

(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2016-12448
(P2016-12448A)

(43) 公開日 平成28年1月21日(2016.1.21)

(51) Int.Cl.			F I	テーマコード (参考)		
HO 1 B	5/02	(2006.01)	HO 1 B	5/02	A	5G301
HO 1 B	1/04	(2006.01)	HO 1 B	1/04		5G307
HO 1 B	1/02	(2006.01)	HO 1 B	1/02	Z	

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願2014-132964 (P2014-132964)
(22) 出願日 平成26年6月27日 (2014.6.27)

(71) 出願人 000003067
TDK株式会社
東京都港区芝浦三丁目9番1号
(74) 代理人 100088155
弁理士 長谷川 芳樹
(74) 代理人 100113435
弁理士 黒木 義樹
(74) 代理人 100124062
弁理士 三上 敬史
(74) 代理人 100145012
弁理士 石坂 泰紀
(72) 発明者 吉田 誠
東京都港区芝浦三丁目9番1号 TDK-EPC株式会社内

最終頁に続く

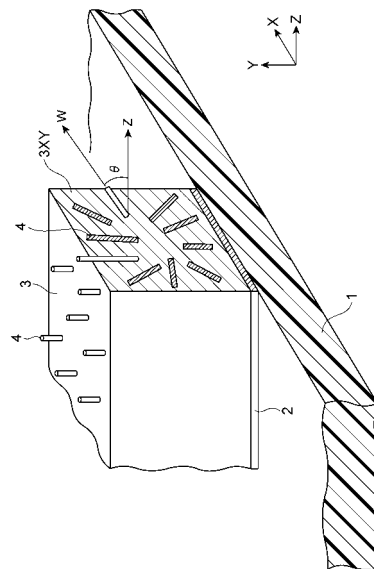
(54) 【発明の名称】 導電線

(57) 【要約】

【課題】 電流密度が高くても溶断しにくい導電線を提供する。

【解決手段】 この導電線は、金属及びカーボンナノチューブを備える導電線である。前記導電線の長手方向に垂直な前記導電線の断面内の全カーボンナノチューブの面積の総和を $A_{z a}$ とし、前記断面内の、前記導電線の長手方向と 45° 未満の角度をなす軸線を有するカーボンナノチューブの面積の総和を $A_{z z}$ としたときに、 $A_{z z} / A_{z a} \geq 0.2$ を満たす。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

金属及びカーボンナノチューブを備える導電線であって、
前記導電線の長手方向に垂直な前記導電線の断面内の全カーボンナノチューブの面積の総和を A_{zz} とし、前記断面内の、前記導電線の長手方向と 45° 未満の角度をなす軸線を有するカーボンナノチューブの面積の総和を A_{zz} としたときに、
 $A_{zz} / A_{za} > 0.2$ をみたす、導電線。

【請求項 2】

前記断面において、前記導電線の面積に対する全カーボンナノチューブの面積の総和の割合が $1 \sim 5\%$ である、請求項 1 記載の導電線。

10

【請求項 3】

前記カーボンナノチューブの端部が前記導電線の表面から突き出ている、請求項 1 又は 2 記載の導電線。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、導電線に関する。

【背景技術】

【0002】

従来より、カーボンナノチューブを含む導電線が知られている。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】 WO 2011 / 062072 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

ところで、小型軽量化を求めると導電線の断面積が小さくなる。しかしながら、導電線の断面積が小さくなると電流密度が高くなり発熱により導電線が溶断する場合がある。本発明は上記課題に鑑みてなされたものであり、電流密度が高くても溶断しにくい導電線を提供することを目的とする。

30

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明に係る導電線は、金属及びカーボンナノチューブを備える。前記導電線の長手方向に垂直な前記導電線の断面内の全カーボンナノチューブの面積の総和を A_{zz} とし、前記断面内の、前記導電線の長手方向と 45° 未満の角度をなす軸線を有するカーボンナノチューブの面積の総和を A_{zz} としたときに、 $A_{zz} / A_{za} > 0.2$ をみたす。

【0006】

本発明によれば、適切なカーボンナノチューブの垂直方向への配向度を有しているため、溶断電流を高くすることができる。

40

【0007】

ここで、前記断面において、前記導電線の面積に対する全カーボンナノチューブの面積の総和の割合が $1 \sim 5\%$ であることができる。

【0008】

また、前記カーボンナノチューブの端部が前記導電線の表面から突き出ていることができる。

【発明の効果】

【0009】

本発明によれば、電流密度が高くても溶断しにくい導電線が提供される。

【図面の簡単な説明】

50

【 0 0 1 0 】

【 図 1 】 図 1 は、本発明の実施形態に係る導電線を有する基板の斜視図である。

【 図 2 】 図 2 は、導電線の断面及びカーボンナノチューブの角度を説明する一部破断斜視図である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 1 】

本発明の実施形態について図面を参照して説明する。

本実施形態においては、図 1 に示すように、電子デバイス 10 は、基板 1、及び、基板 1 上に設けられた導電線 3 を主として有する。

【 0 0 1 2 】

基板 1 は、導電線 3 を支持する支持体である。基板 1 は電気絶縁性を有すれば特に材料は限定されない。基板 1 の材料の例は、エポキシ樹脂 / ポリイミド樹脂等の樹脂が含浸されたガラス布；ポリカーボネート樹脂、ABS 樹脂、アクリル樹脂等の誘電性樹脂板；アルミナ、ムライト、窒化珪素などのセラミック；酸化膜付き Si 基板である。基板 1 の平均厚さは、特に限定されないが、 $50\ \mu\text{m} \sim 2\ \text{mm}$ 程度である。

【 0 0 1 3 】

導電線 3 は、基板 1 の上に、シード膜 2 を介して設けられている。シード膜 2 は、電解メッキにより製造する際に必要なものであり、他の方法により製造されるものでも存在しなくても良い。シード膜 2 の材料の例は、導電線 3 中の金属、Cu / Cr 膜、Cu / Ti 膜等である。

【 0 0 1 4 】

導電線 3 は、金属及びカーボンナノチューブ (CNT) を含む。導電線 3 は、Z 軸方向に延びており、長手方向は Z 軸方向である。

【 0 0 1 5 】

金属の例は、Cu、Al、Ag、Au、Pt、Pd、及び、これらの合金である。

【 0 0 1 6 】

カーボンナノチューブは、グラフェンシートから形成された単層又は多層の管である。カーボンナノチューブの直径は、 $1 \sim 50\ \text{nm}$ であることができる。また、カーボンナノチューブの長さは、 $100\ \text{nm} \sim 250\ \mu\text{m}$ であることができる。カーボンナノチューブのアスペクト比は、 $100 \sim 5000$ であることができる。アスペクト比とは、カーボンナノチューブの長さ (nm) をカーボンナノチューブの直径 (nm) で除した値である。

【 0 0 1 7 】

導電線 3 の XY 断面形状は特に限定されず、例えば、矩形であることができる。導電線 3 の XY 断面積は、例えば、 $10 \sim 100\ \mu\text{m}^2$ とすることができる。

【 0 0 1 8 】

導電線 3 の長手方向 (Z 軸方向) に垂直な導電線 3 の断面 (XY 断面) 3 XY において (図 2 参照)、全カーボンナノチューブ 4 の面積の総和を A_{za} とし、導電線 3 の長手方向 (Z 軸方向) と 45° 未満の角度 θ をなす軸線 W を有するカーボンナノチューブ 4 の面積の総和を A_{zz} としたときに、この導電線 3 は、 $A_{zz} / A_{za} \geq 0.2$ を満たす。

【 0 0 1 9 】

具体的には、 A_{za} は、導電線 3 の断面 3 XY の SEM 画像を取得し、公知の画像処理によってカーボンナノチューブに該当する面積を取得して加算することにより得ることができる。

【 0 0 2 0 】

また、 A_{zz} は、上記断面 3 XY の SEM 画像を取得した後、さらに、Z 軸方向に導電線 3 の断面を研磨等により所定の厚み Z 、例えば、 $0.05 \sim 1\ \mu\text{m}$ 程度除去し、同様の SEM 写真を撮影し、各カーボンナノチューブの位置の変化、例えば、XY 面内における各カーボンナノチューブ領域の重心の移動量 X Y を取得し、 $X^2 + Y^2 < Z^2$ であれば、当該カーボンナノチューブの軸線 W が導電線 3 の長手方向 (Z 軸方向) と 45° 未満の角度をなす事が確認できる。

10

20

30

40

50

【0021】

なお、上記断面3XYのSEM画像を取得した際、長尺形状の断面形状を有するものが現れる場合があるが、このようなカーボンナノチューブに該当する領域は、上記AzzおよびAzaの加算対象としなくてもよい。これは、上述のカーボンナノチューブのアスペクト比を考慮すると、このような長尺形状の断面形状を有するものは、Z軸方向と 89.4° ($\tan^{-1}(100)$)以上の角度をなすものと考えられ、カーボンナノチューブ全体のうちごく一部であるとみなすことができるためである。

【0022】

また、上記断面3XYにおいて、導電線3の面積に対する全カーボンナノチューブの面積の総和の割合Bcが1~5%であることができる。

10

【0023】

この導電線3は、その表面、例えば天面に、カーボンナノチューブ4の端部が突出していることができる。突出していると、放熱効果をより高くできる。

【0024】

この導電線3は、その長手方向、即ちZ軸方向に好適に直流電流を流すことができる。特に、長手方向における溶断電流の値を、カーボンナノチューブを含まない場合よりも高くできる。

【0025】

本実施形態に係る導電線が上述の効果を奏する理由は明らかではないが、以下のように考えることができる。

20

【0026】

すなわち、 A_{zz}/A_{za} は、Z軸方向に対するカーボンナノチューブの配向度を表し、 $A_{zz}/A_{za} > 0.2$ は、カーボンナノチューブが長手方向に垂直な方向に高度に配向していることを意味する。なお、ランダム配向では、 A_{zz}/A_{za} は約0.29となる。上記の条件を満たす場合、電流が流れることにより発生する熱が導電線の外側方向に向かって効率よく移動するため、放熱効率が上がり、溶断に必要な電流が大きくなるものと考えられる。

【0027】

これに対して、 $A_{zz}/A_{za} > 0.2$ では、カーボンナノチューブの導電線の長手方向に垂直な方向への配向度が低くなり、熱を導電線の表面に向かって移動させることが促進されなくなる。

30

【0028】

また、Bcは導電線中におけるカーボンナノチューブの濃度を表し、1~5%である場合には、溶断電流向上効果が得やすい場合がある。Bcが低いと、カーボンナノチューブの濃度が低すぎて、表面に向かう熱の移動を促進する効果が低くなる傾向にある。また、Bcが高すぎると、導電線の長手方向の電気抵抗が大きくなって、発熱量が増えるために、溶断電流値の向上がかえって困難になる。

【0029】

このような電子デバイス10は例えば以下のようにして製造することができる。

【0030】

まず、基板上にシード膜2をスパッタ法、蒸着法、無電解メッキ法等で形成する。その後、導電線3に対応する領域が露出するようなレジストパターンをシード膜2上に形成する。その後、シード膜2を電極として、カーボンナノチューブを含むメッキ液で電解メッキを行って、導電線3を形成する。その後、レジストパターン、及び、不要なシード膜を除去すればよい。カーボンナノチューブをZ軸に垂直に配向させるには、電解槽において電解メッキをする際に、導電線3の長手方向に垂直方向にメッキ液の定常的な流れを形成することが効果的である。これにより、 $A_{zz}/A_{za} > 0.2$ を達成することが容易である。また、電解メッキ中に、メッキ液に対して外部から電場及び/又は磁場を印加することによって、カーボンナノチューブの配向性を高めることもできる。メッキ法で製造すると、通常、導電線3の天面からカーボンナノチューブが突き出す。

40

50

【0031】

また、導電線3中のカーボンナノチューブの濃度は、メッキ液中のカーボンナノチューブの濃度を調節することにより容易に調節できる。

【0032】

また、メッキ以外の方法でも上述の導電線を製造することができる。例えば、導電線3に対応する領域にカーボンナノチューブ合成用の触媒粒子を配置し、アセチレン等のガスを供給して基板上にカーボンナノチューブを上下方向に延びるように成長させた後、ラビング布を巻きつけたローラーによるラビング処理等でカーボンナノチューブを折り曲げて導電線の長手方向に垂直な方向に沿うように配向させ、その後、スパッタや蒸着によりカーボンナノチューブを含む金属膜を形成し、当該金属膜をパターニングすることによって得ることもできる。このようにして製造すると、通常、カーボンナノチューブはその表面からは付きでない。

10

【0033】

このような導電線3は、特に直流電流が流れる用途に広く利用することができる。例えば、このような導電線を備える電子デバイスの例は、電源回路、コンバータ等である。

【実施例】

【0034】

(実施例A1)

【0035】

導電線の直流抵抗を4端子法で測定するための平行に延びる4つの電極が予め埋め込まれたSi基板を用意した。次に、基板上に、Cr/Cuシード膜をスパッタ法により形成した。次に、導電線が形成されるべき領域が露出するようなレジストパターンを形成した。次に、メッキ液中でシード膜上にカーボンナノチューブを含むCu膜を電解メッキにより形成した。ここで、メッキ液の組成は、硫酸銅、カーボンナノチューブ及び分散剤を含むものであった。カーボンナノチューブとして市販の多層カーボンナノチューブを用いた。電解メッキ中に、攪拌羽根を用いて電解槽内に、導電線が形成されるべき領域において導電線の長手方向に垂直な方向に沿うメッキ液の流れが形成されるようにした。メッキ後、レジストを剥離し、シード膜の不要部分をミリングにより除去し、図1に示すような直線状の導電線を得た。導電線の断面形状は $10\mu\text{m} \times 10\mu\text{m}$ の矩形とした。また、長さは3mmとした。導電線の天面には、カーボンナノチューブの端面が突出していた。

20

30

【0036】

導電線の下に設けられた4つの電極を用いて4端子法により、導電線の長手方向の直流(DC)抵抗を測定した。

【0037】

また、導電線の長手方向に垂直な断面のSEM画像を得ると共に、当該断面よりもさらに $0.1\mu\text{m}$ ミリング研磨した断面のSEM画像を取得し、コンピュータ画像処理により、上記のBc、及び、Az z / Az aを取得した。

【0038】

導電線の長手方向に電流を流し、電流値を徐々に上げ、溶断する電流値を測定した。

【0039】

(実施例A2~A6)

メッキ液の流れの強さを変えてAz z / Az aを変化させる、及び/又は、メッキ液中のカーボンナノチューブの濃度を変えてBcを変化させること以外は、実施例A1と同様にして実施例A2~A6の導電線を得た。

40

(実施例A7)

実施例A2とほぼ同様にしてカーボンナノチューブを含む導電層を形成した後、さらに、無電解めっき液で $0.5\mu\text{m}$ の厚みでCuメッキすることにより、天面からカーボンナノチューブが突出しない導電線を形成した。

【0040】

(比較例A1)

50

メッキ中にカーボンナノチューブを添加しない以外は実施例 A 1 と同様にした。

【0041】

(比較例 A 2 ~ A 4)

メッキ液の流れを止め、メッキ液中のカーボンナノチューブの濃度を変えて B c を変化させること以外は、実施例 A 1 と同様にして比較例 A 2 ~ A 4 の導電線を得た。

【0042】

結果を表 1 に示す。

【表 1】

表1	金属	CNT濃度 Bc[%]	配向度 Azz/Aza [-]	CNTの 突出し	DC抵抗 (比較例A1 に対する比)	溶断電流 (比較例A1 に対する比)
実施例A1	Cu	1	0.20	天面	1.06	2.23
実施例A2	Cu	1	0.17	天面	1.11	4.35
実施例A3	Cu	1	0.12	天面	1.23	7.52
実施例A4	Cu	1	0.08	天面	1.40	11.94
実施例A5	Cu	3	0.13	天面	1.13	4.21
実施例A6	Cu	5	0.16	天面	1.15	1.92
実施例A7	Cu	1	0.15	なし	1.08	3.96
比較例A1	Cu	0	-	-	1.00	1.00
比較例A2	Cu	1	0.28	天面	1.03	0.94
比較例A3	Cu	3	0.30	天面	1.05	0.91
比較例A4	Cu	5	0.29	天面	1.11	0.81

【0043】

(実施例 B 1 ~ B 5)

基板上の導電線 3 に対応する領域にカーボンナノチューブ形成用の触媒粒子を配置し、アセチレン等のガスを供給して基板上にカーボンナノチューブを上下方向に延びるように成長させた。その後、ラビング処理によりカーボンナノチューブを折り曲げて導電線の長手方向に垂直な方向に沿うように配向させた。その後、スパッタによりカーボンナノチューブを含む A 1 膜を形成し、当該 A 1 膜をパターニングすることによって、図 1 に示すような導電膜を得た。なお、シード膜は存在しない。

【0044】

触媒粒子の濃度を変えて B c を変化させること、及び / 又は、ローラーでのカーボンナノチューブを折り曲げる際のプレス強さ及びロール回数を変えることによって、A z z / A z a を変化させた。

【0045】

(比較例 B 1)

カーボンナノチューブを形成しない以外は実施例 B 1 と同様にした。

【0046】

(比較例 B 2 ~ B 3)

触媒粒子の濃度を変えて B c を変化させること、及び / 又は、ローラーでのカーボンナノチューブを折り曲げる際のプレス強さ及びロール回数及び方向を変えることによって、A z z / A z a を変化させた。

【0047】

結果を表 2 に示す。

10

20

30

40

【表 2】

表2	金属	CNT濃度 Bc[%]	配向度 A_{zz}/A_{za} [-]	CNTの 突出し	DC抵抗 (比較例B1 に対する比)	溶断電流 (比較例B1 に対する比)
実施例B1	Al	1	0.18	なし	1.09	4.02
実施例B2	Al	1	0.07	なし	1.38	10.22
実施例B3	Al	5	0.20	なし	1.14	1.64
実施例B4	Al	5	0.06	なし	1.51	1.53
比較例B1	Al	0	-		1.00	1.00
比較例B2	Al	1	0.34	なし	1.04	0.95
比較例B3	Al	5	0.26	なし	1.10	0.84

10

【0048】

この結果によれば、 $A_{zz}/A_{za} = 0.2$ の実施例では、カーボンナノチューブを含まない場合に比べて有意に溶断電流を低減できることが確認された。また、実施例A7と、実施例A2との比較から、カーボンナノチューブの突き出しがあると溶断電流が高くなることが確認された。

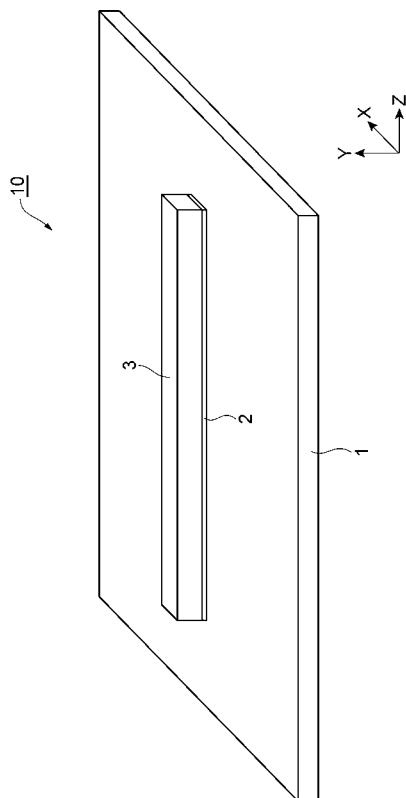
【符号の説明】

【0049】

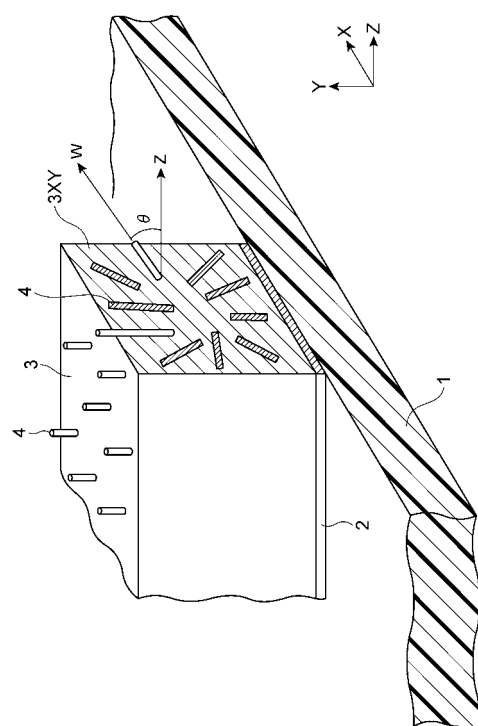
3...導電線、4...カーボンナノチューブ。

20

【図 1】



【図 2】



フロントページの続き

(72)発明者 吉田 健一
東京都港区芝浦三丁目9番1号 TDK株式会社内

(72)発明者 井上 亨
東京都港区芝浦三丁目9番1号 TDK株式会社内

(72)発明者 土門 孝彰
東京都港区芝浦三丁目9番1号 TDK株式会社内

(72)発明者 太田 尚志
東京都港区芝浦三丁目9番1号 TDK株式会社内

(72)発明者 小山内 勝則
東京都港区芝浦三丁目9番1号 TDK株式会社内

Fターム(参考) 5G301 AA01 AA02 AA03 AA08 AA14 AA16 AA17 AB08 AD10 BA03
5G307 CA03 CB02 CC04