(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2017-9559
(P2017-9559A)
(43)公開日　平成29年1月12日(2017.1.12)

(51)Int.Cl.			F I			テーマコード（参考）
G01B	7/16	(2006.01)	G01B	7/16	R	2F063
G01L	1/20	(2006.01)	G01L	1/20	A	

審査請求 未請求　請求項の数 4　ＯＬ　（全 14 頁）

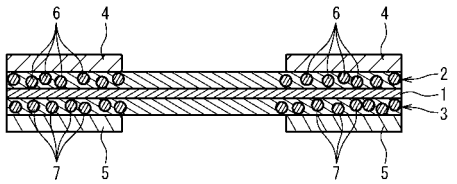
(21)出願番号　特願2015-128551 (P2015-128551)
(22)出願日　平成27年6月26日 (2015.6.26)

(71)出願人　000004075
ヤマハ株式会社
静岡県浜松市中区中沢町１０番１号
(74)代理人　100120329
弁理士　天野　一規
(74)代理人　100106264
弁理士　石田　耕治
(74)代理人　100176876
弁理士　各務　幸樹
(72)発明者　鈴木　克典
静岡県浜松市中区中沢町１０番１号　ヤマハ株式会社内
(72)発明者　奥宮　保郎
静岡県浜松市中区中沢町１０番１号　ヤマハ株式会社内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】歪みセンサ素子

(57)【要約】
【課題】本発明は、厚さ方向に挟持することで比較的確実に固定できる歪センサ素子を提供することを課題とする。
【解決手段】本発明に係る歪みセンサ素子は、一方向に引き揃えられる複数のＣＮＴ繊維を含むＣＮＴ膜又はＣＮＴ糸と、前記ＣＮＴ膜の表裏又はＣＮＴ糸の外周に被覆される樹脂層と、前記ＣＮＴ膜又はＣＮＴ糸の樹脂層被覆体の両端部領域に積層され、ＣＮＴ膜又はＣＮＴ糸と電気的に接続される一対の電極とを備える歪みセンサ素子であって、前記樹脂層が、少なくとも電極積層領域に複数の粒子を含有することを特徴とする。前記粒子が樹脂層より大きい弾性率を有するとよい。前記粒子の平均粒子径としては、前記樹脂層の平均厚さの３０％以上１２０％以下が好ましい。前記粒子が、少なくとも表層に導電性を有するとよい。
【選択図】図１



【特許請求の範囲】
【請求項１】
一方向に引き揃えられる複数のＣＮＴ繊維を含むＣＮＴ膜又はＣＮＴ糸と、
前記ＣＮＴ膜の表裏又はＣＮＴ糸の外周に被覆される樹脂層と、
前記ＣＮＴ膜又はＣＮＴ糸の樹脂層被覆体の両端部領域に積層され、ＣＮＴ膜又はＣＮＴ糸と電気的に接続される一対の電極と
を備える歪みセンサ素子であって、
前記樹脂層が、少なくとも電極積層領域に複数の粒子を含有することを特徴とする歪みセンサ素子。
【請求項２】
前記粒子が樹脂層より大きい弾性率を有する請求項１に記載の歪みセンサ素子。
【請求項３】
前記粒子の平均粒子径が前記樹脂層の平均厚さの３０％以上１２０％以下である請求項１又は請求項２に記載の歪みセンサ素子。
【請求項４】
前記粒子が、少なくとも表層に導電性を有する請求項１、請求項２又は請求項３に記載の歪みセンサ素子。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、歪みセンサ素子に関する。
【背景技術】
【０００２】
薄膜状の導電性エラストマー層とこの導電性エラストマー層の両面に積層される絶縁性エラストマー層とを備える積層体を帯状に形成し、長手方向の伸縮による導電性エラストマー層の抵抗変化を検出する歪みセンサ素子が知られている（例えば特開２０００－２５８１１２号公報参照）。
【０００３】
前記公報に記載の歪みセンサ素子は、長手方向両端部に、導電性エラストマー層と絶縁性エラストマー層との間に挿入され、導電性エラストマー層及び絶縁性エラストマー層から長手方向に突出する一対の電極用導体を備えることによって、導電性エラストマー層の抵抗変化を検出可能としている。
【０００４】
このような歪みセンサ素子は、長手方向両端部がそれぞれ歪みセンサ素子厚さ方向に挟み込まれることで測定対象に対して直接又は間接的に固定される。しかしながら、上述のように導電性エラストマー層及び絶縁性エラストマー層を積層してなる歪みセンサ素子は、厚さ方向にも弾性を有するため、しっかりと把持することが難しい。特に、歪みセンサ素子が長手方向に延伸される場合、把持部材に挟持される両端部の導電性エラストマー層及び絶縁性エラストマー層が長手方向に引っ張られることで厚さが減少し、この積層体の把持部材に対する滑りが生じやすくなる。
【０００５】
また、把持部材を用いる歪みセンサ素子の固定方法では、導電性エラストマー層及び絶縁性エラストマー層の積層体の把持部材により挟持される部分の伸縮を防止し、積層体の中央部の伸縮可能な領域を正確に定めることで、検出精度を向上させることが企図されている。しかしながら、上述のように積層体の把持部材に対する滑りが生じると、積層体の伸縮可能する領域が変化し、検出精度が低下するおそれがある。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００６】
【特許文献１】特開２０００－２５８１１２号公報

【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００７】
本発明は、このような事情に基づいてなされたものであり、厚さ方向に挟持することで比較的確実に固定できる歪センサ素子を提供することを課題とする。
【課題を解決するための手段】
【０００８】
前記課題を解決するためになされた発明は、一方向に引き揃えられる複数のＣＮＴ繊維を含むＣＮＴ膜又はＣＮＴ糸と、前記ＣＮＴ膜の表裏又はＣＮＴ糸の外周に被覆される樹脂層と、前記ＣＮＴ膜又はＣＮＴ糸の樹脂層被覆体の両端部領域に積層され、ＣＮＴ膜又はＣＮＴ糸と電気的に接続される一対の電極とを備える歪みセンサ素子であって、前記樹脂層が、少なくとも電極積層領域に複数の粒子を含有することを特徴とする歪みセンサ素子である。
【０００９】
当該歪センサ素子は、前記樹脂層が少なくとも電極積層領域に複数の粒子を含有することにより、この複数の粒子が樹脂層の厚さ方向の弾性率を大きくする。これにより、当該歪センサの両端部を厚さ方向に挟持した場合に、樹脂層に面に沿う方向の引っ張り力が作用しても樹脂層の厚さ変化が抑制されることで樹脂層を厚さ方向に挟持する力が減少し難く、当該歪センサの両端部の滑りが生じ難い。従って、当該歪センサは、両端部を厚さ方向に挟持することで比較的確実に固定することができる。また、当該歪センサは、このように両端部を確実に固定することにより、ＣＮＴ膜又はＣＮＴ糸の伸縮領域を比較的正確に定めることができるので、比較的検出精度に優れる。
【００１０】
前記粒子が樹脂層より大きい弾性率を有するとよい。このように、前記粒子が樹脂層より大きい弾性率を有することによって、粒子による樹脂層の厚さ減少抑制効果が顕著となり、固定性の向上がより確実となる。
【００１１】
前記粒子の平均粒子径としては、前記樹脂層の平均厚さの３０％以上１２０％以下が好ましい。このように、前記粒子の平均粒子径が前記範囲内であることによって、樹脂層の弾性変形に伴う厚さ減少を効果的に抑制でき、固定性の向上がより確実となる。なお、「平均粒子径」とは、レーザー回折法により測定される粒子径の分布において体積積算値が５０％となる粒子径を意味する。
【００１２】
前記粒子が少なくとも表層に導電性を有するとよい。前記粒子が少なくとも表層に導電性を有することによって、当該歪みセンサ素子の測定対象への固定のために前記樹脂層被覆体を挟持することによって、前記粒子を介してＣＮＴ膜又はＣＮＴ糸と電極との電気的接続を行うことができる。
【発明の効果】
【００１３】
以上のように、本発明の歪みセンサ素子は、厚さ方向に挟持することで比較的確実に固定することができる。
【図面の簡単な説明】
【００１４】
【図１】本発明の一実施形態の歪みセンサ素子を示す模式的断面図である。
【図２】本発明の図１とは異なる実施形態の歪みセンサ素子を示す模式的断面図である。
【図３】本発明の図１及び図２とは異なる実施形態の歪みセンサ素子を示す模式的断面図である。
【発明を実施するための形態】
【００１５】
以下、適宜図面を参照しつつ、本発明の実施の形態を詳説する。

【００１６】
［第一実施形態］
図１に示す本発明の第一実施形態の歪みセンサ素子は、一方向に引き揃えられる複数のＣＮＴ繊維を含むＣＮＴ膜１と、このＣＮＴ膜１の表裏に被覆される一対の樹脂層２，３と、前記ＣＮＴ膜の樹脂層被覆体（ＣＮＴ膜１及び樹脂層２，３の積層体）の表面側の両端部領域に積層され、ＣＮＴ膜１と電気的に接続される一対の電極４と、前記被覆体の裏面側の両端部領域に積層される一対の挟持シート５とを備える。
【００１７】
当該歪みセンサ素子は、樹脂層２，３がそれぞれ電極積層領域に複数の粒子６，７を含有する。逆にいうと、樹脂層２，３は、一対の電極間の領域には、粒子６，７を含有しない。
【００１８】
なお、当該歪みセンサ素子における「表」とは、前記被覆体を基準として一対の電極４の配設面側をいい、「裏」とは、その逆側をいい、必ずしも当該歪みセンサ素子の使用状態における表裏を意味するものではない。
【００１９】
＜ＣＮＴ膜＞
ＣＮＴ膜１は、一方向に引き揃えられる複数のＣＮＴ繊維から形成される層からなり、表裏層に後述の樹脂層２，３の少なくとも一部を構成する絶縁性エラストマーが積層され、またＣＮＴ膜１の表裏層に（少なくともＣＮＴ膜１の表層側から）絶縁エラストマーが含浸することにより膜状に形成されている。より詳しくは、ＣＮＴ膜１は、前記ＣＮＴ繊維の引き揃え方向に伸びる帯状に成形されている。ＣＮＴ膜１は、前記絶縁性エラストマーの弾性力によって弾性を有し、長手方向に伸縮可能である。このＣＮＴ膜１は、長手方向に伸長することによってＣＮＴ繊維同士が離間して電気抵抗が増大し、弾性力により収縮することで、ＣＮＴ繊維同士が再度接触して電気抵抗が減少する。なお、ＣＮＴ膜１は、ＣＮＴ繊維間の接触率を抑制して電気抵抗を調整するために、例えば合成樹脂等からなる絶縁性の繊維を含んでもよい。
【００２０】
ＣＮＴ膜１は、少なくとも表層に絶縁性エラストマーが含浸しつつ積層されているので、後述のＣＮＴ繊維束を絶縁性エラストマーが被覆するため、絶縁性エラストマーが複数のＣＮＴ繊維束の伸縮方向をガイドするガイド部材としても機能する。その結果、当該歪みセンサ素子は、伸長時に離間されたＣＮＴ繊維同士を収縮時に再度同一部位で再接触させることが可能となり、繰り返し使用に基づく伸縮歪みの検出精度の低下を防止することができる。さらに、かかる構成によると、複数のＣＮＴ繊維間の当接関係が維持され易いと共に、複数のＣＮＴ繊維の伸縮性を調整し易い。従って、ＣＮＴ膜１の伸縮歪みをさらに精度よく検出することができる。また、このような当接関係の維持及び伸縮性の調整をさらに容易にするためには、ＣＮＴ膜１の裏層（裏面近傍領域）にも絶縁性エラストマーが含浸しているのが好ましい。この際、ＣＮＴ繊維束の表層の少なくとも一部に絶縁性エラストマーが含浸するので、ＣＮＴ繊維束と絶縁性エラストマーとの結合力も高まる。
【００２１】
（ＣＮＴ繊維）
ＣＮＴ膜１を構成するＣＮＴ繊維は、それぞれ複数のＣＮＴ単繊維から形成することができる。ここで、ＣＮＴ単繊維とは、１本の長尺のカーボンナノチューブをいう。また、ＣＮＴ繊維は、ＣＮＴ単繊維の端部同士が連結する連結部を有する。ＣＮＴ単繊維同士は、これらのＣＮＴ単繊維の長手方向に連結している。このように、ＣＮＴ膜１において、ＣＮＴ単繊維同士がその長手方向に連結することでＣＮＴ繊維の配向長さの大きいＣＮＴ膜１を形成することができ、当該歪みセンサ素子の長手方向の長さを大きくして感度を向上することができる。
【００２２】
また、ＣＮＴ膜１を構成する複数のＣＮＴ繊維は、網目構造を形成していてもよい。具

体的には、複数のＣＮＴ繊維はＣＮＴ単繊維同士が連結する連結部等により網目状に連結又は接触していてもよい。この際、この連結部では３つ以上のＣＮＴ単繊維の端部が結合していてもよく、２つのＣＮＴ単繊維の端部と他の単繊維の中間部とが結合していてもよい。複数のＣＮＴ繊維がこのような網目構造を形成することで、ＣＮＴ繊維同士が密接し、ＣＮＴ膜１の抵抗を下げることができる。

【００２３】

さらに、ＣＮＴ膜１は、長手方向に配向する複数のＣＮＴ繊維からなるＣＮＴ繊維束を有してもよい。ＣＮＴ膜１が長手方向に配向する複数のＣＮＴ繊維束を有する場合、ＣＮＴ膜１が伸縮方向に延伸されるよう歪みが加わった際にＣＮＴ繊維の切断、離間、ＣＮＴ繊維束の切断空間（ギャップ）の伸縮等によりＣＮＴ膜１の抵抗がより的確に変化する。

【００２４】

より具体的には、前記ＣＮＴ繊維束は、複数のＣＮＴ繊維からなるバンドル構造となっており、このＣＮＴ繊維束の任意の横断面においては、切断されないＣＮＴ繊維と、ＣＮＴ繊維が切断及び離間したギャップの両方が存在することになる。また、複数のＣＮＴ繊維束は表層を絶縁性エラストマーで被覆されているので、このギャップ内の圧力は大気圧よりも低い（負圧である）と考えられるため、当該歪みセンサ素子の収縮時（歪の解放時）にはこのギャップの収縮力によって歪みセンサ素子の収縮が付勢される。さらに、このギャップ内ではＣＮＴ繊維同士の摩擦が低減されるため、ＣＮＴ繊維の動きが制限され難い。

【００２５】

なお、ＣＮＴ膜１は、複数のＣＮＴ繊維又は複数のＣＮＴ繊維束を平面状に略平行に配置した単層構造からなってもよいし、多層構造からなってもよい。但し、ある程度の導電性を確保するためには、多層構造とすることが好ましい。

【００２６】

ＣＮＴ単繊維としては、単層のシングルウォールナノチューブ（ＳＷＮＴ）や、多層のマルチウォールナノチューブ（ＭＷＮＴ）のいずれも用いることができるが、導電性及び熱容量等の点から、ＭＷＮＴが好ましく、直径１．５ｎｍ以上１００ｎｍ以下のＭＷＮＴがさらに好ましい。

【００２７】

前記ＣＮＴ単繊維は、公知の方法で製造することができ、例えばＣＶＤ法、アーク法、レーザーアブレーション法、ＤＩＰＳ法、ＣｏＭｏＣＡＴ法等により製造することができる。これらの中でも、所望するサイズのカーボンナノチューブ（ＭＷＮＴ）を効率的に得ることができる点から、鉄を触媒とし、エチレンガスを用いたＣＶＤ法により製造することが好ましい。この場合、石英ガラス基板や酸化膜付きシリコン基板等の基板上に触媒となる鉄又はニッケル薄膜を成膜し、カーボンナノチューブを垂直配向成長させることによって所望の長さのカーボンナノチューブの結晶を得ることができる。

【００２８】

ＣＮＴ膜１の長手方向の平均長さとしては、特に限定されず、当該歪みセンサ素子を用いる測定対象に応じて自由に選択することができるが、例えば１ｃｍ以上２０ｃｍ以下とすることができる。

【００２９】

ＣＮＴ膜１の平面視で一対の電極４間に挟まれる領域における長手方向の平均長さは、当該歪みセンサ素子を用いる測定対象に応じて自由に選択することができる。前記平均長さとしては、例えば２ｍｍ以上１８ｃｍ以下とすることができる。

【００３０】

ＣＮＴ膜１の平面視で一対の電極４と重複する領域における長手方向の平均長さは、測定対象への固定方法、電極４への配線方法等に応じて適宜選択されるが、例えば３ｍｍ以上５ｃｍ以下とすることができる。

【００３１】

ＣＮＴ膜１の平均幅は、当該歪みセンサ素子を用いる測定対象に応じて自由に選択する

ことができる。ＣＮＴ膜１の平均幅の下限としては、１ｍｍが好ましく、２ｍｍがより好ましい。一方、ＣＮＴ膜１の平均幅の上限としては、１０ｃｍが好ましく、５ｃｍがより好ましい。ＣＮＴ膜１の平均幅が前記下限に満たない場合、ＣＮＴ膜１の電気抵抗が過度に大きくなったり、ばらついたりするおそれがある。逆に、ＣＮＴ膜１の平均幅が前記上限を超える場合、当該歪みセンサ素子が大きくなり、適用可能な測定対象が過度に限定されるおそれがある。

【００３２】

ＣＮＴ膜１の平均厚さの下限としては、１μｍが好ましく、１０μｍがより好ましい。一方、ＣＮＴ膜１の平均厚さの上限としては、５ｍｍが好ましく、１ｍｍがより好ましい。ＣＮＴ膜１の平均厚さが前記下限に満たない場合、ＣＮＴ膜１の形成が困難になるおそれや、抵抗が上昇しすぎるおそれがある。逆に、ＣＮＴ膜１の平均厚さが前記上限を超える場合、歪みに対する感度が低下するおそれがある。

【００３３】

ＣＮＴ膜１の歪みがない状態での電気抵抗（一対の電極４間で測定される値）の下限としては、１０Ωが好ましく、１００Ωがより好ましい。一方、ＣＮＴ膜１の歪みがない状態での電気抵抗の上限としては、１００ｋΩが好ましく、１０ｋΩがより好ましい。ＣＮＴ膜１の歪みがない状態での電気抵抗が前記下限に満たない場合、伸び歪みを検出するための電流が大きくなり当該歪みセンサ素子の消費電力が大きくなるおそれがある。逆に、ＣＮＴ膜１の歪みがない状態での電気抵抗が前記上限を超える場合、検出回路の電圧が高くなり、当該歪みセンサ素子の出力を処理する装置の小型化や省電力化が困難となるおそれがある。

【００３４】

＜樹脂層＞

一対の樹脂層２，３は、少なくともＣＮＴ膜１に積層される部分が絶縁性エラストマーからなり、ＣＮＴ膜１の両面（前述の表裏層）にそれぞれ積層される。樹脂層２，３は、ＣＮＴ膜１の両面を覆い、ＣＮＴ膜１を保護する。これらの樹脂層２，３は、それぞれ電極４の積層領域及び挟持シート５の積層領域に複数の粒子６，７を含有する。

【００３５】

（絶縁性エラストマー）

ＣＮＴ膜１の表裏層に含浸する前記絶縁性エラストマーは、好ましくは合成樹脂やゴムを主成分とする。

【００３６】

前記合成樹脂としては、例えばフェノール樹脂（ＰＦ）、エポキシ樹脂（ＥＰ）、メラミン樹脂（ＭＦ）、尿素樹脂（ユリア樹脂、ＵＦ）、不飽和ポリエステル（ＵＰ）、アルキド樹脂、ポリウレタン（ＰＵＲ）、熱硬化性ポリイミド（ＰＩ）、ポリエチレン（ＰＥ）、高密度ポリエチレン（ＨＤＰＥ）、中密度ポリエチレン（ＭＤＰＥ）、低密度ポリエチレン（ＬＤＰＥ）、ポリプロピレン（ＰＰ）、ポリ塩化ビニル（ＰＶＣ）、ポリ塩化ビニリデン、ポリスチレン（ＰＳ）、ポリ酢酸ビニル（ＰＶＡｃ）、アクリロニトリルブタジエンスチレン樹脂（ＡＢＳ）、アクリロニトリルスチレン樹脂（ＡＳ）、ポリメチルメタアクリル（ＰＭＭＡ）、ポリアミド（ＰＡ）、ポリアセタール（ＰＯＭ）、ポリカーボネート（ＰＣ）、変性ポリフェニレンエーテル（ｍ－ＰＰＥ）、ポリブチレンテレフタレート（ＰＢＴ）、ポリエチレンテレフタレート（ＰＥＴ）、環状ポリオレフィン（ＣＯＰ）等が挙げられる。

【００３７】

前記ゴムとしては、例えば天然ゴム（ＮＲ）、ブチルゴム（ＩＩＲ）、イソプレンゴム（ＩＲ）、エチレン・プロピレンゴム（ＥＰＤＭ）、ブタジエンゴム（ＢＲ）、ウレタンゴム（Ｕ）、スチレン・ブタジエンゴム（ＳＢＲ）、シリコーンゴム（Ｑ）、クロロプレンゴム（ＣＲ）、クロロスルフォン化ポリエチレンゴム（ＣＳＭ）、アクリロニトリルブタジエンゴム（ＮＢＲ）、塩素化ポリエチレン（ＣＭ）、アクリルゴム（ＡＣＭ）、エピクロルヒドリンゴム（ＣＯ，ＥＣＯ）、フッ素ゴム（ＦＫＭ）、ポリジメチルシロキサン

（ＰＤＭＳ）等が挙げられる。中でも、強度等の点から天然ゴムが好ましい。

【００３８】

前記絶縁性エラストマーは、水性エマルジョンから形成されるものが好ましい。水性エマルジョンを用いることによって、絶縁性エラストマーがＣＮＴ繊維束に部分的に含浸しつつＣＮＴ繊維束の表層を被覆することができる。前記水性エマルジョンとは、分散媒の主成分が水であるエマルジョンをいう。カーボンナノチューブは疎水性が高いため、水性エマルジョンを用いた塗工により絶縁性エラストマーを含浸させると、この絶縁性エラストマーは複数のＣＮＴ繊維間に完全には入り込まない。つまり、複数のＣＮＴ繊維層の表層には絶縁性エラストマーが含浸するが、この絶縁性エラストマーは各ＣＮＴ繊維の厚さ方向の断面における全領域には含浸しない。これにより、絶縁性エラストマーが複数のＣＮＴ繊維間に完全にしみ込んで、ＣＮＴ膜１の抵抗変化に影響を及ぼすことを抑制し、絶縁性エラストマーの存在に起因するＣＮＴ膜１の歪に対する感度の低下を抑えることができる。

【００３９】

前記水性エマルジョンの分散媒の主成分は、水であるが、その他の例えばアルコール等の親水性分散媒が含有されていてもよい。

【００４０】

また、前記絶縁性エラストマーはカップリング剤を含有しているとよい。絶縁性エラストマーがカップリング剤を含有することで、絶縁性エラストマーとＣＮＴ繊維とを架橋し、絶縁性エラストマーとＣＮＴ繊維との接合力を向上させることができる。

【００４１】

前記カップリング剤としては、例えばアミノシランカップリング剤、アミノチタンカップリング剤、アミノアルミニウムカップリング剤等のアミノカップリング剤やシランカップリング剤などを用いることができる。

【００４２】

また、絶縁性エラストマーはＣＮＴ繊維に対する吸着性を有する分散剤を含有することが好ましい。このような吸着性を有する分散剤としては、吸着基部分が塩構造になっているもの（例えばアルキルアンモニウム塩等）や、ＣＮＴ繊維の疎水性の基（例えばアルキル鎖や芳香族リング等）と相互作用できる親水性の基（例えばポリエーテル等）を分子中に有するもの等を用いることができる。

【００４３】

これらの樹脂層２，３とＣＮＴ膜１との積層構造は、いずれかの層（又は膜）に他の層（又は膜）を形成する材料を塗工等により形成してもよく、各層（又は膜）の融着又は溶着により形成してもよく、熱可塑性接着剤を用いた各層（又は膜）の接着により形成してもよい。また、樹脂層２，３は、少なくとも部分的にＣＮＴ膜１の表層及び裏層に含浸させる絶縁性エラストマーと一体に形成される層と、この層に積層される１又は複数のさらなる絶縁性エラストマーの層とを有する多層構造を有してもよい。

【００４４】

樹脂層２，３を多層構造とする場合、前記ＣＮＴ膜１の表裏層に含浸する絶縁性エラストマーに積層される層の材質としては、柔軟性を有する限り特に限定されず、例えば合成樹脂、ゴム等が挙げられ、好ましくは合成樹脂やゴムを主成分とし、柔軟性に優れるエラストマーが用いられる。なお、表側の樹脂層２と裏側の樹脂層３とは、全体又は一部の層が異なる材質で形成されてもよい。異なる材質のものは上記の絶縁エラストマーよりも弾性率が高いものであってもよい。そうすれば、当該歪みセンサ素子のバネ性を高めることができる。

【００４５】

樹脂層２，３に用いられる合成樹脂及びゴムとしては、ＣＮＴ膜１に含浸される絶縁性エラストマーに用いられる合成樹脂及びゴムと同様とすることができる。

【００４６】

樹脂層２，３のそれぞれの平均厚さの下限としては、１０μｍが好ましく、１５μｍが

より好ましい。一方、樹脂層２，３の平均厚さの上限としては、５ｍｍが好ましく、２ｍｍがより好ましい。樹脂層２，３の平均厚さが前記下限に満たない場合、十分にＣＮＴ膜１を保護できないおそれや、粒子６，７を適切に分散できないおそれがある。逆に、樹脂層２，３の平均厚さが前記上限を超える場合、当該歪みセンサ素子が不必要に厚くなるおそれや、ＣＮＴ膜１の弾性率が大きくなり測定対象の変形を阻害するおそれがある。なお、表裏の樹脂層２，３の平均厚さは、互いに異なってもよい。

【００４７】

（粒子）

表裏の樹脂層２，３にそれぞれ含有される粒子６，７としては、各樹脂層２，３の弾性率を増大させられるものであればよく、樹脂層２，３のマトリックスとなる樹脂成分よりも大きい弾性率を有するものが好ましい。なお、表側の樹脂層２に含有される粒子６と裏側の樹脂層３に含有される粒子７とは例えば材質、粒子径等が異なってもよい。

【００４８】

具体的な粒子６，７の材質としては、例えば樹脂、ガラス、セラミックス、金属等が挙げられる。

【００４９】

樹脂層２，３に含有する粒子６，７の形状としては、特に限定されないが、樹脂層２，３のマトリックスにおける応力集中が小さくなるよう、球形に近いものが好ましい。

【００５０】

粒子６，７の平均粒子径の下限としては、それを含有する樹脂層２，３の平均厚さの３０％が好ましく、５０％がより好ましい。一方、粒子６，７の平均粒子径の上限としては、それを含有する樹脂層２，３の平均厚さの１２０％が好ましく、１００％がより好ましい。粒子６，７の平均粒子径が前記下限に満たない場合、粒子６，７を含ませても樹脂層２，３の弾性率増大による電極４及び挟持シート５間の挟持圧力の減少防止効果が不十分となるおそれがある。逆に、粒子６，７の平均粒子径が前記上限を超える場合、電極４及び挟持シート５間に粒子６，７だけが挟持されるので、樹脂層２，３及びＣＮＴ膜１を十分に固定できないおそれがある。

【００５１】

粒子６，７の粒子径の分布としては、ＣＮＴ膜１及び樹脂層２，３からなる被覆体の挟持を確実にする効果を向上するために、単一のピークを有する単分散であることが好ましく、粒子径の分散（平均粒子径との差）が小さいことがより好ましい。粒子６，７の粒子径の標準偏差としては、平均粒子径の１０％以下が好ましく、平均粒子径の５％以下がより好ましい。

【００５２】

樹脂層２，３における粒子６，７の体積含有率の下限としては、５％が好ましく、１０％がより好ましい。一方、樹脂層２，３における粒子６，７の体積含有率の上限としては、５０％が好ましく、３０％がより好ましい。樹脂層２，３における粒子６，７の体積含有率が前記下限に満たない場合、樹脂層２，３の弾性率増大による電極４及び挟持シート５間の挟持圧力の減少防止効果が不十分となるおそれがある。逆に、樹脂層２，３における粒子６，７の体積含有率が前記上限を超える場合、樹脂層２，３の引っ張り強度が不十分となるおそれがある。

【００５３】

粒子６，７を樹脂層２，３に含有させる方法としては、特に限定されないが、例えば樹脂層２，３のマトリックス樹脂を塗工し、マトリックス樹脂の乾燥又は硬化前に粒子６，７を散布して押し込む方法、粒子６，７を分散させたマトリックス樹脂と粒子６，７を含まないマトリックス樹脂とをパターニングして塗工することにより樹脂層２，３を形成する方法、粒子６，７を含む樹脂製シートと粒子６，７を含まない樹脂製シートとを溶着させて一体化する方法等が挙げられる。

【００５４】

＜電極＞

電極４としては、概略板状の導体が用いられる。このような導体としては、例えばシート状材料、網状材料等が用いられる。また、電極４の材質としては、例えば銅、アルミニウム、ニッケル、ステンレス鋼等の金属、カーボンなどが挙げられる。この電極４は、例えばＣＮＴ膜１を貫通する突起、外部の配線に接続するための突出部等を有してもよい。

【００５５】

電極４とＣＮＴ膜１との電気的接続方法としては、特に限定されないが、ＣＮＴ膜１のカーボンナノチューブが露出する端面と電極４の端面とに跨るよう導電性接着剤等を盛り付ける方法、電極４又は電極４と電気的に接続される導電性の部材にＣＮＴ膜１を貫通させる方法等が挙げられる。

【００５６】

電極４は当該歪みセンサ素子の検出信号を電気的に取り出すための端子として使用される。また、電極４は、当該歪みセンサ素子の使用中に実質的に伸縮しない。なお、「実質的に伸縮しない」とは、当該歪みセンサ素子を用いた測定中における平面視で一対の電極４間に配設される領域（以下、「伸縮領域」ともいう。）の長手方向の伸縮率に対する電極４の長手方向の伸縮率の比が、１／１００以下、好ましくは１／１０００以下であることを意味する。

【００５７】

また、当該歪みセンサ素子を用いた測定中における電極４の伸縮率に対する伸縮領域の伸縮率の比の桁数としては、測定における有効数値の桁数より大きいことが好ましく、２桁以上大きいことがより好ましい。

【００５８】

電極４を構成する材料としては、十分な非伸縮性（引張強度）と導電性とを有するものであれば特に限定されないが、例えば金属箔、導電性布等が使用される。また、電極４は、少なくとも外面に配置される導電層と、非伸縮性を付与する補強材層とを有する積層体であってもよい。前記金属箔の材質としては、例えば銅、アルミニウム、ニッケル、ステンレス鋼等が挙げられる。また、前記導電性布としては、少なくとも表面に導電性を有する繊維を含む織布や不織布が使用できる。さらに、電極４の表面を金等の腐食しにくい材料で被覆してもよい。また、セラミックスの表面を金等で被覆することで電極４を構成してもよい。

【００５９】

電極４の平均厚さの下限としては、１０μｍが好ましく、５０μｍがより好ましい。一方、電極４の平均厚さの上限としては、１ｍｍが好ましく、０．５ｍｍがより好ましい。電極４の平均厚さが前記下限に満たない場合、曲げ等により電極４が破断するおそれがある。逆に、電極４の平均厚さが前記上限を超える場合、当該歪みセンサ素子が不必要に厚くなるおそれや、非伸縮領域の可撓性が不足して測定対象に適切に貼着できないおそれがある。

【００６０】

電極４は、接着剤を用いて積層することができる。接着剤としては、例えば粘着剤、硬化性接着剤、熱可塑性接着剤等が使用できる。前記粘着剤としては、例えばアクリル系粘着剤等が挙げられる。前記硬化性接着剤としては、エポキシ系接着剤等が挙げられる。また、前記接着剤としては、合成樹脂中に導電性フィラーを含有する導電性接着剤を用いることもできる。

【００６１】

＜挟持シート＞

一対の挟持シート５は、裏側の樹脂層３の裏面側の量端部領域に、一対の電極４に対向するよう積層されている。挟持シート５は、例えば接着剤を用いて積層することができる。この接着剤としては、電極４を積層するために使用されるものと同様のものを用いることができる。

【００６２】

この挟持シート５は、電極４と同様に、当該歪みセンサ素子の使用中に実質的に伸縮せ

ず、非伸縮領域の伸縮を防止する。つまり、挟持シート５は、電極４との間にＣＮＴ膜１及び樹脂層２，３を挟み込むことで、非伸縮領域の伸縮をより確実に防止する。このため、挟持シート５を備えることにより、当該歪みセンサ素子はＣＮＴ膜１及び樹脂層２，３の非伸縮領域と伸縮領域とがより明確に区分される。従って、当該歪みセンサ素子は、伸縮量とＣＮＴ膜１の電気抵抗との相関が高く、歪の検出精度に優れる。

【００６３】

挟持シート５の材質としては、十分な非伸縮性を有するものであればよく、導電性のものであっても絶縁性のものであってもよい。具体的には、挟持シート５としては、例えばポリイミド、ポリエチレンテレフタレート等を主成分とする樹脂製シート、ガラスクロス等の織布などを使用することができ、電極４と同様のものを使用することもできる。また、挟持シート５として、予め粘着剤が積層された市販の粘着テープを使用してもよい。

【００６４】

挟持シート５の平均厚さの下限としては、２０μｍが好ましく、５０μｍがより好ましい。一方、挟持シート５の平均厚さの上限としては、１ｍｍが好ましく、０．５ｍｍがより好ましい。挟持シート５の平均厚さが前記下限に満たない場合、曲げ等により挟持シート５が破断するおそれがある。逆に、挟持シート５の平均厚さが前記上限を超える場合、当該歪みセンサ素子が不必要に厚くなるおそれや、非伸縮領域の可撓性が不足して測定対象に適切に貼着できないおそれがある。

【００６５】

対向し合う電極４と挟持シート５とは、例えばボルト、リベット、クランプ等の締結部材（不図示）により挟持されてもよい。この締結部材は、ＣＮＴ膜１、樹脂層２，３、電極４及び挟持シート５を貫通してもよい。また、締結部材は、測定対象に当該歪みセンサ素子の両端領域を挟持して固定するための部材と兼用されてもよい。

【００６６】

＜利点＞

当該歪みセンサ素子は、樹脂層２，３が電極積層領域に複数の粒子６，７を含有することにより、この複数の粒子６，７が樹脂層２，３の厚さ方向の弾性率を大きくする。これにより、当該歪センサの両端部を電極４及び挟持シート間を圧縮するように厚さ方向に挟持した場合に、樹脂層２，３に面に沿う方向の引っ張り力が作用しても樹脂層２，３を厚さ方向に挟持する力が減少し難い。従って、当該歪センサは、比較的確実に固定することができる。

【００６７】

また、当該歪みセンサ素子は、樹脂層２，３に含有される粒子６，７が樹脂層２，３の電極４及び挟持シート５と重複する領域の固定を確実にして、ＣＮＴ膜１の非伸縮領域と伸縮領域とを比較的正確に区分できるので、比較的検出精度に優れる。

【００６８】

［第二実施形態］

図２に示す本発明の第二実施形態の歪みセンサ素子は、一方向に引き揃えられる複数のＣＮＴ繊維を含むＣＮＴ膜１と、このＣＮＴ膜１の表裏に被覆される一対の樹脂層２，３と、前記ＣＮＴ膜の樹脂層被覆体（ＣＮＴ膜１及び樹脂層２，３の積層体）の表面側の両端部領域に積層され、ＣＮＴ膜１と電気的に接続される一対の電極４と、前記被覆体の裏面側の両端部領域に積層される一対の挟持シート５とを備える。

【００６９】

当該歪みセンサ素子は、樹脂層２，３が全体的かつ散点的に分散される複数の粒子６，７を含有する。

【００７０】

図２の歪みセンサ素子におけるＣＮＴ膜１、一対の樹脂層２，３、一対の電極４及び一対の挟持シート５は、樹脂層２，３がその全体に粒子６，７を含有することを除いて、図２の歪みセンサ素子におけるＣＮＴ膜１、一対の樹脂層２，３、一対の電極４及び一対の挟持シート５と同様である。このため、図２の歪みセンサ素子について、図１の歪みセン

サ素子と重複する説明は省略する。

【００７１】

当該歪みセンサ素子は、樹脂層２，３の全体に粒子６，７を含有するので、ＣＮＴ膜１及び一対の樹脂層２，３の積層構造を有する大判のシート体を形成し、このシート体を切断して所望の平面形状を有するＣＮＴ膜１及び一対の樹脂層２，３の被覆体を形成し、この被覆体に一対の電極４及び一対の挟持シートを積層することによって、比較的容易に製造することができる。

【００７２】

［第三実施形態］

図３に示す本発明の第三実施形態の歪みセンサ素子は、一方向に引き揃えられる複数のＣＮＴ繊維を含むＣＮＴ膜１と、このＣＮＴ膜１の表裏に被覆される一対の樹脂層２，３と、前記ＣＮＴ膜の樹脂層被覆体（ＣＮＴ膜１及び樹脂層２，３の積層体）の表面側の両端部領域に積層され、ＣＮＴ膜１と電気的に接続される一対の電極４と、前記被覆体の裏面側の両端部領域に積層される一対の挟持シート５とを備える。

【００７３】

当該歪みセンサ素子は、樹脂層２，３がそれぞれ電極積層領域に複数の粒子６ａ，７を含有する。逆にいうと、樹脂層２，３は、一対の電極間の領域には、粒子６ａ，７を含有しない。

【００７４】

当該歪みセンサ素子の表側の樹脂層２に含有される粒子６ａは、少なくとも表面に導電性を有する。従って、ＣＮＴ膜１と電極４とは、粒子６ａを介して電気的に接続される。

【００７５】

図３の歪みセンサ素子におけるＣＮＴ膜１、一対の樹脂層２，３、一対の電極４及び一対の挟持シート５は、表側の樹脂層２に含まれる粒子６ａが導電性を有することを除いて、図３の歪みセンサ素子におけるＣＮＴ膜１、一対の樹脂層２，３、一対の電極４及び一対の挟持シート５と同様である。このため、図３の歪みセンサ素子について、図１の歪みセンサ素子と重複する説明は省略する。

【００７６】

（粒子）

導電性を有する粒子６ａとしては、例えば金属、カーボン等の導電性材料からなる粒子や、例えば樹脂の粒子の表面を金属、カーボン等で被覆した粒子等が挙げられる。

【００７７】

導電性を有する粒子６ａの平均粒子径としては、図１の歪みセンサ素子の粒子６と同様とすることができる。

【００７８】

当該歪みセンサ素子は、ＣＮＴ膜１と電極４とが粒子６ａを介して電気的に接続されるので、ＣＮＴ膜１に対する電極４の接続の信頼性に優れる。

【００７９】

［その他の実施形態］

前記実施形態は、本発明の構成を限定するものではない。従って、前記実施形態は、本明細書の記載及び技術常識に基づいて前記実施形態各部の構成要素の省略、置換又は追加が可能であり、それらは全て本発明の範囲に属するものと解釈されるべきである。

【００８０】

当該歪みセンサ素子は、上述の各実施形態におけるＣＮＴ膜に換えて、一対の板状電極間を結ぶ方向に引き揃えられる複数のＣＮＴ繊維又はＣＮＴ繊維束を含む１又は複数のＣＮＴ糸を備えてもよい。この場合、ＣＮＴ糸は、外周面近傍領域に絶縁性エラストマーが含浸するものとされる。その際、樹脂層は、ＣＮＴ糸の外周を被覆する表裏一体のものとされる。また、当該歪みセンサ素子は、第１実施形態と同様に樹脂層２、３にＣＮＴ糸が挟まれたものであってもよい。

【００８１】

当該歪みセンサ素子において、樹脂層が全体に粒子を含有する場合においても、樹脂層に導電性を有する粒子を含有させてもよい。また、表裏の樹脂層に含有される粒子がいずれも導電性を有してもよい。

【００８２】

また、当該歪みセンサ素子において、複数の粒子が平面視でパターンを描くよう樹脂層の特定の領域のみに含有されてもよい。例えば複数粒子をＣＮＴ繊維と垂直方向に延在するストライプ状の領域に選択的に含有させることにより、樹脂層のＣＮＴ繊維に沿う方向の伸縮性の低下を抑制しつつ、当該歪みセンサ素子の挟持を比較的確実にすることができる。なお、粒子の含有パターンはこれに限られず、複数の粒子をＣＮＴ繊維と平行な方向や斜め方向に延在するストライプ状の領域に選択的に含有させてもよいし、複数の粒子を例えばジグザグ状、散点状等の任意のパターンで含有させてもよい。

【００８３】

当該歪みセンサ素子において、挟持シートは必須ではなく、裏面側の樹脂層は粒子を含有していなくてもよい。

【００８４】

当該歪みセンサ素子において、樹脂層が多層構造を有する場合、厚さ方向の弾性率に実質的に影響する層に粒子が含有されていればよい。

【産業上の利用可能性】

【００８５】

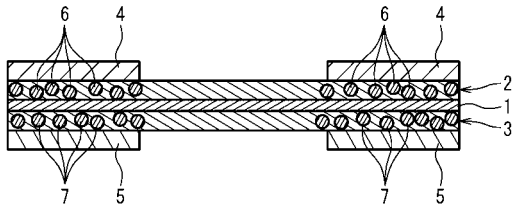
本発明に係る歪みセンサ素子は、ウェアラブルデバイス等のセンサとして好適に利用できる。

【符号の説明】

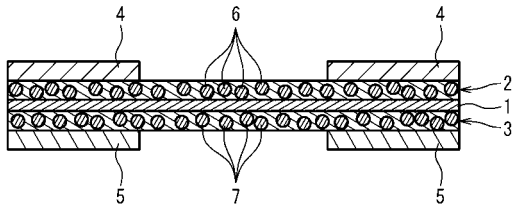
【００８６】

１　ＣＮＴ膜
２，３　樹脂層
４　電極
５　挟持シート
６，６ａ，７　粒子

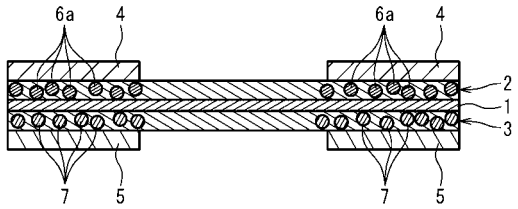
【図１】



【図２】



【図３】



フロントページの続き

(72)発明者　谷高　幸司
静岡県浜松市中区中沢町１０番１号　ヤマハ株式会社内

Ｆターム(参考) 2F063 AA25 CA09 CA40 EC03 EC07 EC13 EC14 EC15 EC26