

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7626257号  
(P7626257)

(45)発行日 令和7年2月4日(2025.2.4)

(24)登録日 令和7年1月27日(2025.1.27)

(51)国際特許分類	F I			
H 1 0 D 1/68 (2025.01)	H 0 1 L 27/04	C		
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		

請求項の数 14 (全33頁)

(21)出願番号	特願2023-577919(P2023-577919)	(73)特許権者	000006231
(86)(22)出願日	令和5年7月14日(2023.7.14)		株式会社村田製作所
(86)国際出願番号	PCT/JP2023/026071		京都府長岡京市東神足1丁目10番1号
(87)国際公開番号	WO2024/095537	(74)代理人	100145403
(87)国際公開日	令和6年5月10日(2024.5.10)		弁理士 山尾 憲人
審査請求日	令和5年12月18日(2023.12.18)	(74)代理人	100221501
(31)優先権主張番号	特願2022-175701(P2022-175701)		弁理士 式見 真行
(32)優先日	令和4年11月1日(2022.11.1)	(74)代理人	100190713
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		弁理士 津村 祐子
		(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
		(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

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1つの断面において、  
前記ファイバー状導電性部材が最大高さ $H_{max}$ を有し、  
前記複合バルク部材は、前記複合バルク部材の外縁から前記最大高さ $H_{max}$ の2倍までの領域を占める一方側および他方側の外周領域と、一方側および他方側の前記外周領域に挟まれた中央領域と、を有し、  
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および前記誘電体層の合計の面積占有割合 $S_{11}$ に比べて、前記ファイバー状導電性部材および前記誘電体層の合計の面積占有割合 $S_{21}$ が高い部分を含む、キャパシタ。

【請求項2】

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、前記面積占有割合  $S_{11}$  に比べて、前記面積占有割合  $S_{21}$  が高い部分を含む、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複数の断面のそれぞれにおいて、

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、前記面積占有割合  $S_{11}$  に比べて、前記面積占有割合  $S_{21}$  が高い部分を含む、請求項１または２に記載のキャパシタ。

【請求項４】

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１つの断面において、

前記ファイバー状導電性部材が最大高さ  $H_{max}$  を有し、

前記複合バルク部材は、前記複合バルク部材の外縁から前記最大高さ  $H_{max}$  の２倍までの領域を占める一方側および他方側の外周領域と、一方側および他方側の前記外周領域に挟まれた中央領域と、を有し、

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、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前記外周領域がいずれも、前記面積占有割合  $S_{12}$  に比べて、前記面積占有割合  $S_{22}$  が高い部分を含む、請求項４に記載のキャパシタ。

【請求項６】

前記基板の厚さ方向に沿った複数の断面のそれぞれにおいて、

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、前記面積占有割合  $S_{12}$  に比べて、前記面積占有割合  $S_{22}$  が高い部分を含む、請求項４または５に記載のキャパシタ。

【請求項７】

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１つの断面において、前記ファイバー状導電性部材は最大高さ  $H_{max}$  を有し、

前記基板の面内方向に対して平行な１つの断面において、

前記複合バルク部材は、前記複合バルク部材の外縁から前記最大高さ  $H_{max}$  の２倍までの領域を占める外周領域と、前記外周領域に囲まれた中央領域とを有し、

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

10

20

30

40

50

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、キャパシタ。

【請求項 8】

前記基板の面内方向に対して平行な 1 つの断面において、

前記外周領域のうち、前記中央領域を介して対向する一方側および他方側の部分がいずれも、前記面積占有割合  $S_{13}$  に比べて、前記面積占有割合  $S_{23}$  が高い部分を含む、請求項 7 に記載のキャパシタ。

【請求項 9】

前記基板の面内方向に対して平行な複数の断面のそれぞれにおいて、

前記外周領域が、前記面積占有割合  $S_{13}$  に比べて、前記面積占有割合  $S_{23}$  が高い部分を含む、請求項 7 または 8 に記載のキャパシタ。

【請求項 10】

前記誘電体層の厚さが、 $10\text{ nm}$  以上である、請求項 1、4 または 7 に記載のキャパシタ。

【請求項 11】

前記外周領域における複数の前記ファイバー状導電性部材の平均数密度  $N_2$  が、 $10^8$  本 /  $\text{cm}^2$  以上である、請求項 1、4 または 7 に記載のキャパシタ。

【請求項 12】

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、請求項 1、4 または 7 に記載のキャパシタ。

【請求項 13】

前記中央領域における複数の前記ファイバー状導電性部材の平均数密度  $N_1$  に対する、前記外周領域における複数の前記ファイバー状導電性部材の平均数密度  $N_2$  の比  $N_2 / N_1$  が、2 以上である、請求項 1、4 または 7 に記載のキャパシタ。

【請求項 14】

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、4 または 7 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上にて高密度に成長させて得ることができる。通常、隣接する複数のVACNTは絡み合い、一体化してフォレストを構成する。

10

## 【0007】

一体化した複数のVACNTは誘電体層および導電体層で覆われており、複合バルク部材を構成しているが、その機械的強度が十分でない場合がある。キャパシタの使用中に複合バルク部材が損傷すると、キャパシタの性能が低下する。

## 【0008】

本開示の目的は、機械的強度に優れる複合バルク部材を備える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】

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、

20

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1つの断面において、  
前記ファイバー状導電性部材が最大高さ $H_{max}$ を有し、  
前記複合バルク部材は、前記複合バルク部材の外縁から前記最大高さ $H_{max}$ の2倍までの領域を占める一方側および他方側の外周領域と、一方側および他方側の前記外周領域に挟まれた中央領域と、を有し、

30

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および前記誘電体層の合計の面積占有割合 $S_{11}$ に比べて、前記ファイバー状導電性部材および前記誘電体層の合計の面積占有割合 $S_{21}$ が高い部分を含む、キャパシタが提供される。

## 【0010】

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、

40

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1つの断面において、  
前記ファイバー状導電性部材が最大高さ $H_{max}$ を有し、  
前記複合バルク部材は、前記複合バルク部材の外縁から前記最大高さ $H_{max}$ の2倍ま

50

での領域を占める一方側および他方側の外周領域と、一方側および他方側の前記外周領域に挟まれた中央領域と、を有し、

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、キャパシタが提供される。

【0011】

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1つの断面において、前記ファイバー状導電性部材は最大高さ  $H_{max}$  を有し、

前記基板の面内方向に対して平行な1つの断面において、

前記複合バルク部材は、前記複合バルク部材の外縁から前記最大高さ  $H_{max}$  の2倍までの領域を占める外周領域と、前記外周領域に囲まれた中央領域とを有し、

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、キャパシタが提供される。

【発明の効果】

【0012】

本開示によれば、機械的強度に優れる複合バルク部材を備えるキャパシタが提供される。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】本開示の実施形態1および2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。

【図3】図1の基板面内方向に沿った概略断面模式図である。

【図4】本開示の実施形態1の変形例1および実施形態2の変形例2におけるキャパシタの概略断面模式図である。

【図5】図4のB部の拡大図である。

【図6】本開示の実施形態3におけるキャパシタの概略断面模式図である。

【図7】図6のD部の拡大図である。

【図8】本開示の実施形態3の変形例3におけるキャパシタの一部の概略断面模式図である。

【図9】製造例1で得られた、傾斜したCNTを有するフォレストおよび基板の一部を側面から撮影した電子顕微鏡画像である。

【図10A】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10B】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11A】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11B】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。

10

20

30

40

50

## 【発明を実施するための形態】

## 【0014】

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。

## 【0015】

## &lt;実施形態1&gt;

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、導電体層23および空間24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。便宜上、図2において、基板10、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の一部のみが示されている。図3は、図1の基板面内方向に沿った概略断面模式図である。

## 【0016】

図中、基板10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10の中心Cを含み、Z方向に沿って延在する直線を中心軸AXとする。基板10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AX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(XZ断面においては、幅方向ともいう。)とする。X方向は、基板10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(YZ断面においては、幅方向ともいう。)とする。

## 【0017】

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AXを含む面で切断することにより得られる面をXZ断面とする。XZ断面は、基板10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AXを含む面で切断することにより得られる面をYZ断面とする。YZ断面は、基板10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XY断面とする。XY断面は、基板10の面内方向に対して平行な断面である。基板10の中心Cは、キャパシタ1をZ方向からみたとき、基板10を内包する最小円の中心である。

## 【0018】

XZ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。

## 【0019】

## (構成)

キャパシタ1は、導電性を有する基板10と、基板10上に配置され、かつ、基板10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21と、ファイバー状導電性部材21の表面を被覆する誘電体層22と、誘電体層22の表面を被覆する導電体層23と、を備える。キャパシタ1は、導電体層23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21、誘電体層22、導電体層23、および誘電体層22と導電体層23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24は、複合バルク部材20を構成している。空間24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。

## 【0020】

キャパシタ1において、基板10上は、基板10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(XY面)に平行な面(後述する表面10a)と、言い換えることができる。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 2 1 】

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 を含まない。

## 【 0 0 2 2 】

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 3 】

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 4 】

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 5 】

厚さ方向の断面（ここでは、X Z 断面）において、ファイバー状導電性部材 2 1 は最大高さ  $H_{max}$  を有する。複合バルク部材 2 0 は、厚さ方向の断面において、複合バルク部材 2 0 の外縁から中心軸 A X に向かう方向に最大高さ  $H_{max}$  の 2 倍までの領域を占める一方側および他方側の外周領域 R 2 と、一方側および他方側の外周領域 R 2 に挟まれた中央領域 R 1 とを有する。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 6 】

図 2 に示すように、厚さ方向の断面において、外周領域 R 2 におけるファイバー状導電性部材 2 1 は、中央領域 R 1 よりも密集している。そのため、外周領域 R 2 は、中央領域 R 1 におけるファイバー状導電性部材 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、ファイバー状導電性部材 2 1 および誘電体層 2 2 の合計の面積占有割合  $S_{21}$  が高い部分を含む。

## 【 0 0 2 7 】

外周領域 R 2 が、「面積占有割合  $S_{21}$  が高い部分を含む」とは、任意の 1 つの厚さ方向の断面の外周領域 R 2 の少なくとも一部分における面積占有割合  $S_{21}$  が、同じ厚さ方向の断面の中央領域 R 1 の一部分における面積占有割合  $S_{11}$  よりも高いことをいう。当該厚さ方向の断面の全体において、面積占有割合  $S_{21}$  が面積占有割合  $S_{11}$  より高いことを要するものではない。

## 【 0 0 2 8 】

「面積占有割合  $S_{11}$  よりも面積占有割合  $S_{21}$  が高い」とは、「外周領域 R 2 に存在する空間 2 4 が、中央領域 R 1 に存在する空間 2 4 よりも狭い」と言い換えられる。一様な面積占有割合を有する複合バルク部材と比べて、本実施形態に係る複合バルク部材 2 0 は

10

20

30

40

50

、外周領域 R 2 において、より高い機械的強度を有する。「面積占有割合  $S_{11}$  よりも面積占有割合  $S_{21}$  が高い」とは、「外周領域 R 2 に存在するファイバー状導電性部材 2 1 の平均数密度  $N_2$  が、中央領域 R 1 に存在するファイバー状導電性部材 2 1 の平均数密度  $N_1$  よりも高い」と言い換えることもできる。

【0029】

空間が小さくなると、ファイバー状導電性部材 2 1 の大きな比表面積が損なわれて、結果的にキャパシタ 1 の体積容量密度が低下するなど、キャパシタ 1 の性能が低下し得る。本実施形態では、外周領域 R 2 のみの上記の面積占有割合  $S_{21}$  を大きくすることにより、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 の機械的強度を向上することができる。

10

【0030】

「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。

【0031】

(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。

20

【0032】

・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、XZ 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。

【0033】

まず、被覆された導電ファイバー 2 1 同士の間に形成された空間 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。

【0034】

30

中心 C を含むキャパシタ 1 の厚さ方向の断面 (ここでは、XZ 断面) を、研磨により露出させる。得られた XZ 断面 (No. 1) を、走査電子顕微鏡 (SEM) で観察する。XZ 断面 (No. 1) の SEM 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。

【0035】

当該 SEM 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 (EDX) による元素分析を併用してもよい。

40

【0036】

XZ 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 SEM 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、SEM 画像のそれぞれの角を含む部分を拡大してもよい。

【0037】

当該 SEM 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

50



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。

#### 【 0 0 3 8 】

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 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。

#### 【 0 0 3 9 】

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最右端導電ファイバー 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 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。

#### 【 0 0 4 0 】

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。

#### 【 0 0 4 1 】

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。第 1 直線 L 1 および第 2 直線 L 2 と複合バルク部材 2 0 とのそれぞれの接点 ( T 1 および T 2 ) は、X Z 断面において、複合バルク部材 2 0 の外縁を示す点である。接点 T 1 および T 2 は、典型的には、基板 1 0 の表面 1 0 a 上にある。

#### 【 0 0 4 2 】

・最大高さ  $H_{max}$  の決定方法

最大高さ  $H_{max}$  は、例えば、上記の X Z 断面 ( N o . 1 ) の S E M 画像から決定される。導電ファイバー 2 1 の、基板 1 0 の表面 1 0 a 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 1 0 a との間の Z 方向の距離が、最大高さ  $H_{max}$  である。

#### 【 0 0 4 3 】

中央領域 R 1、外周領域 R 2

図 1 に示すように、X Z 断面において、外周領域 R 2 は、中央領域 R 1 を挟んで X 方向の一方側および他方側 ( 以下、左側および右側とも称する。 ) の 2 か所に配置されている。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。

#### 【 0 0 4 4 】

・中央領域 R 1 および外周領域 R 2 の決定方法

外周領域 R 2 は、上記の X Z 断面 ( N o . 1 ) の S E M 画像と最大高さ  $H_{max}$  とを用いて決定される。S E M 画像において、接点 T 1 および T 2 から、中心軸 A X に向かって ( 図示するように接点 T 1 および T 2 が基板 1 0 の表面 1 0 a 上にある場合は、中心 C に向

10

20

30

40

50

かって)、最大高さ $H_{max}$ の2倍の距離にある点( $P_1$ および $P_2$ )をプロットする。点 $P_1$ を含み、かつZ方向に延びる第3直線 $L_3$ より左側の領域が、一方側の外周領域 $R_2$ である。点 $P_2$ を含み、かつZ方向に延びる第4直線 $L_4$ より右側の領域が、他方側の外周領域 $R_2$ である。第3直線 $L_3$ と第4直線 $L_4$ とで挟まれた領域が中央領域 $R_1$ である。

#### 【0045】

面積占有割合 $S_{11}$ 、 $S_{21}$

面積占有割合 $S_{11}$ は、厚さ方向の断面(例えば、XZ断面)における中央領域 $R_1$ 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、上記と同じ厚さ方向の断面の外周領域 $R_2$ 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 $R_2$ 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、当該厚さ方向の断面における外周領域 $R_2$ 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。

10

#### 【0046】

なかでも、任意の1つの厚さ方向の断面の外周領域 $R_2$ 全体において、面積占有割合 $S_{21}$ が、面積占有割合 $S_{11}$ より高くてよい。

#### 【0047】

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 $R_2$ 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、比較的弱い中央領域 $R_1$ が左右から保護されるため、複合バルク部材20の機械的強度がさらに向上する。

20

#### 【0048】

異なる複数の厚さ方向の断面において、外周領域 $R_2$ 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、複合バルク部材20の機械的強度がさらに向上する。「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 $R_2$ 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 $R_2$ 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。

30

#### 【0049】

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 $R_2$ 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。

#### 【0050】

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

#### 【0051】

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、0.20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。

40

#### 【0052】

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。

#### 【0053】

・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 $R_2$ および中央領域 $R_1$ は特定されている。複合バルク部材20において、導電ファイバー21、

50

誘電体層 2 2、導電体層 2 3、および充填樹脂（空間 2 4）は区別されている。

【 0 0 5 4 】

右側の外周領域 R 2 における導電ファイバー 2 1 および誘電体層 2 2 の合計の面積を、当該外周領域 R 2（すなわち、導電ファイバー 2 1 と誘電体層 2 2 と導電体層 2 3 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 R 2 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 R 2 の面積占有割合  $S_{21}$  を算出する。同様にして、中央領域 R 1 の面積占有割合  $S_{11}$  を算出する。

【 0 0 5 5 】

このときの観察視野は、中央領域 R 1 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 R 2 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 2 1 と誘電体層 2 2 と導電体層 2 3 と充填樹脂とが区別し易くなる。

10

【 0 0 5 6 】

複数の厚さ方向の断面における面積占有割合  $S_{11}$ 、 $S_{21}$  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 2 0 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て、その SEM 画像を観察する。最大高さ  $H_{\text{max}}$  はすでに測定されているため、これに基づき、一方側の外周領域 R 2 を決定する。続いて、上記の通りに画像処理（必要に応じて EDX 分析を併用して、以下同様）を行って、SEM 画像に現れた一方側の外周領域 R 2 の面積占有割合  $S_{21}$  を算出する。断面（No. 2）は、複合バルク部材 2 0 の厚さ方向の断面の一部（半分）を表わしているが、断面（No. 2）の残部も、上記 XZ 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。そのため、他方側の外周領域 R 2 の面積占有割合  $S_{21}$  も、一方側のものと同様であるとみなすことができる。中央領域 R 1 の他の部分の面積占有割合  $S_{11}$  も、断面（No. 2）の SEM 画像に現れたのと同様であるとみなすことができる。かかる操作を、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。そして、複数の SEM 画像を得て、画像処理等を行って、複数の厚さ方向の断面における面積占有割合  $S_{11}$ 、 $S_{21}$  を算出する。

20

【 0 0 5 7 】

その他

上記で使用された XZ 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、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 1 0 の厚さが、本来の基板 1 0 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 1 0 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 1 0 の幅が、本来の基板 1 0 の幅より 5 % 以上小さいことを意味する。

30

【 0 0 5 8 】

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 1 0 の表面 1 0 a、裏面 1 0 b 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 2 0 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）。

40

【 0 0 5 9 】

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 2 1 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

50

の、であれば特に限定されない。

【0060】

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 $\mu\text{m}$ 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。

【0061】

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。

【0062】

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、また複合バルク部材20の機械的強度が高くなる点で、より大きくてよい。導電ファイバー21の外周領域R2における平均数密度 $N_2$ は、 $10^8$ 本/ $\text{cm}^2$ 以上であってよい。平均数密度 $N_2$ は、 $10^{13}$ 本/ $\text{cm}^2$ 以下であってよく、 $10^{11}$ 本/ $\text{cm}^2$ 以下であってよく、 $10^{10}$ 本/ $\text{cm}^2$ 以下であってよい。

【0063】

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、外周領域R2における平均数密度 $N_2$ が $10^8$ 本/ $\text{cm}^2$ 以上であってよい。これにより、外周領域R2において密集している導電ファイバー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の機械的強度がより高まり易い。

【0064】

中央領域R1における複数の導電ファイバー21の平均数密度 $N_1$ に対する、平均数密度 $N_2$ の比 $N_2/N_1$ は、例えば、2以上である。これにより、複合バルク部材20の機械的強度がより高まり易い。比 $N_2/N_1$ は、5以上であってよく、10以上であってよく、50以上であってよい。比 $N_2/N_1$ は、1000以下であってよく、500以下であってよく、100以下であってよい。

【0065】

・平均数密度 $N_1$ および $N_2$ 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 $S_{11}$ 、 $S_{21}$ の算出に使用された試料を用いて算出できる。まず、上記試料の、基板10の表面10aからの高さHが最大高さ $H_{\text{max}}$ 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22aまたは導電体部分23a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20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。

【0066】

得られたXY断面を、SEMで観察し、以下のようにして中央領域R1と外周領域R2とを決定する。図3に示すように、SEM画像には、複合バルク部材20の外縁が示されている。ただし、当該SEM画像における複合バルク部材20の外縁の1辺は、XZ断面を露出するための切断線CLである。SEM画像には、さらに、基板10の表面10a、あるいは、表面10aを覆う誘電体部分22aまたは導電体部分23aが示され得る。

【0067】

まず、上記のように、画像処理により、複合バルク部材20を、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)に区別する。次いで、当該SEM画像において、複合バルク部材20の最も外側にある複数の導電ファイバー21の部分(点)を特定する。上記のXY断面において、切断線CLを除いて、複合バルク部材20

10

20

30

40

50

の外縁と基板 10 の外縁とは相似しているとみなしてよい。プロットされた複数の点を含み、切断線 CL を除いた基板 10 の外縁と相似する線を引く。この線は、当該 XY 断面における複合バルク部材 20 の外縁である。

【0068】

得られた外縁上の任意の点から、これに対向する外縁に向かって、既に算出されている最大高さ  $H_{max}$  の 2 倍の距離にある点をプロットする。かかる操作を、外縁上の異なる複数の点（例えば、4 点）について繰り返し、プロットされた複数の点を含み、切断線 CL を除いた複合バルク部材 20 の外縁と相似する線を引く。この線は外周領域 R2 と中央領域 R1 との境界である。当該線から複合バルク部材 20 の外縁までの領域が外周領域 R2 であり、当該線と切断線 CL とで囲まれた内側の領域が中央領域 R1 である。

10

【0069】

複合バルク部材 20 において、外周領域 R2 は、図 3 からわかるように、中央領域 R1 の周囲を取り囲むように配置されている。複合バルク部材 20 の外縁の一部は、直線 L5 および L6 によって示されている。外周領域 R2 と中央領域 R1 との境界の一部は、直線 L7 および L8 によって示されている。直線 L5, L6 は、図 1 における接点 T1 および T2 を含み、かつ Y 方向に沿った直線に対応する。直線 L7, L8 は、図 1 における点 P1 および P2 を含み、かつ Y 方向に沿った直線に対応する。

【0070】

決定された外周領域 R2 の一部（例えば、 $5\mu m \times 5\mu m$  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、外周領域 R2 における導電ファイバー 21 の平均数密度  $N_2$  とする。中央領域 R1 における導電ファイバー 21 の平均数密度  $N_1$  も、同様に算出される。

20

【0071】

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。

30

【0072】

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

【0073】

導電ファイバー 21 の断面最大寸法は、平均数密度  $N_1$  および  $N_2$  の算出に用いられた 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。

40

【0074】

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（1 nm 以上 1000 nm 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。

【0075】

50

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。

【0076】

複合バルク部材20の機械的強度がより高まり易い点で、導電ファイバー21は誘電体層22よりも高い強度を有してよい。導電ファイバー21の強度は、 $5\text{ Mpa}/(\text{nm})^2$ 以上 $150\text{ Gpa}/(\text{nm})^2$ 以下であってよい。これにより、導電ファイバー21が複合バルク部材20の芯材として機能できて、複合バルク部材20におけるクラックの発生が抑制され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。

【0077】

$5\text{ Mpa}/(\text{nm})^2$ 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。

【0078】

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。

【0079】

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。

【0080】

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。

【0081】

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 $H_{max}$ を制御し易いという利点がある。

【0082】

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。

【0083】

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と電氣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。

【0084】

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

10

20

30

40

50

てもよい。

【0085】

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。

【0086】

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、1μm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1μm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1μm以下である。

10

【0087】

誘電体層22の厚さは、平均数密度 $N_1$ および $N_2$ の算出に用いられた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。

【0088】

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。

20

【0089】

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。

【0090】

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

30

【0091】

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。

40

【0092】

導電体層23の厚さは、平均数密度 $N_1$ および $N_2$ の算出に用いられた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。

【0093】

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。

【0094】

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。外周領域R

50

1における面積占有割合 $S_{21}$ を高くすることにより、この空間24が小さくなって、複合バルク部材20の機械的強度が高まる。

【0095】

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。

【0096】

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。

10

【0097】

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。

【0098】

(製造方法)

20

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、中央部よりも外縁部の付着量が多くなるように触媒を付着させること、

(b) 触媒を核として、基板10の表面10aに複数の導電ファイバー21を成長させて、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、

(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。

30

以下、工程(a)~(d)についてより詳細に説明する。

【0099】

工程(a)

まず、基板10の表面10aに触媒を付着させる。垂直配向カーボンナノチューブ(VACNT、導電ファイバー21)は、この触媒を核にして成長する。基板10の表面10aの中央部よりも外縁部の付着量が多くなるように触媒を付着させることにより、得られるフォレストの縁側に、VACNTの密な部分を設けることができる。

【0100】

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。

40

【0101】

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。

工程(b)

次に、触媒を核として、基板10の表面10aに複数のVACNTを成長させる。これにより、基板10と一方の端部にて直接接合している複数のVACNTにより構成される

50



、フォレストが得られる。

【0102】

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の表面10a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。

10

【0103】

この結果、基板10上にVACNT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。

20

【0104】

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。

【0105】

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。

【0106】

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、ゾルゲル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。

30

【0107】

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。

【0108】

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。

【0109】

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。

40

【0110】

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VACNT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。

50

## 【0111】

以上により、図1、図2および図3に示すキャパシタ1を製造することができる。

## 【0112】

## [変形例1]

図4は、実施形態1の変形例1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5は、図4のB部の拡大図であり、図2に対応している。

## 【0113】

変形例1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。

## 【0114】

図4に示すように、厚さ方向の断面（ここでは、XZ断面）において、キャパシタ1Aの外周領域R2の外縁の一部は、X方向に傾斜している。このとき、図5に示すように、外周領域R2において、導電ファイバー21が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に存在していた空間24が押しつぶされて小さくなっている。これにより、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の面積占有割合 $S_{21}$ が高い部分を含むものとなっている。

## 【0115】

加えて、導電ファイバー21がZ方向に対して傾斜あるいはX方向に屈曲していることにより、外周領域R2において、少なくとも2本の導電ファイバー21が、誘電体層22を介して、あるいは、誘電体層22を介さずに接触できる。つまり、外周領域R2では、複数の導電ファイバー21が互いに支え合うように位置しているため、複合バルク部材20Aは、外力に対して変形し難い。これによっても、複合バルク部材20Aの機械的強度がさらに向上する。

## 【0116】

## (製造方法)

キャパシタ1A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VACNT（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VACNTを、中央に向けて傾斜させること、

(c) 複数の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こと、および

(d) 誘電体層22の表面を被覆する導電体層23を形成すること。

## 【0117】

以下、工程(b')について詳細に説明する。工程(a')は、基板10の表面10a全体に、触媒を均一に付着させること以外、実施形態1の工程(a)および(b)と同様に実施される。工程(c)および(d)は、実施形態1の工程(c)および(d)と同様に実施される。

## 【0118】

## 工程(b')

得られたフォレストの縁にあるVACNTを、中央に向けて傾斜させる。

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。

## 【0119】

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

10

20

30

40

50

、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1Aに適した複合バルク部材20A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。

#### 【0120】

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。

10

#### 【0121】

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( $23 \pm 3$ )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、2~10mm/秒(典型的には、5mm/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。

#### 【0122】

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。

#### 【0123】

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。工程(b')と工程(c)とは、同じ浴にて、同時に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、同時に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、同時にあるいは連続的に実施されてよい。この場合、成膜時間は1~3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。

20

#### 【0124】

以上により、図4および図5に示すキャパシタ1Aを製造することができる。

30

#### 【0125】

##### <実施形態2>

実施形態2は、実施形態1とは、面積占有割合を算出する際に用いられる要素が相違する。具体的には、面積占有割合を算出する際、導電ファイバー21および誘電体層22の面積に加えて、導電体層23の面積を用いる。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。実施形態2は、実施形態1と同じ図1~3を用いて説明される。

#### 【0126】

実施形態2において、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。

40

#### 【0127】

「面積占有割合 $S_{12}$ よりも面積占有割合 $S_{22}$ が高い」もまた、「外周領域R2に存在する空間が、中央領域R1に存在する空間よりも小さい」と言い換えられる。そのため、一樣な面積占有割合を有する複合バルク部材と比べて、本実施形態に係る複合バルク部材20は、外周領域R2において、より高い機械的強度を有する。本実施形態においても、外周領域R2のみの上記の面積占有割合 $S_{22}$ を大きくすることにより、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20の機械的強度を向上することができる。

#### 【0128】

「面積占有割合 $S_{22}$ が高い」とは、上記の面積占有割合 $S_{12}$ と $S_{22}$ との差が5%以

50

上であることを意味する。すなわち、 $S_{22}/S_{12} = 1.05$ である。 $S_{22}/S_{12}$ 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。

#### 【0129】

$S_{22}/S_{12} = 1.05$ である場合、上記の $S_{21}/S_{11} = 1.05$ の関係も満たされているとみなして差し支えない。 $S_{21}/S_{11} = 1.05$ である場合、 $S_{22}/S_{12} = 1.05$ の関係も満たされているとみなして差し支えない。

#### 【0130】

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、実施形態1と同様にして算出できる。

#### 【0131】

面積占有割合 $S_{12}$ は、 $0.10$ 以上であってよく、 $0.15$ 以上であってよく、 $0.20$ 以上であってよい。面積占有割合 $S_{12}$ は、 $0.50$ 以下であってよく、 $0.40$ 以下であってよく、 $0.35$ 以下であってよい。

#### 【0132】

面積占有割合 $S_{22}$ 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 $S_{22}$ は、 $0.70$ 以下であってよく、 $0.50$ 以下であってよく、 $0.45$ 以下であってよい。

#### 【0133】

#### [変形例2]

変形例2は、実施形態2とは、複合バルク部材の外形が相違する。この相違する構成は、実施形態1とその変形例1との間の相違と同様である。変形例2は、変形例1と同じ図4および5を用いて説明される。

#### 【0134】

変形例1と同様、変形例2のキャパシタ1Aは、XZ断面の外周領域R2において、導電ファイバー21が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に存在していた空間24が押しつぶされて小さくなっている。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 $S_{22}$ が高い部分を含むものとなっている。

#### 【0135】

#### <実施形態3>

実施形態3は、実施形態1とは、面積占有割合を算出する際に用いられる要素および断面が相違する。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。

#### 【0136】

図6は、実施形態3におけるキャパシタの概略断面模式図である。図6は、基板10の面内方向に沿った断面を示す。図6では、便宜上、基板10と複合バルク部材20Bの外縁とを示しており、導電ファイバー21、誘電体層22、導電体層23および空間24を省略している。図7は、図6のD部の拡大図である。図7において、誘電体層22および導電体層23で順次被覆された導電ファイバー21が模式的に示されている。便宜上、図7において、基板10、導電ファイバー21、誘電体層22、導電体層23および空間24の一部のみが示されている。実施形態3におけるキャパシタの基板10の厚さ方向に沿った断面の一例は、図1および図2で表される。図7は、図2のI-I断面に対応している。

#### 【0137】

#### (構成)

複合バルク部材20Bを構成する導電ファイバー21は、最大高さ $H_{max}$ を有する。複合バルク部材20Bは、XY断面において、複合バルク部材20Bの外縁から最大高さ $H_{max}$ の2倍までの範囲の外周領域R2と、外周領域R2に囲まれた中央領域R1とを有す

10

20

30

40

50

る。

【0138】

図7に示すように、XY断面において、外周領域R2における導電ファイバー21は、中央領域R1よりも密集している。そのため、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 $S_{13}$ 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 $S_{23}$ が高い部分を含む。

【0139】

外周領域R2が、「面積占有割合 $S_{23}$ が高い部分を含む」とは、任意の1つのXY断面の外周領域R2の少なくとも一部分における面積占有割合 $S_{23}$ が、同じXY断面の中央領域R1の一部分における面積占有割合 $S_{13}$ よりも高いことをいう。当該XY断面の全体において、面積占有割合 $S_{23}$ が面積占有割合 $S_{13}$ より高いことを要するものではない。

10

【0140】

「面積占有割合 $S_{13}$ よりも面積占有割合 $S_{23}$ が高い」とは、「外周領域R2に存在する空間24が、中央領域R1に存在する空間24よりも狭い」と言い換えられる。そのため、一様な面積占有割合を有する複合バルク部材と比べて、本実施形態に係る複合バルク部材20Bは、外周領域R2において、より高い機械的強度を有する。本実施形態においても、外周領域R2のみの上記の面積占有割合 $S_{23}$ を大きくすることにより、キャパシタ1Bの性能低下を抑制しながら、複合バルク部材20Bの機械的強度を向上することができる。「面積占有割合 $S_{13}$ よりも面積占有割合 $S_{23}$ が高い」とは、「外周領域R2に存在する導電ファイバー21の数密度が、中央領域R1に存在する導電ファイバー21の数密度よりも高い」と言い換えることもできる。

20

【0141】

「面積占有割合 $S_{23}$ が高い」とは、面積占有割合 $S_{13}$ と $S_{23}$ との差が5%以上であることを意味する。すなわち、 $S_{23}/S_{13} \geq 1.05$ である。 $S_{23}/S_{13}$ 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。

【0142】

面積占有割合 $S_{13}$ は、任意の1つのXY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 $S_{23}$ は、上記と同じXY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 $S_{23}$ が面積占有割合 $S_{13}$ より低い場合であっても、当該XY断面における外周領域R2の他の部分の面積占有割合 $S_{23}$ が、面積占有割合 $S_{13}$ より高ければよい。

30

【0143】

なかでも、任意の1つのXY断面の外周領域R2全体において、面積占有割合 $S_{23}$ が、面積占有割合 $S_{13}$ より高くてよい。

【0144】

面積占有割合 $S_{13}$ 、 $S_{23}$ の上記の関係は、任意の1つのXY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XY断面において、外周領域R2のうち、中央領域R1を介して対向する一方側および他方側がいずれも、面積占有割合 $S_{13}$ と比べて、面積占有割合 $S_{23}$ が高い部分を含んでよい。これにより、複合バルク部材20Bの機械的強度がさらに向上する。

40

【0145】

異なる複数のXY断面において、外周領域R2が、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よい。この場合、複合バルク部材20Bの機械的強度がさらに向上する。「複数のXY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XY断面における外周領域R2が、面積占有割合 $S_{13}$ に比べて、面積占有割合 $S_{23}$ が高い部分を含むことをいう。すべてのXY断面において、外周領域R2が、面積占有割合 $S_{13}$ に比べて、面積占有割合 $S_{23}$ が高い部分を含むことを要するものでは

50

ない。

【 0 1 4 6 】

少なくとも 2 つの異なる X Y 断面において、中央領域 R 1 を介して対向している 2 つの外周領域 R 2 が、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よい。

【 0 1 4 7 】

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。

【 0 1 4 8 】

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。

【 0 1 4 9 】

・最大高さ  $H_{max}$  の決定方法

最大高さ  $H_{max}$  は、実施形態 1 と同様して得られた X Z 断面の SEM 画像から、実施形態 1 と同様にして決定される。

【 0 1 5 0 】

中央領域 R 1 および外周領域 R 2

X Y 断面において、外周領域 R 2 は、中央領域 R 1 の周囲を取り囲むように配置されている。

【 0 1 5 1 】

・中央領域 R 1 および外周領域 R 2 の決定方法

中央領域 R 1 および外周領域 R 2 は、最大高さ  $H_{max}$  を決定する際に使用された試料を用いて、実施形態 1 において平均数密度  $N_1$  および  $N_2$  を算出するために行った、中央領域 R 1 および外周領域 R 2 の決定と同様の方法により、決定される。この方法に関し、図 3 が参照できる。上記試料には、キャパシタ 1 B の X Z 断面と、X Y 断面の半分とが露出している。

【 0 1 5 2 】

・対向している外周領域 R 2 の決定方法

対向している外周領域 R 2 は、同様に、最大高さ  $H_{max}$  を決定する際に使用された試料の X Y 断面から決定できる。この X Y 断面には、複合バルク部材 20 B の X Y 断面の一部（半分以下であり得る）が示されているが、当該 X Y 断面の残部も、得られる X Y 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。当該 X Y 断面は図 3 に模式的に示されている。図 3 と図 6 とは対応しており、図 3 において、切断によって除去された複合バルク部材 20 B の X Y 断面の残部を補足した一例が、図 6 である。対向している外周領域 R 2 は、図 6 を用いて決定してよい。

【 0 1 5 3 】

図 6 には、図 3 と同様に、複合バルク部材 20 B の外縁の一部である直線 L 5 および L 6 と、外周領域 R 2 と中央領域 R 1 との境界の一部である直線 L 7 および L 8 と、が示されている。さらに、図 6 には、複合バルク部材 20 B の外縁の残部である直線 L 9 および L 10 と、外周領域 R 2 と中央領域 R 1 との境界の一部である直線 L 11 および L 12 と、が示されている。複合バルク部材 20 B の外縁が曲線を含む場合、直線 L 5 および L 6 は、複合バルク部材 20 B の左右の端部をそれぞれ含み、かつ Y 方向に沿った直線に対応する。同様に、直線 L 9 および L 10 は、複合バルク部材 20 B の Y 方向の端部をそれぞれ含み、かつ X 方向に沿った直線に対応する。外周領域 R 2 と中央領域 R 1 との境界が曲線を含む場合、直線 L 7 および L 8 は、中央領域 R 1 の左右の端部をそれぞれ含み、かつ Y 方向に沿った直線に対応する。同様に、直線 L 11 および L 12 は、中央領域 R 1 の Y 方向の端部をそれぞれ含み、かつ X 方向に沿った直線に対応する。

【 0 1 5 4 】

10

20

30

40

50

図 6 において、対向している外周領域 R 2 は、「外周領域 R 2 の直線 L 5 と L 7 との間にある部分」と「外周領域 R 2 の直線 L 8 と L 1 0 との間にある部分」との組み合わせ、および、「外周領域 R 2 の直線 L 9 と L 1 1 との間にある部分」と「外周領域 R 2 の直線 L 1 0 と L 1 2 との間にある部分」との組み合わせであると、決定できる。

【 0 1 5 5 】

面積占有割合  $S_{13}$  ,  $S_{23}$

上記の試料の X Y 断面を S E M で観察する。S E M 画像において、複合バルク部材 2 0 B、中央領域 R 1 および外周領域 R 2 はすでに特定されている。

【 0 1 5 6 】

まず、画像処理によって、複合バルク部材 2 0 B 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）に区別する。次いで、外周領域 R 2 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 の合計の面積を、外周領域 R 2（すなわち、導電ファイバー 2 1 と誘電体層 2 2 と導電体層 2 3 と充填樹脂を含む部分の合計）の面積で除する。これにより、外周領域 R 2 の面積占有割合  $S_{23}$  が算出される。同様にして、中央領域 R 1 の面積占有割合  $S_{13}$  を算出する。

【 0 1 5 7 】

複数の X Y 断面における面積占有割合  $S_{13}$  ,  $S_{23}$  は、切断する位置を第 2 位置、第 3 位置・・・と順次変えること以外、上記と同様にして算出される。複数の X Y 断面は、同じ試料（キャパシタ 1 B）から得られる。例えば、第 1 位置を、基板 1 0 の表面 1 0 a からの高さが高さ  $H_{max}$  の 2 0 % 以下であって、できるだけ高い位置に設定する。次に、第 2 位置を第 1 位置より少し低い位置に設定し、第 3 位置を第 2 位置よりさらに低い位置に設定する。このようにして、同じ試料から異なる複数の X Y 断面を露出させればよい。

【 0 1 5 8 】

[ 変形例 3 ]

変形例 3 は、実施形態 3 とは、複合バルク部材の外形が相違する。この相違する構成は、実施形態 1 とその変形例 1 との間の相違と同様である。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。

【 0 1 5 9 】

図 8 は、実施形態 3 の変形例 3 におけるキャパシタの一部の概略断面模式図である。図 8 は、基板 1 0 の面内方向に沿った断面を示す。変形例 3 におけるキャパシタ全体の基板 1 0 の面内方向に沿った断面の一例は、図 6 で表される。図 8 は、図 7 に対応し、図 6 の D 部の拡大図に対応している。変形例 3 におけるキャパシタの、基板 1 0 の厚さ方向に沿った断面の一例は、図 4 および図 5 で表される。図 8 は、図 5 の II - II 断面に対応している。

【 0 1 6 0 】

変形例 1 および 2 と同様、変形例 3 のキャパシタ 1 C は、X Z 断面の外周領域 R 2 において、導電ファイバー 2 1 が 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 R 2 に存在していた空間 2 4 が導電ファイバー 2 1 に覆われて小さくなっている。これにより、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  $S_{23}$  が高い部分を含むものとなっている。

【 0 1 6 1 】

以上、本開示の 6 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でよい。

【 0 1 6 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、導電ファイバー 2 1 が基板 1 0 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 2 1 は、導電性を有する接着層を介して基板 1 0 に接合していてもよい。導電ファイバー 2 1 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

10

20

30

40

50

層に接着されていてもよい。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。

【 0 1 6 3 】

上述した実施形態の複合バルク部材 2 0 A において、外周領域 R 2 にある導電ファイバー 2 1 同士が誘電体層 2 2 を介して、あるいは、誘電体層 2 2 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 R 2 にある複数の導電ファイバー 2 1 は、それぞれ孤立してよい。

【 0 1 6 4 】

上述した実施形態のキャパシタ 1 , 1 B の X Y 断面において、基板 1 0 および複合バルク部材 2 0 , 2 0 B の外形が四角形であるが、これに限定されない。基板 1 0 および複合バルク部材 2 0 , 2 0 B の X Y 断面における外形は、円形、楕円形、四角形以外の多角形であってよい。

【 0 1 6 5 】

上述した実施形態のキャパシタ A , 1 A において、導電ファイバー 2 1 および / または複合バルク部材 2 0 , 2 0 A が、基板 1 0 上の表面 1 0 a と裏面 1 0 b とを繋ぐ面 ( 側面 ) に存在してよい。

【 0 1 6 6 】

上述した実施形態では、工程 ( b ) または ( a ' ) において、導電ファイバー 2 1 としてカーボンナノチューブ ( C N T ) を挙げたが、これに限定されない。導電ファイバー 2 1 は、C N T 以外であってよい。

【 0 1 6 7 】

上述した実施形態では、工程 ( b ) または ( a ' ) において、基板 1 0 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 1 0 に転写してもよい。この場合、転写後に工程 ( c ) または ( b ' ) 以降を実施すればよい。基板 1 0 に接着層を設けておいてもよい。

【 0 1 6 8 】

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 2 1 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 2 1 の一部を傾斜させてもよい。

【 0 1 6 9 】

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 2 2 を形成したが、これに限定されない。誘電体層 2 2 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 ) または ( a ' ) 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 2 2 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 2 2 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た方法を用いてもよい。

【実施例】

【 0 1 7 0 】

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い。

( 製造例 1 )

変形例 1 , 2 および 3 に係る複合バルク部材を有するキャパシタを製造した。

【 0 1 7 1 】

( 1 ) フォレストの準備

S i 基板 1 0 の表面上に触媒を塗布し、V A C N T を成長させて、フォレスト 2 0 0 を得た。

【 0 1 7 2 】

( 2 ) V A C N T の傾斜

フォレスト 2 0 0 が設けられた基板 1 0 を、ドデシル硫酸ナトリウム、アンモニア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

10

20

30

40

50



室温（ $23 \pm 3$ ）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  $5 \text{ mm / 秒}$  とした。その後、基板 10 を引き上げて、乾燥させた。

【0173】

原料液に浸漬し、乾燥させた後のフォレスト 200 が設けられた基板 10 を、電子顕微鏡で観察した。当該フォレスト 200 を有する基板 10 の一部の画像を図 9 に示す。図 9 により、フォレスト 200 の縁にある CNT が、中央に向けて傾斜していることが確認された。図 9 には、便宜的に、フォレスト 200 および基板 10 の外縁を示す一点鎖線を付している。

【0174】

（3）誘電体層の形成

上記のフォレスト 200 に誘電体層 22 を形成した。詳細には、3 - アミノプロピルトリエトキシシランとエタノールとを混合した原料混合液に、基板 10 上の VACNT を浸漬し、 $25$  にて  $1.5$  時間、 $300 \text{ rpm}$  で撹拌しながら維持した後、基板 10 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（ $\text{SiO}_2$ ）を形成した。

【0175】

（4）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、キャパシタを得た。

【0176】

得られたキャパシタの複合バルク部材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。SEM 画像から、CNT の最大高さ  $H_{\text{max}}$  は  $105 \mu\text{m}$  と算出された。ファイバー状導電性部材の平均長さは  $50 \mu\text{m}$  以上と理解できる。

【0177】

同じ SEM 画像において、複合バルク部材の外縁から約  $200 \mu\text{m}$  までの領域を外周領域 R2、それ以外を中央領域 R1 として、厚さ方向の断面における面積占有割合  $S_{11}$ 、 $S_{21}$  および面積占有割合  $S_{12}$ 、 $S_{22}$  を上記の通りに算出した。少なくとも 1 つの厚さ方向の断面において、面積占有割合  $S_{22}$  は、 $S_{22} / S_{12} = 1.36$  の関係を満たしていた。また、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  $S_{22}$  が高い部分を含むと理解できる。加えて、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  $S_{11}$  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。

【0178】

複数の厚さ方向の断面の一部が露出した構造体を用いて、XY 断面における CNT の面積占有割合  $S_{13}$ 、 $S_{23}$  を上記の通りに算出した。少なくとも 1 つの面内方向の断面において、面積占有割合  $S_{23}$  は、 $S_{23} / S_{13} = 1.53$  の関係を満たしていた。また、いずれの面内方向の断面においても、外周領域 R2 は、中央領域 R1 の面積占有割合  $S_{13}$  に比べて、面積占有割合  $S_{23}$  が高い部分を含むと理解できる。

【0179】

面内方向の断面から算出される、外周領域 R2 における導電ファイバー 21 の平均数密度  $N_2$  は、 $5.28 \times 10^9 \text{ 本 / cm}^2$  であり、中央領域 R1 における導電ファイバー 21 の平均数密度  $N_1$  は  $2.36 \times 10^9 \text{ 本 / cm}^2$  であった（比  $N_2 / N_1 = 2.24$ ）。CNT の断面最大寸法は  $33 \text{ nm}$  であった。誘電体層 22 の厚さは  $51 \text{ nm}$  であった。導電体層 23 の厚さは  $15 \text{ nm}$  であった。

【0180】

10

20

30

40

50

図 1 0 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 S E M 画像である。図 1 0 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 S E M 画像である。図 1 0 A および 1 0 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。

【 0 1 8 1 】

図 1 1 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 S E M 画像である。図 1 1 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 S E M 画像である。図 1 1 A および 1 1 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。

10

【産業上の利用可能性】

【 0 1 8 2 】

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、複合バルク部材の高い機械的強度が求められる用途に好適に利用され得る。

【 0 1 8 3 】

本願は、2022年11月1日付けで日本国にて出願された特願2022-175701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 1 8 4 】

20

< 1 >

導電性を有する基板と、

前記基板上に配置され、かつ、前記基板と電気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1つの断面において、

30

前記ファイバー状導電性部材が最大高さ  $H_{max}$  を有し、

前記複合バルク部材は、前記複合バルク部材の外縁から前記最大高さ  $H_{max}$  の2倍までの領域を占める一方側および他方側の外周領域と、一方側および他方側の前記外周領域に挟まれた中央領域と、を有し、

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および前記誘電体層の合計の面積占有割合  $S_{11}$  に比べて、前記ファイバー状導電性部材および前記誘電体層の合計の面積占有割合  $S_{21}$  が高い部分を含む、キャパシタ。

< 2 >

前記基板の厚さ方向に沿った1つの断面において、

40

一方側および他方側の前記外周領域がいずれも、前記面積占有割合  $S_{11}$  に比べて、前記面積占有割合  $S_{21}$  が高い部分を含む、< 1 > に記載のキャパシタ。

< 3 >

前記基板の厚さ方向に沿った複数の断面のそれぞれにおいて、

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、前記面積占有割合  $S_{11}$  に比べて、前記面積占有割合  $S_{21}$  が高い部分を含む、< 1 > または < 2 > に記載のキャパシタ。

< 4 >

導電性を有する基板と、

前記基板上に配置され、かつ、前記基板と電気的に接続されている複数のファイバー状

50

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1つの断面において、

前記ファイバー状導電性部材が最大高さ $H_{max}$ を有し、

前記複合バルク部材は、前記複合バルク部材の外縁から前記最大高さ $H_{max}$ の2倍までの領域を占める一方側および他方側の外周領域と、一方側および他方側の前記外周領域に挟まれた中央領域と、を有し、

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、キャパシタ。

< 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前記外周領域がいずれも、前記面積占有割合 $S_{12}$ に比べて、前記面積占有割合 $S_{22}$ が高い部分を含む、< 4 >に記載のキャパシタ。

< 6 >

前記基板の厚さ方向に沿った複数の断面のそれぞれにおいて、

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、前記面積占有割合 $S_{12}$ に比べて、前記面積占有割合 $S_{22}$ が高い部分を含む、< 4 >または< 5 >に記載のキャパシタ。

< 7 >

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1つの断面において、前記ファイバー状導電性部材は最大高さ $H_{max}$ を有し、

前記基板の面内方向に対して平行な1つの断面において、

前記複合バルク部材は、前記複合バルク部材の外縁から前記最大高さ $H_{max}$ の2倍までの領域を占める外周領域と、前記外周領域に囲まれた中央領域とを有し、

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、キャパシタ。

< 8 >

前記基板の面内方向に対して平行な1つの断面において、

前記外周領域のうち、前記中央領域を介して対向する一方側および他方側の部分がいずれも、前記面積占有割合 $S_{13}$ に比べて、前記面積占有割合 $S_{23}$ が高い部分を含む、< 7 >に記載のキャパシタ。

< 9 >

前記基板の面内方向に対して平行な複数の断面のそれぞれにおいて、

前記外周領域が、前記面積占有割合 $S_{13}$ に比べて、前記面積占有割合 $S_{23}$ が高い部分

10

20

30

40

50

を含む、＜ 7 ＞または＜ 8 ＞に記載のキャパシタ。

＜ 1 0 ＞

前記誘電体層の厚さが、10 nm以上である、＜ 1 ＞～＜ 9 ＞のいずれかに記載のキャパシタ。

＜ 1 1 ＞

前記外周領域における複数の前記ファイバー状導電性部材の平均数密度 $N_2$ が、 $10^8$ 本/cm<sup>2</sup>以上である、＜ 1 ＞～＜ 1 0 ＞のいずれかに記載のキャパシタ。

＜ 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、＜ 1 ＞～＜ 1 1 ＞のいずれかに記載のキャパシタ。

10

＜ 1 3 ＞

前記中央領域における複数の前記ファイバー状導電性部材の平均数密度 $N_1$ に対する、前記外周領域における複数の前記ファイバー状導電性部材の平均数密度 $N_2$ の比 $N_2/N_1$ が、2以上である、＜ 1 ＞～＜ 1 2 ＞のいずれかに記載のキャパシタ。

＜ 1 4 ＞

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、＜ 1 ＞～＜ 1 3 ＞のいずれかに記載のキャパシタ。

【符号の説明】

【 0 1 8 5 】

1 , 1 A , 1 B , 1 C    キャパシタ

20

1 0    基板

1 0 a    表面

1 0 b    裏面

2 0 , 2 0 A , 2 0 B    複合バルク部材

2 1    ファイバー状導電性部材（導電ファイバー）

2 2    誘電体層

2 2 a    誘電体部分

2 3    導電体層

2 3 a    導電体部分

2 4    空間

30

2 0 0    フォレスト

C    基板の中心

A X    中心軸

R 1    中央領域

R 2    外周領域

L 1 , L 2 , L 5 , L 6 , L 9 , L 1 0    誘電体層と誘電体部分との境界

L 3 , L 4 , L 7 , L 8 , L 1 1 , L 1 2    中央領域 R 1 と外周領域 R 2 との境界

T 1    第1直線 L 1 と複合バルク部材と接点

T 2    第2直線 L 2 と複合バルク部材と接点

P 1    接点 T 1 から中心軸 A X に向かって最大高さ $H_{max}$ の2倍の距離にある点

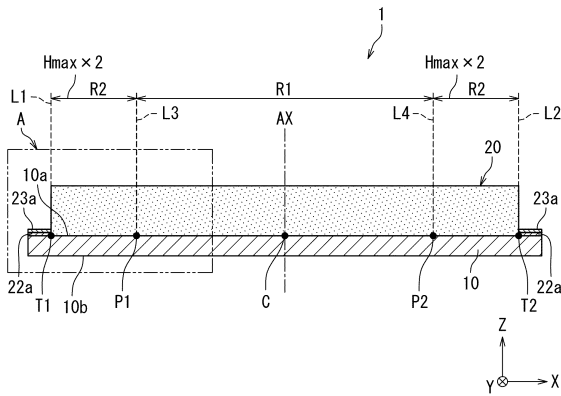
40

P 2    接点 T 2 から中心軸 A X に向かって最大高さ $H_{max}$ の2倍の距離にある点

【図面】

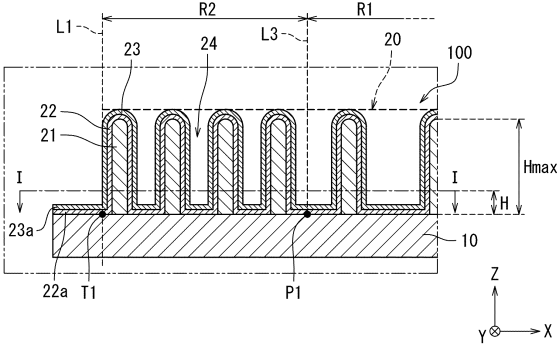
【図 1】

図1



【図 2】

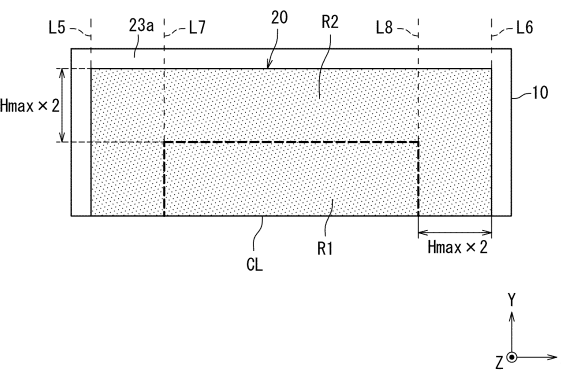
図2



10

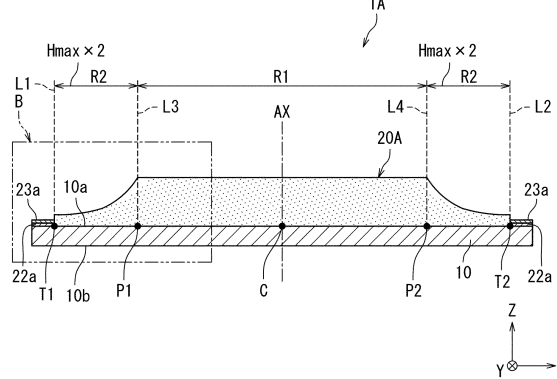
【図 3】

図3



【図 4】

図4



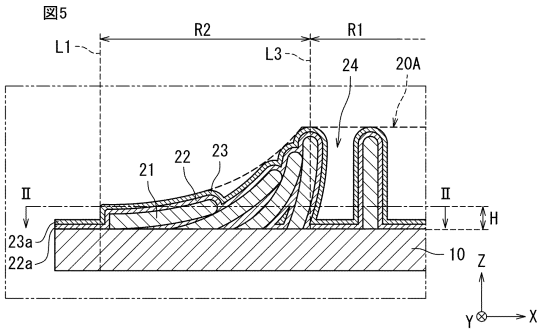
20

30

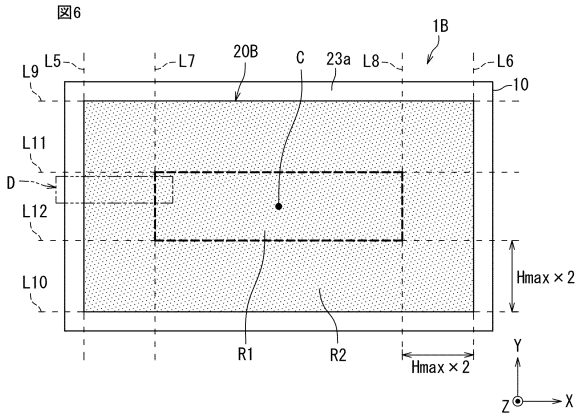
40

50

【 図 5 】

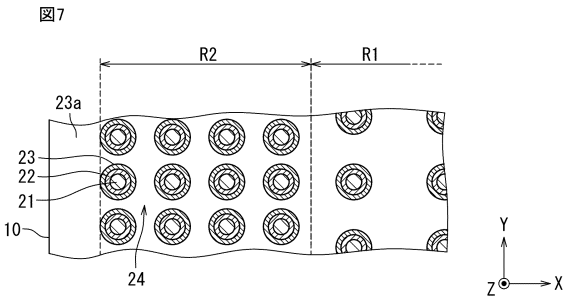


【 図 6 】

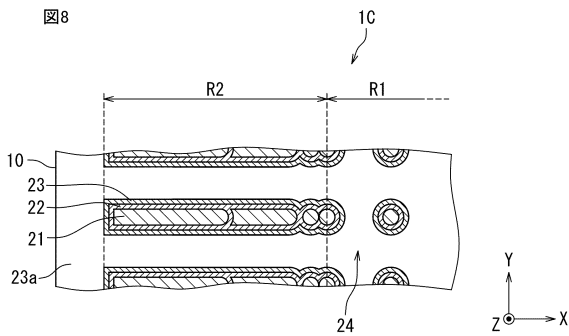


10

【 図 7 】



【 図 8 】



20

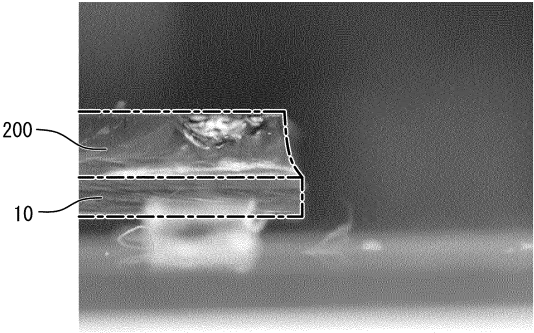
30

40

50

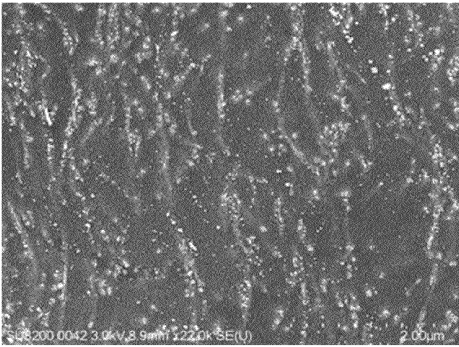
【図 9】

図9



【図 10 A】

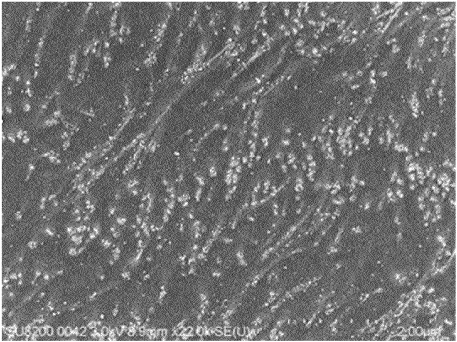
図10A



10

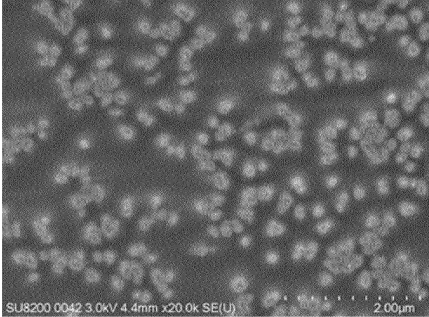
【図 10 B】

図10B



【図 11 A】

図11A



20

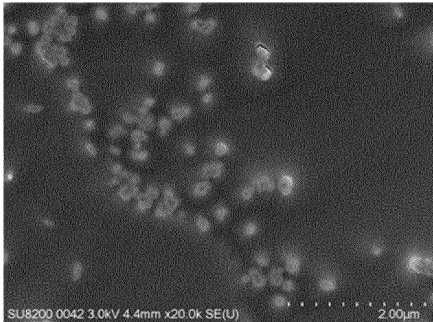
30

40

50

【図 1 1 B】

図11B



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 石川 雄太郎
- (56)参考文献 国際公開第2019/058922(WO, A1)  
国際公開第2021/229871(WO, A1)  
国際公開第2021/059570(WO, A1)  
米国特許出願公開第2005/0219788(US, A1)  
米国特許出願公開第2021/0074477(US, A1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)  
H01G 4/30  
H01G 4/33  
H01L 21/822  
H01L 27/04