【0053】

励起装置13はアクチュエータ11にレーザーを出射する際、カーボンナノチューブ構造体110はレーザーを吸収して熱を転化する。二酸化バナジウム構造体111を相転移温度に加熱した後、相変化して収縮を発生し、懸架されるアクチュエータ11の部分は二酸化バナジウム構造体111の側に向かって湾曲する。励起装置13はレーザーを出射しない際、懸架されるアクチュエータ11の部分は元の形状に戻る。

【0054】

図11を参照すると、アクチュエータの応用システム10の製造方法を提供する。アクチュエータの応用システム10の製造方法は、下記のステップを含む。

S61、複数の凹槽141を有する基板14を提供し、基板14に複数の凹槽141を被覆するカーボンナノチューブ層状構造体117を設置する。

S62、カーボンナノチューブ層状構造体117を切り、複数のストリップ状のカーボンナノチューブ構造体110を形成し、ストリップ状のカーボンナノチューブ構造体110の両端は基板14に固定し、カーボンナノチューブ構造体110の中間部分は凹槽141によって懸架する。

S63、ストリップ状の各カーボンナノチューブ構造体110の表面にバナジウム酸化物層112を堆積して、酸素の雰囲気中でバナジウム酸化物層112をアニールして、二酸化バナジウム構造体111を形成する。

S64、基板14を切り、複数の固定装置12を形成し、且つ各固定装置12にアクチュエータ11を設置する。

【0055】

本実施例において、基板14は $Si_3N_4$ からなる。基板14は複数の平行して間隔をあけるストリップ状の凹槽141を有する。凹槽141は貫通孔である。レーザーによってカーボンナノチューブ層状構造体117を切る。

【0056】

実施例6におけるアクチュエータ11を特徴付ける。図12は、アクチュエータ11の走査型電子顕微鏡写真である。図13は、アクチュエータ11の局所の走査型電子顕微鏡写真である。図13を参照すると、カーボンナノチューブ構造体110におけるカーボンナノチューブは交差して且つ垂直して設置され、二酸化バナジウム構造体111はカーボンナノチューブ構造体110に均一に分布される。図14を参照すると、カーボンナノチューブ構造体110の一部のカーボンナノチューブの表面は二酸化バナジウム構造体111に被覆される。図15は、実施例6におけるアクチュエータ11のEDXスペクトルである。図16は、実施例6におけるアクチュエータ11のラマン散乱スペクトルである。図16を参照すると、二酸化バナジウム構造体111はカーボンナノチューブ構造体110の表面に均一に分布する。二酸化バナジウム構造体111は絶縁相である。アクチュエータの応用システム10に対してテストする。励起装置13はパルスレーザーを出射してアクチュエータ11を照射する。パルスレーザーのパワー密度は $800\text{ mW/cm}^2 \sim 1600\text{ mW/cm}^2$ である。アクチュエータ11の反応時間は12.5ミリ秒間である。曲げ振動の周波数は80Hzである。曲げ振動の周波数をテストする際、アクチュエータ11の周囲温度は43℃である。

【0057】

図17を参照すると、実施例7はアクチュエータの応用システム10Aを提供する。アクチュエータの応用システム10Aはアクチュエータ11と、固定装置12と、励起装置13と、を含む。アクチュエータ11は実施例1～5のアクチュエータであってもよい。

【0058】

実施例7におけるアクチュエータの応用システム10Aの構造は実施例6におけるアクチュエータの応用システム10の構造と基本的に同じであるが、以下の点は異なる。アクチュエータ11の両端にはそれぞれ第三電極118が設置される。励起装置13は電源であり、二つの第三電極118と電氣的に設置される。電源は交流電源或いは直流電源であ

10

20

30

40

50

ってもよい。好ましくは、電源はアクチュエータ 1 1 にパルス電流を入力する。第三電極 1 1 8 は金属片であり、導電バインダーによってカーボンナノチューブ構造体 1 1 0 の表面に直接に固定される。カーボンナノチューブ構造体 1 1 0 は電源が出力する電気エネルギーを熱に転化して、二酸化バナジウム構造体 1 1 1 を加熱して変形させる。これにより、アクチュエータ 1 1 を湾曲させる。アクチュエータ 1 1 を加熱しない際、アクチュエータ 1 1 は元の形状に戻る。

【0059】

図 1 8 を参照すると、実施例 8 はアクチュエータの応用システム 1 0 B を提供する。アクチュエータの応用システム 1 0 B はアクチュエータ 1 1 と、固定装置 1 2 と、励起装置 1 3 と、を含む。アクチュエータ 1 1 はほかの実施例のアクチュエータであってもよい。

10

【0060】

実施例 8 におけるアクチュエータの応用システム 1 0 B の構造は実施例 6 におけるアクチュエータの応用システム 1 0 の構造と基本的に同じであるが、以下の点は異なる。アクチュエータ 1 1 の一端のみは固定装置 1 2 に固定され、その他の一端は懸架されて方もちが形成される。二酸化バナジウム構造体 1 1 1 にはタングステンがドーブされる。タングステンの重量比が 0 . 5 % である。

【0061】

実施例 8 におけるアクチュエータ 1 1 を特徴付ける。図 1 9 は、アクチュエータ 1 1 の局所の走査型電子顕微鏡写真である。図 2 0 は、実施例 8 におけるアクチュエータ 1 1 の EDS スペクトルである。図 2 0 を参照すると、二酸化バナジウム構造体 1 1 1 にはタン

20

【0062】

実施例 8 におけるアクチュエータの応用システム 1 0 B をテストする。図 2 1 は 3 2 から 4 6 まで加熱する際の湾曲のアクチュエータ 1 1 の光学写真である。図 2 1 を参照すると、3 2 でアクチュエータ 1 1 が湾曲して、4 6 でアクチュエータ 1 1 がさらに湾曲する。4 6 でアクチュエータ 1 1 の変形は 3 2 でアクチュエータ 1 1 の変形より大きい。図 2 2 は、温度は常温の 2 6 及び 5 0 である際、実施例 8 におけるアクチュエータ 1 1 のラマン散乱スペクトルである。図 2 2 を参照すると、温度は常温の 2 6 である際、二酸化バナジウム構造体 1 1 1 は絶縁相である。温度は 5 0 である際、二酸化バナジウム構造体 1 1 1 は金属相である。励起装置 1 3 はパルスレーザーを出射してアク

30

【0063】

図 2 3 を参照すると、実施例 9 はアクチュエータの応用システム 1 0 C を提供する。アクチュエータの応用システム 1 0 C はアクチュエータ 1 1 と、励起装置 1 3 と、を含む。アクチュエータ 1 1 は実施例 1 ~ 5 のアクチュエータであってもよい。

【0064】

実施例 9 におけるアクチュエータの応用システム 1 0 C の構造は実施例 6 におけるアクチュエータの応用システム 1 0 の構造と基本的に同じであるが、以下の点は異なる。励起装置 1 3 は熱源である。励起装置 1 3 はアクチュエータ 1 1 と平行して且つ間隔をあける加熱体 1 3 2 を含む。

40

【0065】

具体的に、励起装置 1 3 は絶縁基板 1 3 0 と、二つの第四電極 1 3 1 と、加熱体 1 3 2 と、第一電源 1 3 3 と、を含む。二つの第四電極 1 3 1 は絶縁基板 1 3 0 に間隔をあけて設置される。加熱体 1 3 2 は二つの第四電極 1 3 1 とそれぞれ電氣的に接続される。第一電源 1 3 3 は二つの第四電極 1 3 1 とそれぞれ電氣的に接続される。加熱体 1 3 2 はカーボンナノチューブ構造体 1 1 0 の一側に設置され、且つカーボンナノチューブ構造体 1 1 0 と間隔をあけて設置される。真空中でアクチュエータの応用システム 1 0 C は作動する

50

際、加熱体 132 は高温まで加熱できる。これにより、加熱体 132 とカーボンナノチューブ構造体 110 との距離は大きくてもよい。低温で加熱体 132 はアクチュエータ 11 を加熱する際、加熱体 132 とカーボンナノチューブ構造体 110 との距離は小さい。

【0066】

好ましくは、絶縁基板 130 は凹槽を有する。二つの第四電極 131 は対向して、凹槽の両側にそれぞれ設置される。二つの第四電極 131 の中心部は凹槽によって懸架される。これにより、加熱体 132 と絶縁基板 130 との熱伝導を減少する。アクチュエータ 11 の一端は第四電極 131 の表面に設置され、その他の一端は加熱体 132 の上に懸架される。加熱体 132 は金属抵抗線或いはカーボンナノチューブフィルムである。好ましくは、加熱体 132 はカーボンナノチューブフィルムである。凹槽の底部には熱反射層或いは光反射層を設置してもよい。これにより、カーボンナノチューブ構造体 110 は加熱体 132 が出射する熱或いは光を有効に吸収できる。

10

【0067】

図 24 を参照すると、実施例 10 は温度検出システム 20 を提供する。温度検出システム 20 は第二電源 21 と、電流計 22 と、第一電極 23 と、第二電極 24 と、アクチュエータ 11 と、を含む。アクチュエータ 11 は実施例 1 ~ 5 のアクチュエータであってもよい。

【0068】

第二電源 21 は第一電極 23 及び第二電極 24 とそれぞれ電氣的に接続される。アクチュエータ 11 は対向する第一端部及び第二端部を有する。第一端部は第一電極 23 に固定され、且つカーボンナノチューブ構造体 110 と電氣的に接続される。第二端部は第二電極 24 に固定され、且つカーボンナノチューブ構造体 110 と電氣的に接続される。これにより、第二電源 21、第一電極 23、第二電極 24 及びアクチュエータ 11 は回路を形成する。電流計 22 は回路に直列に接続し、電流の大きさを表示する。温度検出システム 20 を使用する際、アクチュエータ 11 を検出環境に設置する。例えば、カーボンナノチューブ構造体 110 を検出物に接触させる。回路の電流は小さいので、カーボンナノチューブ構造体 110 が生じる熱量は二酸化バナジウム構造体 111 の相転移温度に加熱できない。検出物の温度は二酸化バナジウム構造体 111 の相転移温度より大きい際、アクチュエータ 11 は二酸化バナジウム構造体 111 の側に向かって湾曲して、アクチュエータ 11 の第二端部は第二電極 24 と離れる。これにより、回路は切断され、電流計 22 は電流の大きさを表示しない。

20

30

【0069】

温度検出システム 20 における部品の接続関係は限定されず、必要に応じて選択できる。例えば、平常にアクチュエータ 11 の第二端部は第二電極 24 と離れ、回路を形成しない。アクチュエータ 11 は検出物に相転移温度に加熱されると、アクチュエータ 11 は湾曲し且つ第二電極 24 と接触して、回路を形成する。電流計 22 は電流に敏感な他の電子装置でもよい。例えば、電流計 22 を電圧計に変換できる。アクチュエータ 11 が湾曲した後、電流に敏感な電子装置に流れる電流は変わることを保証できれば、電流に敏感な電子装置はアクチュエータ 11 と並列に接続してもよい。電流に敏感な電子装置に流れる電流は変わる際、表示或いは音によって、ユーザーに提示できる。

40

【0070】

図 25 を参照すると、実施例 11 は温度検出システム 20A を提供する。温度検出システム 20A は第二電源 21 と、電流計 22 と、第一電極 23 と、第二電極 24 と、熱伝導基板 25 と、アクチュエータ 11 と、を含む。アクチュエータ 11 は実施例 1 ~ 5 のアクチュエータであってもよい。

【0071】

実施例 11 における温度検出システム 20A の構造は実施例 10 における温度検出システム 20 の構造と基本的に同じであるが、以下の点は異なる。温度検出システム 20A は熱伝導基板 25 を含む。アクチュエータ 11 は対向する第一端部及び第二端部を有する。第一端部は第一電極 23 によって熱伝導基板 25 に固定される。第二端部は湾曲した後に

50

、湾曲した第二端部は第二電極 2 4 と接触され、且つ第二電極 2 4 に係止される。これにより、アクチュエータ 1 1 は湾曲状を維持する。熱伝導基板 2 5 は熱伝導性がよい材料からなる。本実施例において、熱伝導基板 2 5 は絶縁セラミックスからなる。二酸化バナジウム構造体 1 1 1 はタングステンがドーブされる。二酸化バナジウム構造体 1 1 1 の相転移温度は 3 7 である。アクチュエータ 1 1 の弾力を高めるために、二酸化バナジウム構造体 1 1 1 と離れるカーボンナノチューブ構造体 1 1 0 の表面に柔軟な保護層 1 1 5 が設置される。保護層 1 1 5 はポリマーからなる。

#### 【 0 0 7 2 】

温度検出システム 2 0 A を使用する際、アクチュエータ 1 1 を検出環境に設置し、熱伝導基板 2 5 は検知物と接触する。第二電源 2 1、第一電極 2 3、第二電極 2 4 及びアクチュエータ 1 1 は回路を形成する。電流計 2 2 は電流の大きさを表示する。検出物の温度は二酸化バナジウム構造体 1 1 1 の相転移温度より大きい際、アクチュエータ 1 1 は二酸化バナジウム構造体 1 1 1 の側に向かって湾曲して、アクチュエータ 1 1 の第二端部は第二電極 2 4 と離れる。これにより、回路は切断され、電流計 2 2 は電流の大きさを表示しない。検出物の温度は二酸化バナジウム構造体 1 1 1 の相転移温度より小さい際、弾力によって、アクチュエータ 1 1 は元の形状に戻る。この際、アクチュエータ 1 1 は第二電極 2 4 と接触する湾曲状に戻る。検出物の温度は二酸化バナジウム構造体 1 1 1 の相転移温度より小さい際、柔軟な保護層 1 1 5 はアクチュエータ 1 1 を元の形状に戻させ、第二電極 2 4 に接触させる。これにより、アクチュエータ 1 1 の感度を改善できる。

10

#### 【 0 0 7 3 】

図 2 6 は、温度検出システム 2 0 A におけるアクチュエータ 1 1 の走査型電子顕微鏡写真である。図 2 6 を参照すると、第二電極 2 4 はアクチュエータ 1 1 を押さえることで、アクチュエータ 1 1 は湾曲状を維持する。図 2 7 は、温度検出システム 2 0 A を採用して、人体温度をテストする結果を示す図である。図 2 7 を参照すると、人体温度は 3 7 である際、回路は切断され、突然に電流計 2 2 は電流の大きさを表示しなくなる。

20

#### 【 0 0 7 4 】

図 2 8 を参照すると、実施例 1 2 はアクチュエータ 1 1 を採用するロボットを提供する。ロボットは本体 3 1 と、本体 3 1 に設置される操作システム 3 2 と、を含む。本体 3 1 はバイオニックアーム 3 3 と、レーザー 3 5 と、を含む。バイオニックアーム 3 3 はアクチュエータ 1 1 で製造されるバイオニックパーム 3 4 を含む。バイオニックパーム 3 4 の構造は制限されず、必要に応じて設定できる。バイオニックパーム 3 4 は一つの指或いは複数の指を含んでもよい。本実施例において、バイオニックパーム 3 4 は相互に間隔をあける四つの指を含む。各指は一つの長いストリップ状のアクチュエータ 1 1 からなる。レーザー 3 5 はバイオニックパーム 3 4 を加熱することに用いる。レーザー 3 5 が出射するレーザーはバイオニックパーム 3 4 を照射することを保証できれば、レーザー 3 5 の設置位置は制限されない。

30

#### 【 0 0 7 5 】

図 2 9 はバイオニックアーム 3 3 の光学写真である。図 2 9 ( a ) を参照すると、バイオニックパーム 3 4 は元の形状が湾曲状であるアクチュエータ 1 1 を採用して製造される。レーザー 3 5 を作動しない際、バイオニックパーム 3 4 における指は湾曲状を呈する。図 2 9 ( b ) を参照すると、レーザー 3 5 を作動して、バイオニックパーム 3 4 を照射する際、バイオニックパーム 3 4 における指はさらに湾曲する。図 3 0 は、バイオニックアーム 3 3 によって紙を移動する光学写真である。

40

#### 【 0 0 7 6 】

図 3 1 を参照すると、実施例 1 3 はアクチュエータ 1 1 を採用するバイオニック昆虫 4 0 を提供する。バイオニック昆虫 4 0 はボディ 4 1 と、少なくとも二つのウイング 4 2 と、を含む。少なくとも二つのウイング 4 2 はボディ 4 1 に接続して設置される。バイオニック昆虫 4 0 の寸法は数ミリメートルから数センチメートルである。

#### 【 0 0 7 7 】

バイオニック昆虫 4 0 の形状はトンボ、蝶、蚊、ハエ或いは蛾の形状であってもよい。

50

図 3 2 及び図 3 4 を参照すると、ボディ 4 1 及びウイング 4 2 は一体構造体である。すなわち、ボディ 4 1 及びウイング 4 2 は共に層状のアクチュエータ 1 1 で製造される。層状のアクチュエータ 1 1 をバイオニック昆虫 4 0 の形状によって直接に切ることによって、バイオニック昆虫 4 0 を形成できる。また、図 1 1 に示す方法のように、まず、カーボンナノチューブ層状構造体 1 1 7 を切り、バイオニック昆虫 4 0 の形状を形成する。そして、カーボンナノチューブ構造体 1 1 0 の表面にバナジウム酸化物層 1 1 2 を堆積して、酸素の雰囲気中でバナジウム酸化物層 1 1 2 をアニールして、二酸化バナジウム構造体 1 1 1 を形成して、バイオニック昆虫 4 0 を形成できる。図 3 4 を参照すると、図 1 1 に示す方法によって、複数のバイオニック蝶を一度に形成する。

【 0 0 7 8 】

10

図 3 3 を参照すると、バイオニック昆虫 4 0 のボディ 4 1 が固定される。1 0 H z の方形波パルスレーザーによってバイオニック昆虫 4 0 を照射する際、バイオニック昆虫 4 0 のウイング 4 2 は上下に振動する。ウイング 4 2 の振動の周波数は 8 0 H z に達することができる。

【 0 0 7 9 】

バイオニック昆虫 4 0 のボディ 4 1 はほかの材料からなることができる。例えば、ボディ 4 1 はポリマーからなる。この際、まず、層状のアクチュエータ 1 1 によってウイング 4 2 を形成する。そして、ウイング 4 2 の一端はボディ 4 1 に固定する。バイオニック昆虫 4 0 のボディ 4 1 にはさまざまなセンサを設置してもよい。例えば、センサはカメラであってもよい。カメラによって信号を収集できる。バイオニック昆虫 4 0 を使用する際、励起装置によってウイング 4 2 を刺激して振動させることができる。また、外部環境の温度変化によって、ウイング 4 2 を振動させることができる。バイオニック昆虫 4 0 は軍事分野に応用することができる。

20

【 符号の説明 】

【 0 0 8 0 】

- 1 0    1 0 A    1 0 B    1 0 C    アクチュエータの応用システム
- 1 1    1 1 A    1 1 B    1 1 C    1 1 D    アクチュエータ
- 1 1 0    カーボンナノチューブ構造体
- 1 1 1    二酸化バナジウム構造体
- 1 1 2    バナジウム酸化物層
- 1 1 3    カーボンナノチューブフィルム
- 1 1 4    カーボンナノチューブアレイ
- 1 1 5    保護層
- 1 1 6    伸縮性テープ
- 1 1 7    カーボンナノチューブ層状構造体
- 1 1 8    第三電極
- 1 2    固定装置
- 1 3    励起装置
- 1 3 1    第四電極
- 1 3 3    第一電源
- 1 4    基板
- 1 4 1    凹槽
- 2 0    2 0 A    温度検出システム
- 2 1    第二電源
- 2 2    電流計
- 2 3    第一電極
- 2 4    第二電極
- 2 5    熱伝導基板
- 3 0    熱伝導基板
- 3 1    本体

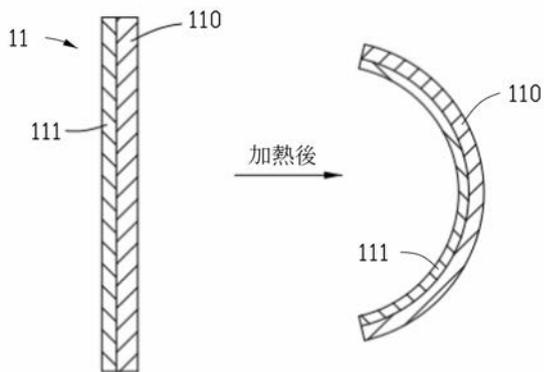
30

40

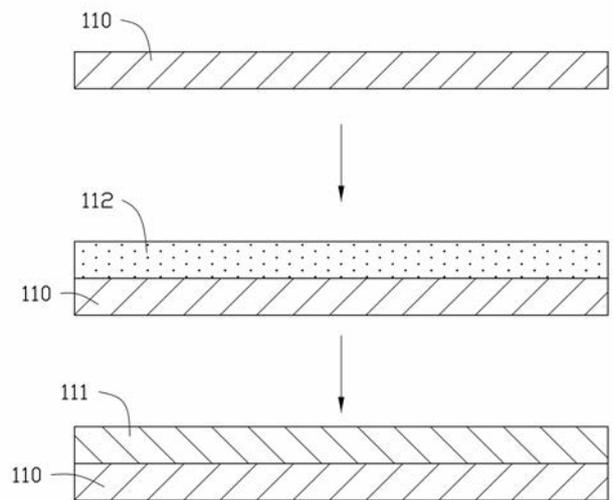
50

- 3 2 操作システム
- 3 3 バイオニックアーム
- 3 4 バイオニックパーム
- 3 5 レーザー
- 4 0 バイオニック昆虫
- 4 1 ボディ
- 4 2 ウイング

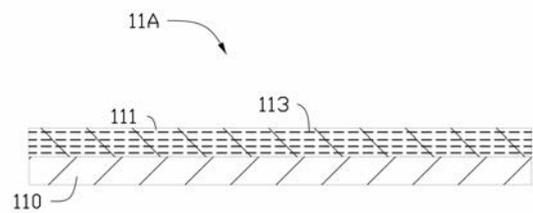
【 図 1 】



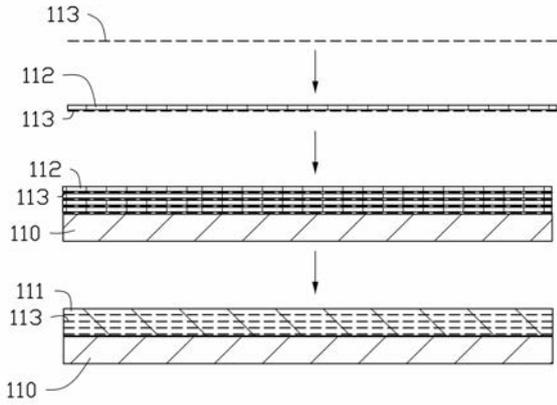
【 図 2 】



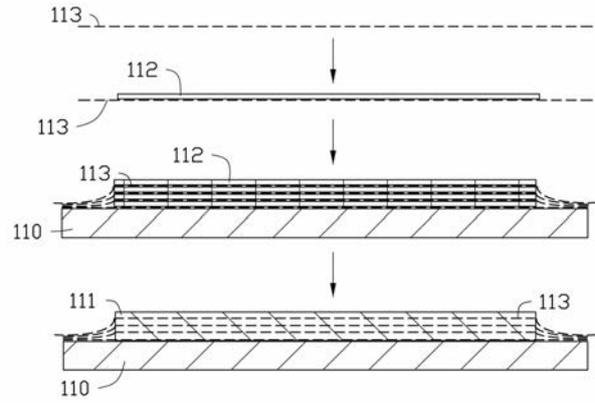
【 図 3 】



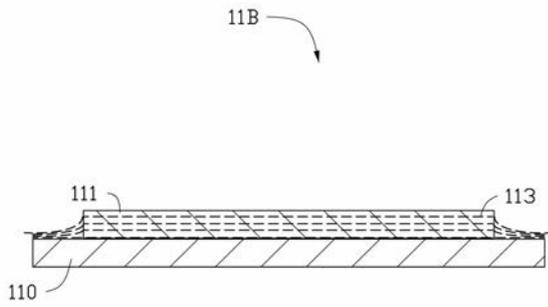
【 図 4 】



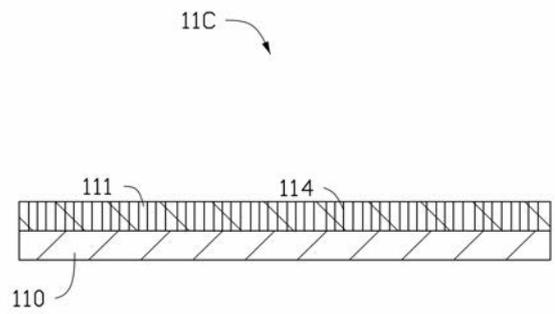
【 図 6 】



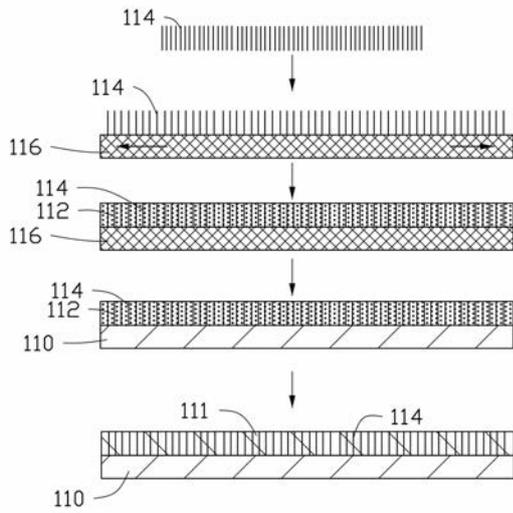
【 図 5 】



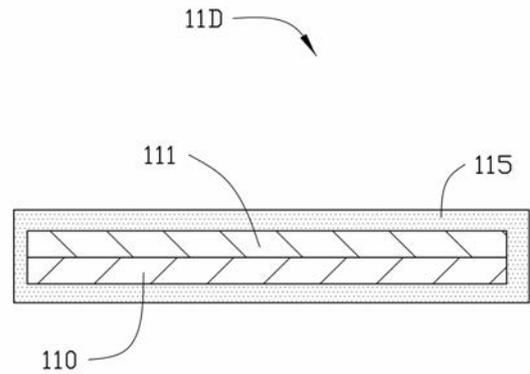
【 図 7 】



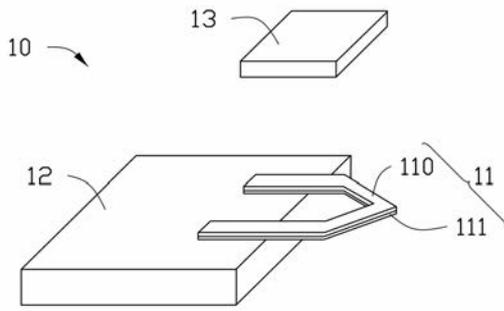
【 図 8 】



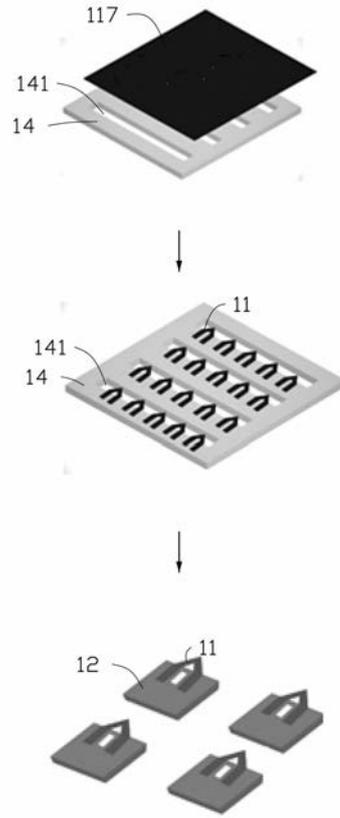
【 図 9 】



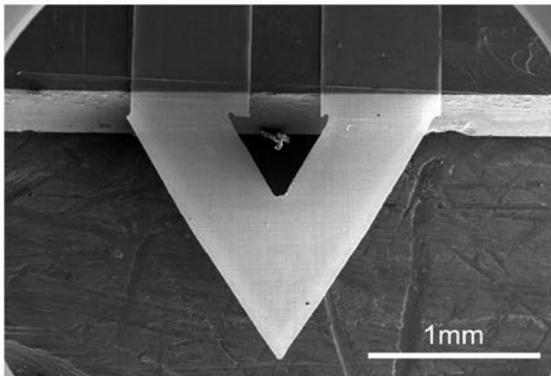
【 図 1 0 】



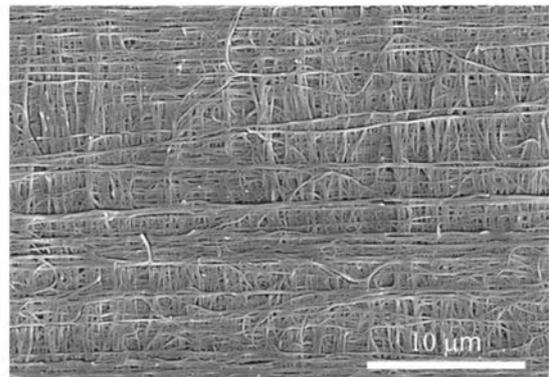
【 図 1 1 】



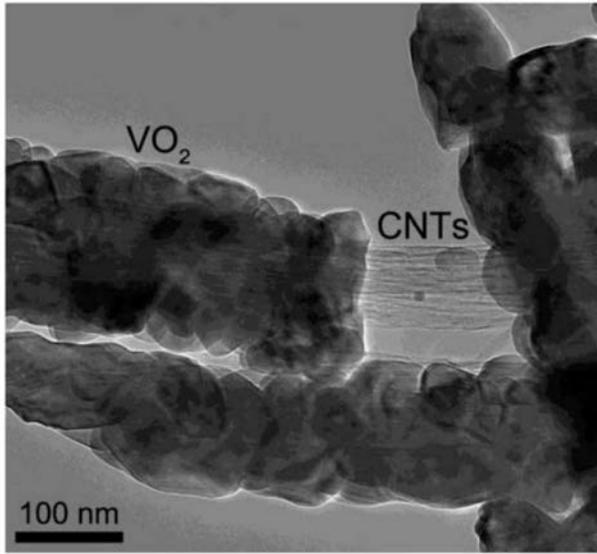
【 図 1 2 】



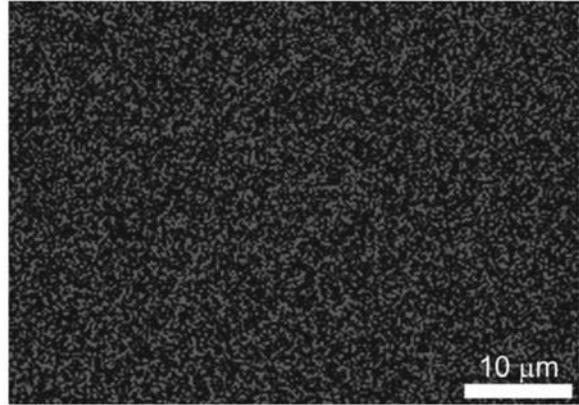
【 図 1 3 】



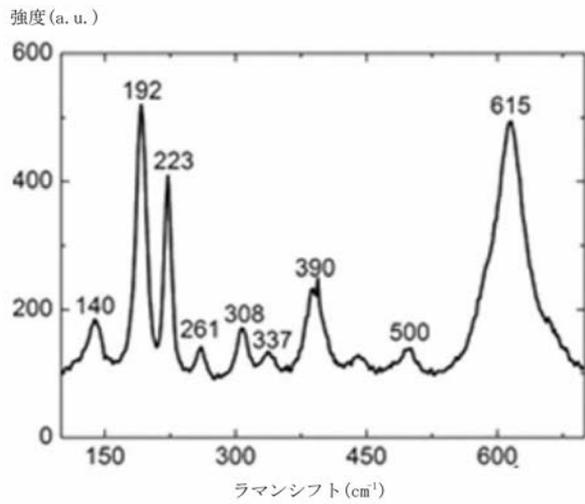
【図 1 4】



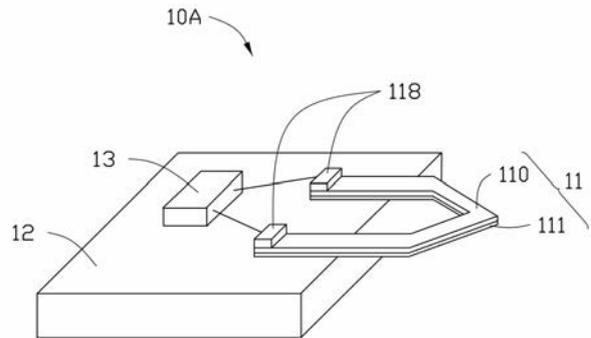
【図 1 5】



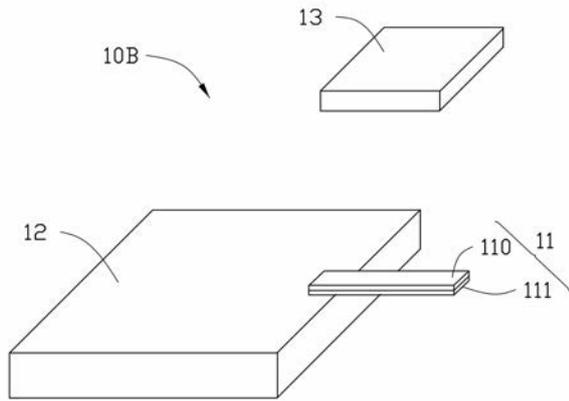
【図 1 6】



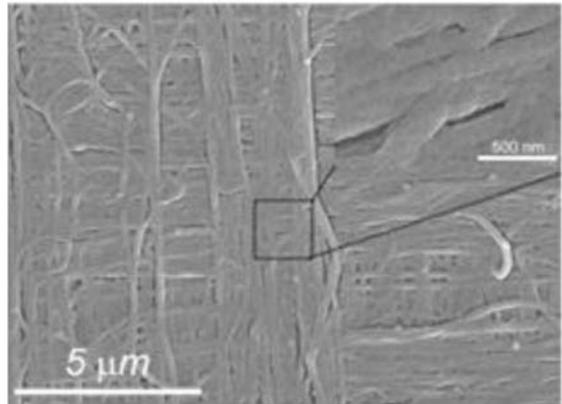
【図 1 7】



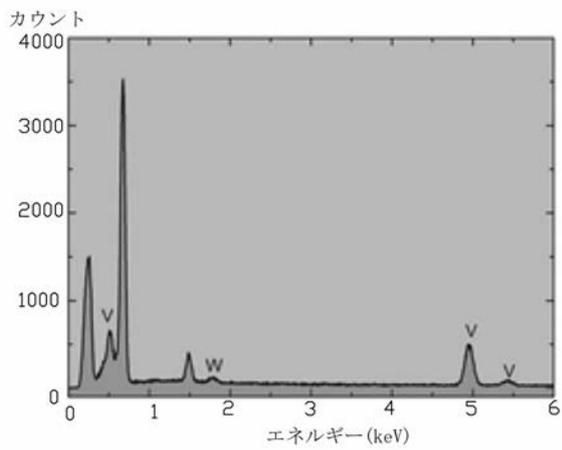
【 図 1 8 】



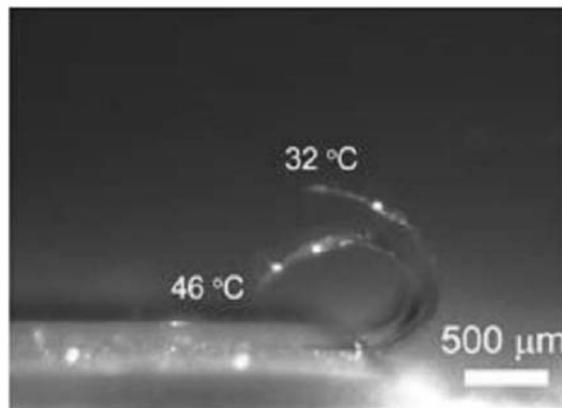
【 図 1 9 】



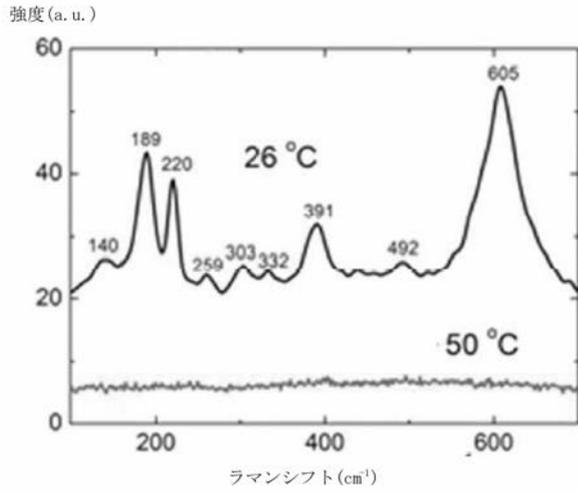
【 図 2 0 】



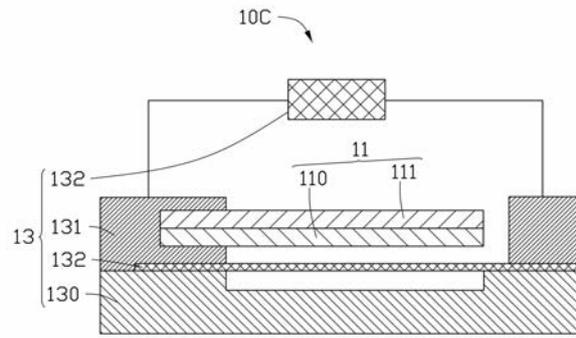
【 図 2 1 】



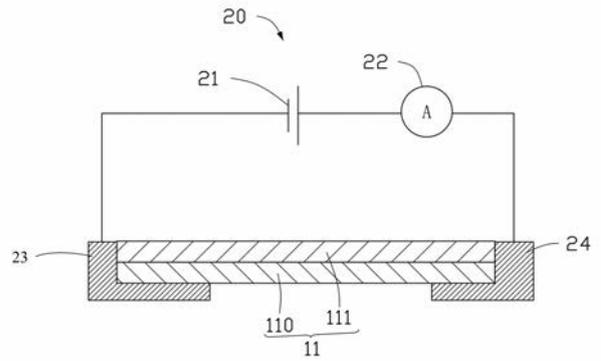
【図 2 2】



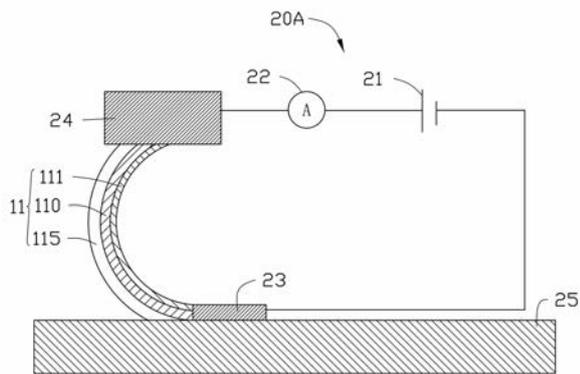
【図 2 3】



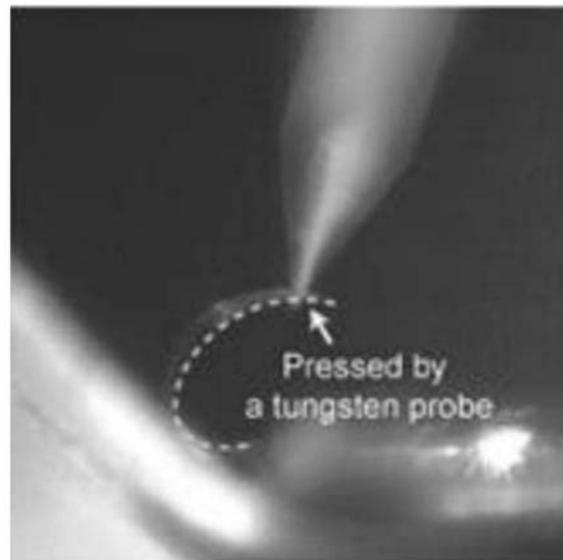
【図 2 4】



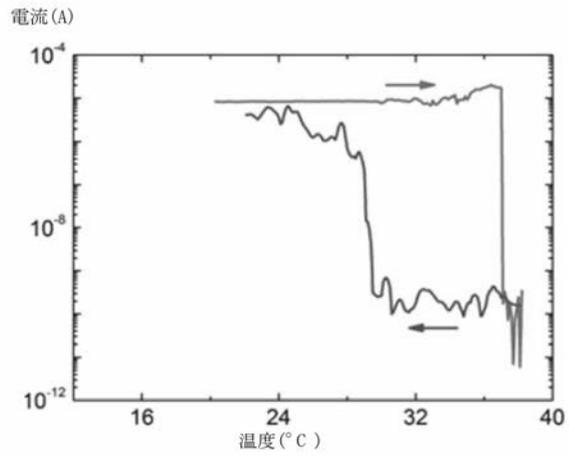
【図 2 5】



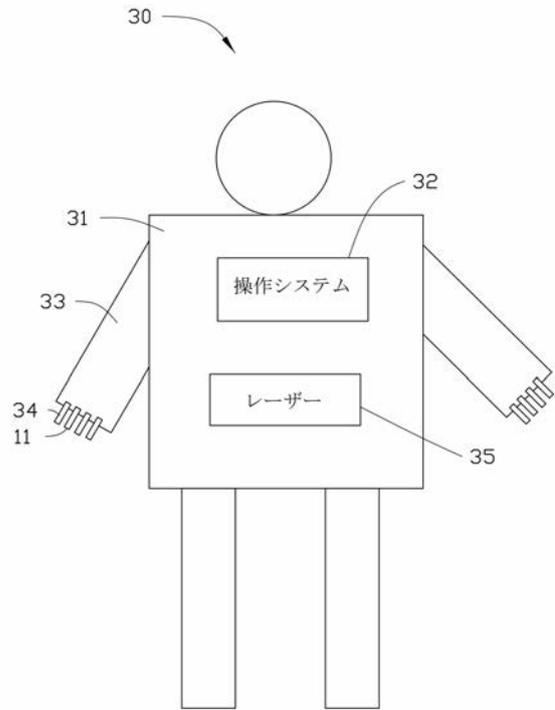
【図 2 6】



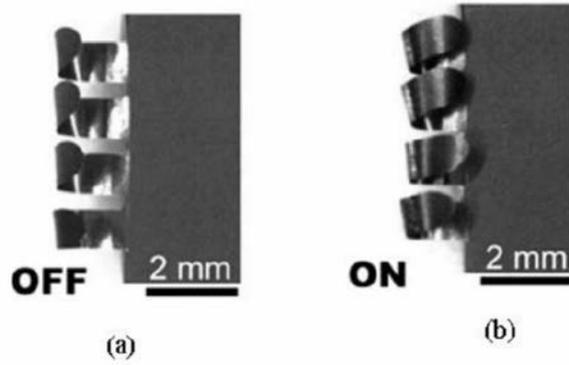
【図 27】



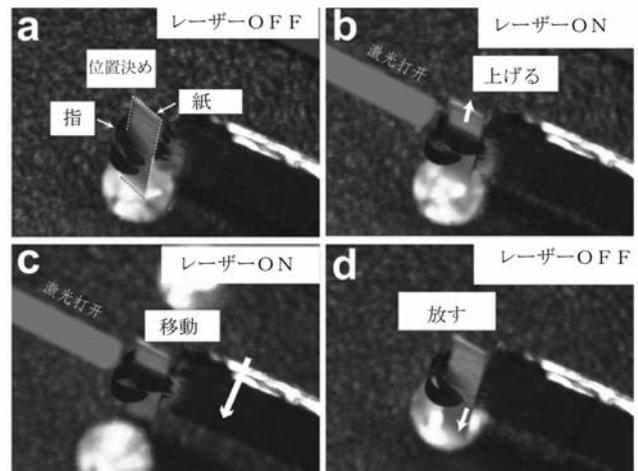
【図 28】



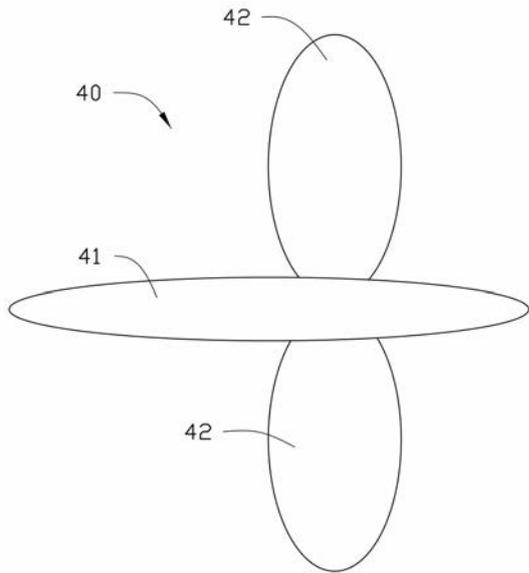
【図 29】



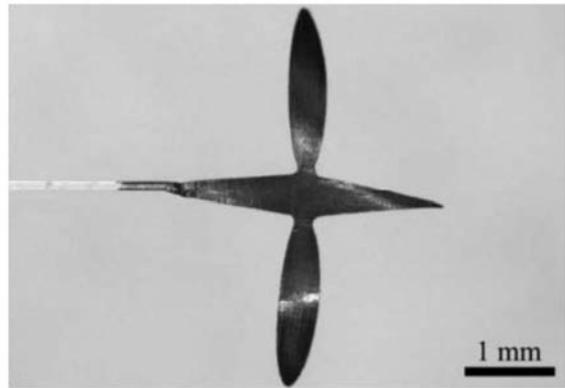
【図 30】



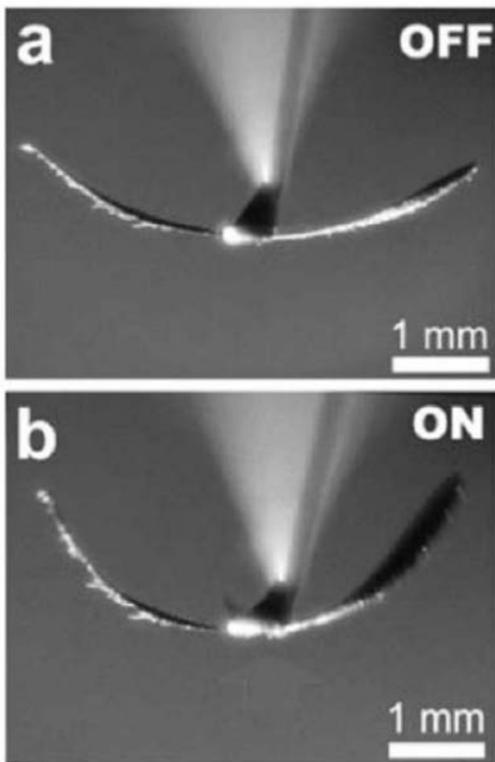
【 図 3 1 】



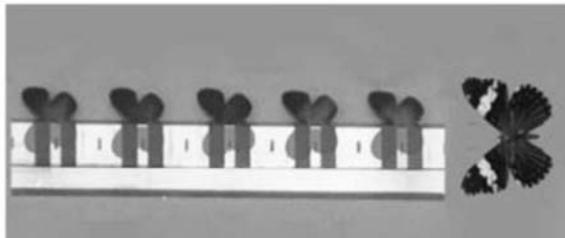
【 図 3 2 】



【 図 3 3 】



【 図 3 4 】



---

フロントページの続き

(72)発明者 姜 開利

中華人民共和国北京市海淀区清華園一号

(72)発明者 ハン 守善

中華人民共和国北京市海淀区清華園一号

Fターム(参考) 5G301 BA02

5G307 BA07 BB09 BC10 GA08 GB02 GC02