

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7652330号
(P7652330)

(45)発行日 令和7年3月27日(2025.3.27)

(24)登録日 令和7年3月18日(2025.3.18)

(51)国際特許分類		F I			
H 0 1 G	4/33 (2006.01)	H 0 1 G	4/33	1 0 2	
H 0 1 G	4/30 (2006.01)	H 0 1 G	4/30	5 4 1	
H 1 0 D	1/68 (2025.01)	H 1 0 D	1/68		
C 0 1 B	32/158 (2017.01)	C 0 1 B	32/158		

請求項の数 13 (全34頁)

(21)出願番号	特願2024-501940(P2024-501940)	(73)特許権者	000006231 株式会社村田製作所 京都府長岡京市東神足1丁目10番1号
(86)(22)出願日	令和5年7月14日(2023.7.14)	(74)代理人	100145403 弁理士 山尾 憲人
(86)国際出願番号	PCT/JP2023/026070	(74)代理人	100221501 弁理士 式見 真行
(87)国際公開番号	WO2024/095536	(74)代理人	100190713 弁理士 津村 祐子
(87)国際公開日	令和6年5月10日(2024.5.10)	(72)発明者	柳井 創太 京都府長岡京市東神足1丁目10番1号 株式会社村田製作所内
審査請求日	令和6年1月12日(2024.1.12)	(72)発明者	清水 康弘 京都府長岡京市東神足1丁目10番1号 株式会社村田製作所内
(31)優先権主張番号	特願2022-175699(P2022-175699)		
(32)優先日	令和4年11月1日(2022.11.1)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 キャパシタ

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

導電性を有する基板と、
前記基板上に配置され、かつ、前記基板と電氣的に接続されている複数のファイバー状導電性部材と、
前記ファイバー状導電性部材の表面を被覆する誘電体層と、
前記誘電体層の表面を被覆する導電体層と、を備え、
複数の前記ファイバー状導電性部材、前記誘電体層、前記導電体層、および前記誘電体層と前記導電体層とにより被覆された複数の前記ファイバー状導電性部材の間に形成された空間は、複合バルク部材を構成し、
前記基板の厚さ方向に沿った断面において、
前記複合バルク部材が、前記基板の面内方向を幅方向として、前記基板に対して反対側の幅 W_1 と基板側の幅 W_2 とを有し、前記幅 W_1 が前記幅 W_2 より小さく、
前記複合バルク部材の、前記幅 W_1 に対応する中央領域を間に挟む一方側および他方側の少なくとも一方の外周領域において、
前記ファイバー状導電性部材は、前記基板の面内方向と平行に延在した第1部分を有する、キャパシタ。

【請求項2】

前記基板の厚さ方向に沿った断面において、
前記ファイバー状導電性部材が、前記中央領域にて最大高さ H_{max} を有し、

前記幅 W_1 、前記幅 W_2 および前記最大高さ H_{max} が、下記の関係式：

$$W_2 - W_1 \geq 1.6 \times H_{max}$$

を満たす、請求項 1 に記載のキャパシタ。

【請求項 3】

前記基板の厚さ方向に沿った断面において、

前記複合バルク部材が、一方側および他方側の前記外周領域にてそれぞれ幅 W_3 および幅 W_4 を有し、

前記幅 W_3 、前記幅 W_4 および前記最大高さ H_{max} が、下記の関係式：

$$W_3 \geq 0.8 \times H_{max}、かつ、W_4 \geq 0.8 \times H_{max}$$

を満たす、請求項 2 に記載のキャパシタ。

10

【請求項 4】

前記基板の厚さ方向に沿った断面において、

前記ファイバー状導電性部材が、前記中央領域において最大高さ H_{max} を有し、

前記第 1 部分の長さ L 、および前記最大高さ H_{max} が、下記の関係式：

$$L \geq 0.8 \times H_{max}$$

を満たす、請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載のキャパシタ。

【請求項 5】

前記基板の厚さ方向に沿った 1 つの断面において、

一方側および他方側の少なくとも一方の前記外周領域が、前記中央領域における前記ファイバー状導電性部材、前記誘電体層および前記導電体層の合計の面積占有割合 S_{12} に比べて、前記ファイバー状導電性部材、前記誘電体層および前記導電体層の合計の面積占有割合 S_{22} が高い部分を含む、請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載のキャパシタ。

20

【請求項 6】

前記基板の厚さ方向に沿った 1 つの断面において、

一方側および他方側の前記外周領域がいずれも、前記中央領域における前記ファイバー状導電性部材、前記誘電体層および前記導電体層の合計の面積占有割合 S_{12} に比べて、前記ファイバー状導電性部材、前記誘電体層および前記導電体層の合計の面積占有割合 S_{22} が高い部分を含む、請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載のキャパシタ。

【請求項 7】

前記基板の厚さ方向に沿った複数の断面において、

一方側および他方側の少なくとも一方の前記外周領域が、前記中央領域における前記ファイバー状導電性部材、前記誘電体層および前記導電体層の合計の面積占有割合 S_{12} に比べて、前記ファイバー状導電性部材、前記誘電体層および前記導電体層の合計の面積占有割合 S_{22} が高い部分を含む、請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載のキャパシタ。

30

【請求項 8】

前記基板の面内方向に沿った 1 つの断面において、

一方側および他方側の少なくとも一方の前記外周領域が、前記中央領域における前記ファイバー状導電性部材、前記誘電体層および前記導電体層の合計の面積占有割合 S_{13} に比べて前記ファイバー状導電性部材、前記誘電体層および前記導電体層の合計の面積占有割合 S_{23} が高い部分を含む、請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載のキャパシタ。

40

【請求項 9】

前記ファイバー状導電性部材が、前記中央領域にて最大高さ H_{max} を有し、前記幅 W_2 および前記最大高さ H_{max} が、下記の関係式：

$$W_2 > H_{max}$$

を満たす、請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載のキャパシタ。

【請求項 10】

前記誘電体層の厚さが、10 nm 以上である、請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載のキャパシタ。

【請求項 11】

複数の前記ファイバー状導電性部材の平均数密度が、 10^8 本 / cm^2 以上である、請

50

求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載のキャパシタ。

【請求項 1 2】

複数の前記ファイバー状導電性部材の平均長さが、50 μm 以上である、請求項 1 1 に記載のキャパシタ。

【請求項 1 3】

前記ファイバー状導電性部材が、カーボンナノチューブである、請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載のキャパシタ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、キャパシタ、より詳細には、導電体 - 誘電体 - 導電体の構造を有するキャパシタに関する。

【背景技術】

【0002】

従来、ファイバー状部材を利用してキャパシタを製造できることが知られている。例えば、特許文献 1 には、基板（ベース面）上にファイバー状部材を形成し、その表面上に、下部プレート（金属）、絶縁層、上部プレート（金属）を順次形成することにより、金属 - 絶縁体 - 金属（MIM）の構造を有するキャパシタを形成する方法が記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特表 2010 - 506391 号公報

【非特許文献】

【0004】

【文献】Michael F L De Volder, Sei Jin Park, Sameh H Tawfick, Daniel O Vidau d and A John Hart, "Fabrication and electrical integration of robust carbon nanotube micropillars by self-directed elastocapillary densification", Journal of Micromechanics and Microengineering, 2011.

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ファイバー状部材が導電性を有する場合、ファイバー状導電性部材の表面上に誘電体層を形成し、更に導電体層を形成すれば、導電体 - 誘電体 - 導電体の構造を有するキャパシタを形成することができる。

【0006】

複数のファイバー状導電性部材として、例えば、垂直配向カーボンナノチューブ（Vertically aligned carbon nanotubes、以下、「VACNT」とも言う）を利用することができる。VACNTは、触媒を付着させた基板の上に高密度に成長させて得ることができる。複数のVACNTによって、フォレストが構成される。キャパシタにおいて、VACNTは誘電体層および導電体層で覆われている。

【0007】

誘電体層および導電体層で覆われたフォレスト（複合バルク部材）は、主に誘電体層で基板と接触している。基板と誘電体層とは、熱膨張係数に差がある。そのため、キャパシタあるいはこれの前駆体が加熱されると、熱膨張係数の差によって、基板と、複合バルク部材との間で剥離が生じ得る。

【0008】

本開示の目的は、基板と複合バルク部材との接合強度の高いキャパシタを提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0009】

10

20

30

40

50

本開示の要旨によれば、
 導電性を有する基板と、
 前記基板上に配置され、かつ、前記基板と電氣的に接続されている複数のファイバー状導電性部材と、
 前記ファイバー状導電性部材の表面を被覆する誘電体層と、
 前記誘電体層の表面を被覆する導電体層と、を備え、
 複数の前記ファイバー状導電性部材、前記誘電体層、前記導電体層、および前記誘電体層と前記導電体層とにより被覆された複数の前記ファイバー状導電性部材の間に形成された空間は、複合バルク部材を構成し、
 前記基板の厚さ方向に沿った断面において、
 前記複合バルク部材が、前記基板の面内方向を幅方向として、前記基板に対して反対側の幅 W_1 と基板側の幅 W_2 とを有し、前記幅 W_1 が前記幅 W_2 より小さい、キャパシタが提供される。

10

【発明の効果】

【0010】

本開示によれば、基板と複合バルク部材との接合強度の高いキャパシタが提供される。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】本開示の実施形態1におけるキャパシタの概略断面模式図である。

【図2】図1のA部の拡大図である。

20

【図3A】図1のB部の拡大図である。

【図3B】図1のB部の基板面内方向に沿った断面図である。

【図4】本開示の実施形態2におけるキャパシタの概略断面模式図である。

【図5A】図4のD部の拡大図である。

【図5B】図4のD部の基板面内方向に沿った断面図である。

【図6】製造例1で得られた複合バルク部材の、基板の厚さ方向に沿った断面の一部を示す光学顕微鏡写真である。

【図7A】従来のキャパシタの概略断面模式図である。

【図7B】従来のキャパシタの概略断面模式図であって、複合バルク部材が剥離した様子を示す。

30

【図8A】製造例1で得られた、複合バルク部材の研磨されたXZ断面の外周領域の一部を撮影したSEM画像である。

【図8B】製造例1で得られた、複合バルク部材の研磨されたXZ断面の中央領域の一部を撮影したSEM画像である。

【図9A】製造例1で得られた、複合バルク部材の研磨されたXY断面の外周領域の一部を撮影したSEM画像である。

【図9B】製造例1で得られた、複合バルク部材の研磨されたXY断面の中央領域の一部を撮影したSEM画像である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

40

以下、本開示の一態様であるキャパシタを図示の実施の形態により詳細に説明する。なお、図面は一部模式的なものを含み、実際の寸法や比率を反映していない場合がある。本開示はこれら実施形態に限定されない。

【0013】

<実施形態1>

図1は、実施形態1におけるキャパシタの概略断面模式図である。図1は、基板10の厚さ方向に沿った断面を示す。図1では、便宜上、基板10と複合バルク部材20の外形とを示しており、ファイバー状導電性部材21、誘電体層22および導電体層23を省略している。図2は、図1のA部の拡大図である。図2において、誘電体層22および導電体層23で順次被覆されたファイバー状導電性部材21が模式的に示されている。図3A

50

は、図 1 の B 部の拡大図である。図 3 A において、誘電体層 2 2 および導電体層 2 3 で順次被覆されたファイバー状導電性部材 2 1 が模式的に示されている。図 3 B は、図 1 の B 部の基板面内方向に沿った断面図である。図 3 B は、図 3 A の I - I 断面に対応している。便宜上、図 3 A , 3 B において、基板 1 0、ファイバー状導電性部材 2 1、誘電体層 2 2 および導電体層 2 3 の一部のみが示されている。

【 0 0 1 4 】

図中、基板 1 0 の厚さ方向を Z 方向とする。キャパシタ 1 を Z 方向からみたときの基板 1 0 の中心 C を含み、Z 方向に沿って延在する直線を中心軸 A X とする。基板 1 0 の中心 C は、通常、キャパシタ 1 の中心と同軸上に存在する。キャパシタ 1 を、中心軸 A X を含み、かつ Z 方向に延びる面で切断して得られる断面の Z 方向に直交する方向を X 方向 (X Z 断面においては、幅方向ともいう。) とする。X 方向は、基板 1 0 の面内方向に対して平行な方向の一例である。Z 方向および X 方向に直交する方向を、Y 方向 (Y Z 断面においては、幅方向ともいう。) とする。

10

【 0 0 1 5 】

キャパシタ 1 を、X 方向に延びる直線と Z 方向に延びる直線とで形成され、かつ中心軸 A X を含む面で切断することにより得られる面を X Z 断面とする。X Z 断面は、基板 1 0 の厚さ方向に沿った断面の一例である。キャパシタ 1 を、Y 方向に延びる直線と Z 方向に延びる直線とで形成され、かつ中心軸 A X を含む面で切断することにより得られる面を Y Z 断面とする。Y Z 断面は、基板 1 0 の厚さ方向に沿った断面の他の一例である。キャパシタ 1 を、X 方向に延びる直線と Y 方向に延びる直線とで形成される面で切断することにより得られる面を X Y 断面とする。X Y 断面は、基板 1 0 の面内方向に対して平行な断面である。基板 1 0 の中心 C は、キャパシタ 1 を Z 方向からみたとき、基板 1 0 を内包する最小円の中心である。

20

【 0 0 1 6 】

Z 方向において、基板 1 0 から複合バルク部材 2 0 に向かう方向を上方向という場合がある。要素の上側とは、要素の上方向の側をいう。Z 方向において、複合バルク部材 2 0 から基板 1 0 に向かう方向を下方向という場合がある。要素の下側とは、要素の下方向の側をいう。X Z 断面において、X 方向を左右方向という場合がある。要素の右側とは、要素の右方向の側をいう。要素の左側とは、要素の左方向の側をいう。

【 0 0 1 7 】

(構成)

キャパシタ 1 は、導電性を有する基板 1 0 と、基板 1 0 上に配置され、かつ、基板 1 0 と電氣的に接続されている複数のファイバー状導電性部材 2 1 と、ファイバー状導電性部材 2 1 の表面を被覆する誘電体層 2 2 と、誘電体層 2 2 の表面を被覆する導電体層 2 3 と、を備える。キャパシタ 1 は、導電体層 2 3 と接触する導電部材 (図示省略) を有し得る。複数のファイバー状導電性部材 2 1、誘電体層 2 2、導電体層 2 3、および誘電体層 2 2 と導電体層 2 3 とにより被覆された複数のファイバー状導電性部材の間に形成された空間 2 4 は、複合バルク部材 2 0 を構成している。空間 2 4 は、樹脂などの充填材によって埋められていてよい。導電部材については、後述する。

30

【 0 0 1 8 】

キャパシタ 1 において、基板 1 0 上とは、基板 1 0 の外表面であって、X 方向に延びる直線と Y 方向に延びる直線とで形成される面 (X Y 面) に平行な面 (後述する表面 1 0 a) と、言い換えることができる。

40

【 0 0 1 9 】

誘電体層 2 2 は、ファイバー状導電性部材 2 1 の表面 (ただし、基板 1 0 と直接接合している領域を除く) に加えて、基板 1 0 の表面 1 0 a の、複数のファイバー状導電性部材 2 1 の間にてファイバー状導電性部材 2 1 の配置されていない部分を被覆してよい。誘電体層 2 2 は、複数のファイバー状導電性部材 2 1 の外側にて、基板 1 0 の表面 1 0 a のファイバー状導電性部材 2 1 の配置されていない部分を被覆する誘電体部分 2 2 a と連続して形成されていてよい。ただし、複合バルク部材 2 0 は、誘電体部分 2 2 a を含まな

50

い。

【 0 0 2 0 】

導電体層 2 3 は、ファイバー状導電性部材 2 1 の表面を被覆する誘電体層 2 2 に加えて、複数のファイバー状導電性部材 2 1 の間にて誘電体層 2 2 を被覆してよい。導電体層 2 3 のうち、複数のファイバー状導電性部材 2 1 の間にて誘電体層 2 2 を被覆する部分は、空間 2 4 の底部（例えばトレンチの底部）を規定するものとして理解され得る。導電体層 2 3 は、複数のファイバー状導電性部材 2 1 の外側にて誘電体部分 2 2 a を被覆する導電体部分 2 3 a と連続して形成されていてよい。ただし、複合バルク部材 2 0 は、導電体部分 2 3 a を含まない。

【 0 0 2 1 】

ファイバー状導電性部材 2 1 は、基板 1 0 に直接接合している。より詳細には、ファイバー状導電性部材 2 1 と基板 1 0 とが直接接触して接合している。ファイバー状導電性部材 2 1 は、基板 1 0 の表面 1 0 a 上で、直接合成されている。

【 0 0 2 2 】

複数のファイバー状導電性部材 2 1 は導電性を有し（代表的には、導電体であり）、これらは、基板 1 0 と電氣的に接続されることで、互いに同一の電位または電圧にあり得る。よって、ファイバー状導電性部材 2 1、誘電体層 2 2 および導電体層 2 3 により、導電体 - 誘電体 - 導電体の構造が形成される。かかる導電体 - 誘電体 - 導電体の構造は、いわゆる M I M 構造（金属 - 絶縁体 - 金属の構造）に相応するものとして理解可能である。かかる構造を有するキャパシタ 1 は、ファイバー状導電性部材 2 1 の大きい比表面積により、大きい容量密度を得ることができる。

【 0 0 2 3 】

（複合バルク部材）

複合バルク部材 2 0 は、複数のファイバー状導電性部材 2 1（以下、導電ファイバー 2 1 と称する。）、誘電体層 2 2、導電体層 2 3、および誘電体層 2 2 と導電体層 2 3 とにより被覆された複数の導電ファイバー 2 1（以下、単に被覆された導電ファイバー 2 1 とも称する。）の間に形成された空間 2 4 により構成されている。

【 0 0 2 4 】

・複合バルク部材 2 0 の決定方法

複合バルク部材 2 0 は、キャパシタ 1 の厚さ方向の断面（例えば、X Z 断面）から決定することができる。上記の通り、複合バルク部材 2 0 は、誘電体部分 2 2 a および導電体部分 2 3 a を含まないため、これを除外するように決定される。以下、厚さ方向の断面として主に X Z 断面を挙げて、説明する。

【 0 0 2 5 】

まず、被覆された導電ファイバー 2 1 同士の間形成された空間 2 4 を、任意の適切な充填樹脂で埋設する。次いで、キャパシタ 1 を Z 方向からみたときの基板 1 0 の中心 C を決定する。

【 0 0 2 6 】

中心 C を含むキャパシタ 1 の厚さ方向の断面（ここでは、X Z 断面）を、研磨により露出させる。得られた X Z 断面（N o . 1）を、走査電子顕微鏡（S E M）で観察する。X Z 断面（N o . 1）の S E M 画像には、基板 1 0 と、基板 1 0 の表面 1 0 a 上に配置された、導電ファイバー 2 1、誘電体層 2 2（および存在する場合には誘電体部分 2 2 a、以下同様）、導電体層 2 3（および存在する場合には導電体部分 2 3 a、以下同様）および充填樹脂（上記の空間 2 4 に対応）からなる第 1 部材（図示省略）とが、確認できる。さらに、導電部材が存在し得る。

【 0 0 2 7 】

当該 S E M 画像に対して画像処理を行って、第 1 部材において、導電ファイバー 2 1、誘電体層 2 2、導電体層 2 3、充填樹脂（空間 2 4）、さらには導電部材を識別し、それぞれ区別する。識別には、エネルギー分散型 X 線分析（E D X）による元素分析を併用してもよい。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 8 】

X Z 断面において、複合バルク部材 2 0 は、概ね四角形である。当該 S E M 画像において、複合バルク部材 2 0 の 4 つの角の近傍にある導電ファイバー 2 1 を、それぞれ特定する。この特定に際して、観察視野が $1 \mu\text{m} \times 1 \mu\text{m}$ 程度になるように、S E M 画像のそれぞれの角を含む部分を拡大してもよい。

【 0 0 2 9 】

当該 S E M 画像において、第 1 部材の最も基板 1 0 側であって、かつ最も左側に位置する最左端導電ファイバー 2 1 を特定する。次いで、最左端導電ファイバー 2 1 を覆う誘電体層 2 2 および導電体層 2 3 を決定する。これらは、それぞれ誘電体部分 2 2 a および導電体部分 2 3 a と連続して存在し得る。導電ファイバー 2 1 を覆う誘電体層 2 2 (および誘電体部分 2 2 a、以下同様) の厚さは、製造方法上、概ね一様である。そのため、最左端導電ファイバー 2 1 を覆う誘電体層 2 2 の外縁は、他の導電ファイバー 2 1 を覆う誘電体層 2 2 の厚さを考慮して、決定することができる。導電ファイバー 2 1 を誘電体層 2 2 を介して覆う導電体層 2 3 (および導電体部分 2 3 a、以下同様) の厚さもまた、製造方法上、概ね一様である。そのため、最左端導電ファイバー 2 1 を覆う上記導電体層 2 3 の外縁は、他の導電ファイバー 2 1 を覆う導電体層 2 3 の厚さを考慮して、決定することができる。

10

【 0 0 3 0 】

決定された導電体層 2 3 の外縁と接し、かつ中心軸 A X と平行な第 1 直線 L 1 を引く。第 1 直線 L 1 と上記導電体層 2 3 との接点は、複合バルク部材 2 0 の左底部 P 1 である。左底部 P 1 は、通常、基板 1 0 の表面 1 0 a 上にある。第 1 直線 L 1 は、誘電体層 2 2 と誘電体部分 2 2 a との境界 (仮想的な境界、以下同様)、および導電体層 2 3 と導電体部分 2 3 a との境界を規定するものとなる。第 1 直線 L 1 に対して、誘電体層 2 2 は右側に、誘電体部分 2 2 a は左側に位置する。第 1 直線 L 1 に対して、導電体層 2 3 は右側に、導電体部分 2 3 a は左側に位置する。上記の誘電体部分 2 2 a および導電体部分 2 3 a は、複合バルク部材 2 0 に含まれない。

20

【 0 0 3 1 】

同様にして、第 1 部材の最も基板 1 0 側であって、かつ最も右側に位置する導電ファイバー 2 1 を特定し、最右端導電ファイバー 2 1 を覆う誘電体層 2 2 および導電体層 2 3 を決定する。この導電体層 2 3 の外縁と接し、かつ中心軸 A X と平行な第 2 直線 L 2 を引く。第 2 直線 L 2 と上記導電体層 2 3 との接点は、複合バルク部材 2 0 の右底部 P 2 である。右底部 P 2 は、通常、基板 1 0 の表面 1 0 a 上にある。第 2 直線 L 2 は、誘電体層 2 2 と誘電体部分 2 2 a との境界、および導電体層 2 3 と導電体部分 2 3 a との境界を規定するものとなる。第 2 直線 L 2 に対して、誘電体層 2 2 は左側に、誘電体部分 2 2 a は右側に位置する。第 2 直線 L 2 に対して、導電体層 2 3 は左側に、導電体部分 2 3 a は右側に位置する。上記の誘電体部分 2 2 a および導電体部分 2 3 a は、複合バルク部材 2 0 に含まれない。

30

【 0 0 3 2 】

同様にして、第 1 部材の基板 1 0 とは反対側であって、かつ最も左側および右側に位置する導電ファイバー 2 1 をそれぞれ特定し、これら導電ファイバー 2 1 を覆うそれぞれの誘電体層 2 2 および導電体層 2 3 を決定する。左側頂部の導電ファイバー 2 1 を被覆する導電体層 2 3 の外縁と接し、かつ中心軸 A X と平行な第 3 直線 L 3 を引く。第 3 直線 L 3 と上記導電体層 2 3 との接点は、複合バルク部材 2 0 の左頂部 P 3 である。右側頂部の導電ファイバー 2 1 を被覆する導電体層 2 3 の外縁と接し、かつ中心軸 A X と平行な第 4 直線 L 4 を引く。第 4 直線 L 4 と上記導電体層 2 3 との接点は、複合バルク部材 2 0 の右頂部 P 4 である。

40

【 0 0 3 3 】

導電体層 2 3 と導電部材とが接触している場合も同様に、導電体層 2 3 の外縁は、他の導電ファイバー 2 1 を覆う導電体層 2 3 の厚さを考慮して、決定することができる。導電部材は、複合バルク部材 2 0 に含まれない。

50

【 0 0 3 4 】

複合バルク部材 2 0 は、第 1 直線 L 1 と第 2 直線 L 2 とで挟まれた領域に存在する、複数の導電ファイバー 2 1、誘電体層 2 2、導電体層 2 3 および空間 2 4 により構成される。左底部 P 1、右底部 P 2、右頂部 P 4 および左頂部 P 3 を繋いで得られる四角形は、複合バルク部材 2 0 の外形を表わす。

【 0 0 3 5 】

幅 W_1 , W_2

厚さ方向の断面において、本実施形態の複合バルク部材 2 0 は、上側の辺（上辺 s_1 ）が下側の辺（下辺 s_2 ）より短い台形である。すなわち、複合バルク部材 2 0 は、X Z 断面において、基板 1 0 に対して反対側の幅 W_1 と基板 1 0 側の幅 W_2 とを有し、幅 W_1 が幅 W_2 より小さい（ $W_1 < W_2$ ）。さらに、X Z 断面における複合バルク部材 2 0 は、下辺 s_2 と左側の辺（左辺 s_3 ）とが成す内角の角度 θ_1 および下辺 s_2 と右側の辺（右辺 s_4 ）とが成す内角の角度 θ_2 がいずれも、90 度未満である。

10

【 0 0 3 6 】

図 7 A に示すように、従来のキャパシタ 1 0 0 における複合バルク部材 1 2 0 の X Z 断面は、通常、上辺 s_{101} と下辺 s_{102} とがほぼ同じ長さ（ W_2 ）であり、4 つの角がそれぞれ概ね 90 度の矩形である。キャパシタ 1 0 0 あるいはこれの前駆体が加熱され、冷却されると、複合バルク部材 1 2 0 は大きく収縮しようとする。しかしながら、下辺 s_{102} は基板 1 1 0 に接合しているため、X 方向に収縮することができず、収縮応力 F は、Z 方向に向かって作用する。加えて、上辺 s_{101} は制限なく収縮することができるため、その収縮量は大きくなり易い。上辺 s_{101} の収縮量が大きくなると、下辺 s_{102} の端部はさらに Z 方向へと引っ張られる。これらの結果、図 7 B に示すように、複合バルク部材 1 2 0 は基板 1 1 0 から剥離してしまう。

20

【 0 0 3 7 】

本実施形態において、上辺 s_1 が下辺 s_2 よりも短いため（ $W_1 < W_2$ ）、上辺 s_1 の収縮量は、下辺 s_2 の収縮量よりも小さい。さらに、複合バルク部材 2 0 の左辺 s_3 および右辺 s_4 が Z 方向に対して傾斜しているため、下辺 s_2 にかかる収縮応力 F は、Z 方向および X 方向に分散される。これらのことにより、下辺 s_2 の端部を Z 方向へと引っ張ろうとする応力は、従来のものよりも小さくなる。よって、複合バルク部材 2 0 の基板 1 0 からの剥離が抑制される。

30

【 0 0 3 8 】

このように、本開示によれば、複合バルク部材 2 0 全体の誘電体層 2 2 を不要に厚くすることによるキャパシタ 1 の性能低下を抑制しながら、複合バルク部材 2 0 の強度を高め、剥離を抑制することができる。

【 0 0 3 9 】

キャパシタ 1 の前駆体とは、例えば、導電体層 2 3 が形成される前の、基板 1 0 と複数の導電ファイバー 2 1 と誘電体層 2 2 とを備えるものをいう。

【 0 0 4 0 】

キャパシタ 1 あるいはこれの前駆体の加熱および冷却は、例えば、誘電体層 2 2 の乾燥工程、焼成工程および成膜工程、キャパシタ 1 の製造工程および使用中に起こり得る。以下、複合バルク部材 2 0 の中心に向かって X 方向にかかる応力を引張応力と称する。

40

【 0 0 4 1 】

$W_1 < W_2$ の関係は、1 つの厚さ方向の断面において満たせばよい。

【 0 0 4 2 】

$W_1 < W_2$ の関係は、異なる複数の厚さ方向の断面において満たしてよい。 $W_1 < W_2$ の関係は、異なる 3 以上の厚さ方向の断面において満たしてよい。 $W_1 < W_2$ の関係は、任意のすべての厚さ方向の断面において満たしてよい。この場合、引張応力の緩和効果がさらに向上し得る。

【 0 0 4 3 】

異なる複数の厚さ方向の断面は、X Z 断面であり、Y Z 断面であり得る。異なる複数の

50

厚さ方向の断面は、XZ断面を、中心軸AXを中心に360度未満で回転することにより得ることができる。

【0044】

・幅 W_1 および幅 W_2 の算出方法

幅 W_1 は、XZ断面において、複合バルク部材20の上側の辺(上辺)の一方の端部を含み、かつZ方向に延びる直線と、他方の端部を含み、かつZ方向に延びる直線との間のX方向の距離である。幅 W_2 は、XZ断面において、複合バルク部材20の下側の辺(下辺)の一方の端部を含み、かつZ方向に延びる直線と、他方の端部を含み、かつZ方向に延びる直線との間のX方向の距離である。

【0045】

幅 W_1 は、具体的には、図1に示すように、第1直線L1と第2直線L2との間のX方向の距離である。幅 W_2 は、第3直線L3と第4直線L4との間のX方向の距離である。

【0046】

複数の断面における幅 W_1 、幅 W_2 は、次のようにして算出される。まず、XZ断面(No.1)を露出させた複合バルク部材20について、さらに他の厚さ方向の断面(例えば、YZ断面。No.2)を研磨により露出させる。断面(No.2)は、複合バルク部材20の厚さ方向の断面の一部(半分)を表わしている。得られた断面(No.2)を、SEMで観察して、半分になった複合バルク部材20の底部P11およびP21、頂部P31およびP41を特定する(P11~P41は図示省略)。次に、左底部P11を含み、かつZ方向に延びる直線と、右底部P21を含み、かつZ方向に延びる直線との間のX方向の距離 W_{21} 、および、左頂部P31を含み、かつZ方向に延びる直線と、右頂部P41を含み、かつZ方向に延びる直線との間のX方向の距離 W_{11} を求める。

【0047】

断面(No.2)は、上記の通り、複合バルク部材20の厚さ方向の断面の半分を表わしているが、残りの半分もこれと同様の構成を有していると考えて差し支えない。そのため、距離 W_{11} を2倍することにより、幅 W_1 が得られる。同様に、距離 W_{21} を2倍することにより、幅 W_2 が得られる。かかる操作および計算を、必要に応じて複数の異なる厚さ方向の断面について繰り返すことにより、複数の厚さ方向の断面における幅 W_1 、幅 W_2 をそれぞれ得ることができる。1つの厚さ方向の断面に対して、それぞれ1つの幅 W_1 、幅 W_2 が得られる。複数の厚さ方向の断面のそれぞれにおいて、 $W_1 < W_2$ の関係が満たされてよい。

【0048】

上辺s1は、左頂部P3と右頂部P4とを繋いでできる線分である。下辺s2は、左底部P1と右底部P2とを繋いでできる線分である。左辺s3は、左底部P1と左頂部P3とを繋いでできる線分である。右辺s4は、右底部P2と右頂部P4とを繋いでできる線分である。上辺s1、下辺s2、左辺s3および右辺s4が、複合バルク部材20の外縁である。本実施形態において、上記の4つの線分を繋いでできる複合バルク部材20の外形は、概ね台形である。

【0049】

角度 θ_1 , θ_2

1つの厚さ方向の断面において、内角の角度 θ_1 および内角の角度 θ_2 はいずれも、90度未満である。 θ_1 は、下辺s2と左辺s3とが成す内角の角度である。 θ_2 は、下辺s2と右辺s4とが成す内角の角度である。角度 θ_1 , θ_2 は、幅 W_1 および幅 W_2 を算出するのに使用したXZ断面(No.1)のSEM画像を用いて、次のようにして測定される。当該SEM画像において、底部P1およびP2、頂部P3およびP4は既に決定されている。左底部P1と右底部P2とを繋いで、下辺s2を得る。左底部P1と左頂部P3とを繋いで、左辺s3を得る。右底部P2と右頂部P4とを繋いで、右辺s4を得る。得られた下辺s2と左辺s3とが成す内角の角度を測定して、角度 θ_1 が求められる。下辺s2と右辺s4とが成す内角の角度を測定して、角度 θ_2 が求められる。

【0050】

10

20

30

40

50

1, 2 < 90度の関係は、異なる複数の厚さ方向の断面において満たしてよい。
 1, 2 < 90度の関係は、異なる3以上の厚さ方向の断面において満たしてよい。
 1, 2 < 90度の関係は、任意のすべての厚さ方向の断面において満たしてよい。複数の厚さ方向の断面における角度 1, 2 は、上記の Y Z 断面 (No. 2) 等を用いて測定および想定できる。

【0051】

中央領域 R 1、外周領域 R 2

複合バルク部材 20 は、厚さ方向の断面において、幅 W₁ に対応する中央領域 R 1 と、中央領域 R 1 を間に挟む一方側および他方側の外周領域 R 2 と、を有する。「幅 W₁ に対応する中央領域 R 1」とは、X Z 断面において、複合バルク部材 20 の上側の辺 (上辺) の一方の端部を含み、かつ Z 方向に延びる直線と、他方の端部 (この2つの端部間の X 方向の距離が幅 W₁ である。) を含み、かつ Z 方向に延びる直線とで挟まれた領域である。

10

【0052】

中央領域 R 1 は、具体的には、図 1 に示すように、複合バルク部材 20 の第 3 直線 L 3 と第 4 直線 L 4 とで挟まれた領域である。外周領域 R 2 は、複合バルク部材 20 の中央領域 R 1 以外の領域であって、中央領域 R 1 を挟み、X 方向の両端に 2 か所配置されている。一方側および他方側の外周領域 R 2 は、中央領域 R 1 を介して対向している。

【0053】

中央領域 R 1 において、導電ファイバー 21 は最大高さ H_{max} を有する。最大高さ H_{max}、幅 W₁ および幅 W₂ は、下記の関係式：

20

$$W_2 - W_1 \geq 1.6 \times H_{max}$$

を満たしてよい。

【0054】

(W₂ - W₁) は、両側の外周領域 R 2 の合計の幅を表わしている。(W₂ - W₁) が大きいほど、左辺 s₃ および / または右辺 s₄ の中心軸 A X に対する傾斜が大きいと言える。引張応力の緩和の観点から、(W₂ - W₁) は大きいほど望ましい。

【0055】

特に、(W₂ - W₁) が導電ファイバー 21 の最大高さ H_{max} の 1.6 倍以上であると、引張応力の緩和効果がより発揮される。(W₂ - W₁) は、導電ファイバー 21 の最大高さ H_{max} の 2.0 倍以上であってよい。

30

【0056】

一方、キャパシタ 1 の外径を考慮すると、(W₂ - W₁) は過度に大きくないことが望ましい。さらに容量の観点から、導電ファイバー 21 の最大高さ H_{max} はある程度確保されることが望ましい。そのため、(W₂ - W₁) は、導電ファイバー 21 の最大高さ H_{max} の 50 倍以下であってよく、10 倍以下であってよい。

【0057】

W₂ - W₁ ≥ 1.6 × H_{max} の関係は、1つの厚さ方向の断面において満たせばよい。上記の関係は、異なる複数の厚さ方向の断面において満たしてよく、異なる3以上の厚さ方向の断面において満たしてよく、任意のすべての厚さ方向の断面において満たしてよい。この場合、引張応力の緩和効果がさらに向上し得る。

40

【0058】

複合バルク部材 20 (特に、誘電体層 22) と基板 10 との接触面積が大きいほど、複合バルク部材 20 にかかる引張応力も大きくなって、剥離し易くなる。しかしながら、本開示によれば、複合バルク部材 20 の基板 10 との接触面積が大きい場合、例えば、下辺の長さ (幅 W₂) が導電ファイバー 21 の最大高さ H_{max} より大きい場合 (W₂ > H_{max}) にも、複合バルク部材 20 の剥離は抑制され得る。

【0059】

幅 W₂ は、最大高さ H_{max} の 4 倍以上であってよく、10 倍以上であってよい。幅 W₂ は、最大高さ H_{max} の 200, 000 倍以下であってよく、100, 000 倍以下であってよく、1, 000 倍以下であってよい。幅 W₂ が最大高さ H_{max} の 4 倍より小さいと、

50

複合バルク部材 20 の体積が過度に小さくなるため、キャパシタ 1 の体積容量密度も小さくなる。

【0060】

・最大高さ H_{max} の決定方法

最大高さ H_{max} は、上記の XZ 断面 (No. 1) の SEM 画像から決定される。導電ファイバー 21 の、基板 10 の表面 10a から Z 方向に最も離れている端部を特定し、この端部と表面 10a との間の Z 方向の距離が、最大高さ H_{max} である。

【0061】

幅 W_3 , W_4

引張応力の緩和の観点から、角度 θ_1 , θ_2 が小さい、すなわち左辺 s_3 および右辺 s_4 の中心軸 AX に対する傾斜が双方ともに大きいことが望ましい。左辺 s_3 および右辺 s_4 が傾斜するほど、一方側の外周領域 R2 における複合バルク部材 20 の幅 W_3 、および、他方側の外周領域 R2 における複合バルク部材 20 の幅 W_4 は、大きくなる。幅 W_3 および幅 W_4 は、例えば、下記の関係式：

$$W_3 = 0.8 \times H_{max}, \text{ かつ、 } W_4 = 0.8 \times H_{max}$$

を満たしてよい。

【0062】

幅 W_3 は、左側の外周領域 R2 における複合バルク部材 20 の X 方向の長さである。幅 W_4 は、右側の外周領域 R2 における複合バルク部材 20 の X 方向の長さである。

【0063】

W_3 および W_4 はいずれも、導電ファイバー 21 の最大高さ H_{max} の 1.0 倍以上であってよい。キャパシタ 1 の体積容量密度の観点から、 W_3 および W_4 はいずれも、導電ファイバー 21 の最大高さ H_{max} の 1,000 倍以下であってよく、50 倍以下であってよい。 W_3 と W_4 とは、同じであってよく、異なっていてよい。

【0064】

W_3 および W_4 と最大高さ H_{max} との上記の関係は、1 つの厚さ方向の断面において満たせばよい。上記の関係は、異なる複数の厚さ方向の断面において満たしてよく、異なる 3 以上の厚さ方向の断面において満たしてよく、任意のすべての厚さ方向の断面において満たしてよい。

【0065】

・幅 W_3 および幅 W_4 の算出方法

幅 W_3 および幅 W_4 は、上記の XZ 断面 (No. 1) の SEM 画像を用いて決定される。幅 W_3 は、第 1 直線 L1 と第 3 直線 L3 との間の X 方向の距離である。幅 W_4 は、第 2 直線 L2 と第 4 直線 L4 との間の X 方向の距離である。

【0066】

本実施形態において、図 3A に示すように、導電ファイバー 21 が外周領域 R2 において Z 方向に対して傾斜あるいは X 方向に屈曲している。これにより、外周領域 R2 (典型的にはその上側) において、少なくとも 2 本の導電ファイバー 21 は、誘電体層 22 を介して、あるいは誘電体層 22 を介さずに接触できる。

【0067】

本実施形態において、導電ファイバー 21 が高い強度を有している (具体的には、導電ファイバー 21 が誘電体層 22 よりも高い強度を有している)、複合バルク部材 20 の外周領域 R2 では、複数の導電ファイバー 21 が互いに支え合うことができ、複合バルク部材 20 は、外力に対して変形し難くなる。つまり、下辺 s_2 がさらに Z 方向に収縮し難くなって、複合バルク部材 20 の基板 10 からの剥離が一層、抑制される。加えて、導電ファイバー 21 が芯材として機能し得るため、引張応力による、複合バルク部材 20 におけるクラックの発生も抑制される。

【0068】

導電ファイバー 21 の強度は、例えば、 $5 \text{ Mpa} / (\text{nm})^2$ 以上 $150 \text{ Gpa} / (\text{nm})^2$ 以下である。これにより、導電ファイバー 21 が複合バルク部材 20 の芯材として

10

20

30

40

50

機能することが期待できる。導電ファイバー 21 の強度は、 $10 \text{ Mpa} / (\text{nm})^2$ 以上であってよく、 $10 \text{ Gpa} / (\text{nm})^2$ 以上であってよい。導電ファイバー 21 の強度は、 $100 \text{ Gpa} / (\text{nm})^2$ 以下であってよい。

【0069】

$5 \text{ Mpa} / (\text{nm})^2$ 以上 $150 \text{ Gpa} / (\text{nm})^2$ 以下の強度を有する導電ファイバー 21 としては、カーボンナノチューブ、金属ナノワイヤおよび導電性高分子ワイヤよりなる群から選択される少なくとも 1 種が挙げられる。

【0070】

面積占有割合 S_{11} 、 S_{21}

上記の通り、本実施形態の導電ファイバー 21 は、XZ 断面の外周領域 R2 において Z 方向に対して傾斜あるいは X 方向に屈曲している。そのため、外周領域 R2 に存在する空間 24 は、中央領域 R1 に存在する空間 24 よりも小さい。つまり、外周領域 R2 は、中央領域 R1 における導電ファイバー 21 および誘電体層 22 の合計の面積占有割合 S_{11} に比べて、導電ファイバー 21 および誘電体層 22 の合計の面積占有割合 S_{21} が高い部分を含む。

10

【0071】

空間 24 が小さいと、外力に対して変形し難くなる。そのため、下辺 s2 の Z 方向への収縮が抑制される。特に、剥離の始点である外周領域 R2 の変形が抑制されるため、複合バルク部材 20 の基板 10 からの剥離が一層、抑制される。

【0072】

面積占有割合 S_{11} は、任意の 1 つの厚さ方向の断面の中央領域 R1 の任意の一部分に占める、導電ファイバー 21 および誘電体層 22 の合計の面積占有割合である。面積占有割合 S_{21} は、上記と同じ断面の外周領域 R2 の任意の一部分に占める、導電ファイバー 21 および誘電体層 22 の合計の面積占有割合である。外周領域 R2 の一部分において、面積占有割合 S_{21} が面積占有割合 S_{11} より低い場合であっても、当該断面における外周領域 R2 の他の部分の面積占有割合 S_{21} が、面積占有割合 S_{11} より高ければよい。

20

【0073】

面積占有割合 S_{11} 、 S_{21} の上記の関係は、任意の 1 つの厚さ方向の断面の一部分において満たしていればよい。任意の 1 つの厚さ方向の断面において、一方側および他方側の外周領域 R2 がいずれも、面積占有割合 S_{11} と比べて、面積占有割合 S_{21} が高い部分を含んでよい。これにより、比較的変形し易い中央領域 R1 が左右から補強されて、複合バルク部材 20 全体の幅方向（例えば、X 方向）における収縮が抑制される。よって、複合バルク部材 20 の基板 10 からの剥離が一層抑制され易くなる。

30

【0074】

異なる複数の厚さ方向の断面において、外周領域 R2 が、面積占有割合 S_{11} に比べて、面積占有割合 S_{21} が高い部分を含んでよい。この場合にも、複合バルク部材 20 の幅方向における収縮がさらに抑制される。「複数の厚さ方向の断面において・・・高い部分を含む」とは、少なくとも 2 つの異なる厚さ方向の断面における外周領域 R2 が、面積占有割合 S_{11} に比べて、面積占有割合 S_{21} が高い部分を含むことをいう。すべての厚さ方向の断面において、外周領域 R2 が、面積占有割合 S_{11} に比べて、面積占有割合 S_{21} が高い部分を含むことを要するものではない。

40

【0075】

少なくとも 2 つの異なる厚さ方向の断面において、一方側および他方側の外周領域 R2 がいずれも、面積占有割合 S_{11} に比べて、面積占有割合 S_{21} が高い部分を含んでよい。

【0076】

「面積占有割合 S_{21} が高い」とは、面積占有割合 S_{11} と S_{21} との差が 5% 以上であることを意味する。すなわち、 $S_{21} / S_{11} > 1.05$ である。 S_{21} / S_{11} は、1.2 以上であってよく、2 以上であってよく、5 以上であってよい。

【0077】

面積占有割合 S_{11} は、0.1 以上であってよく、0.15 以上であってよく、0.2

50

0以上であってよい。面積占有割合 S_{11} は、0.5以下であってよく、0.4以下であってよく、0.35以下であってよい。

【0078】

面積占有割合 S_{21} は、0.2以上であってよく、0.25以上であってよく、0.30以上であってよい。面積占有割合 S_{21} は、0.7以下であってよく、0.5以下であってよく、0.45以下であってよい。

【0079】

・面積占有割合 S_{11} 、 S_{21} の算出方法

面積占有割合 S_{11} 、 S_{21} は、上記のXZ断面(No.1)のSEM画像を用いて、次のようにして算出される。SEM画像において、複合バルク部材20、外周領域R2および中央領域R1は既に特定されている。複合バルク部材20において、導電ファイバー21、誘電体層22、導電体層23、および充填樹脂(空間24)は区別されている。

【0080】

右側の外周領域R2における導電ファイバー21および誘電体層22の面積を、当該外周領域R2(すなわち、導電ファイバー21と誘電体層22と導電体層23と充填樹脂とを含む部分の合計)の面積で除する。これにより、右側の外周領域R2の面積占有割合 S_{21} が算出される。同様にして、左側の外周領域R2の面積占有割合 S_{21} を算出する。同様にして、中央領域R1の面積占有割合 S_{11} を算出する。

【0081】

このときの観察視野は、中央領域R1の一部のみが観察できる程度の大きさであってよい。同様に、観察視野は、外周領域R2の一部のみが観察できる程度の大きさであってよい。観察視野の大きさは、例えば、 $1\mu\text{m} \times 1\mu\text{m}$ 程度でよい。これにより、導電ファイバー21と誘電体層22と導電体層23と充填樹脂とが区別し易くなる。

【0082】

複数の厚さ方向の断面における面積占有割合 S_{11} 、 S_{21} も、複数の厚さ方向の断面における幅 W_1 および幅 W_2 を算出する場合と同様の考え方を用いて算出すればよい。つまり、厚さ方向の断面に現れた一部の外周領域R2と、その残部の外周領域R2とは同様の構成を有しており、厚さ方向の断面に現れた一部の中央領域R1と、その残部の中央領域R1とは同様の構成を有していると考えればよい。

【0083】

面積占有割合 S_{12} 、 S_{22}

外周領域R2は、中央領域R1における導電ファイバー21、誘電体層22および導電体層23の合計の面積占有割合 S_{12} に比べて、導電ファイバー21、誘電体層22および導電体層23の合計の面積占有割合 S_{22} が高い部分を含む。すなわち、 $S_{22}/S_{12} > 1.05$ を満たす。 S_{22}/S_{12} は1.2以上であってよく、2以上であってよく、5以上であってよい。

【0084】

上記の場合も空間24が小さいと言えるため、外力に対して複合バルク部材20は変形し難くなる。そのため、上記したように、外周領域R2が、面積占有割合 S_{11} に比べて面積占有割合 S_{21} が高い部分を含む場合と同様の効果が得られる。

【0085】

面積占有割合 S_{11} に関して記載された事項は、面積占有割合 S_{12} と読み替えて適用できる。面積占有割合 S_{21} に関して記載された事項は、面積占有割合 S_{22} と読み替えて適用できる。

【0086】

・面積占有割合 S_{12} 、 S_{22} の算出方法

面積占有割合 S_{12} 、 S_{22} は、導電ファイバー21、誘電体層22および導電体層23の合計の面積を、中央領域R1あるいは外周領域R2の面積で除すこと以外、面積占有割合 S_{11} 、 S_{21} と同様にして算出できる。

【0087】

10

20

30

40

50

面積占有割合 S_{13} , S_{23}

厚さ方向の断面において、外周領域 R 2 の導電ファイバー 2 1 は幅方向成分を有している。そのため、図 3 B に示すように、XY 断面において、外周領域 R 2 の被覆された導電ファイバー 2 1 の断面積は、中央領域 R 1 よりも大きい。つまり、XY 断面においても、XZ 断面と同様、外周領域 R 2 は、中央領域 R 1 における導電ファイバー 2 1、誘電体層 2 2 および導電体層 2 3 の合計の面積占有割合 S_{13} に比べて、導電ファイバー 2 1、誘電体層 2 2 および導電体層 2 3 の合計の面積占有割合 S_{23} が高い部分を含む。すなわち、 $S_{23} / S_{13} \geq 1.05$ を満たす。 S_{23} / S_{13} は 1.2 以上であってよく、2 以上であってよく、5 以上であってよい。

【0088】

面積占有割合 S_{13} は、0.08 以上であってよく、0.10 以上であってよく、0.15 以上であってよい。面積占有割合 S_{13} は、0.50 以下であってよく、0.40 以下であってよく、0.30 以下であってよい。

【0089】

面積占有割合 S_{23} は、0.15 以上であってよく、0.20 以上であってよく、0.25 以上であってよい。面積占有割合 S_{23} は、0.70 以下であってよく、0.50 以下であってよく、0.40 以下であってよい。

【0090】

図 3 B は、図 3 A の I - I 断面に対応している。I - I 断面の基板 1 0 の表面 1 0 a からの高さ H は、例えば、最大高さ H_{max} の 20% 以下である。I - I 断面が基板 1 0 に近いほど、外周領域 R 2 における被覆された導電ファイバー 2 1 の断面積は大きくなり得る。1 本の導電ファイバー 2 1 が、外周領域 R 2 と中央領域 R 1 とに跨るように配置されていてもよい。

【0091】

・面積占有割合 S_{13} , S_{23} の算出方法

面積占有割合 S_{13} , S_{23} は、中央領域 R 1 および外周領域 R 2 の決定に使用された試料と、その厚さ方向の断面 (XZ 断面) とを用いて算出できる。XZ 断面において、中央領域 R 1 および外周領域 R 2 は既に決定されている。まず、上記試料の、基板 1 0 の表面 1 0 a からの高さ H が最大高さ H_{max} の 20% 以下 (典型的には、10% 以下) となる第 1 位置における XY 断面を、研磨により露出させる。このとき、誘電体部分 2 2 a または導電体部分 2 3 a を切断する XY 断面を得てもよく、切断しない XY 断面を得てもよい。得られる XY 断面には、複合バルク部材 2 0 の XY 断面の一部 (半分以下であり得る) が示されているが、当該 XY 断面の残部も、得られる XY 断面の一部と同様の構成を有していると考えて差し支えない。

【0092】

複合バルク部材 2 0 の Z 方向から見た外形および XY 断面における外形は、例えば、円形、楕円形、多角形であり得る。

【0093】

次に、得られた XY 断面に、XZ 断面を用いて決定された中央領域 R 1 および外周領域 R 2 を投影して、XY 断面における中央領域 R 1 および外周領域 R 2 を決定する。

【0094】

続いて、画像処理 (必要に応じて EDX 分析を併用して、以下同様) により、複合バルク部材 2 0 を、導電ファイバー 2 1、誘電体層 2 2、導電体層 2 3、および充填樹脂 (空間 2 4) に区別して、面積占有割合 S_{11} , S_{21} と同様にして、面積占有割合 S_{13} , S_{23} を算出する。

【0095】

その他

上記で使用された断面 (No. 1) の SEM 画像が、基板 1 0 の厚さ方向の断面の SEM 画像であるか否かは、観察されている基板 1 0 の厚さおよび幅によって確認することができる。SEM 画像から測定される基板 1 0 の厚さが、本来の基板の厚さより大きい場合

10

20

30

40

50

、当該断面は、厚さ方向の断面ではないと判断できる。「本来の基板の厚さより大きい」とは、SEM画像における基板10の厚さが、本来の基板10の厚さより5%以上大きいことを意味する。また、SEM画像から測定される基板10の幅が、本来の基板の幅（基板の中心を通る直線と基板の両端部との2つの交点間の距離）より小さい場合にも、当該断面は、厚さ方向の断面ではないと判断できる。「本来の基板の幅より小さい」とは、SEM画像における基板10の幅が、本来の基板10の幅より5%以上小さいことを意味する。

【0096】

上記のSEM画像が厚さ方向の断面におけるものであることが確認できる点で、SEMによる観察視野は、基板10の表面10a、裏面10bおよび両端部が確認できる程度に広い（例えば、 $5\mu\text{m} \times 5\mu\text{m}$ 以上）ことが望ましい。一方、複合バルク部材20の構成要素を識別および/または区別したり、面積占有割合を算出したりするための観察視野は、もっと狭くてよい（例えば、 $1\mu\text{m} \times 1\mu\text{m}$ 程度）。

10

【0097】

上記で使用されたXY断面のSEM画像が、基板10の面内方向に平行な断面のSEM画像であるか否かは、導電ファイバー21の断面形状によって確認することができる。上記の第1位置において、導電ファイバー21の多くはZ方向に延在しており、その断面形状はほぼ円形である。そのため、導電ファイバー21の断面が扁平している場合、当該断面は、XY断面ではないと判断できる。「導電ファイバー21の断面が扁平している」とは、導電ファイバー21断面の短径に対する長径の比（長径/短径）が1.41以上であることを意味する。長径は、導電ファイバー21の断面の中心を通る径のうち最も長いものである。短径は、導電ファイバー21の断面の中心を通る径のうち最も短いものである。導電ファイバー21の断面の中心は、導電ファイバー21の断面を内包する最小円の中心である。

20

【0098】

以下、各構成要素について説明する。

導電ファイバー

本開示において、導電ファイバー21は、その長手方向寸法（長さ）が該長手方向に垂直な断面最大寸法に比して（好ましくは著しく）大きいもの、概略的には細長い糸状のもの、であれば特に限定されない。

30

【0099】

導電ファイバー21の平均長さは、面積あたりの容量密度を大きくできる点で、より長くてよい。導電ファイバー21の平均長さは、例えば、数 μm 以上、 $20\mu\text{m}$ 以上、 $50\mu\text{m}$ 以上、 $100\mu\text{m}$ 以上、 $500\mu\text{m}$ 以上、 $750\mu\text{m}$ 以上、 $1000\mu\text{m}$ 以上、または $2000\mu\text{m}$ 以上であり得る。導電ファイバー21の平均長さの上限は適宜選択され得るが、導電ファイバー21の長さは、例えば、 10mm 以下、 5mm 以下、または 3mm 以下であり得る。一態様において、導電ファイバー21の平均長さは $50\mu\text{m}$ 以上である。導電ファイバー21の平均長さは、 $50\mu\text{m}$ 以上 3mm 以下であってよい。

【0100】

導電ファイバー21の平均長さは、上記のXZ断面（No.1）のSEM画像から算出できる。導電ファイバー21の平均長さは、少なくとも5本以上の導電ファイバー21の長さの平均値である。

40

【0101】

導電ファイバー21の平均数密度（「平均本数密度」とも称される）は、面積あたりの容量密度を大きくできる点で、より大きくてよい。導電ファイバー21の平均数密度は、例えば、 10^8 本/ cm^2 以上であってよい。導電ファイバー21の平均数密度は、例えば、 10^{13} 本/ cm^2 以下であってよい。

【0102】

特に、導電ファイバー21の平均長さが $50\mu\text{m}$ 以上であって、かつ、その平均数密度が 10^8 本/ cm^2 以上であってよい。これにより、外周領域R2において、傾斜あるい

50

は屈曲した導電ファイバー 21 が、他の導電ファイバー 21 に接触し易くなって、複合バルク部材 20 の強度がより高まり易い。

【0103】

・平均数密度の算出方法

導電ファイバー 21 の平均数密度は、面積占有割合 S_{13} , S_{23} の算出に使用された XY 断面の SEM 画像を用いて、次のようにして算出される。当該 SEM 画像において、上記と同様にして、複合バルク部材 20 の外縁を決定する。決定された複合バルク部材 20 の一部（例えば、 $5\mu\text{m} \times 5\mu\text{m}$ の領域）に存在する導電ファイバー 21 の数をカウントして、単位面積当たりの導電ファイバー 21 の本数（数密度）を求める。かかる操作を繰り返して 5 視野以上での数密度を得、それらの平均値を、複合バルク部材 20 の平均数密度 N とする。

10

【0104】

導電ファイバー 21 の断面最大寸法は、例えば、 0.1nm 以上、 1nm 以上、または 10nm 以上であり得る。導電ファイバー 21 の断面最大寸法は、例えば、 1nm 以上、または 10nm 以上であり得る。導電ファイバー 21 の断面最大寸法は、 1000nm 未満、 800nm 以下、または 600nm 以下であり得る。

【0105】

導電ファイバー 21 の断面最大寸法は、面積占有割合 S_{13} , S_{23} の算出に使用された XY 断面の SEM 画像から算出できる。導電ファイバー 21 の断面最大寸法は、少なくとも 5 本以上の導電ファイバー 21 の断面最大寸法の平均値である。

20

【0106】

導電ファイバー 21 は、導電性のナノファイバー（断面最大寸法がナノスケール（ 1nm 以上 1000nm 未満）のもの）であってよい。導電性のナノファイバーは、例えば導電性のナノチューブ（中空、好ましくは円筒状）または導電性のナノロッド（中実、好ましくは円柱状）であってよい。導電性（半導電性を含む）を有するナノロッドは、ナノワイヤとも称される。

【0107】

本開示に利用可能な導電性のナノファイバーとしては、例えば、カーボンナノファイバーが挙げられる。本開示に利用可能な導電性のナノチューブとしては、例えば、金属系ナノチューブ、有機系導電性ナノチューブ、無機系導電性ナノチューブが挙げられる。典型的には、導電性のナノチューブは、カーボンナノチューブ、またはチタニアカーボンナノチューブであり得る。本開示に利用可能な導電性のナノロッド（ナノワイヤ）としては、例えば、シリコンナノワイヤ、金属ナノワイヤ（特に、銀ナノワイヤ）、導電性高分子ワイヤが挙げられる。 $5\text{Mpa}/(\text{nm})^2$ 以上 $150\text{Gpa}/(\text{nm})^2$ 以下の強度を有する導電ファイバー 21 が望ましい。

30

【0108】

なかでも、導電ファイバー 21 は、カーボンナノチューブであってよい。カーボンナノチューブは、導電性および熱伝導性を有する。

【0109】

カーボンナノチューブのカイラリティは、特に限定されず、半導体型または金属型のいずれであってもよく、または、これらを混合して用いてもよい。抵抗値を低減する観点からは、金属型の比率が高いほうが好ましい。

40

【0110】

カーボンナノチューブの層数は、特に限定されず、1 層の SWCNT (single-walled carbon nanotube) または 2 層以上の MWCNT (multi-walled carbon nanotube) のいずれであってもよい。

【0111】

複数の導電ファイバー 21 は、いわゆる垂直配向カーボンナノチューブ (VACNT) であってよい。VACNT は、大きな比表面積を有する。加えて、VACNT は、後述するように、基板 10 上に垂直に配向した状態で成長させて製造できるため、最大高さ H_m

50

a_x 、幅 W_3 および幅 W_4 等を制御し易いという利点がある。

【0112】

基板

基板10は、互いに対向する2つの主面(表面10aおよび裏面10b)を有し、例えば板状(基板)、箔状、フィルム状、ブロック状などの形態であり得る。

【0113】

基板10を構成する材料は、導電性を有し、複数の導電ファイバー21と電気的に接続可能である限り、適宜選択され得る。例えば、シリコンなどの半導体材料、金属(銅、アルミニウム、ニッケル)等の導電性材料、セラミック(酸化シリコン)や樹脂等の絶縁性(または比較的導電性が低い)材料であり得る。基板10は、一種の材料から成っていても、二種以上の材料の混合物から成っていても、二種以上の材料から構成される複合体であってもよい。基板10を構成する材料は、金属であることが、外部とのコンタクトとして利用し易く、抵抗値を低くでき、高温に耐え得るので好ましい。

10

【0114】

基板10の厚さは、特に限定されず、キャパシタ1の用途により様々であり得る。基板10は、外部とコンタクトするための電極や、電気伝導を確保するための配線が設けられてもよい。基板10のZ方向から見た外形は、例えば、円形、楕円形、多角形であってよい。

【0115】

誘電体層

誘電体層22を構成する誘電性材料としては、適宜選択され得る。例えば、二酸化シリコン、酸化アルミニウム、窒化シリコン、酸化タンタル、酸化ハフニウム、チタン酸バリウム、ジルコン酸チタン酸鉛が挙げられる。これらは単独で用いてもよく、2種以上を(例えば積層して)用いてもよい。

20

【0116】

誘電体層22の厚さは、10nm以上であってよく、15nm以上であってよい。誘電体層の厚さを10nm以上とすることにより、絶縁性を高めることができ、漏れ電流を小さくすることが可能になる。誘電体層22の厚さは、1 μ m以下であってよく、100nm以下であってよく、70nm以下であってよい。誘電体層22の厚さを1 μ m以下とすることにより、より大きな静電容量を得ることが可能になる。一態様において、誘電体層22の厚さは、10nm以上1 μ m以下である。

30

【0117】

誘電体層22の厚さは、面積占有割合 S_{13} 、 S_{23} の算出に使用されたXY断面のSEM画像から算出できる。誘電体層22の厚さは、少なくとも5本以上の導電ファイバー21を覆う誘電体層22の厚さの平均値である。

【0118】

存在する場合、誘電体部分22aを構成する材料および誘電体部分22aの厚さは、誘電体層22と同様であり得る。

【0119】

導電体層

導電体層23を構成する導電性材料としては、例えば、金属、導電性高分子(導電性を有するおよび/または導電性が付与された高分子材料であり、有機導電性材料とも称される)が挙げられる。これらは単独で用いてもよく、2種以上を用いてもよい。導電体層23は、導電性材料が異なる複数の層の積層体であってもよい。

40

【0120】

金属は、銀、金、銅、白金、アルミニウム、またはこれらの少なくとも2種を含む合金が挙げられる。導電性高分子としては、PEDOT(ポリエチレンジオキシチオフェン)、PPy(ポリピロール)、PANI(ポリアニリン)などが挙げられ、これらは、適宜、有機スルホン酸系化合物、例えばポリビニルスルホン酸、ポリスチレンスルホン酸、ポリアリルスルホン酸、ポリアクリルスルホン酸、ポリメタクリルスルホン酸、ポリ-2-

50

アクリルアミド - 2 - メチルプロパンスルホン酸、ポリイソプレンスルホン酸といったドーパントがドーブされ得る。

【0121】

導電体層23の厚さは、3nm以上であってよく、10nm以上であってよい。導電体層23の厚さを3nm以上とすることにより、導電体層23自体の抵抗値を小さくすることができる。導電体層23の厚さは、500nm以下であってよく、100nm以下であってよい。一態様において、導電体層23の厚さは、3nm以上500nm以下である。

【0122】

導電体層23の厚さは、面積占有割合 S_{13} 、 S_{23} の算出に使用されたXY断面のSEM画像から算出できる。導電体層23の厚さは、少なくとも5本以上の導電ファイバー21を覆う導電体層23の厚さの平均値である。

10

【0123】

存在する場合、導電体部分23aを構成する材料および導電体部分23aの厚さは、導電体層23と同様であり得る。

【0124】

空間

被覆された導電ファイバー21同士の間には、空間24が形成されている。厚さ方向の断面およびXY断面において、外周領域R2の空間24は中央領域R1より小さい。空間24が小さくなると、複合バルク部材20の変形が抑制され易くなって、基板10から剥離し難くなる。

20

【0125】

導電部材

キャパシタ1は、導電体層23と接触する導電部材を有し得る。導電部材は、導電体層23と電氣的に接続されており、電極をキャパシタ1の外部に引き出す役割を果たす。

【0126】

導電部材は、導電ファイバー21、誘電体層22、および基板10と接触しない。導電部材と導電体層23との境界は、SEM画像で確認できる。あるいは、導電部材と導電体層23との境界は、EDXによる元素分析により特定できる。さらには、導電部材と導電体層23との境界は、導電部材と接触していない部分の導電体層23の厚さから決定してよい。

30

【0127】

導電部材は、例えば、カーボンペーストあるいは導電性高分子材料を所定の表面/部分に適用/供給することにより形成される。カーボンペーストおよび導電性高分子材料は、一般的に粘度が比較的高いため、空間24に浸透し難く、空間24の深部(例えば、基板10の表面10a)まで到達し難い。そのため、被覆された導電ファイバー21同士の間には、空間24が維持される。

【0128】

(製造方法)

本実施形態のキャパシタ1は、例えば、以下を含む製造方法によって得ることができる：

- (a) 基板10の表面10aに配置され、かつ、当該基板10と一方の端部にて直接接合している複数の導電ファイバー21により構成される、フォレストを準備すること、
- (b) フォレストの外側にある導電ファイバー21を、中央に向けて傾斜させること、
- (c) 複数の導電ファイバー21の表面を被覆する誘電体層22(および存在する場合には誘電体部分22a、以下同様)を、ゾルゲル法により形成すること、および
- (d) 誘電体層22の表面を被覆する導電体層23(および存在する場合には導電体部分23a、以下同様)を形成すること。

40

以下、工程(a)~(d)についてより詳細に説明する。

【0129】

工程(a)

まず、基板10上に配置され、かつ、基板10と一方の端部にて直接接合している複数

50

の垂直配向カーボンナノチューブ（VACNT）により構成される、フォレストを準備する。

【0130】

工程（a）は、基板10の表面10a上に触媒を適用し、表面10aから複数のVACNTを成長させる（換言すれば、基板10上に直接合成することにより実施できる。より詳細には以下の通りである。

【0131】

基板10は、VACNTを成長させるための合成基板であってよい。一般的には、合成基板の材料は、特に限定されず、例えば、酸化シリコン、シリコン、ガリウム砒素、アルミニウム、SUSなどを用いることができる。本実施形態では、合成基板として、導電性を有する基板10を使用する。

10

【0132】

まず、基板10の表面10aに触媒を付着させる。触媒としては、鉄、ニッケル、白金、コバルト、またはこれらを含む合金などが用いられる。基板10に触媒を付着させる方法には、化学気相成長法（CVD）、スパッタ、物理気相成長法（PVD）、原子層堆積法（ALD）などを使用でき、場合により、かかる技術を、リソグラフィやエッチングなどの技術と組み合わせてもよい。

【0133】

そして、触媒を付着させた基板10上にVACNTを成長させる（直接合成する）。VACNTを成長させる方法は、特に限定されず、CVDやプラズマ強化CVDなどを、必要に応じて加熱下にて用いることができる。使用するガスは、特に限定されず、例えば一酸化炭素、メタン、エチレンおよびアセチレンからなる群より選択される少なくとも一種、あるいは、これらの少なくとも一種と水素および/またはアンモニアとの混合物などを用いることができる。所望される場合には、VACNTを成長させる際の周囲雰囲気中に、水分を存在させてもよい。これにより、基板10上に、触媒を核としてVACNTが成長する。基板10の触媒を付着させた側のVACNTの端は、基板10に（一般的には触媒を介して）固定されている固定端であり、VACNTの反対側の端が、成長点である自由端である。VACNTの長さおよび径は、ガス濃度、ガス流量、温度等のパラメータに応じて異なり得る。即ち、これらのパラメータを適宜選択することにより、VACNTの長さおよび径を調整することができる。

20

30

【0134】

この結果、基板10上にVACNT（導電ファイバー21）のフォレストが作製される。得られたフォレストにおける各VACNTの長さは、厳密には、成長速度差等に起因して自由端側でばらつき（例えば面内ばらつき）を生じ得る。触媒を付着させた基板10上にVACNTを成長させるとき、VACNTの合成途中で触媒が失活して、成長が停止するカーボンナノチューブ（CNT）が存在し得る。成長が停止したCNTは、引き続き成長しているCNTと絡まって引っ張られることで、その固定端が基板10から離れて、VACNTの先端方向へ引き上げられる。

【0135】

以上より得られた複数のVACNT（導電ファイバー21）は、基板10上に配置され、かつ、基板10と一方の端部にて直接接合することとなる。ただし、上記の説明から理解されるように、一部のCNTは、基板10と直接接合していなくてよい。

40

【0136】

工程（b）

次に、フォレストの縁にあるVACNTを、中央に向けて傾斜させる。これにより、得られる複合バルク部材20の厚さ方向の断面において、上辺の長さ（ W_1 ）が下辺の長さ（ W_2 ）より小さくなる（ $W_1 < W_2$ ）。

【0137】

フォレストを適切な溶媒に浸漬することで、フォレストの縁にあるVACNTを、中央に向けて傾斜させることができる。フォレストを適切な溶媒に浸漬すると、特にフォレス

50

トの外側にあるVACNT同士が凝集し易くなる。一方、フォレストの中央付近にあるVACNTは直立状態が維持され易い。その結果、縁にあるVACNTが中央に向かって傾斜する。

【0138】

溶媒は、VACNTの濡れ性を考慮して選択される。VACNTの濡れ性が低過ぎると、VACNT同士の凝集が進行し難い。一方、VACNTの濡れ性が高過ぎると、VACNT同士の凝集が過剰に進行して、キャパシタ1に適した複合バルク部材20が得られ難い。適切な溶媒としては、例えば、水、エタノール、イソプロパノール、アセトンが挙げられる。なかでも、エタノールであってよい。

【0139】

溶媒には、界面活性剤が添加されてよい。これにより、VACNTの濡れ性が容易に調整される。界面活性剤は、アニオン性であってよい。界面活性剤は、親水基の電荷や分子量を考慮して適宜選択される。界面活性剤としては、ドデシル硫酸ナトリウム、臭化セチルトリメチルアンモニウム、ドデシルベンゼンスルホン酸ナトリウムが挙げられる。界面活性剤の添加量は、VACNTの濡れ性を考慮して適宜設定される。

【0140】

溶媒には、誘電体層22の材料が添加されてよい。これにより、工程(b)で用いた浴をそのまま用いて、工程(c)を実施することができる。

【0141】

浸漬条件もまた、VACNTの濡れ性を考慮して設定される。浸漬は、過度な凝集が抑制できる点で、室温(23 ± 3)の溶媒に、基板10と液面との成す角度が概ね90度になるように、2 ~ 10 mm / 秒(典型的には、5 mm / 秒)の速度で、フォレストが設けられた基板10を投入することにより、実施されてよい。フォレストを溶媒に浸漬した後、引き上げて乾燥させることにより、フォレストの外側のVACNTを中央に向かって大きく傾斜あるいは屈曲させることができる。

【0142】

フォレストの凝集に関しては、非特許文献1にも記載がある。

【0143】

工程(c)

続いて、少なくともVACNTの表面を被覆する誘電体層22を、ゾルゲル法により形成する。

【0144】

ゾルゲル法に代表される液相成膜法により形成される膜は、内部に不純物や揮発成分を含みやすい。このような不純物や揮発成分は、加熱によって容易に脱離するため、膜の収縮量が大きくなり易く、複合バルク部材20にかかる引張応力もより大きくなる。しかしながら、本開示における複合バルク部材20によれば、液相成膜法により誘電体層22が形成される場合であっても、基板10からの剥離が抑制される。

【0145】

ゾルゲル法の実施条件を適切に選択ないし設定することで、形成される誘電体層22の厚さを制御することができる。例えば、液相成膜法に使用する液の仕込み組成、仕込みに使用する溶媒(例えば水、エタノール、イソプロパノール、アセトン)、成膜時間、攪拌速度、温度などを適切に選択ないし設定すればよい。

【0146】

上記の通り、工程(b)で用いる溶媒に誘電体層22の材料が添加されている場合、工程(b)と工程(c)とは、同じ浴にて、同時あるいは連続的に実施される。言い換えれば、VACNT同士の凝集と、誘電体層22の材料の付着とが、同時あるいは連続して進行する。誘電体層22の材料がVACNTの表面に付着することにより、VACNT同士の適切な凝集状態が維持され易くなって、その後に行われる乾燥によってさらに凝集が進行してしまうことが抑制される。このように凝集状態を制御し易い点で、工程(b)と工程(c)とは、同時あるいは連続的に実施されてよい。この場合、成膜時間は1 ~

10

20

30

40

50

3時間（典型的には、1.5時間）であってよく、攪拌速度は150～500rpm（典型的には、300rpm）であってよい。その他の条件は、工程（b）における浸漬条件と同様であってよい。

【0147】

その後、乾燥させて溶媒を除去することにより、誘電体層22が形成される。

【0148】

工程（d）

続いて、誘電体層22の表面を被覆する導電体層23を形成する。

【0149】

導電体層23の成膜法は、特に限定されず、液相成膜法、気相成膜法およびそれらの組み合わせを用いてよい。液相成膜法は、例えば、ゾルゲル法、メッキ等であり得る。気相成膜法は、ALD、スパッタ、CVD等であり得る。

10

【0150】

例えば、導電体層23は、導電性高分子を用いて液相成膜法で形成することができる。より詳細には、導電性高分子を有機溶媒に溶解または分散させた液状組成物を所定の表面/部分に適用/供給する（例えば塗布または浸漬等する）ことで、導電体層23を形成することができる。導電性高分子は、誘電体層22で被覆した複数の導電ファイバー21の間に形成される空間に浸透させ易く、該空間の深部（例えば底部）においても導電体層23を適切に形成できる。

【0151】

以上により、図1、図2、図3Aおよび図3Bに示すキャパシタ1を製造することができる。

20

【0152】

<実施形態2>

図4は、実施形態2におけるキャパシタの概略断面模式図である。図4は、図1に対応する断面である。図5Aは、図4のD部の拡大図であり、図3Aに対応している。図5Bは、図4のD部の基板面内方向に沿った断面図である。図5Bは、図5AのII-II断面に対応している。便宜上、図5A、5Bにおいて、基板10、導電ファイバー21、誘電体層22および導電体層23の一部のみが示されている。

【0153】

実施形態2は、実施形態1とは、複合バルク部材の外形が相違する。この相違する構成を以下に説明する。その他の構成は、実施形態1と同様であり、実施形態1と同一の符号を付してその説明を省略する。

30

【0154】

外縁部

図4に示すように、実施形態2のキャパシタ1Aでは、複合バルク部材20Aが、厚さ方向の断面の外周領域R2において、幅方向と平行に延在した外縁部20aを有する。外縁部20aは、外周領域R2の少なくとも一部に対応し、複合バルク部材20Aの外縁の少なくとも一部を含む。

【0155】

外縁部20aは、誘電体部分22aおよび導電体部分23aとは異なり、導電ファイバー21を含んでいる。図5A、5Bに示すように、XZ断面の外縁部20aにおいて、導電ファイバー21は、X方向と平行に延在した第1部分21aを含む。つまり、外縁部20aにおいて、導電ファイバー21は、少なくとも一部がX方向と平行に延在するように倒れている。そのため、外縁部20aに存在する空間24はさらに小さい。これにより、複合バルク部材20Aはより変形し難くなって、基板10からの剥離が一層抑制される。

40

【0156】

加えて、第1部分21aにより、導電ファイバー21と基板10との接触面積が増えて、誘電体層22と基板10との接触面積が減少するため、熱膨張の差による影響が小さくなって、複合バルク部材20Aの剥離はさらに抑制される。

50

【0157】

導電ファイバー21が高い強度を有している場合、第1部分21aにより、ファイバー21の芯材としての機能が効果的に発揮されて、引張応力による複合バルク部材20Aにおけるクラックの発生も抑制される。さらに、外縁部20aにおいて導電ファイバー21同士の接触面積が増えることにより、複合バルク部材20Aの機械的強度が高くなって、複合バルク部材20Aの変形抑制効果はより一層高まる。

【0158】

図5Aには図示されていないが、複合バルク部材20の左頂部P3付近には、被覆された導電ファイバー21が存在しており、この被覆された導電ファイバー21によって、左頂部P3が決定されている。

10

【0159】

外縁部20aに関する「平行」とは、複合バルク部材20Aの表面(すなわち、導電体層23の表面)の接線と基板10の表面10aとの成す鋭角 α (図示せず)が30度以下であることをいう。外縁部20aの上側の表面は、誘電体層22および/または導電体層23に起因する微細な凹凸を有してよい。5 μm ×5 μm 以上の視野で観察したときに、鋭角 α が30度以下であれば、この微細な凹凸を考慮することなく、幅方向と平行に延在した外縁部20aであるとして差し替えない。

【0160】

第1部分21aに関する「平行」とは、導電ファイバー21の上側の表面と基板10の表面10aとの成す鋭角 β (図示せず)が30度以下であることをいう。

20

【0161】

図5Aに示すように、導電ファイバー21は、外周領域R2において、第1部分21a以外の第2部分21bを有してよい。第2部分21bは、Z方向に沿って、あるいは、Z方向との成す鋭角(図示せず)が0度超60度未満となる方向に延在する導電ファイバー21の部分である。外縁部20aには、導電ファイバー21の第1部分21aとともに、第2部分21bが配置されていてよい。

【0162】

第1部分21aの長さLおよび最大高さ H_{max} は、下記の関係式：

$$L \geq 0.8 \times H_{max}$$

を満たしてよい。

30

【0163】

最大高さ H_{max} は、1本の導電ファイバー21の全長を表わしていると考えて差し支えない。導電ファイバー21の全長の80%以上が、X方向と平行に延在していることにより、導電ファイバー21と基板10との接触面積がさらに増えて、複合バルク部材20Aの基板10からの剥離を抑制する効果が、より一層向上する。特に、長さLと最大高さ H_{max} とは、 $L \geq 1.0 \times H_{max}$ の関係を満たしてよい。長さLと最大高さ H_{max} とは、 $L \geq 1.0 \times H_{max}$ の関係を満たしてよい。

【0164】

外縁部20aにおいて、複数の導電ファイバー21が、それぞれ第1部分21aを有し得る。少なくとも1本の複数の導電ファイバー21が有する第1部分21aが、上記の関係式($L \geq 0.8 \times H_{max}$)を満たしていればよい。

40

【0165】

・第1部分21aの決定方法

第1部分21aは、複合バルク部材20Aの厚さ方向の断面(例えば、XZ断面)のSEM画像を用いて、次のように決定される。まず、XZ断面における外周領域R2を、上記と同様にして決定する。外周領域R2に存在する導電ファイバー21において、複合バルク部材20Aの外縁側から中心軸AXに向かって、導電ファイバー21の上側の表面と基板10の表面10aとの成す鋭角 β を測定していく。このときの観察視野は、一方の外周領域R2の全体が確認できる程度であればよい。

【0166】

50

初めて鋭角 b が 30 度以下になった点が、図 5 A に示すように、第 1 部分 2 1 a の一方の端部 P 7 である。P 7 が外周領域 R 2 の外縁近傍にある場合、第 1 部分 2 1 a の一方の端部は、当該導電ファイバー 2 1 の最も外側の部分とみなしてよい。図 5 A では、端部 P 7 が外周領域 R 2 の外縁近傍にあるため、当該導電ファイバー 2 1 の最も外側の部分を第 1 部分 2 1 a の一方の端部とみなしている。

【 0 1 6 7 】

鋭角 b が 30 度を越えた点であって、それ以降、鋭角 b の減少が見られない点が、第 1 部分 2 1 a の他方の端部 P 8 である。上記の一方の端部 P 7 あるいは当該導電ファイバー 2 1 の外端部と、他方の端部 P 8 とに挟まれた領域に対応する導電ファイバー 2 1 の部分が、第 1 部分 2 1 a である。

10

【 0 1 6 8 】

・外縁部 2 0 a の決定方法

外縁部 2 0 a は、第 1 部分 2 1 a の決定に用いられた X Z 断面の SEM 画像から、次のように決定される。当該 SEM 画像において、複合バルク部材 2 0 A の外縁から中心軸 A X に向かって、複合バルク部材 2 0 A の表面の接線と基板 1 0 の表面 1 0 a との成す鋭角 a を測定していく。上記したように、このときの観察視野は、 $5 \mu\text{m} \times 5 \mu\text{m}$ 以上とする。

【 0 1 6 9 】

初めて鋭角 a が 30 度以下になった点が、図 5 A に示すように、外縁部 2 0 a の上面側の一方の端部 P 5 である。P 5 が外周領域 R 2 の外縁近傍にある場合、外縁部 2 0 a の一方の端部は、当該外周領域 R 2 の最も外側の部分とみなしてよい。図 5 A では、端部 P 5 が外周領域 R 2 の外縁近傍にあるため、外周領域 R 2 の最も外側の部分を外縁部 2 0 a の一方の端部とみなしている。

20

【 0 1 7 0 】

鋭角 a が 30 度を越えた点であって、それ以降、鋭角 a の減少が見られない点が、外縁部 2 0 a の上面側の他方の端部 P 6 である。上記の一方の端部 P 5 あるいは外周領域 R 2 の一方の端部と、他方の端部 P 6 とに挟まれた領域に対応する複合バルク部材 2 0 A が、外縁部 2 0 a である。

【 0 1 7 1 】

外縁部 2 0 a は、1 つの厚さ方向の断面において存在すればよい。外縁部 2 0 a は、異なる複数の厚さ方向の断面において存在してよく、異なる 3 以上の厚さ方向の断面において存在してよく、任意のすべての厚さ方向の断面において存在してよい。この場合、複合バルク部材 2 0 A の基板 1 0 からの剥離がより一層抑制される。

30

【 0 1 7 2 】

厚さ方向の断面において、外縁部 2 0 a は、一方側および他方側の少なくとも一方の外周領域 R 2 に存在すればよい。外縁部 2 0 a は、一方側および他方側の両方の外周領域 R 2 に存在してよい。導電ファイバー 2 1 の第 1 部分 2 1 a は、外縁部 2 0 a の一部に配置されていればよく、外縁部 2 0 a 全体にわたって配置されていてもよい。

【 0 1 7 3 】

外縁部 2 0 a は、外周領域 R 2 と一致していてもよいし、一致していなくてもよい。外縁部 2 0 a の幅 W_5 は、外周領域の幅 W_3 または幅 W_4 の 30% 以上 100% 以下であってよい。外縁部 2 0 a の幅 W_5 は、外周領域の幅 W_3 または幅 W_4 の 40% 以上であってよく、 50% 以上であってよい。

40

【 0 1 7 4 】

外縁部 2 0 a の幅 W_5 は、外縁部 2 0 a を決定するのに使用した X Z 断面の SEM 画像を用いて、次のように決定される。上記で決定された外縁部 2 0 a の一方の端部 P 5 あるいは外周領域 R 2 の一方の端部を含み、かつ、Z 方向に延びる直線と、外縁部 2 0 a の他方の端部 P 6 を含み、かつ、Z 方向に延びる直線との間の X 方向の距離が、幅 W_5 である。

【 0 1 7 5 】

・長さ L の決定方法

50

第 1 部分 2 1 a の長さ L は、第 1 部分 2 1 a の X 方向における長さである。第 1 部分 2 1 a の長さ L は、外縁部 2 0 a を決定するのに使用した X Z 断面の SEM 画像を用いて、次のように決定される。上記で決定された第 1 部分 2 1 a の一方の端部 P 7 あるいは当該導電ファイバー 2 1 の外端部を含み、かつ、Z 方向に延びる直線と、第 1 部分 2 1 a の他方の端部 P 8 を含み、かつ、Z 方向に延びる直線との間の X 方向の距離が、長さ L である。

【 0 1 7 6 】

図 4 に示すように、X Z 断面において、外縁部 2 0 a は高さ H_0 を有する。高さ H_0 および最大高さ H_{max} は、下記の関係式：

$$H_0 = 0.2 \times H_{max}$$

を満たしてよい。

【 0 1 7 7 】

・高さ H_0 の決定方法

外縁部 2 0 a の高さ H_0 は、導電ファイバー 2 1 の最大高さ H_{max} の 0.01 倍以下であってよい。容量の観点から、外縁部 2 0 a の高さ H_0 は、導電ファイバー 2 1 の最大高さ H_{max} の 0.0001 倍以上であってよい。

【 0 1 7 8 】

外縁部 2 0 a の高さ H_0 は、外縁部 2 0 a を決定するのに使用した X Z 断面を用いて、次のようにして測定される。当該断面において、外縁部 2 0 a は既に決定されている。基板 1 0 の表面 1 0 a から、外縁部 2 0 a の上側の表面の任意の点までの Z 方向の距離を求める。かかる操作を繰り返して 5 点以上での上記距離を得、それらの平均値を、外縁部 2 0 a の高さ H_0 とする。

【 0 1 7 9 】

面積占有割合 S_{24}

厚さ方向の断面において、外縁部 2 0 a は、中央領域 R 1 における導電ファイバー 2 1 および誘電体層 2 2 の合計の面積占有割合 S_{11} に比べて、導電ファイバー 2 1 および誘電体層 2 2 の合計の面積占有割合 S_{24} が高い部分を含む。すなわち、 $S_{24} / S_{11} \geq 1.05$ を満たす。面積占有割合 S_{24} は、面積占有割合 S_{21} と同様にして算出される。

【 0 1 8 0 】

面積占有割合 S_{11} と S_{24} との上記の関係は、1 つの厚さ方向の断面において満たせばよい。上記の関係は、異なる複数の厚さ方向の断面において満たしてよく、異なる 3 以上の厚さ方向の断面において満たしてよく、任意のすべての厚さ方向の断面において満たしてよい。

【 0 1 8 1 】

以上、本開示の 2 つの実施形態について詳述したが、本開示はこれらに限定されない。例えば、上述した実施形態の各特徴は、任意の 2 つ以上を組み合わせるとよい。

【 0 1 8 2 】

上述した実施形態の複合バルク部材 2 0 , 2 0 A において、上辺 s_1 の長さが幅 W_1 に等しく、下辺 s_2 の長さが幅 W_2 に等しいが、これに限定されない。上辺 s_1 と下辺 s_2 とが平行でない場合など、上辺 s_1 の長さが幅 W_1 よりも長い場合もある。

【 0 1 8 3 】

上述した実施形態の複合バルク部材 2 0 において、下辺 s_2 と左辺 s_3 (すなわち、複合バルク部材 2 0 の幅方向における一方の端辺) とが成す内角の角度 θ_1 、および、下辺 s_2 と右辺 s_4 (すなわち、複合バルク部材 2 0 の幅方向における他方の端辺) とが成す内角の角度 θ_2 が、ともに 90 度未満であるが、これに限定されない。内角の角度 θ_1 , θ_2 の少なくとも一方が、90 度未満であってよい。なかでも、内角の角度 θ_1 , θ_2 の双方が 90 度未満であってよい。

【 0 1 8 4 】

上述した実施形態の複合バルク部材 2 0 , 2 0 A において、外周領域 R 2 が中央領域 R 1 を挟み、幅方向の両端に 2 か所配置されているが、これに限定されない。外周領域 R 2 は、複合バルク部材 2 0 , 2 0 A の厚さ方向の断面において、中央領域 R 1 の X 方向にお

10

20

30

40

50

ける一方の端部にのみ配置されてもよい。

【0185】

上述した実施形態の複合バルク部材20, 20Aにおいて、導電ファイバー21が基板10に直接接合しているが、これに限定されない。導電ファイバー21は、導電性を有する接着層を介して基板10に接合していてもよい。導電ファイバー21は、上記接着層の表面に接着されていてよく、その端部が上記接着層の内部に挿入されることにより、接着層に接着されていてよい。導電性を有する接着層は、典型的には、金属材料により形成される。

【0186】

上述した実施形態の複合バルク部材20, 20Aにおいて、外周領域R2にある導電ファイバー21は傾斜あるいは屈曲しているが、これに限定されない。外周領域R2の導電ファイバー21は、Z方向に延在していてもよい。この場合、外周領域R2にある導電ファイバー21は、中央領域R1にある導電ファイバー21よりも短い。

10

【0187】

上述した実施形態の複合バルク部材20, 20Aにおいて、外周領域R2にある導電ファイバー21同士が誘電体層22を介して、あるいは誘電体層22を介さずに接触しているが、これに限定されない。外周領域R2にある複数の導電ファイバー21は、それぞれ孤立していてもよい。

【0188】

上述した実施形態のキャパシタA, 1Aにおいて、導電ファイバー21および/または複合バルク部材20, 20Aが、基板10上の表面10aと裏面10bとを繋ぐ面(側面)に存在していてもよい。

20

【0189】

上述した実施形態では、工程(a)において、導電ファイバー21としてカーボンナノチューブ(CNT)を挙げたが、これに限定されない。導電ファイバー21は、CNT以外であってもよい。

【0190】

上述した実施形態では、工程(a)において、基板10上にフォレストを設けたが、これに限定されない。フォレストを他の合成基板に設けた後、基板10に転写してもよい。この場合、転写後に工程(b)以降を実施すればよい。基板10に接着層を設けておいてもよい。

30

【0191】

上述した実施形態では、工程(b)において、導電ファイバー21の一部を傾斜させることにより、フォレストの断面形状を台形にしたが、これに限定されない。工程(a)において、フォレストの縁を構成する導電ファイバー21の成長度を小さくすることにより、フォレストの断面形状を台形にしてもよい。この場合、工程(b)は省略される。

【0192】

上述した実施形態では、工程(b)において、凝集により導電ファイバー21の一部を傾斜させたが、これに限定されない。外側から中央に向かってフォレストを押圧することにより、導電ファイバー21の一部を傾斜させてもよい。

40

【0193】

上述した実施形態では、工程(c)において、ゾルゲル法により誘電体層22を形成したが、これに限定されない。誘電体層22は、気相成膜法(代表的には、スパッタ法)により形成してもよい。この場合、工程(b)で使用された溶媒を除去してから、工程(c)を行う。誘電体層22は、ゾルゲル法以外の液相成膜法(代表的には、メッキ法)により形成してもよい。誘電体層22が金属酸化物から成る場合には、メッキと表面酸化処理とを組み合わせる方法を用いてもよい。

【実施例】

【0194】

以下の製造例により本発明をさらに具体的に説明するが、本発明はこれらに限定されな

50

い。

(製造例 1)

上述した実施形態の複合バルク部材 20A を有するキャパシタ 1A を製造した。

【0195】

(1) フォレストの準備

Si 基板 10 の表面上に触媒を塗布し、VACNT を成長させて、フォレスト 200 を得た。フォレスト 200 の最大高さ (最大高さ H_{max}) は $105 \mu\text{m}$ であり、CNT の外径は約 20nm であった。フォレストにおける CNT の数密度は 3.99×10^8 本 / cm^2 であった。フォレスト 200 における CNT の数密度は、複合バルク部材 20 における導電ファイバー 21 の平均数密度とみなすことができる。

10

【0196】

(2) CNT の傾斜および誘電体層の形成

フォレスト 200 が設けられた基板 10 を、ドデシル硫酸ナトリウム、アンモニア、3-アミノプロピルトリエトキシシランおよびエタノールを含む原料液に浸漬した。浸漬は以下のようにして実施した。まず、液温が室温 (23 ± 3) の原料液に、基板 10 と原料液の液面との成す角度が概ね 90 度になるように、フォレスト 200 が設けられた基板 10 を投入した。投入速度は 5mm/秒 とした。25 にて 1.5 時間、 300rpm で攪拌しながら維持した後、基板を引き上げた。最後に乾燥して、基板 10 上の複数の CNT (導電ファイバー 21) の表面を覆う誘電体層 22 (SiO_2) を形成した。

20

【0197】

(3) 導電体層の形成

次いで、PEDOT (ポリエチレンジオキシチオフェン) および PSS (ポリスチレンスルホン酸) を含む分散液に上記の基板 10 を浸漬して、誘電体層 22 上に、導電体層 23 (PEDOT/PSS の複合体) を形成した。このようにして、キャパシタ 1A を得た。

【0198】

得られたキャパシタ 1A の複合バルク部材 20A 中に存在する空間を樹脂で埋めた後、基板 10 を Z 方向からみて、基板 10 の中心 C を決定した。次いで、中心 C を含む XZ 断面を研磨により露出させた。得られた断面を SEM で観察した。ファイバー状導電性部材の平均長さは $50 \mu\text{m}$ 以上と理解でき、誘電体層の厚さは 10nm 以上と理解できる。

30

【0199】

当該断面の一部の SEM 画像を図 6 に示す。図 6 において、複合バルク部材 20A の側面 10c にも複合バルク部材 30 が存在している。図 6 には、便宜的に、複合バルク部材 20A, 30 および基板 10 の外縁を示す破線を付している。

【0200】

断面全体が観察できる SEM 画像から、上記と同様にして、複合バルク部材 20A の左底部 P1、右底部 P2、左頂部 P3 および右頂部 P4 を決定した。P1 ~ P4 から、幅 $W_1, W_2, W_3, W_4, H_{max}$ を得た。幅 W_1 は 4.76mm 、 W_2 は 5.00mm 、 $W_2 - W_1$ は $240 \mu\text{m}$ 、 H_{max} は $105 \mu\text{m}$ であった。幅 W_1, W_2, W_3, W_4 は、 $W_1 < W_2$ 、 $W_2 - W_1 = 1.6 \times H_{max}$ 、および、 $W_2 > H_{max}$ の関係を満たしており、 $W_3 = 0.8 \times H_{max}$ 、 $W_4 = 0.8 \times H_{max}$ の関係をいと理解できる。左底部 P1 と右底部 P2 とを繋いでできる線分を下辺 s2、左底部 P1 と左頂部 P3 とを繋いでできる線分を左辺 s3、右底部 P2 と右頂部 P4 とを繋いでできる線分を右辺 s4 としたところ、下辺 s2 と左辺 s3 とが成す内角の角度 θ_1 は 73.6 度であり、下辺 s2 と右辺 s4 とが成す内角の角度 θ_2 は 54.4 度であった。

40

【0201】

いずれの厚さ方向の断面においても、一方側および他方側の両方の外周領域 R2 は、中央領域 R1 の面積占有割合 S_{12} に比べて、面積占有割合 S_{22} が高い部分を含んでいた。面積占有割合は、 $S_{22} / S_{12} = 1.36$ の関係を満たしていた。これにより、一方側および他方側の両方の外周領域 R2 は、中央領域 R1 の面積占有割合 S_{11} に比べて、面積占有割合 S_{21} が高い部分を含むと理解できる。

50

【 0 2 0 2 】

少なくとも1つの面内方向の断面において、外周領域 R 2 は、中央領域 R 1 の面積占有割合 S_{13} に比べて、面積占有割合 S_{23} が高い部分を含んでいた。面積占有割合は、 $S_{23} / S_{13} = 1.53$ の関係を満たしていた。

【 0 2 0 3 】

面内方向の断面から算出される、CNTの断面最大寸法は 33 nm であった。誘電体層 2 2 の厚さは 51 nm であった。導電体層 2 3 の厚さは 15 nm であった。

【 0 2 0 4 】

図 8 A は、製造例 1 で得られた、複合バルク部材の研磨された X Z 断面の外周領域の一部を撮影した SEM 画像である。図 8 B は、製造例 1 で得られた、複合バルク部材の研磨された X Z 断面の中央領域の一部を撮影した SEM 画像である。図 8 A および 8 B において、線状に白っぽく見える部分が、誘電体層 2 2 および導電体層 2 3 に覆われた導電ファイバー 2 1 であり、黒い部分が空間 2 4 に対応する充填樹脂である。

10

【 0 2 0 5 】

図 9 A は、製造例 1 で得られた、複合バルク部材の研磨された X Y 断面の外周領域の一部を撮影した SEM 画像である。図 9 B は、製造例 1 で得られた、複合バルク部材の研磨された X Y 断面の中央領域の一部を撮影した SEM 画像である。図 9 A および 9 B において、円状に白っぽく見える部分が、誘電体層 2 2 および導電体層 2 3 に覆われた導電ファイバー 2 1 であり、黒い部分が空間 2 4 に対応する充填樹脂である。

【 産業上の利用可能性 】

20

【 0 2 0 6 】

本開示のキャパシタは、任意の適切な用途に利用され得、特に、基板と複合バルク部材との間の高い接合強度が求められる用途に好適に利用され得る。

【 0 2 0 7 】

本願は、2022年11月1日付けで日本国にて出願された特願 2022 - 175699 に基づく優先権を主張し、その記載内容の全てが、参照することにより本明細書に援用される。

【 0 2 0 8 】

< 1 >

導電性を有する基板と、
前記基板上に配置され、かつ、前記基板と電氣的に接続されている複数のファイバー状導電性部材と、

30

前記ファイバー状導電性部材の表面を被覆する誘電体層と、
前記誘電体層の表面を被覆する導電体層と、を備え、
複数の前記ファイバー状導電性部材、前記誘電体層、前記導電体層、および前記誘電体層と前記導電体層とにより被覆された複数の前記ファイバー状導電性部材の間に形成された空間は、複合バルク部材を構成し、

前記基板の厚さ方向に沿った断面において、
前記複合バルク部材が、前記基板の面内方向を幅方向として、前記基板に対して反対側の幅 W_1 と基板側の幅 W_2 とを有し、前記幅 W_1 が前記幅 W_2 より小さい、キャパシタ。

40

< 2 >

前記基板の厚さ方向に沿った断面において、
前記ファイバー状導電性部材が、前記幅 W_1 に対応する中央領域にて最大高さ H_{max} を有し、

前記幅 W_1 、前記幅 W_2 および前記最大高さ H_{max} が、下記の関係式：

$$W_2 - W_1 = 1.6 \times H_{max}$$

を満たす、< 1 > に記載のキャパシタ。

< 3 >

前記基板の厚さ方向に沿った断面において、
前記複合バルク部材が、前記幅 W_1 に対応する中央領域を間に挟む一方側および他方

50

側の外周領域にてそれぞれ幅 W_3 および幅 W_4 を有し、

前記幅 W_3 、前記幅 W_4 および前記最大高さ H_{max} が、下記の関係式：

$$W_3 = 0.8 \times H_{max}、\text{かつ、} W_4 = 0.8 \times H_{max}$$

を満たす、 $\langle 2 \rangle$ に記載のキャパシタ。

$\langle 4 \rangle$

前記基板の厚さ方向に沿った断面において、

前記複合バルク部材の、前記幅 W_1 に対応する中央領域を間に挟む一方側および他方側の少なくとも一方の外周領域において、

前記ファイバー状導電性部材は、前記基板の面内方向と平行に延在した第 1 部分を有する、 $\langle 1 \rangle \sim \langle 3 \rangle$ のいずれかに記載のキャパシタ。

10

$\langle 5 \rangle$

前記基板の厚さ方向に沿った断面において、

前記ファイバー状導電性部材が、前記中央領域において最大高さ H_{max} を有し、

前記第 1 部分の長さ L 、および前記最大高さ H_{max} が、下記の関係式：

$$L = 0.8 \times H_{max}$$

を満たす、 $\langle 4 \rangle$ に記載のキャパシタ。

$\langle 6 \rangle$

前記基板の厚さ方向に沿った 1 つの断面において、

前記幅 W_1 に対応する中央領域を間に挟む一方側および他方側の少なくとも一方の外周領域が、前記中央領域における前記ファイバー状導電性部材、前記誘電体層および前記導電体層の合計の面積占有割合 S_{12} に比べて、前記ファイバー状導電性部材、前記誘電体層および前記導電体層の合計の面積占有割合 S_{22} が高い部分を含む、 $\langle 1 \rangle \sim \langle 5 \rangle$ のいずれかに記載のキャパシタ。

20

$\langle 7 \rangle$

前記基板の厚さ方向に沿った 1 つの断面において、

前記幅 W_1 に対応する中央領域を間に挟む一方側および他方側の外周領域がいずれも、前記中央領域における前記ファイバー状導電性部材、前記誘電体層および前記導電体層の合計の面積占有割合 S_{12} に比べて、前記ファイバー状導電性部材、前記誘電体層および前記導電体層の合計の面積占有割合 S_{22} が高い部分を含む、 $\langle 1 \rangle \sim \langle 6 \rangle$ のいずれかに記載のキャパシタ。

30

$\langle 8 \rangle$

前記基板の厚さ方向に沿った複数の断面において、

前記幅 W_1 に対応する中央領域を間に挟む一方側および他方側の少なくとも一方の外周領域が、前記中央領域における前記ファイバー状導電性部材、前記誘電体層および前記導電体層の合計の面積占有割合 S_{12} に比べて、前記ファイバー状導電性部材、前記誘電体層および前記導電体層の合計の面積占有割合 S_{22} が高い部分を含む、 $\langle 1 \rangle \sim \langle 7 \rangle$ のいずれかに記載のキャパシタ。

$\langle 9 \rangle$

前記基板の面内方向に沿った 1 つの断面において、

前記幅 W_1 に対応する中央領域を間に挟む一方側および他方側の少なくとも一方の外周領域が、前記中央領域における前記ファイバー状導電性部材、前記誘電体層および前記導電体層の合計の面積占有割合 S_{13} に比べて前記ファイバー状導電性部材、前記誘電体層および前記導電体層の合計の面積占有割合 S_{23} が高い部分を含む、 $\langle 1 \rangle \sim \langle 8 \rangle$ のいずれかに記載のキャパシタ。

40

$\langle 10 \rangle$

前記ファイバー状導電性部材が、前記幅 W_1 に対応する中央領域にて最大高さ H_{max} を有し、前記幅 W_2 および前記最大高さ H_{max} が、下記の関係式：

$$W_2 > H_{max}$$

を満たす、 $\langle 1 \rangle \sim \langle 9 \rangle$ のいずれかに記載のキャパシタ。

$\langle 11 \rangle$

50

前記誘電体層の厚さが、 10 nm 以上である、 $\langle 1 \rangle \sim \langle 10 \rangle$ のいずれかに記載のキャパシタ。

$\langle 12 \rangle$

複数の前記ファイバー状導電性部材の平均数密度が、 10^8 本/cm^2 以上である、 $\langle 1 \rangle \sim \langle 11 \rangle$ のいずれかに記載のキャパシタ。

$\langle 13 \rangle$

複数の前記ファイバー状導電性部材の平均長さが、 $50\text{ }\mu\text{m}$ 以上である、 $\langle 1 \rangle \sim \langle 12 \rangle$ のいずれかに記載のキャパシタ。

$\langle 14 \rangle$

前記ファイバー状導電性部材が、カーボンナノチューブである、 $\langle 1 \rangle \sim \langle 13 \rangle$ のいずれかに記載のキャパシタ。

10

【符号の説明】

【0209】

1、1A キャパシタ

10 基板

10a 表面

10b 裏面

10c 側面

20、20A 複合バルク部材

20a 外縁部

20

21 ファイバー状導電性部材（導電ファイバー）

21a 第1部分

21b 第2部分

22 誘電体層

22a 誘電体部分

23 導電体層

23a 導電体部分

24 空間

30 側面にある複合バルク部材

100 従来のキャパシタ

30

110 基板

120 複合バルク部材

200 フォレスト

300 SiO_2 の析出物

L1～L4 複合バルク部材の外形を表わす辺

P1、P2 複合バルク部材の左右の底部

P3、P4 複合バルク部材の左右の頂部

P5、P6 外縁部の端部

P7、P8 第1部分の端部

C 基板の中心

40

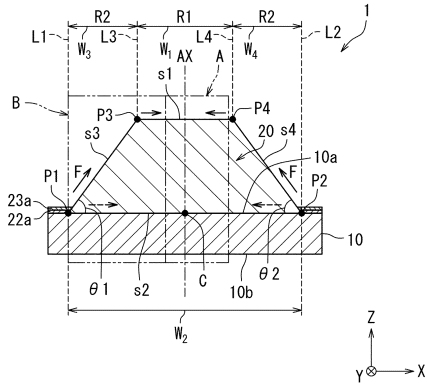
R1 中央領域

R2 外周領域

【図面】

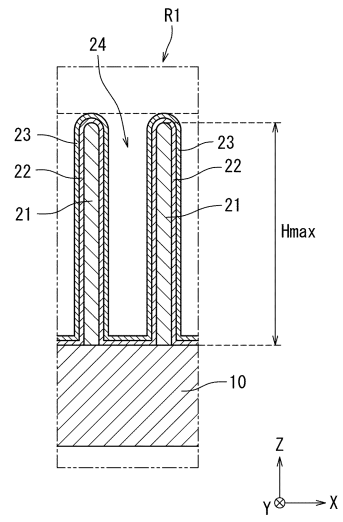
【図 1】

図1



【図 2】

図2

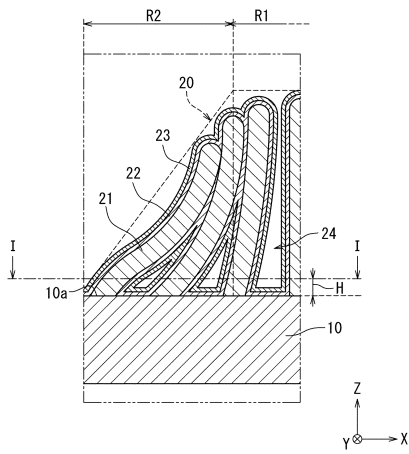


10

20

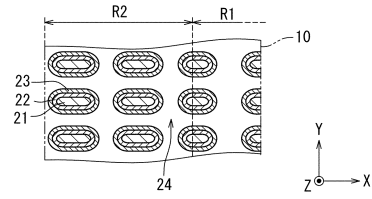
【図 3 A】

図3A



【図 3 B】

図3B



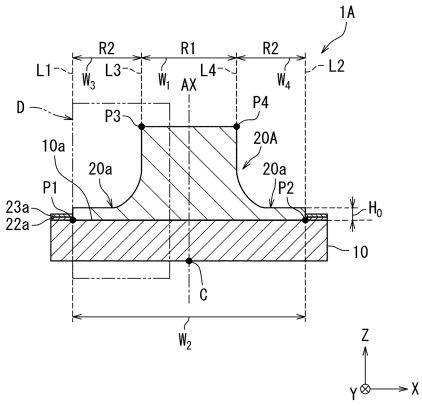
30

40

50

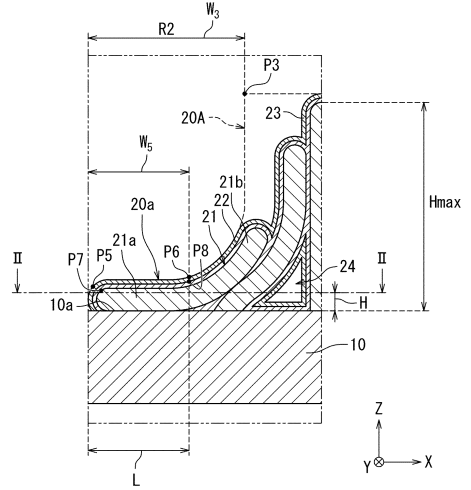
【 図 4 】

図4



【 図 5 A 】

図5A

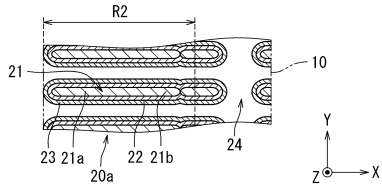


10

20

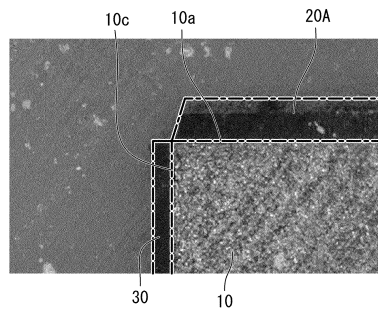
【 図 5 B 】

図5B



【 図 6 】

図6



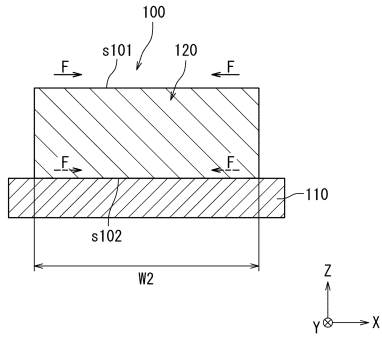
30

40

50

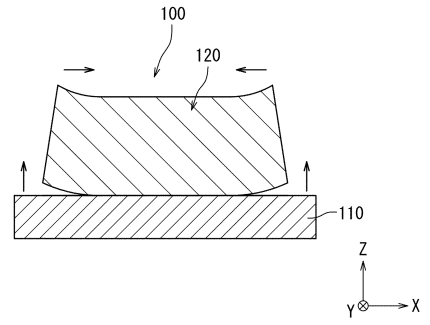
【 7 A 】

图7A



【 7 B 】

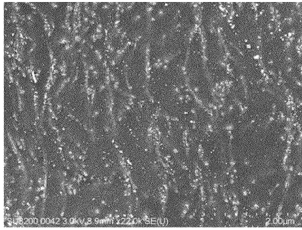
图7B



10

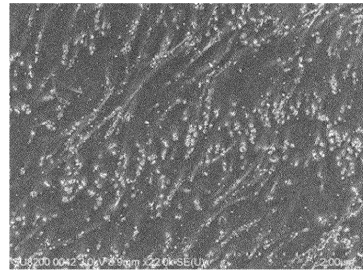
【 8 A 】

图8A



【 8 B 】

图8B




20

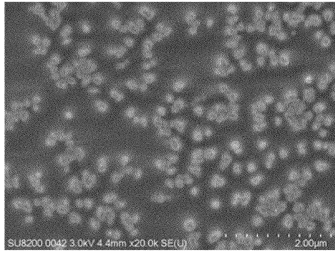
30


40

50

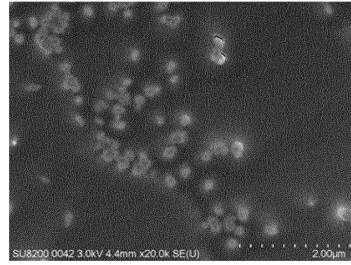
【 9 A】

 9A



【 9 B】

 9B



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(72)発明者 永田 真己
京都府長岡京市東神足1丁目10番1号 株式会社村田製作所内

(72)発明者 白井 暢明
京都府長岡京市東神足1丁目10番1号 株式会社村田製作所内

審査官 後藤 嘉宏

(56)参考文献 国際公開第2021/059569(WO, A1)
国際公開第2007/111107(WO, A1)
特表2010-506391(JP, A)
国際公開第2018/173884(WO, A1)
特開2010-206203(JP, A)
国際公開第2022/113843(WO, A1)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
H01G 4/33
H01G 4/30
H10D 1/68
C01B 32/158