

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号
特許第4294246号
(P4294246)

(45) 発行日 平成21年7月8日(2009.7.8)

(24) 登録日 平成21年4月17日(2009.4.17)

(51) Int.Cl.

F I

HO 1 G 9/058 (2006.01)

HO 1 G 9/00 (2006.01)

CO 1 B 31/02 (2006.01)

C 1 OB 55/02 (2006.01)

HO 1 G 9/00 3 O 1 A

HO 1 G 9/24 B

CO 1 B 31/02 1 O 1 B

C 1 OB 55/02

請求項の数 6 (全 25 頁)

(21) 出願番号	特願2001-399803 (P2001-399803)	(73) 特許権者	000231707 新日本石油精製株式会社 東京都港区西新橋1丁目3番12号
(22) 出願日	平成13年12月28日(2001.12.28)	(73) 特許権者	000004271 日本電子株式会社 東京都昭島市武蔵野3丁目1番2号
(65) 公開番号	特開2003-51430 (P2003-51430A)	(73) 特許権者	000004444 新日本石油株式会社 東京都港区西新橋1丁目3番12号
(43) 公開日	平成15年2月21日(2003.2.21)	(74) 代理人	100088155 弁理士 長谷川 芳樹
審査請求日	平成16年4月5日(2004.4.5)	(74) 代理人	100092657 弁理士 寺崎 史朗
(31) 優先権主張番号	特願2001-165249 (P2001-165249)	(74) 代理人	100107191 弁理士 長濱 範明
(32) 優先日	平成13年5月31日(2001.5.31)		
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電気二重層キャパシタ電極用炭素材料及びその製造方法並びに電気二重層キャパシタ及びその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】
【請求項1】

黒鉛類似の層状結晶構造を有する微結晶炭素を含有する原料組成物に、アルカリ賦活処理を施すことにより得られる電気二重層キャパシタ電極用炭素材料であって、
前記原料組成物は、ASTMD-409-71規定の粉碎強度指数HGIが50以上80以下であり、X線回折法により求められる前記微結晶炭素の層間距離 d_{002} が0.340nm以上0.343nm以下であり、かつ、X線回折法により求められる前記微結晶炭素の結晶子の大きさ L_{c002} が1.5nm以上3.0nm以下であるものであり、
前記原料組成物の内部には微細クラックが形成されており、
前記原料組成物は、水銀圧入法により前記微細クラックを細孔と仮定してその細孔径と細孔容積を求めた場合に、前記細孔径0.1~10 μ mに相当する大きさを有する前記微細クラックの前記細孔容積が0.15~0.40mL/gとなるものであり、
前記原料組成物は、
黒鉛類似の層状結晶構造を有する微結晶炭素を含む原料炭を出発原料として準備する原料炭準備工程と、
前記原料炭を不活性ガス雰囲気下、600~900の温度で加熱し、その後100以下に冷却する熱処理工程と、
を有する製造方法により製造されるものであって、
前記原料炭準備工程において使用する原料炭は、X線回折法により求められる前記原料炭中の前記微結晶炭素の層間距離 d_{002} が0.34~0.35nmであり、格子面00

2 に対応する X 線回折ピークの積分強度が黒鉛の 10 % 以上であり、かつ、不活性ガス雰囲気下、2800 の温度で加熱した場合の加熱後に得られる炭中の微結晶炭素の層間距離 d_{002} が 0.337 nm 以下となるとともに、該微結晶炭素の結晶子の大きさ L_{a110} が 80 nm 以上となるものであり、

前記炭素材料の窒素ガス吸着法により求められる比表面積が $300 \text{ m}^2 / \text{g}$ 以下であり、かつ、

前記炭素材料中の前記微結晶炭素の層間距離 d_{002} が 0.360 ~ 0.380 nm であること、

を特徴とする電気二重層キャパシタ電極用炭素材料。

【請求項 2】

黒鉛類似の層状結晶構造を有する微結晶炭素を含有する原料組成物に、アルカリ賦活処理を施すことにより得られる電気二重層キャパシタ電極用炭素材料の製造方法であって、

黒鉛類似の層状結晶構造を有する微結晶炭素を含む原料炭を出発原料として準備する原料炭準備工程と、

前記原料炭を不活性ガス雰囲気下、600 ~ 900 の温度で加熱し、その後 100 以下に冷却することにより前記原料組成物を得る熱処理工程と、

前記原料組成物をアルカリ賦活処理することにより前記炭素材料を得る賦活処理工程と、
を有しており、

前記原料炭準備工程において使用する原料炭は、X 線回折法により求められる前記原料炭中の前記微結晶炭素の層間距離 d_{002} が 0.34 ~ 0.35 nm であり、格子面 002 に対応する X 線回折ピークの積分強度が黒鉛の 10 % 以上であり、かつ、不活性ガス雰囲気下、2800 の温度で加熱した場合の加熱後に得られる炭中の微結晶炭素の層間距離 d_{002} が 0.337 nm 以下となるとともに、該微結晶炭素の結晶子の大きさ L_{a110} が 80 nm 以上となるものであり、

前記熱処理工程後に得られる前記原料組成物について、ASTM D - 409 - 71 規定の粉碎強度指数 HGI が 50 以上 80 以下となり、前記原料組成物中の前記微結晶炭素の層間距離 d_{002} が 0.340 nm 以上 0.343 nm 以下となり、かつ、前記原料組成物中の前記微結晶炭素の結晶子の大きさ L_{c002} が 1.5 nm 以上 3.0 nm 以下となり、内部には微細クラックが形成されており、水銀圧入法により前記微細クラックを細孔と仮定してその細孔径と細孔容積を求めた場合に、前記細孔径 0.1 ~ 10 μm に相当する大きさを有する前記微細クラックの前記細孔容積が 0.15 ~ 0.40 mL / g となるように調節し、

前記賦活処理工程後に得られる前記炭素材料について、窒素ガス吸着法により求められる比表面積が $300 \text{ m}^2 / \text{g}$ 以下となり、かつ、前記炭素材料中の前記微結晶炭素の層間距離 d_{002} が 0.360 ~ 0.380 nm となるように調節すること、

を特徴とする電気二重層キャパシタ電極用炭素材料の製造方法。

【請求項 3】

黒鉛類似の層状結晶構造を有する微結晶炭素を含有する炭素材料を主成分とする炭素電極を用いたアノード及びカソードを有しており、前記アノードと前記カソードとが電解液を介して配置された電気二重層キャパシタであって、

前記炭素材料は請求項 1 に記載の炭素材料であること、
を特徴とする電気二重層キャパシタ。

【請求項 4】

前記炭素材料の内部には微細クラックが形成されており、

水銀圧入法により前記炭素材料の前記微細クラックを細孔と仮定してその細孔径と細孔容積を求めた場合に、前記細孔径 0.1 ~ 10 μm に相当する大きさを有する前記炭素材料の前記微細クラックの前記細孔容積が 0.15 ~ 0.40 mL / g となること、
を特徴とする請求項 3 に記載の電気二重層キャパシタ。

【請求項 5】

10

20

30

40

50

黒鉛類似の層状結晶構造を有する微結晶炭素を含有する炭素材料を主成分とする炭素電極を用いたアノード及びカソードを有しており、前記アノードと前記カソードとが電解液を介して配置された電気二重層キャパシタの製造方法であって、

黒鉛類似の層状結晶構造を有する微結晶炭素を含有する原料炭を前記炭素材料の出発原料として準備する原料炭準備工程と、

前記原料炭を不活性ガス雰囲気下、600～900の温度で加熱し、その後100以下に冷却することにより前記炭素材料の原料組成物を得る熱処理工程と、

前記炭素材料の原料組成物をアルカリ賦活処理することにより前記炭素材料を得る賦活処理工程と、
を有しており、

10

前記原料炭準備工程において使用する原料炭は、X線回折法により求められる前記原料炭中の前記微結晶炭素の層間距離 d_{002} が0.34～0.35nmであり、格子面002に対応するX線回折ピークの積分強度が黒鉛の10%以上であり、かつ、不活性ガス雰囲気下、2800の温度で加熱した場合の加熱後に得られる炭中の微結晶炭素の層間距離 d_{002} が0.337nm以下となるとともに、該微結晶炭素の結晶子の大きさ L_{a1} が80nm以上となるものであり、

前記熱処理工程後に得られる前記原料組成物について、ASTM D-409-71規定の粉砕強度指数HGIが50以上80以下となり、前記原料組成物中の前記微結晶炭素の層間距離 d_{002} が0.340nm以上0.343nm以下となり、かつ、前記原料組成物中の前記微結晶炭素の結晶子の大きさ L_{c002} が1.5nm以上3.0nm以下となり、内部には微細クラックが形成されており、水銀圧入法により前記微細クラックを細孔と仮定してその細孔径と細孔容積を求めた場合に、前記細孔径0.1～10 μ mに相当する大きさを有する前記微細クラックの前記細孔容積が0.15～0.40mL/gとなるように調節し、

20

前記賦活処理工程後に得られる前記炭素材料について、窒素ガス吸着法により求められる比表面積が300m²/g以下となり、かつ、前記炭素材料中の前記微結晶炭素の層間距離 d_{002} が0.360～0.380nmとなるように調節すること、
を特徴とする電気二重層キャパシタの製造方法。

【請求項6】

前記賦活処理工程後に得られる前記炭素材料の内部には微細クラックが形成されており、

30

水銀圧入法により前記炭素材料の前記微細クラックを細孔と仮定してその細孔径と細孔容積を求めた場合に、前記細孔径0.1～10 μ mに相当する大きさを有する前記炭素材料の前記微細クラックの前記細孔容積が0.15～0.40mL/gとなること、
を特徴とする請求項5に記載の電気二重層キャパシタの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は電気二重層キャパシタ電極用炭素材料及びその製造方法並びに電気二重層キャパシタ及びその製造方法に関する。

40

【0002】

【従来の技術】

従来、電気二重層キャパシタの静電容量は、電気二重層キャパシタを構成するアノード及びカソードとして備えられている分極性電極（炭素電極等）の表面積にほぼ比例するとの考え方から、分極性電極として炭素電極を使用する場合には、静電容量を大きくするために炭素電極用の炭素材料の表面積を増大させるための様々な検討がなされてきた。

【0003】

例えば、炭素電極用の炭素材料としては、従来より、活性炭が用いられてきた。この活性炭の比表面積を大きくする方法としては、例えば、600以下の温度で原料となる炭素材料（以下、原料炭という）を炭化し、その後、得られた炭化後の中間生成物（以下、原

50

料組成物という)に賦活処理を施す方法が知られている。

【0004】

この賦活処理としては、例えば、原料組成物を水蒸気、二酸化炭素等の雰囲気中で600～1000に加熱するか、又は、原料組成物に塩化亜鉛、水酸化カリウム等を混合して不活性ガス雰囲気下で加熱すること等が知られている。この賦活処理の過程において、活性炭となる材料の表面には吸着に適した多数の細孔が形成され、その結果活性炭の比表面積が増加する。このようにして製造された活性炭の比表面積は、窒素ガス吸着法(BET法)で測定した場合、例えば、1000～2500 m²/g程度になる。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、電気二重層キャパシタを構成する炭素電極用の炭素材料の表面積を増大させることにより電気二重層キャパシタの静電容量を増大させる方法には限界があった。この大きな要因の一つとしては、前述の原料組成物を賦活処理することにより原料組成物の単位体積当たりの表面積が低下してしまうことがあげられる。

【0006】

これに対して、特開平11-317333号公報には、窒素ガス吸着法により求められる比表面積が小さいにもかかわらず、層間距離 d_{002} が0.365～0.385 nmである層状結晶構造を有する微結晶炭素を有する炭素電極用の炭素材料を使用することにより静電容量を従来のものの静電容量に対して約40%程度向上させた電気二重層コンデンサ(電気二重層キャパシタ)用炭素材料及び電気二重層コンデンサ(電気二重層キャパシタ)が提案されている。

【0007】

しかしながら、本発明者らは、特開平11-317333号公報に記載の電気二重層コンデンサ(電気二重層キャパシタ)であっても、十分な静電容量及びエネルギー密度が得られておらず未だ不十分であることを見出した。

【0008】

本発明は、上記従来技術の有する課題に鑑みてなされたものであり、電気二重層キャパシタの静電容量及びエネルギー密度を確実に向上させることができる電気二重層キャパシタ用炭素材料及びその製造方法並びに高い静電容量及びエネルギー密度を有する電気二重層キャパシタ及びその製造方法を提供することを目的としている。

【0009】

【課題を解決するための手段】

本発明者らは、上記目的を達成すべく鋭意研究を重ねた結果、炭素電極の構成材料となる炭素材料の賦活処理前の状態の物質である原料組成物の構造と物性とを所定の条件を満たすように規定することにより、該原料組成物を賦活処理した後に得られる炭素材料から製造される炭素電極を備えた電気二重層キャパシタの静電容量及びエネルギー密度を十分かつ確実に向上させることができることを見出し、本発明に到達した。

【0010】

すなわち、本発明は、黒鉛類似の層状結晶構造を有する微結晶炭素を含有する原料組成物に、アルカリ賦活処理を施すことにより得られる電気二重層キャパシタ電極用炭素材料であって、

原料組成物は、ASTMD-409-71規定の粉碎強度指数HGIが50以上80以下であり、X線回折法により求められる微結晶炭素の層間距離 d_{002} が0.340 nm以上0.343 nm以下であり、かつ、X線回折法により求められる微結晶炭素の結晶子の大きさ $L_{c_{002}}$ が1.5 nm以上3.0 nm以下であるものであり、

原料組成物の内部には微細クラックが形成されており、

原料組成物は、水銀圧入法により微細クラックを細孔と仮定してその細孔径と細孔容積を求めた場合に、細孔径0.1～10 μmに相当する大きさを有する微細クラックの細孔容積が0.15～0.40 mL/gとなるものであり、

原料組成物は、

10

20

30

40

50

黒鉛類似の層状結晶構造を有する微結晶炭素を含む原料炭を出発原料として準備する原料炭準備工程と、

原料炭を不活性ガス雰囲気下、 $600 \sim 900$ の温度で加熱し、その後 100 以下に冷却する熱処理工程と、

を有する製造方法により製造されるものであって、

原料炭準備工程において使用する原料炭は、X線回折法により求められる原料炭中の微結晶炭素の層間距離 d_{002} が $0.34 \sim 0.35 \text{ nm}$ であり、格子面 002 に対応するX線回折ピークの積分強度が黒鉛の 10% 以上であり、かつ、不活性ガス雰囲気下、 2800 の温度で加熱した場合の加熱後に得られる炭中の微結晶炭素の層間距離 d_{002} が 0.337 nm 以下となるとともに、該微結晶炭素の結晶子の大きさ $L_{a_{110}}$ が 80 nm 以上となるものであり、

10

炭素材料の窒素ガス吸着法により求められる比表面積が $300 \text{ m}^2 / \text{g}$ 以下であり、かつ、

炭素材料中の微結晶炭素の層間距離 d_{002} が $0.360 \sim 0.380 \text{ nm}$ であること

を特徴とする電気二重層キャパシタ電極用炭素材料を提供する。

【0011】

上記のASTMD-409-71規定の粉碎強度指数HGIの条件と、微結晶炭素の層間距離 d_{002} の条件と、微結晶炭素の結晶子の大きさ $L_{c_{002}}$ の条件とを同時に満たす規定された構造と物性を有する本発明の原料組成物によれば、後述する窒素ガス吸着法により求められる比表面積の条件 ($300 \text{ m}^2 / \text{g}$ 以下) と、微結晶炭素の層間距離 d_{002} の条件 ($0.360 \sim 0.380 \text{ nm}$) を同時に満たす炭素材料を容易かつ確実に再現性よく製造することができる。

20

【0012】

この炭素材料は、炭素電極の構成材料として用いられた場合、微結晶炭素中の複数の炭素層の面が電気二重層の形成される界面として効果的に機能する。その結果、本発明の原料組成物を用いて製造された炭素電極を電気二重層キャパシタに備えることにより、電気二重層キャパシタの静電容量及びエネルギー密度を十分に向上させることができる。

【0013】

ここで、本明細書において、「X線回折法により求められる微結晶炭素の層間距離 d_{002} 」及び「X線回折法により求められる微結晶炭素の結晶子の大きさ $L_{c_{002}}$ 」とは、本発明者らが見出した以下の事実により、構造が明確な黒鉛を基準として測定されるデータを示す。

30

【0014】

なお、本発明において試料の粉末X線回折法による構造解析を行う手順は以下に示すように行った。

【0015】

すなわち、試料粉末（原料組成物、後述の原料炭又は後述の炭素材料）を試料ホルダーに充填し、グラファイトモノクロメーターにより単色化した $\text{Cu K}\alpha$ 線を線源としX線回折図形を得る。この回折図形のピーク位置は重心法（回折線の重心位置を求め、これに対応する 2θ 値でピークの位置をもとめる方法）により求め、標準物質用高純度シリコン粉末の (111) 面の回折ピークを用いて補正する。

40

【0016】

そして、 $\text{Cu K}\alpha$ 線の波長を 0.15418 nm とし、下記式 (1) で表される Bragg の公式により微結晶炭素の層間距離 d_{002} を計算する。そして、試料中の黒鉛構造の形成の有無は、例えば、試料の粉末X線回折パターンにおいて 2θ が約 25° 付近に明白なピークを持つことにより確認することができる。

$$d_{002} = \lambda / (2 \sin \theta) \dots (1)$$

すなわち、黒鉛はいわゆるベンゼン環状の平面網目構造を有する層を複数積層した構造を有しており、粉末X線回折による測定において、 C_{002} に基づく回折ピークが層間距離 d_0

50

$d_{02} = 0.335 \text{ nm}$ に鋭く尖鋭なピーク (2θ が約 25° 付近) として観測される。一方、本発明者らにより、本発明の原料組成物は黒鉛に比べればかなりブロードではあるが C_{002} に基づく回折ピークが $d_{002} = 0.343 \text{ nm}$ 以下に積分強度としては高い強度で観測されることが確認された。

【0017】

また、本発明者らにより、後述する本発明の原料組成物を賦活処理して得られる炭素材料は黒鉛に比べればかなりブロードではあるが C_{002} に基づく回折ピークが $d_{002} = 0.360 \text{ nm} \sim 0.380 \text{ nm}$ に積分強度としては高い強度で観測されることが確認された。更に、本発明者らにより、後述する本発明の原料組成物の原料となる原料炭は黒鉛に比べればかなりブロードではあるが C_{002} に基づく回折ピークが $d_{002} = 0.34 \text{ nm} \sim 0.35 \text{ nm}$ に積分強度としては高い強度で観測されることが確認された。

10

【0018】

これに対して、従来の電気二重層コンデンサに用いられる活性炭では、 C_{002} に該当する回折ピークは一般に少なく鮮明には認められず、多少存在していると仮定して算出される層間距離 d_{002} は 0.40 nm 以上と非常に大きくなる。このように層間距離 d_{002} が 0.40 nm 以上と非常に大きい場合には、十分な電気二重層キャパシタ性能が得られない。

【0019】

このことから、本発明の原料組成物、後述する該原料組成物を賦活処理して得られる炭素材料、及び、後述する該原料組成物の原料となる原料炭は何れも「黒鉛類似の微結晶炭素の結晶子」を含有することが確認された。そして、本発明者らにより、本発明の原料組成物に含有される黒鉛類似の微結晶炭素の結晶子の大きさ $L_{C_{002}}$ は 3.0 nm 以下であることが見出された。

20

【0020】

また、本明細書において、「ASTMD-409-71規定の粉砕強度指数 HGI (Hardgrobe Grindability Index)」とは、所定の試料を試験機で粉砕した後、所定のふるいでふるい分け、ふるい下の質量をはかり、下記実験式(2)によって求めた値である。

$$HGI = 13 + 6.93 \times (\text{ふるい下の質量}) \dots (2)$$

本発明の原料組成物において、このASTMD-409-71規定の粉砕強度指数 HGI が 50 未満となると、後に原料組成物を賦活する工程において、電気二重層を形成するための炭素層間がひろがらなくなる。なお、上記と同様の観点から、ASTMD-409-71規定の粉砕強度指数 HGI は 50 ~ 80 であることがより好ましい。

30

【0021】

また、本発明の原料組成物において、X線回折法により求められる微結晶炭素の層間距離 d_{002} が 0.343 nm を超えると、後に原料組成物を賦活する工程において、層間距離 d_{002} を $0.36 \sim 0.38 \text{ nm}$ とすることができなくなる。なお、上記と同様の観点から、微結晶炭素の層間距離 d_{002} は $0.340 \sim 0.343 \text{ nm}$ であることがより好ましい。

【0022】

更に、本発明の原料組成物において、X線回折法により求められる微結晶炭素の結晶子の大きさ $L_{C_{002}}$ が 3.0 nm を超えると、十分な電気二重層キャパシタ性能が得られない。なお、上記と同様の観点から、微結晶炭素の結晶子の大きさ $L_{C_{002}}$ は $1.5 \sim 3.0$ であることがより好ましい。

40

【0023】

また、本発明は、黒鉛類似の層状結晶構造を有する微結晶炭素を含有する原料組成物に、アルカリ賦活処理を施すことにより得られる電気二重層キャパシタ電極用炭素材料の製造方法であって、

黒鉛類似の層状結晶構造を有する微結晶炭素を含む原料炭を出発原料として準備する原料炭準備工程と、

原料炭を不活性ガス雰囲気下、 $600 \sim 900$ の温度で加熱し、その後 100 以下に冷却することにより原料組成物を得る熱処理工程と、

50

原料組成物をアルカリ賦活処理することにより炭素材料を得る賦活処理工程と、
を有しており、

原料炭準備工程において使用する原料炭は、X線回折法により求められる原料炭中の微結晶炭素の層間距離 d_{002} が $0.34 \sim 0.35 \text{ nm}$ であり、格子面 002 に対応するX線回折ピークの積分強度が黒鉛の 10% 以上であり、かつ、不活性ガス雰囲気下、 2800 の温度で加熱した場合の加熱後に得られる炭中の微結晶炭素の層間距離 d_{002} が 0.337 nm 以下となるとともに、該微結晶炭素の結晶子の大きさ $L_{a_{110}}$ が 80 nm 以上となるものであり、

熱処理工程後に得られる原料組成物について、ASTMD-409-71規定の粉碎強度指数HGIが50以上80以下となり、原料組成物中の微結晶炭素の層間距離 d_{002} が 0.340 nm 以上 0.343 nm 以下となり、かつ、原料組成物中の微結晶炭素の結晶子の大きさ $L_{c_{002}}$ が 1.5 nm 以上 3.0 nm 以下となり、内部には微細クラックが形成されており、水銀圧入法により微細クラックを細孔と仮定してその細孔径と細孔容積を求めた場合に、細孔径 $0.1 \sim 10 \mu\text{m}$ に相当する大きさを有する微細クラックの細孔容積が $0.15 \sim 0.40 \text{ mL/g}$ となるように調節し、

賦活処理工程後に得られる炭素材料について、窒素ガス吸着法により求められる比表面積が $300 \text{ m}^2/\text{g}$ 以下となり、かつ、炭素材料中の微結晶炭素の層間距離 d_{002} が $0.360 \sim 0.380 \text{ nm}$ となるように調節すること、

を特徴とする電気二重層キャパシタ電極用炭素材料の製造方法を提供する。

【0024】

上記の条件を満たす原料炭はきわめて高い易黒鉛化性を有する。そのため、上記の条件を満たす原料炭を出発原料として用い、上記の熱処理工程における条件のもとで原料炭の加熱と冷却を行うことにより、前述の本発明の電気二重層キャパシタ用炭素材料の原料組成物を容易かつ確実に調製することができる。

【0025】

原料炭を熱処理工程において原料炭を $600 \sim 900$ に加熱すると、原料炭の内部からの揮発成分の脱離が進行するとともに微結晶炭素の再配列が進行する。そのため、得られる原料組成物中の微結晶炭素の層間距離 d_{002} が徐々に小さくなって最小値となる。

【0026】

更に、この熱処理工程における加熱条件のもとでは、原料炭中に含まれる微結晶炭素は大きく成長するには至らない。その一方で、原料炭中の微結晶となっていない炭素からなる部分は加熱により再配列し新たに微結晶炭素となる。そのため、得られる原料組成物中の微結晶炭素の結晶子の大きさ $L_{c_{002}}$ は、全体として小さくなり最小値となる。

【0027】

その結果、層間距離 d_{002} が 0.343 nm 以下と小さく、結晶子の大きさ $L_{c_{002}}$ も 3.0 nm 以下と小さい原料組成物を得ることができる。すなわち、単位容積に占める微結晶炭素の炭素層面の数が多い原料組成物を得ることができる。

【0028】

また、原料炭は、熱処理工程において $600 \sim 900$ の温度で加熱されることで、ASTMD-409-71規定の粉碎強度指数HGIが50以上と弱くなる。そして、この温度条件での加熱とそれに続く 100 以下の温度へ冷却する過程で原料炭には熱的衝撃が与えられ、後述の水銀圧入法を用いて測定されるデータに基づく条件を満たす微細クラック（後述の図1参照）が容易に生成し易くなる。

【0029】

ここで、本明細書において、「不活性ガス雰囲気」とは、不活性ガス又は窒素ガス等のガスを主成分として構成された原料炭の外部の雰囲気であり、化学的に安定な原料炭の外部の雰囲気（特に酸化反応に対して安定な外部の雰囲気）を示す。

【0030】

また、熱処理工程における加熱温度が 600 未満となると、最終的に得られる原料組成物について、ASTMD-409-71規定の粉碎強度指数HGIが50未満となり、層間距離 d_{002}

10

20

30

40

50

が 0.343 nm を超えてしまい、結晶子の大きさ $L_{c_{002}}$ も 3.0 nm を超えてしまい、十分な電気二重層キャパシタ性能が得られなくなる。一方、熱処理工程における加熱温度が 900 を超えると、この場合にも最終的に得られる原料組成物について、ASTMD-409-71規定の粉碎強度指数 HGI が 50 未満となり、層間距離 d_{002} が 0.343 nm を超えてしまい、結晶子の大きさ $L_{c_{002}}$ も 3.0 nm を超えてしまい、十分な電気二重層キャパシタ性能が得られなくなる。

【0031】

なお、上記と同様の観点から熱処理工程における加熱温度は $700 \sim 800$ であることが好ましい。更に、熱処理工程における冷却温度が 100 を超えると、最終的に得られる原料組成物において微細クラックが十分に発現しなくなる。

10

【0032】

また、本明細書において、「格子面 002 に対応する X 線回折ピークの積分強度が黒鉛の 10% 以上」とは、原料炭の格子面 002 に対応する X 線回折ピークの積分強度 I_1 と黒鉛の格子面 002 に対応する X 線回折ピークの積分強度 I_2 とが下記式 (3) で表される条件を満たすことである。

$$(I_1 / I_2) \times 100 \geq 10 \dots (3)$$

更に、本発明は、黒鉛類似の層状結晶構造を有する微結晶炭素を含有する炭素材料を主成分とする炭素電極を用いたアノード及びカソードを有しており、アノードとカソードとが電解液を介して配置された電気二重層キャパシタであって、

炭素材料は前述の本発明の炭素材料であること、
を特徴とする電気二重層キャパシタを提供する。

20

【0033】

上記の本発明の電気二重層キャパシタは、その炭素電極の構成材料である炭素材料に含まれる黒鉛類似の層状結晶構造を有する微結晶炭素の一つ一つの炭素層面 (格子面 002) が電気二重層の形成される電解液との界面として機能するため、窒素ガス吸着法により求められる比表面積が $300 \text{ m}^2/\text{g}$ 以下と小さくても、高い静電容量と高いエネルギー密度とを有する。

【0034】

そして、本発明の電気二重層キャパシタにおいて炭素電極に形成される電気二重層は、該電気二重層となる電解液との界面が上記の微結晶炭素の一つ一つの炭素層面 (格子面 002) であるという点で、窒素ガス吸着法により求められる比表面積の大きな細孔構造を有する活性炭を構成材料とした従来の炭素電極に形成される電気二重層とは異なるものである。

30

【0035】

すなわち、本発明の電気二重層キャパシタにおいて、本発明の原料組成物を用いて製造された炭素材料を用いた炭素電極は、従来の活性炭を用いた炭素電極と異なり細孔を有していないために、電気二重層キャパシタを構成した当初は上記の各炭素層面には電気二重層が実質的に形成されていないが、初期充電時に所定の閾値を越える印加電圧を炭素電極にかけることにより、電解質イオンが溶媒を伴って各炭素層間内に侵入し、電解質イオンが侵入したすべての炭素層面において電気二重層が形成される。

40

【0036】

なお、本明細書において、上記の電解質イオンが溶媒を伴って各炭素層間内に侵入することを、「溶媒共挿入 (solventco-intercalation)」ということにする。

【0037】

そして、以後の履歴効果によりこの各炭素層間に形成された電気二重層として機能する界面は保持される。その結果、本発明の電気二重層キャパシタは高い静電容量と高いエネルギー密度とを有することになる。上記の溶媒共挿入により各炭素層間に形成される電気二重層について、その形成に関するメカニズムは、例えば、キャパシタ技術委員会 平成 12 年第 3 回研究会 講演予稿集 (最上ら) に記載されている。

【0038】

50

また、本発明において、「窒素ガス吸着法により求められる比表面積」は、CARLO ERBA社製「ソープティー１７５０」を用いて測定した。

【００３９】

ここで、本発明の電気二重層キャパシタにおいて、炭素材料の窒素ガス吸着法により求められる比表面積が $300\text{ m}^2/\text{g}$ を超えると、従来に比べて十分な電気二重層キャパシタ性能を得ることができない。なお、上記と同様の観点から、炭素材料の窒素ガス吸着法により求められる比表面積は $30 \sim 250\text{ m}^2/\text{g}$ であることがより好ましい。

【００４０】

また、本発明の電気二重層キャパシタにおいて、炭素材料の微結晶炭素の層間距離 d_{002} が 0.360 nm 未満であると、十分な電気二重層キャパシタ性能を得ることができない。一方、炭素材料の微結晶炭素の層間距離 d_{002} が 0.380 nm を超えると、十分な電気二重層キャパシタ性能を得ることができない。

10

【００４１】

また、本発明は、黒鉛類似の層状結晶構造を有する微結晶炭素を含有する炭素材料を主成分とする炭素電極を用いたアノード及びカソードを有しており、アノードとカソードとが電解液を介して配置された電気二重層キャパシタの製造方法であって、

黒鉛類似の層状結晶構造を有する微結晶炭素を含有する原料炭を炭素材料の出発原料として準備する原料炭準備工程と、

原料炭を不活性ガス雰囲気下、 $600 \sim 900$ の温度で加熱し、その後 100 以下に冷却することにより炭素材料の原料組成物を得る熱処理工程と、

20

炭素材料の原料組成物をアルカリ賦活処理することにより炭素材料を得る賦活処理工程と、

を有しており、

原料炭準備工程において使用する原料炭は、X線回折法により求められる原料炭中の微結晶炭素の層間距離 d_{002} が $0.34 \sim 0.35\text{ nm}$ であり、格子面 002 に対応するX線回折ピークの積分強度が黒鉛の 10% 以上であり、かつ、不活性ガス雰囲気下、 2800 の温度で加熱した場合の加熱後に得られる炭中の微結晶炭素の層間距離 d_{002} が 0.337 nm 以下となるとともに、該微結晶炭素の結晶子の大きさ L_{a110} が 80 nm 以上となるものであり、

熱処理工程後に得られる原料組成物について、ASTMD-409-71規定の粉碎強度指数HGIが 50 以上 80 以下となり、原料組成物中の微結晶炭素の層間距離 d_{002} が 0.340 nm 以上 0.343 nm 以下となり、かつ、原料組成物中の微結晶炭素の結晶子の大きさ L_{c002} が 1.5 nm 以上 3.0 nm 以下となり、内部には微細クラックが形成されており、水銀圧入法により微細クラックを細孔と仮定してその細孔径と細孔容積を求めた場合に、細孔径 $0.1 \sim 10\text{ }\mu\text{m}$ に相当する大きさを有する微細クラックの細孔容積が $0.15 \sim 0.40\text{ mL/g}$ となるように調節し、

30

賦活処理工程後に得られる炭素材料について、窒素ガス吸着法により求められる比表面積が $300\text{ m}^2/\text{g}$ 以下となり、かつ、炭素材料中の微結晶炭素の層間距離 d_{002} が $0.360 \sim 0.380\text{ nm}$ となるように調節すること、

を特徴とする電気二重層キャパシタの製造方法を提供する。

40

【００４２】

上記のように、前述した本発明の電気二重層キャパシタ用炭素材料の原料組成物の製造方法に基づいて原料組成物を製造し、更に得られた原料組成物に賦活処理を行い炭素材料を製造し、この炭素材料を炭素電極の構成材料とすることにより、高い静電容量とエネルギー密度を有する電気二重層キャパシタを容易かつ確実に構成することができる。

【００４３】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の好適な実施形態について詳細に説明する。

【００４４】

本発明の電気二重層キャパシタ用炭素材料の原料組成物は、先に述べたようにASTMD-409-

50

71規定の粉碎強度指数 H G I が 5 0 以上であり、X 線回折法により求められる微結晶炭素の層間距離 d_{002} が 0 . 3 4 3 nm 以下であり、かつ、X 線回折法により求められる微結晶炭素の結晶子の大きさ $L_{c_{002}}$ が 3 . 0 nm 以下であること、を特徴とするものである。

【 0 0 4 5 】

上記の各条件を同時に満たす規定された構造と物性を有する本発明の原料組成物によれば、窒素ガス吸着法により求められる比表面積の条件 (3 0 0 m² / g 以下) と、微結晶炭素の層間距離 d_{002} の条件 (0 . 3 6 0 ~ 0 . 3 8 0 nm) を同時に満たす炭素材料を容易かつ確実に再現性よく製造することができる。そしてこの炭素材料を炭素電極の構成材料として用いることにより、電気二重層キャパシタの静電容量及びエネルギー密度を十分に向上させることができる。

10

【 0 0 4 6 】

ここで、本発明の原料組成物の内部には微細クラックが形成されており、水銀圧入法により微細クラックを細孔と仮定してその細孔径と細孔容積を求めた場合に、細孔径 0 . 1 ~ 1 0 μ m に相当する大きさを有する微細クラックの細孔容積が 0 . 1 5 ~ 0 . 4 0 m L / g となることが好ましい。

【 0 0 4 7 】

上記の条件を満たす微細クラックは、原料組成物を賦活処理した後に得られる炭素材料にも同様の条件で保持させておくことが可能である。電気二重層キャパシタを構成した場合に、このように微細クラックが原料組成物を賦活処理した後の炭素材料にも形成されていれば、微細クラックが溶媒和した電解質イオンの導入孔の役割を果たすため、電圧印加時に電解質イオンの溶媒共挿入が起こる際に、溶媒和した電解質イオンが炭素材料の微結晶炭素の層間により均一かつよりスムーズに侵入できるようになる。

20

【 0 0 4 8 】

ここで、本発明の電気二重層キャパシタ用炭素材料の原料組成物において、細孔径 0 . 1 ~ 1 0 μ m に相当する大きさを有する微細クラックの細孔容積が 0 . 1 5 m L / g 未満となると、微細クラックが溶媒共挿入時の導入口としての働きを十分に担うことが困難となり、静電容量を十分に増加させることが困難になるおそれがある。一方、細孔径 0 . 1 ~ 1 0 μ m に相当する大きさを有する微細クラックの細孔容積が 0 . 4 0 m L / g を超えると、原料組成物中に微細クラックが過剰に存在することになり、原料組成物の嵩密度が低下してしまい、その結果原料組成物から得られる炭素材料の単位容積 (体積) 当たりの静電容量が低下してしまうおそれがある。

30

【 0 0 4 9 】

図 1 に、本発明の電気二重層キャパシタ用炭素材料の原料組成物の一例 (後述の実施例 1 に示す原料組成物) を示す S E M (走査電子顕微鏡) 写真を示す。なお、図 1 に示した原料組成物 1 0 に対する S E M の観察条件は、一次電子ビームの出力 : 5 k e V 、倍率 : 1 0 0 0 倍 (S E M 写真中のミクロンバーの長さは 1 0 μ m を示す) とした。また、S E M の観察に際して、試料のコーティング等の前処理は行わなかった。

【 0 0 5 0 】

図 1 に示すように、原料組成物 1 0 には、細孔径約 0 . 1 ~ 1 0 μ m に相当する大きさを有する微細クラックが多数形成されていることがわかる。この原料組成物 1 0 の細孔径 0 . 1 ~ 1 0 μ m に相当する大きさを有する微細クラックの細孔容積は 0 . 1 6 m L / g であった。また、図 1 に示した原料組成物 1 0 について、ASTMD-409-71規定の粉碎強度指数 H G I は 7 5 であり、X 線回折法により求められる微結晶炭素の層間距離 d_{002} は 0 . 3 4 0 7 nm であり、X 線回折法により求められる微結晶炭素の結晶子の大きさ $L_{c_{002}}$ は 2 . 2 nm であった。

40

【 0 0 5 1 】

次に、本発明の電気二重層キャパシタ用炭素材料の原料組成物の製造方法の好適な実施形態について説明する。

【 0 0 5 2 】

50

本発明の電気二重層キャパシタ用炭素材料の原料組成物の製造方法は、先に述べたように、黒鉛類似の層状結晶構造を有する微結晶炭素を含む原料炭を出発原料として準備する原料炭準備工程と、原料炭を不活性ガス雰囲気下、 $600 \sim 900$ の温度で加熱し、その後 100 以下に冷却する熱処理工程とを有する。

【0053】

原料炭準備工程においては、原料炭として、微結晶炭素の層間距離 d_{002} が $0.34 \sim 0.35$ nm であり、格子面 002 に対応する X 線回折ピークの積分強度が黒鉛の 10% 以上であり、かつ、不活性ガス雰囲気下、 2800 の温度で加熱した場合の加熱後に得られる炭中の微結晶炭素の層間距離 d_{002} が 0.337 nm 以下となるとともに、該微結晶炭素の結晶子の大きさ $L_{a_{110}}$ が 80 nm 以上となるものを準備する。

10

【0054】

また、本発明において、上記の条件を満たす原料炭は、例えば、硫黄や金属等の不純物を含まず、かつ、適度な芳香族性を有する重質炭化水素を適切な条件でコーキングすることによって得ることができる。例えば、石油コークス、不融化处理したピッチ等があげられる。

【0055】

なお、「適度な芳香族性を有する重質炭化水素」は、例えば、石油系重質油の流動接触分解装置のボトム油や減圧蒸留装置の残さ油、芳香族化合物のタールのようなものが挙げられる。例えば、原料炭の石油コークスはこのような重質炭化水素を用い、ディレードコーカーで加圧下、熱処理することで得られる。

20

【0056】

そして、このような重質炭化水素は易黒鉛化性を有しており、コーキング過程において、熱分解反応により生成した縮合多環芳香族が積層して黒鉛類似の微結晶炭素を含有する原料炭となる。そのため、前述のようにこのような重質炭化水素から得られる原料炭も高い易黒鉛化性を有している。そのため、上記の条件を満たす原料炭を出発原料として用い、次いで、熱処理工程において原料炭の加熱と冷却を行うことにより、本発明の電気二重層キャパシタ用炭素材料の原料組成物を容易かつ確実に調製することができる。

【0057】

原料炭を熱処理工程においては、まず、不活性ガス雰囲気下において原料炭を $600 \sim 900$ に加熱する。この加熱条件のもとでは、原料炭の内部からの揮発成分の脱離が進行するとともに微結晶炭素の再配列が進行する。そのため、得られる原料組成物中の微結晶炭素の層間距離 d_{002} が徐々に小さくなって最小値（例えば、 $0.340 \sim 0.343$ nm）となる。この微結晶炭素の層間距離 d_{002} は、より具体的には、熱処理工程における加熱温度を 750 とした場合に最小値（約 0.34 nm）となる。

30

【0058】

更に、この熱処理工程における加熱条件のもとでは、原料炭中に含まれる微結晶炭素は大きく成長するには至らない。その一方で、原料炭中の微結晶となっていない炭素からなる部分は加熱により再配列し新たに微結晶炭素となる。そのため、得られる原料組成物中の微結晶炭素の結晶子の大きさ $L_{c_{002}}$ は、全体として小さくなり最小値（例えば、 $1.5 \sim 3.0$ nm）となる。この原料組成物中の微結晶炭素の結晶子の大きさ $L_{c_{002}}$ は、より具体的には、熱処理工程における加熱温度を 750 とした場合に最小値（約 1.5 nm）となる。

40

【0059】

その結果、層間距離 d_{002} が 0.343 nm 以下と小さく、結晶子の大きさ $L_{c_{002}}$ も 3.0 nm 以下と小さい原料組成物を得ることができる。すなわち、単位容積に占める微結晶炭素の炭素層面の数が多い原料組成物を得ることができる。

【0060】

また、原料炭は、熱処理工程において $600 \sim 900$ の温度で加熱されることで、ASTM D-409-71規定の粉碎強度指数 HGI が 50 以上と弱くなる。そして、この温度条件での加熱とそれに続く 100 以下の温度へ冷却する過程で原料炭には熱的衝撃が与えられ、先

50

に述べた水銀圧入法を用いて測定されるデータに基づく条件を満たす微細クラックが容易に生成し易くなる。

【0061】

ここで、本発明の電気二重層キャパシタ用炭素材料の原料組成物の製造方法においては、熱処理工程後に得られる原料組成物について、ASTMD-409-71規定の粉碎強度指数HGIが50以上となり、微結晶炭素の層間距離 d_{002} が0.343nm以下となり、かつ、微結晶炭素の結晶子の大きさ $L_{c_{002}}$ が3.0nm以下となるように調節することが好ましい。

【0062】

熱処理工程後に得られる原料組成物を上記の条件を満たすように製造するためには、熱処理工程において600～900の温度で加熱し、その後100以下に冷却することが必須となる。

【0063】

例えば、図1に示した原料組成物は以下の手順と条件のもとで製造することができる。すなわち、まず、原料炭準備工程において、原料炭としてX線回折法により求められる微結晶炭素の層間距離 d_{002} が0.3426nmであり、格子面002に対応するX線回折ピークの積分強度が黒鉛の15%であり、かつ、不活性ガス雰囲気下、2800の温度で加熱した場合の加熱後に得られる炭中の微結晶炭素の層間距離 d_{002} が0.3361nmとなるとともに該微結晶炭素の結晶子の大きさ $L_{a_{110}}$ が1.5nm以上となる特性を有するものを用いた。

【0064】

なお、この原料炭は、石油系重質油の流動接触分解装置のボトム油や減圧蒸留装置の残さ油を原料油とするディレードコーカーより製造された石油コークスを用いた。

【0065】

次に、熱処理工程において、例えば、原料炭500gを、不活性ガス雰囲気下、750の温度で4時間加熱し、その後40に冷却することにより原料組成物を得ることができる。

【0066】

次に、本発明の電気二重層キャパシタの好適な実施形態について説明する。

【0067】

本発明の電気二重層キャパシタは、先に述べたように、炭素電極を用いたアノード及びカソードを有しており、アノードとカソードとが電解液を介して配置された構成を有する。そして、炭素電極の構成材料となる炭素材料は前述の本発明の原料組成物を賦活処理することにより得られる材料であり、この炭素材料の窒素ガス吸着法により求められる比表面積が $300\text{ m}^2/\text{g}$ 以下であり、かつ、その微結晶炭素の層間距離 d_{002} が0.360～0.380nmである。

【0068】

上記の本発明の電気二重層キャパシタは、その炭素電極の構成材料である炭素材料に含まれる黒鉛類似の層状結晶構造を有する微結晶炭素の一つ一つの炭素層面（格子面002）が電気二重層の形成される電解液との界面として機能するため、窒素ガス吸着法により求められる比表面積が $300\text{ m}^2/\text{g}$ 以下と小さくても、高い静電容量と高いエネルギー密度とを有する。

【0069】

ここで、本発明の電気二重層キャパシタにおいては、炭素材料の内部には微細クラックが形成されており、水銀圧入法により炭素材料の微細クラックを細孔と仮定してその細孔径と細孔容積を求めた場合に、細孔径0.1～10 μm に相当する大きさを有する炭素材料の微細クラックの細孔容積が0.15～0.40mL/gとなることが好ましい。

【0070】

この微細クラックが導入孔の役割を果たすことにより、電圧印加時に電解質イオンの溶媒共挿入が起こる際に、溶媒和した電解質イオンが炭素材料の微結晶炭素の層間により均一か

10

20

30

40

50

つよりスムーズに侵入できるようになる。

【0071】

細孔径0.1～10 μmに相当する大きさを有する炭素材料の微細クラックの細孔容積が0.15 mL/g未満となると、微細クラックが溶媒共挿入時の導入口としての働きを十分に担うことが困難となり、静電容量を十分に増加させることが困難になるおそれがある。一方、細孔径0.1～10 μmに相当する大きさを有する炭素材料の微細クラックの細孔容積が0.40 mL/gを超えると、原料組成物中に微細クラックが過剰に存在することになり、原料組成物の嵩密度が低下してしまい、その結果原料組成物から得られる炭素材料の単位容積（体積）当たりの静電容量が低下してしまうおそれがある。

【0072】

また、本発明の電気二重層キャパシタに用いる電解液は特に限定されず、公知の電気二重層キャパシタに用いられている電解液を使用することができる。ただし、水系のものは電気化学的に分解電圧が低いことにより、キャパシタの耐用電圧が低く制限されるので、有機溶媒系（非水系）電解液であることが好ましい。

【0073】

電解液の種類は特に限定されないが、一般的には溶質の溶解度、解離度、液の粘性を考慮して選択され、高導電率でかつ高電位窓（分解開始電圧が高い）の電解液であることが望ましい。例えば、代表的な例としては、テトラエチルアンモニウムテトラフルオロボレイトのような4級アンモニウム塩を、プロピレンカーボネイト、ジエチレンカーボネイト、アセトニトリルなどの有機溶媒に溶解したものが使用される。なお、この場合、混入水分を厳重に管理する必要がある。

【0074】

更に、本発明の電気二重層キャパシタに用いる炭素電極は、本発明の原料組成物を賦活処理することにより得られる炭素材料を構成材料の主成分としているものであれば、その他の条件（バインダー等の炭素材料以外の構成材料の種類とその含有量、集電体等の電極の構成要素、電極の形状等）は特に限定されるものではない。

【0075】

次に、電気二重層キャパシタの製造方法について説明する。先に述べたように、本発明の電気二重層キャパシタの製造方法は、黒鉛類似の層状結晶構造を有する微結晶炭素を含有する原料炭を炭素材料の出発原料として準備する原料炭準備工程と、原料炭を不活性ガス雰囲気下、600～900の温度で加熱し、その後100以下に冷却することにより炭素材料の原料組成物を得る熱処理工程と、炭素材料の原料組成物を賦活処理することにより炭素原料を得る賦活処理工程とを有する。

【0076】

そして、原料炭準備工程においては、前述の本発明の本発明の電気二重層キャパシタ用炭素材料の原料組成物の製造方法における原料炭準備工程において説明した条件と同様の条件を満たす原料炭を準備する。

【0077】

また、熱処理工程においては、前述の本発明の本発明の電気二重層キャパシタ用炭素材料の原料組成物の製造方法における熱処理工程において説明した条件と同様の条件のもとで原料炭を熱処理し原料組成物を得る。

【0078】

更に、賦活工程における賦活反応の反応条件はこの反応を十分に進行させることができれば特に限定されず、通常の活性炭の製造で行われる公知の賦活反応と同様の反応条件のもとで賦活反応を行うことができる。例えば、賦活工程における賦活反応は、通常の活性炭の製造で行われる苛性アルカリを原料組成物に混合し、好ましくは400以上、より好ましくは600以上、更に好ましくは800以上の高温の温度条件のもと加熱することにより行うことができる。なお、この加熱温度の上限は賦活反応が支障なく進行する温度であれば特に限定されないが、通常900が好ましい。

【0079】

また、賦活工程における賦活反応に使用する苛性アルカリとしては、例えば、 KOH 、 NaOH 、 RbOH 、 CsOH 等が挙げられる。また、苛性アルカリは、上記例示した苛性アルカリの混合物（例えば、 KOH と NaOH 等）であってもよい。この中でも KOH が好ましい。

【0080】

例えば、先ず、原料組成物を質量比で1～4倍程度（例えば、2倍程度）の苛性アルカリと混合して、再度、不活性ガス雰囲気下（例えば、窒素ガス雰囲気下）で、上述の賦活反応の温度範囲（例えば、800 程度）で、1～6時間（例えば、4時間）加熱することで、苛性アルカリによる処理を行う。なお、「不活性ガス」には希ガスの他に窒素ガスも含まれるものとする。次に、苛性アルカリによる処理後に得られる炭素材料中に残存するアルカリを水（例えば、蒸留水等）等で除去する。次に、炭素材料を乾燥させて水を除去して電気二重層キャパシタ用炭素材料を得る。

10

【0081】

ここで、上述の残存アルカリの除去方法はこれを除去できる方法であれば特に限定されないが、例えば、常温又は加温された水（温水）による洗浄、水蒸気洗浄などが挙げられる。また、これらの除去方法に加えて、酸による中和処理方法、電気分解処理等の電気化学的処理方法又は超音波処理方法等を適宜組み合わせてもよい。

【0082】

ただし、このように複数の処理方法を組み合わせて残存アルカリの除去を行う場合、最終段階においては水洗浄を行うことが好ましい。この水洗浄は、例えば、洗浄後の洗浄排水のpHが7程度になるまで行うことが好ましい。

20

【0083】

また、炭素材料中のアルカリの残存量は残存するアルカリが電解液への溶出や染み出し等の問題を起こす可能性のある水準よりも低い量であれば特に限定されないが、残存アルカリをできる限り除去する等して、炭素材料中に含まれるアルカリ金属元素（残存アルカリを構成するアルカリ金属元素）の含有率として表した場合、3.0質量%以下であることが好ましく、2.0%以下であることがより好ましく、1.0質量%以下であることが更に好ましい。なお、上記の含有率については原子吸光分析法を適用することにより求めることができる。

【0084】

30

なお、上述の好ましい水準にまで炭素材料中に残存するアルカリの残存量を低減した後、更に残存アルカリを除去しようとして、例えば、残存アルカリを構成するアルカリ金属の沸点以上で熱処理しても、通常は残存アルカリを更に除去することは困難である。これは、上述のような低濃度の水準で炭素材料中に含まれているアルカリ金属は、もはや該炭素材料中の炭素と直接結合して電荷移動錯体等の化合物を形成し、炭素材料中で安定に存在できる状態となっているからであると考えられる。

【0085】

このとき、本発明の原料組成物は先に述べたように従来使用されている活性炭とは異なる構造を有しているので、その賦活反応は通常の活性炭の賦活反応とは異なる反応が進行する。

40

【0086】

すなわち、本発明の原料組成物は、微結晶炭素の層間距離 d_{002} が0.343 nm以下と小さくかつその結晶子の大きさ $L_{c_{002}}$ が3.0 nm以下と小さいので、例えば、水酸化カリウムにより直接アルカリ賦活した場合には、水酸化カリウムのカリウムイオンの微結晶炭素の層間への侵入が抑制され十分に侵入できないので、層間を大きく押し広げることができなくなり、賦活後に得られる炭素材料の微結晶炭素の層間距離 d_{002} は、電気二重層キャパシタの炭素電極として使用する際に、初期電圧印加によって電解質イオンが微結晶炭素の層間に溶媒共挿入するのに最適な0.360～0.380 nmとなり、その比表面積は300 m²/g以下と従来の活性炭よりも小さくなる。

【0087】

50

一方、本発明の原料組成物でなく本明細書に記載の原料炭のように微結晶炭素の層間距離が大きくかつ微結晶炭素の結晶子が大きい材料を、例えば、水酸化カリウムにより直接アルカリ賦活した場合には、水酸化カリウムのカリウムイオンが微結晶炭素の層間に十分に侵入し、層間を大きく押し広げるため層間が細孔に変化してしまい、賦活後には $1000 \text{ m}^2 / \text{g}$ 以上の大きな表面積を持つ従来の活性炭が得られることになる。

【0088】

上記のように、前述した本発明の電気二重層キャパシタ用炭素材料の原料組成物の製造方法に基づいて原料組成物を製造し、更に得られた原料組成物に賦活処理を行い炭素材料を製造し、この炭素材料を炭素電極の構成材料とすることにより、高い静電容量とエネルギー密度を有する電気二重層キャパシタを容易かつ確実に構成することができる。

10

【0089】

ここで、前述の本発明の電気二重層キャパシタ用炭素材料の原料組成物の製造方法と同様に本発明の電気二重層キャパシタの製造方法においても、熱処理工程後に得られる原料組成物について、ASTMD-409-71規定の粉碎強度指数 H G I が 50 以上となり、微結晶炭素の層間距離 d_{002} が 0.343 nm 以下となり、かつ、微結晶炭素の結晶子の大きさ L_{c002} が 3.0 nm 以下となるように調節することが好ましい。

【0090】

また、本発明の電気二重層キャパシタの製造方法においては、賦活処理工程後に得られる炭素材料の窒素ガス吸着法により求められる比表面積が $300 \text{ m}^2 / \text{g}$ 以下であり、かつ、炭素材料の微結晶炭素の層間距離 d_{002} が $0.360 \sim 0.380 \text{ nm}$ であることが好ましい。このような炭素材料は、上記の原料炭準備工程と熱処理工程に基づいて原料組成物を製造することにより得ることができる。

20

【0091】

更に、本発明の電気二重層キャパシタの製造方法においては、賦活処理工程後に得られる炭素材料の内部には微細クラックが形成されており、水銀圧入法により炭素材料の微細クラックを細孔と仮定してその細孔径と細孔容積を求めた場合に、細孔径 $0.1 \sim 10 \mu\text{m}$ に相当する大きさを有する炭素材料の微細クラックの細孔容積が $0.15 \sim 0.40 \text{ mL} / \text{g}$ となることが好ましい。

【0092】

このような炭素材料は、炭素材料の微結晶炭素の層間における電解質イオンの溶媒共挿入をより円滑に進行させることができるので、優れた静電容量を有する電気二重層をより容易かつ確実に形成することができる。そして、このような炭素材料を上記の条件を満たすように製造するためには、熱処理工程において $600 \sim 900$ の温度で加熱し、その後 100 以下に冷却することが必須である。

30

【0093】

また、上記の炭素材料を用いた炭素電極の製造方法は特に限定されず、例えば、従来の活性炭を用いた場合と同様の方法により作製することができる。例えば、シート状の電極を作製する場合には、炭素材料を $5 \sim 100 \mu\text{m}$ 程度に粉碎し粒度を整えた後、例えば炭素粉末に導電性を付与するための導電性補助剤（カーボン・ブラック等）と、例えば結着剤（ポリテトラフルオロエチレン、以下、PTFEという）とを添加して混練し、混練物を圧延伸してシート状に成形して製造する。

40

【0094】

ここで、上記の導電性補助剤としては、カーボン・ブラックの他、粉末グラファイトなどを用いることができ、また、結着剤としては、PTFEの他、PVDF、PE、PPなどを使用することができる。この際、非多孔性炭素と導電性補助剤（カーボン・ブラック）と結着剤（PTFE）との配合比は、例えば、 $10 \sim 1 : 0.5 \sim 10 : 0.5 \sim 0.25$ 程度である。

【0095】

また、炭素電極を形成するには、炭素材料を粉碎した微粒子とカーボンブラックとが均等に分布し、ほぼ同一強度でPTFE繊維でからめられる必要があり、混練を充分に行い、

50

一般に繰り返し圧延伸を縦横に行うことが必要である。得られた炭素電極の密度は、炭素電極の乾燥状態における質量を炭素電極の見かけの体積で除した密度として表した場合、 $0.8 \sim 1.2 \text{ g/m}^3$ であることが好ましい。

【0096】

【実施例】

以下、実施例及び比較例に基づいて本発明をより具体的に説明するが、本発明は以下の実施例に限定されるものではない。

【0097】

(実施例1)

(1) 原料炭(原料炭準備工程)

原料炭としては、石油系重質油の流動接触分解装置のボトム油や減圧蒸留装置の残さ油を原料油とするディレードコーカーにより製造されたRawコークスを用いた。

【0098】

この原料炭は黒鉛類似の層状結晶構造を有する微結晶炭素を含んでおり、X線回折測定による微結晶炭素の格子面002に対応する層の層間距離 d_{002} は 0.3426 nm であり、格子面002に対応するX線回折ピークの積分強度は黒鉛の15%であった。

【0099】

また、この原料炭を、Arガス中、 2800 の温度で加熱した場合、加熱後に得られた炭中に含まれる微結晶炭素の格子面002に対応する層の層間距離 d_{002} は 0.3361 nm であり、該微結晶炭素の結晶子の大きさ L_{110} は 100 nm であった。

【0100】

(2) 原料組成物(熱処理工程)

上記の原料炭を、乾燥機内において 120 で4時間乾燥した後、容器に入れ、窒素ガス気流中で、 750 、4時間加熱し、その後、 40 まで冷却することにより原料組成物を得た。

【0101】

この原料組成物は黒鉛類似の層状結晶構造を有する微結晶炭素を含んでおり、X線回折測定による微結晶炭素の格子面002に対応する層の層間距離 d_{002} は 0.3407 nm であり、微結晶炭素の結晶子の大きさ L_{c002} は 2.2 nm であった。また、この原料組成物のASTM-D409-71規定の粉砕強度指数HGIは75であった。

【0102】

更に、この原料組成物をSEMで観察したところ、図1に示した原料組成物10と同様の微細クラックが多数存在していた。そこで、水銀ポロシメーター(CARLO ERBA社製、ポロシメータ2000型)を使用し、水銀圧入法によりこの微細クラックを細孔と仮定し、その細孔径と細孔容積を求めた。この場合、細孔径 $0.1 \sim 10 \mu\text{m}$ に相当する大きさを有する微細クラックの細孔容積は 0.16 mL/g であった。

【0103】

(3) 原料組成物の賦活処理(賦活処理工程)

粉砕機を用いて上記の原料組成物を粉砕し、JIS標準篩で粒径が $110 \mu\text{m}$ 以下の粉末とした。そして、高純度アルミナ坩堝を用いて、原料組成物の粉末10質量部に対して微粒子状の水酸化カリウム20質量部を加え、両者をよく混合し、窒素ガス気流中で 800 、4時間の賦活処理を行った。

【0104】

賦活処理後に得られる炭素材料を放置して冷却し、その後、坩堝ごとビーカー内に入れて多量の水で坩堝内の物質を洗い出し、ビーカー内に炭素材が強アルカリ水に懸濁した液を得た。

【0105】

次に、ガラスフィルター(ADVANTEC社製、商品名;「GA-100」、厚さ; $1 \mu\text{m}$)を使用して上記の懸濁液を減圧濾過し、濾過後にろ紙上に残った炭素材料をろ紙ごとビーカーに回収し、熱風乾燥させて炭素材料をろ紙より回収した。

10

20

30

40

50

【0106】

次に、回収した炭素材料 10 g をステンレスカラム（内径；40 mm、長さ；25 cm）に充填した。次に、ステンレスカラム内の温度を 150 に保持しながら蒸留水をステンレスカラム内に送ることにより水蒸気洗浄を行った。なお、この水蒸気洗浄はステンレスカラムから排出される水の pH が 7.0 になるまで行った。その後、加熱真空乾燥機を用いて 200、0.1 Torr (10 Pa)、4 時間乾燥させることにより、電気二重層キャパシタ用炭素材料を得た。

【0107】

この炭素材料は、黒鉛類似の層状結晶構造を有する微結晶炭素を含んでおり、X 線回折測定による微結晶炭素の格子面 002 に対応する層の層間距離 d_{002} は 0.3629 nm であり、窒素ガス吸着法 (BET 法) により求められる比表面積は 200 m²/g であった。

10

【0108】

更に、この原料組成物を SEM で観察したところ、微細クラックが多数存在しており、前述の水銀ポロシメーターを使用し、水銀圧入法によりこの微細クラックを細孔と仮定し、その細孔径と細孔容積を求めた。この場合、細孔径 0.1 ~ 10 μm に相当する大きさを有する微細クラックの細孔容積は 0.21 mL/g であった。

【0109】

(4) 炭素電極の作製

上記の炭素材料と、カーボンブラック（導電性補助材）と、PTFE（バインダー）とを、これらの質量比が炭素材料：カーボンブラック：PTFE = 100：10：5 となるように混合／混練し、続いてホットローラで圧延して厚さ 0.5 mm のシートを作製した。次に、このシートから直径 20 mm の円盤を複数切り抜いた。次に、これらの円盤を 250、5 ~ 10 Torr (3 ~ 10 Pa) に減圧した真空デシゲータ中に配置して、4 時間乾燥させることにより円盤状の炭素電極（分極性電極）を得た。

20

【0110】

(5) 電気二重層キャパシタの作製

上記の炭素電極（分極性電極）を 2 つ用意し、露点を 85 以下とした十分にドライなグローブボックス内において、2 つの炭素電極のそれぞれにアルミ箔を集電体として取り付け、一方をアノードとし他方をカソードとした。そして、グローブボックス内において、ガラス繊維セパレータ (ADVANTEC 社製、商品名；「GA-100」、厚さ；100 μm) を用いて、アノードとカソードとをガラス繊維セパレータを介して対向配置させた構成を有する電気二重層キャパシタの本体を作製した。

30

【0111】

一方、プロピレンカーボネートを溶媒としてこれにテトラエチルアンモニウム・テトラフルオロボレートをその濃度が 1 mol/L となるように溶解させた電解液を調製した。

【0112】

次に上記の電気二重層キャパシタ本体をアルミニウム製気密容器に入れ、上記の電解液をアノードとカソードの両方に真空含浸させた。そして、電解液をアノードとカソードの両方に真空含浸させた後の電気二重層キャパシタ本体をラミネートポリ袋に真空パックすることにより、電気二重層キャパシタを作製した。なお、アルミニウム製気密容器は、ふたの部分に O リングが備えられた構成を有しており、十分な気密状態を保持できるものを使用した。

40

【0113】

(実施例 2)

(1) 原料炭（原料炭準備工程）

原料炭としては、石油系重質油の流動接触分解装置のボトム油を原料油とし、この原料油をオートクレーブ熱処理実験装置でコーキングすることにより製造された Raw コークスを用いた。

【0114】

50

この原料炭は黒鉛類似の層状結晶構造を有する微結晶炭素を含んでおり、X線回折測定による微結晶炭素の格子面002に対応する層の層間距離 d_{002} は0.3475 nmであり、格子面002に対応するX線回折ピークの積分強度は黒鉛の12%であった。

【0115】

また、この原料炭を、Arガス中、2800の温度で加熱した場合、加熱後に得られた炭中に含まれる微結晶炭素の格子面002に対応する層の層間距離 d_{002} は0.3363 nmであり、該微結晶炭素の結晶子の大きさ $L_{a_{110}}$ は88 nmであった。

【0116】

(2) 原料組成物(熱処理工程)

上記の原料炭を実施例1のように120で乾燥させることなく容器に入れ、窒素ガス気流中で、750、4時間加熱し、その後、40まで冷却することにより原料組成物を得た。

10

【0117】

この原料組成物は黒鉛類似の層状結晶構造を有する微結晶炭素を含んでおり、X線回折測定による微結晶炭素の格子面002に対応する層の層間距離 d_{002} は0.3420 nmであり、微結晶炭素の結晶子の大きさ $L_{c_{002}}$ は2.6 nmであった。また、この原料組成物のASTMD-409-71規定の粉砕強度指数HGIは80であった。

【0118】

更に、この原料組成物をSEMで観察したところ、実施例1のときと同様の微細クラックが多数存在していた。そこで、水銀圧入法によりこの微細クラックを細孔と仮定し、その細孔径と細孔容積を求めた。この場合、細孔径0.1~10 μmに相当する大きさを有する微細クラックの細孔容積は0.30 mL/gであった。

20

【0119】

(3) 原料組成物の賦活処理(賦活処理工程)

実施例1と同様にして、上記の原料組成物から電気二重層キャパシタ用炭素材料を得た。

【0120】

この炭素材料は、黒鉛類似の層状結晶構造を有する微結晶炭素を含んでおり、X線回折測定による微結晶炭素の格子面002に対応する層の層間距離 d_{002} は0.3781 nmであり、窒素ガス吸着法により求められる比表面積は40 m²/gであった。

【0121】

30

更に、この原料組成物をSEMで観察したところ、微細クラックが多数存在していた。そこで、前述の水銀ポロシメーターを使用し、水銀圧入法によりこの微細クラックを細孔と仮定し、その細孔径と細孔容積を求めた。この場合、細孔径0.1~10 μmに相当する大きさを有する微細クラックの細孔容積は0.37 mL/gであった。

【0122】

(4) 炭素電極の作製

実施例1と同様にして上記の炭素材料から円盤状の炭素電極(分極性電極)を作製した。

【0123】

(5) 電気二重層キャパシタの作製

実施例1と同様にして上記の炭素電極をアノード及びカソードとした電気二重層キャパシタを作製した。

40

【0124】

(比較例1)

(1) 原料

前述の実施例1及び実施例2における原料炭のかわりにヤシがらを用いた。

【0125】

このヤシがら炭はX線回折測定による微結晶炭素の格子面002に対応するX線回折ピークが観測されなかった。

【0126】

また、このヤシがらを、Arガス中、2800の温度で加熱した場合、加熱後に得られ

50

た炭について、X線回折測定による微結晶炭素の格子面002に対応するX線回折ピークは不明瞭であった。更に、その不明瞭なX線回折ピークから格子面002に対応する層の層間距離 d_{002} を求めてみると0.40 nm以上であった。そのため、微結晶炭素の結晶子の大きさ $L_{a_{110}}$ も不明瞭であった。

【0127】

このことから、このヤシがらには、黒鉛類似の層状結晶構造を有する微結晶炭素はほとんど含有されていないと考えられる。

【0128】

(2) ヤシがら炭

上記のヤシがらを原料とし、このヤシがらを800 程度の温度での通例の手法で炭化処理したヤシがら炭を前述の実施例1及び実施例2における原料組成物のかわりに用いた。

【0129】

このヤシがら炭はX線回折測定による微結晶炭素の格子面002に対応するX線回折ピークが不明瞭であった。更に、その不明瞭なX線回折ピークから格子面002に対応する層の層間距離 d_{002} を求めてみると0.40 nm以上であった。そのため、微結晶炭素の結晶子の大きさ $L_{a_{110}}$ も不明瞭であった。

【0130】

このことから、このヤシがら炭には、黒鉛類似の層状結晶構造を有する微結晶炭素はほとんど含有されていないと考えられる。

【0131】

(3) ヤシがら炭の賦活処理

上記のヤシがら炭を非酸化性の不活性ガス雰囲気下、1200 の条件のもとで水蒸気賦活処理し、電気二重層キャパシタ用炭素材料となる従来の活性炭を得た。

【0132】

この活性炭について、X線回折測定による微結晶炭素の格子面002に対応する層の層間距離 d_{002} は0.40 nm以上であり、窒素ガス吸着法により求められる比表面積は1500 m^2/g であった。

【0133】

また、この原料組成物をSEMで観察したところ、実施例1及び実施例2の炭素材料において観測された微細クラックは存在しておらず、炭素材料にみられる細孔が多数形成されていた。そこで、水銀圧入法によりこの細孔に関してその細孔径と細孔容積を求めた。この場合、細孔径0.1 ~ 10 μm に相当する大きさを有する細孔の細孔容積は0.45 mL/g であった。

【0134】

(4) 炭素電極の作製

実施例1と同様にして上記の活性炭から円盤状の炭素電極(分極性電極)を作製した。

【0135】

(5) 電気二重層キャパシタの作製

実施例1と同様にして上記の炭素電極をアノード及びカソードとした電気二重層キャパシタを作製した。

【0136】

(比較例2)

(1) 原料炭

原料炭として実施例1と同様の原料炭を用いた。

【0137】

(2) 原料組成物

上記の原料炭に対して実施例1において行った熱処理を行わず、原料炭を実施例1における原料組成物にかわるものとしてそのまま使用した。

【0138】

この原料炭は黒鉛類似の層状結晶構造を有する微結晶炭素を含んでおり、X線回折測定に

10

20

30

40

50

よる微結晶炭素の格子面 0 0 2 に対応する層の層間距離 d_{002} は 0 . 3 4 2 6 nm であり、微結晶炭素の結晶子の大きさ L_{c002} は 3 . 5 nm であった。また、この原料組成物の ASTM-D-409-71 規定の粉砕強度指数 H G I は 4 5 であった。

【 0 1 3 9 】

更に、この原料組成物を S E M で観察したところ、実施例 1 のときと同様の微細クラックが存在していた。そこで、水銀圧入法によりこの微細クラックを細孔と仮定し、その細孔径と細孔容積を求めた。この場合、細孔径 0 . 1 ~ 1 0 μ m に相当する大きさを有する微細クラックの細孔容積は 0 . 0 3 mL / g であった。

【 0 1 4 0 】

(3) 原料炭の賦活処理

実施例 1 における「(3) 原料組成物の賦活処理」と同様にして、上記の原料炭から電気二重層キャパシタ用炭素材料を得た。

【 0 1 4 1 】

この炭素材料について、X 線回折測定による微結晶炭素の格子面 0 0 2 に対応する層の層間距離 d_{002} は 0 . 4 0 nm 以上であり、窒素ガス吸着法により求められる比表面積は 2 5 0 0 m² / g であった。

【 0 1 4 2 】

更に、この炭素材料を S E M で観察したところ、微細クラックが存在していた。そこで、水銀圧入法によりこの微細クラックを細孔と仮定し、その細孔径と細孔容積を求めた。この場合、細孔径 0 . 1 ~ 1 0 μ m に相当する大きさを有する微細クラックの細孔容積は 0 . 5 5 mL / g であった。

【 0 1 4 3 】

(4) 炭素電極の作製

実施例 1 と同様にして上記の炭素材料から円盤状の炭素電極（分極性電極）を作製した。

【 0 1 4 4 】

(5) 電気二重層キャパシタの作製

実施例 1 と同様にして上記の炭素電極をアノード及びカソードとした電気二重層キャパシタを作製した。

【 0 1 4 5 】

(比較例 3)

(1) 原料炭

原料炭として実施例 1 と同様の原料炭を用いた。

【 0 1 4 6 】

(2) 原料組成物

上記の原料炭を、乾燥機内において 1 2 0 °C で 4 時間乾燥した後、容器に入れ、窒素ガス気流中で、1 2 0 0 °C、4 時間加熱し、その後、4 0 °C まで冷却することにより原料組成物を得た。

【 0 1 4 7 】

この原料組成物は黒鉛類似の層状結晶構造を有する微結晶炭素を含んでおり、X 線回折測定による微結晶炭素の格子面 0 0 2 に対応する層の層間距離 d_{002} は 0 . 3 4 8 8 nm であり、微結晶炭素の結晶子の大きさ L_{c002} は 4 . 0 nm であった。また、この原料組成物の ASTM-D-409-71 規定の粉砕強度指数 H G I は 3 0 であった。

【 0 1 4 8 】

更に、この原料組成物を S E M で観察したところ、図 1 に示した原料組成物 1 0 と同様の微細クラックが存在していた。そこで、水銀圧入法によりこの微細クラックを細孔と仮定し、その細孔径と細孔容積を求めた。この場合、細孔径 0 . 1 ~ 1 0 μ m に相当する大きさを有する微細クラックの細孔容積は 0 . 0 9 mL / g であった。

【 0 1 4 9 】

(3) 原料組成物の賦活処理

実施例 1 と同様にして、上記の原料炭から電気二重層キャパシタ用炭素材料を得た。

10

20

30

40

50

【 0 1 5 0 】

この炭素材料について、X線回折測定による微結晶炭素の格子面 0 0 2 に対応する層の層間距離 d_{002} は 0 . 3 6 5 nm であり、窒素ガス吸着法により求められる比表面積は $200\text{ m}^2/\text{g}$ であった。

【 0 1 5 1 】

更に、この炭素材料を SEM で観察したところ、微細クラックが存在していた。そこで、水銀圧入法によりこの微細クラックを細孔と仮定し、その細孔径と細孔容積を求めた。この場合、細孔径 0 . 1 ~ 1 0 μm に相当する大きさを有する微細クラックの細孔容積は 0 . 1 1 mL / g であった。

【 0 1 5 2 】

10

(4) 炭素電極の作製

実施例 1 と同様にして上記の炭素材料から円盤状の炭素電極（分極性電極）を作製した。

【 0 1 5 3 】

(5) 電気二重層キャパシタの作製

実施例 1 と同様にして上記の炭素電極をアノード及びカソードとした電気二重層キャパシタを作製した。

【 0 1 5 4 】

(比較例 4)

(1) 電気二重層キャパシタ用炭素材料

市販の活性炭（呉羽化学社製、「呉羽化学 1 7 1 1 」）を電気二重層キャパシタ用炭素材料として用いた。

20

【 0 1 5 5 】

この炭素材料について、X線回折測定による微結晶炭素の格子面 0 0 2 に対応する層の層間距離 d_{002} は 0 . 3 7 0 9 nm であり、窒素ガス吸着法により求められる比表面積は $2000\text{ m}^2/\text{g}$ であった。

【 0 1 5 6 】

更に、この原料組成物を SEM で観察したところ、実施例 1 の炭素材料においてみられたような微細クラックは存在していなかった。そのため、水銀圧入法による微細クラックの細孔容積は測定不能であった。

【 0 1 5 7 】

30

(2) 炭素電極の作製

実施例 1 と同様にして上記の炭素材料から円盤状の炭素電極（分極性電極）を作製した。

【 0 1 5 8 】

(3) 電気二重層キャパシタの作製

実施例 1 と同様にして上記の炭素電極をアノード及びカソードとした電気二重層キャパシタを作製した。

【 0 1 5 9 】

(比較例 5)

(1) 原料炭

前述の実施例 1 及び実施例 2 における原料炭のかわりにフェノール樹脂を用いた。

40

【 0 1 6 0 】

(2) 原料組成物

上記のフェノール樹脂に対して実施例 1 において行った熱処理を行わず、原料炭を実施例 1 における原料組成物にかわるものとしてそのまま使用した。

【 0 1 6 1 】

(3) フェノール樹脂の賦活処理

実施例 1 における「(3) 原料組成物の賦活処理」と同様にして、上記のフェノール樹脂から電気二重層キャパシタ用炭素材料を得た。

【 0 1 6 2 】

この炭素材料について、X線回折測定による微結晶炭素の格子面 0 0 2 に対応する層の層

50

間距離 d_{002} は 0.3685 nm であり、窒素ガス吸着法により求められる比表面積は $1800 \text{ m}^2/\text{g}$ であった。

【0163】

更に、この原料組成物を SEM で観察したところ、実施例 1 の炭素材料においてみられたような微細クラックは存在していなかった。そのため、水銀圧入法による微細クラックの細孔容積は測定不能であった。

【0164】

(4) 炭素電極の作製

実施例 1 と同様にして上記の炭素材料から円盤状の炭素電極（分極性電極）を作製した。

【0165】

(5) 電気二重層キャパシタの作製

実施例 1 と同様にして上記の炭素電極をアノード及びカソードとした電気二重層キャパシタを作製した。

【0166】

[電気二重層キャパシタの特性評価試験]

実施例 1 及び実施例 2 並びに比較例 1 ～ 比較例 5 に示した電気二重層キャパシタの静電容量とエネルギー密度を測定した。

【0167】

充放電の測定は、充放電試験装置（パワーシステム社製、商品名；「Model - CDT 5 - 4」）を使用した。まず、 20 mA の低電流充電を行い、電気二重層キャパシタに電荷が蓄積していくに従って電圧が上昇するのをモニタし、電位が 3 V に達したのち、定電圧充電（緩和充電）に移行した。なお、このときのトータルの充電時間（つまり、充電時間 + 緩和充電時間）は、セルの静電容量に依存する。そして、放電は 10 mA の定電流放電を行い終止電圧を 0 V とした。そして一定の休止時間（約 1 分）後、再び充電を開始させ、これを 10 回繰り返した。

【0168】

静電容量は次のようにして求めた。すなわち、放電曲線（放電電圧 - 放電時間）から放電エネルギー（放電電圧 $\times$ 電流（ $= 10 \text{ mA}$ ）の時間積分として合計放電エネルギー $[W \cdot s]$ を求め、静電容量 $[F] = 2 \times \text{合計放電エネルギー} [W \cdot s] / (\text{放電開始電圧} [V])^2$ の関係式を用いて評価セルの静電容量を求め、この静電容量を両極（アノード、カソード）の体積で除した値を単位体積当たりの静電容量 $[F / \text{mL}]$ とした。

【0169】

エネルギー密度は次のようにして求めた。すなわち、エネルギー密度は、上記の合計放電エネルギー $[W \cdot s]$ を、両極（アノード、カソード）の体積で除した値を、単位体積当たりのエネルギー密度 $[Ws / \text{mL}]$ （又はエネルギー密度 $[Wh / L]$ ）とした。

【0170】

表 1 に、前述の各実施例と各比較例に示した各電気二重層キャパシタのエネルギー密度と静電容量とを示す。

【0171】

【表 1】

10

20

30

40

		実施例1	実施例2	比較例1	比較例2	比較例3	比較例4	比較例5
原料炭	X線回折特性	0.3426	0.3475	-	0.3426	0.3426	-	-
	層間距離 d ₀₀₂ nm	15	12	-	15	15	-	-
	積分強度比 d ₀₀₂ %							
	2800°Cで加熱後のX線回折特性	0.3361	0.3363	0.40以上	0.3361	0.3361	-	-
原料組成物	結晶子の大きさLa ₁₁₀ nm	100	88	-	100	100	-	-
	X線回折特性	0.3407	0.3420	0.40以上	0.3426	0.3488	-	-
	層間距離 d ₀₀₂ nm	2.2	2.6	-	3.5	4.0	-	-
	結晶子の大きさLc ₀₀₂ nm	75	80	-	45	30	-	-
キャパシタ用炭素材料	粉砕強度指数HGI							
	細孔容積	0.16	0.30	-	0.03	0.09	-	-
	水銀ポロシメーター mL/g							
	X線回折特性	0.3629	0.3781	0.40以上	0.40以上	0.365	0.3709	0.3685
キャパシタ性能	比表面積	200	40	1500	2500	20	2000	1800
	BET 窒素ガス							
	細孔容積	0.21	0.37	0.45	0.55	0.11	-	-
	水銀ポロシメーター mL/g							
静電容量	エネルギー密度 Wh/L	44	43	15	16	12.5	16.2	18.3
	静電容量 F/mL	35	34	15	16	10	16	18

【 0 1 7 2 】

【 発明の効果 】

以上説明したように、本発明によれば、電気二重層キャパシタの静電容量及びエネルギー

10

20

30

40

50

密度を確実に向上させることができる電気二重層キャパシタ用炭素材料の原料組成物及びその製造方法を提供することができる。また、この原料組成物を用いることにより、高い静電容量及びエネルギー密度を有する電気二重層キャパシタを及びその製造方法を提供することができる。

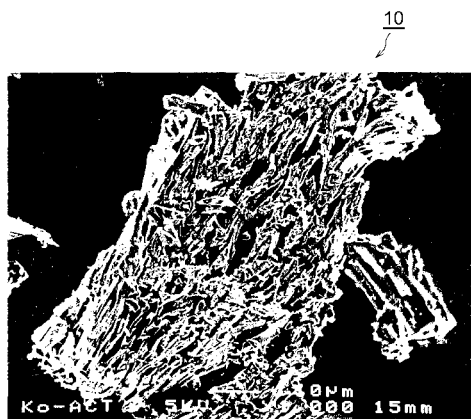
【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の電気二重層キャパシタ用炭素材料の原料組成物の一例（実施例 1）の SEM 写真を示す図である。

【符号の説明】

10 ... 本発明の電気二重層キャパシタ用炭素材料の原料組成物（実施例 1）

【図 1】



フロントページの続き

- (72)発明者 田野 保
山口県玖珂郡和木町和木六丁目1番1号 興亜石油株式会社内
- (72)発明者 大山 隆
山口県玖珂郡和木町和木六丁目1番1号 興亜石油株式会社内
- (72)発明者 最上 明矩
東京都昭島市武蔵野三丁目1番2号 日本電子株式会社内
- (72)発明者 竹内 誠
東京都昭島市武蔵野三丁目1番2号 日本電子株式会社内
- (72)発明者 小林 拡
東京都港区西新橋一丁目3番12号 日石三菱株式会社内
- (72)発明者 久手 幸徳
神奈川県横浜市中区千鳥町8番地 日石三菱株式会社内

審査官 近藤 聡

- (56)参考文献 特開2000-077273(JP,A)
特開平11-317333(JP,A)
特開平10-199767(JP,A)
特開平11-297577(JP,A)
特開平09-255320(JP,A)
特開平06-017321(JP,A)
特開平11-222732(JP,A)
特開2002-025867(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01G 9/058
H01G 9/00
C01B 31/02
C10B 55/02