

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2018-56408

(P2018-56408A)

(43) 公開日 平成30年4月5日(2018.4.5)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H O 1 G 11/06 (2013.01)	H O 1 G 11/06	5 E O 7 8
H O 1 G 11/30 (2013.01)	H O 1 G 11/30	
H O 1 G 11/60 (2013.01)	H O 1 G 11/60	
H O 1 G 11/62 (2013.01)	H O 1 G 11/62	
H O 1 G 11/42 (2013.01)	H O 1 G 11/42	
審査請求 未請求 請求項の数 15 O L (全 51 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号	特願2016-192465 (P2016-192465)	(71) 出願人	000000033
(22) 出願日	平成28年9月30日 (2016.9.30)		旭化成株式会社
			東京都千代田区神田神保町一丁目105番地
		(74) 代理人	100099759
			弁理士 青木 篤
		(74) 代理人	100077517
			弁理士 石田 敬
		(74) 代理人	100087413
			弁理士 古賀 哲次
		(74) 代理人	100108903
			弁理士 中村 和広
		(74) 代理人	100122404
			弁理士 勝又 秀夫
		最終頁に続く	

(54) 【発明の名称】 非水系リチウム型蓄電素子

(57) 【要約】

【課題】自動車への搭載を目的とした、長期にわたって高温環境下にさらされても必要十分な容量を維持できて、かつ高温耐久性に優れる非水系リチウム型蓄電素子の提供。

【解決手段】正極中に特定構造のリチウム化合物を含有し、非水系電解液中のリチウム塩の濃度を特定の範囲とすることによって、高容量化と高温耐久性を兼ね備えた非水系リチウム型蓄電素子。

【選択図】なし

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

正極、負極、セパレータ、リチウムイオンを含む非水系電解液からなる非水系リチウム型蓄電素子であって、

前記負極が、負極集電体と、前記負極集電体の片面上又は両面上に設けられた、負極活物質を含む負極活物質層とを有し、かつ前記負極活物質はリチウムイオンを吸蔵・放出できる炭素材料を含み、さらに、

前記正極が、正極集電体と、前記正極集電体の片面上又は両面上に設けられた、正極活物質を含む正極活物質層とを有し、かつ前記正極活物質は活性炭を含み、さらに、

前記正極が、リチウム化合物を含み、そして、

前記リチウム化合物が、炭酸リチウム、酸化リチウム、水酸化リチウム、フッ化リチウム、塩化リチウム、シュウ化リチウム、ヨウ化リチウム、窒化リチウム、シュウ酸リチウム、及び酢酸リチウムから選択される 1 種以上であって、該リチウム化合物の平均粒子径を X_1 とするとき、 $0.1 \mu\text{m} \leq X_1 \leq 10 \mu\text{m}$ であり、正極活物質の平均粒子径を Y_1 とするとき、 $2 \mu\text{m} \leq Y_1 \leq 20 \mu\text{m}$ であり、 $X_1 < Y_1$ であって、前記正極中に含まれるリチウム化合物の量が 1 質量%以上 50 質量%以下であり、加えて、

前記非水系電解液が、該非水系電解液の総量を基準として、 $1.7 \text{mol/L} \sim 6.5 \text{mol/L}$ のリチウム塩を含有する非水系リチウム型蓄電素子。

【請求項 2】

前記正極活物質層が、下記式 (1) ~ (3) から選択される 1 種以上の化合物を前記正極物質層の単位質量当たり $1.60 \times 10^{-4} \text{mol/g} \sim 300.0 \times 10^{-4} \text{mol/g}$ 含有する、請求項 1 に記載の非水系リチウム型蓄電素子。

【化 1】



(1)

{式 (1) 中、 R^1 は、炭素数 1 ~ 4 のアルキレン基、又は炭素数 1 ~ 4 のハロゲン化アルキレン基であり、 X^1 、 X^2 はそれぞれ独立に $-(\text{COO})_n$ (ここで、 n は 0 又は 1 である。) である。}

【化 2】



(2)

{式 (2) 中、 R^1 は、炭素数 1 ~ 4 のアルキレン基、又は炭素数 1 ~ 4 のハロゲン化アルキレン基であり、 R^2 は水素、炭素数 1 ~ 10 のアルキル基、炭素数 1 ~ 10 のモノ若しくはポリヒドロキシアルキル基、炭素数 2 ~ 10 のアルケニル基、炭素数 2 ~ 10 のモノ又はポリヒドロキシアルケニル基、炭素数 3 ~ 6 のシクロアルキル基、及びアリール基からなる群から選択された基であり、 X^1 、 X^2 はそれぞれ独立に $-(\text{COO})_n$ (ここで、 n は 0 又は 1 である。) である。}

【化 3】



(3)

{式(3)中、 R^1 は、炭素数1～4のアルキレン基、又は炭素数1～4のハロゲン化アルキレン基であり、 R^2 、 R^3 はそれぞれ独立に水素、炭素数1～10のアルキル基、炭素数1～10のモノ若しくはポリヒドロキシアルキル基、炭素数2～10のアルケニル基、炭素数2～10のモノ又はポリヒドロキシアルケニル基、炭素数3～6のシクロアルキル基、及びアリアル基からなる群から選択された基であり、 X^1 、 X^2 はそれぞれ独立に $-(COO)_n$ (ここで、 n は0又は1である。)である。}

10

【請求項3】

前記非水電解液が、エチレンカーボネート、プロピレンカーボネート、ブチレンカーボネート、ビニレンカーボネートおよびフルオロエチレンカーボネートから選択される少なくとも1種の有機溶媒を含有する、請求項1又は2に記載の非水系リチウム型蓄電素子。

【請求項4】

前記非水系電解液が $LiN(SO_2F)_2$ を含有する、請求項1～3のいずれか一項に記載の非水系リチウム型蓄電素子。

20

【請求項5】

前記非水系電解液が、 $LiPF_6$ 及び $LiBF_4$ のうち少なくとも1種を含有する、請求項1～4のいずれか一項に記載の非水系リチウム型蓄電素子。

【請求項6】

前記正極活物質層に含まれる正極活物質が、BJH法により算出した直径20Å以上500Å以下の細孔に由来するメソ孔量を $V1(cc/g)$ 、MP法により算出した直径20Å未満の細孔に由来するマイクロ孔量を $V2(cc/g)$ とすると、 $0.3 < V1 \leq 0.8$ 、及び $0.5 \leq V2 \leq 1.0$ を満たし、かつ、BET法により測定される比表面積が $1,500m^2/g$ 以上 $3,000m^2/g$ 以下を示す活性炭である、請求項1～5のいずれか一項に記載の非水系リチウム型蓄電素子。

30

【請求項7】

前記正極活物質層に含まれる正極活物質が、BJH法により算出した直径20Å以上500Å以下の細孔に由来するメソ孔量 $V1(cc/g)$ が $0.8 < V1 \leq 2.5$ を満たし、かつ、MP法により算出した直径20Å未満の細孔に由来するマイクロ孔量 $V2(cc/g)$ が $0.8 < V2 \leq 3.0$ を満たし、さらに、BET法により測定される比表面積が $2,300m^2/g$ 以上 $4,000m^2/g$ 以下を示す活性炭である、請求項1～5のいずれか一項に記載の非水系リチウム型蓄電素子。

【請求項8】

前記負極活物質のリチウムイオンのドーブ量が、単位質量当たり $530mAh/g$ 以上 $2,500mAh/g$ 以下である、請求項1～7のいずれか一項に記載の非水系リチウム型蓄電素子。

40

【請求項9】

前記負極活物質のBET比表面積が $100m^2/g$ 以上 $1,500m^2/g$ 以下である、請求項1～8のいずれか一項に記載の非水系リチウム型蓄電素子。

【請求項10】

前記負極活物質のリチウムイオンのドーブ量が、単位質量当たり $50mAh/g$ 以上 $700mAh/g$ 以下である、請求項1～7のいずれか一項に記載の非水系リチウム型蓄電素子。

【請求項11】

前記負極活物質のBET比表面積が $1m^2/g$ 以上 $50m^2/g$ 以下である、請求項1

50

～ 7 及び 10 のいずれか一項に記載の非水系リチウム型蓄電素子。

【請求項 12】

前記負極活物質の平均粒子径は $1\ \mu\text{m}$ 以上 $10\ \mu\text{m}$ 以下である、請求項 10 又は 11 のいずれか一項に記載の非水系リチウム型蓄電素子。

【請求項 13】

前記正極集電体及び前記負極集電体が貫通孔を持たない金属箔である、請求項 1～12 のいずれか一項に記載の非水系リチウム型蓄電素子。

【請求項 14】

請求項 1～13 のいずれか一項に記載の非水系リチウム型蓄電素子において、セル電圧 4 V での初期の内部抵抗を R_a (Ω)、静電容量を F (F)、電力量を E (Wh)、電極積層体を収納している外装体の体積を V (L)、とした時、以下の (a)、(b) の要件

10

(a) R_a と F の積 $R_a \cdot F$ が 0.3 以上 3.0 以下であり、

(b) E/V が 15 以上 50 以下である、

を同時に満たす、非水系リチウム型蓄電素子。

【請求項 15】

請求項 1～14 のいずれか一項に記載の非水系リチウム型蓄電素子において、セル電圧 4 V での初期の内部抵抗を R_a (Ω)、静電容量を F_a (F)、セル電圧 4 V の定電圧充電を環境温度 60°C において 100 時間継続した後の 25°C における内部抵抗を R_b (Ω)、静電容量を F_b (F) とした時、以下の (c)、(d) :

20

(c) R_b/R_a が 0.9 以上 2.0 以下であり；

(d) F_b/F_a が 1.01 以上である；

を同時に満たす、非水系リチウム蓄電素子。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、非水系リチウム型蓄電素子に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、地球環境の保全及び省資源を目指すエネルギーの有効利用の観点から、風力発電の電力平滑化システム又は深夜電力貯蔵システム、太陽光発電技術に基づく家庭用分散型蓄電システム、電気自動車用の蓄電システム等が注目を集めている。

30

これらの蓄電システムに用いられる電池の第一の要求事項は、エネルギー密度が高いことである。このような要求に対応可能な高エネルギー密度電池の有力候補として、リチウムイオン電池の開発が精力的に進められている。

第二の要求事項は、出力特性が高いことである。例えば、高効率エンジンと蓄電システムとの組み合わせ（例えば、ハイブリッド電気自動車）又は燃料電池と蓄電システムとの組み合わせ（例えば、燃料電池電気自動車）において、加速時には蓄電システムにおける高出力放電特性が要求されている。

現在、高出力蓄電デバイスとしては、電気二重層キャパシタ、ニッケル水素電池等が開

40

【0003】

電気二重層キャパシタのうち、電極に活性炭を用いたものは、 $0.5 \sim 1\ \text{kWh/L}$ 程度の出力特性を有する。この電気二重層キャパシタは、耐久性（サイクル特性及び高温保存特性）も高く、前記高出力が要求される分野で最適のデバイスと考えられてきた。しかし、そのエネルギー密度は $1 \sim 5\ \text{Wh/L}$ 程度に過ぎない。そのため、更なるエネルギー密度の向上が必要である。

【0004】

一方、現在ハイブリッド電気自動車で採用されているニッケル水素電池は、電気二重層キャパシタと同等の高出力を有し、かつ $160\ \text{Wh/L}$ 程度のエネルギー密度を有してい

50

る。しかしながら、そのエネルギー密度及び出力をより一層高めるとともに、耐久性（特に、高温における安定性）を高めるための研究が精力的に進められている。

また、リチウムイオン電池においても、高出力化に向けての研究が進められている。例えば、放電深度（蓄電素子の放電容量の何％を放電した状態かを示す値）50％において3kW/Lを超える高出力が得られるリチウムイオン電池が開発されている。しかし、そのエネルギー密度は100Wh/L以下であり、リチウムイオン電池の最大の特徴である高エネルギー密度を敢えて抑制した設計となっている。また、その耐久性（サイクル特性及び高温保存特性）については、電気二重層キャパシタに比べ劣る。そのため、実用的な耐久性を持たせるためには、放電深度が0～100％の範囲よりも狭い範囲での使用となる。実際に使用できる容量は更に小さくなるから、耐久性をより一層向上させるための研究が精力的に進められている。

10

前記のように、高エネルギー密度、高出力特性、及び耐久性を兼ね備えた蓄電素子の実用化が強く求められている。しかし、上述した既存の蓄電素子には、それぞれ一長一短がある。そのため、これらの技術的要求を充足する新たな蓄電素子が求められている。その有力な候補として、リチウムイオンキャパシタと呼ばれる蓄電素子が注目され、開発が盛んに行われている。

キャパシタのエネルギーは $1/2 \cdot C \cdot V^2$ （ここで、Cは静電容量、Vは電圧）で表される。

【0005】

リチウムイオンキャパシタは、リチウム塩を含む非水系電解液を使用する蓄電素子（非水系リチウム型蓄電素子）の一種であって、正極においては約3V以上で電気二重層キャパシタと同様の陰イオンの吸着・脱着による非ファラデー反応、負極においてはリチウムイオン電池と同様のリチウムイオンの吸蔵・放出によるファラデー反応によって、充放電を行う蓄電素子である。

20

上述の電極材料とその特徴をまとめると、電極に活性炭等の材料を用い、活性炭表面のイオンの吸着・脱離（非ファラデー反応）により充放電を行う場合は、高出力かつ高耐久性を実現するが、エネルギー密度が低くなる（例えば1倍とする。）。一方、電極に酸化物や炭素材料を用い、ファラデー反応により充放電を行う場合は、エネルギー密度が高くなる（例えば活性炭を用いた非ファラデー反応の10倍とする。）が、耐久性及び出力特性に課題がある。

30

これらの電極材料の組合せとして、電気二重層キャパシタは、正極及び負極に活性炭（エネルギー密度1倍）を用い、正負極共に非ファラデー反応により充放電を行うことを特徴とし、高出力かつ高耐久性を有するがエネルギー密度が低い（正極1倍×負極1倍＝1）という特徴がある。

【0006】

リチウムイオン二次電池は、正極にリチウム遷移金属酸化物（エネルギー密度10倍）、負極に炭素材料（エネルギー密度10倍）を用い、正負極共にファラデー反応により充放電を行うことを特徴とし、高エネルギー密度（正極10倍×負極10倍＝100）だが、出力特性及び耐久性に課題がある。更に、ハイブリッド電気自動車等で要求される高耐久性を満足させるためには放電深度を制限しなければならず、リチウムイオン二次電池では、そのエネルギーの10～50％しか使用できない。

40

リチウムイオンキャパシタは、正極に活性炭（エネルギー密度1倍）、負極に炭素材料（エネルギー密度10倍）を用い、正極では非ファラデー反応、負極ではファラデー反応により充放電を行うことを特徴とし、電気二重層キャパシタ及びリチウムイオン二次電池の特徴を兼ね備えた新規の非対称キャパシタである。そして、高出力かつ高耐久性でありながら、高エネルギー密度（正極1倍×負極10倍＝10）を有し、リチウムイオン二次電池の様に放電深度を制限する必要がないことが特徴である。

【0007】

リチウムイオンキャパシタを用いる用途としては、例えば、鉄道、建機、自動車用蓄電等が挙げられる。これらの用途では、限られたスペースに電池を積載することになるため

50

、高いエネルギー密度が要求される。さらに、作動環境が過酷なため、使用されるキャパシタは十分な高温耐久性を有する必要がある。キャパシタを高容量化させる技術として、特許文献1及び2では、電解液中の塩濃度を通常よりも高くして電極－電解液界面のLiイオン密度を向上させている。また、電池の耐久性に関して、特に高温における電解液の分解による負極界面の劣化によって引き起こされる性能低下が問題となっている。このような課題に対する対策技術として、非水電解液中に添加剤を加え、負極活物質の表面にその分解物から成る被膜を形成させることによって以後の充放電に伴う非水電解液の還元分解が抑制され、電池の耐久性を向上させる技術がある。これに関連する技術として、特許文献3では、特定の電位範囲で分解して負極上に被膜を形成する添加剤を加えることで、高温環境下における電池内部でのガス発生を抑制し、電池の性能低下を抑制している。特許文献4では負極表面に酸化リチウムを含有する被膜を形成させることで電池のサイクル耐久性を向上させている。

10

【0008】

特許文献1、2の技術は、電池を高容量化させるためのものであるが、高温耐久性については言及されていない。そのため、車載などの高温環境下にさらされる状態で使用をした場合、電池容量の低下が起こると推定される。

また、特許文献3、4では特定の化合物を添加することで負極表面に被膜を形成して電池の高温耐久性を向上させる技術であるが、電池の高容量化については言及されていない。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0009】

【特許文献1】特開2015-88741号公報

【特許文献2】特開2016-21593号公報

【特許文献3】特開2013-152824号公報

【特許文献4】特開2016-85975号公報

【非特許文献】

【0010】

【非特許文献1】E. P. Barrett, L. G. Joyner and P. Halenda, J. Am. Chem. Soc., 73, 373 (1951)

30

【非特許文献2】B. C. Lippens, J. H. de Boer, J. Catalysis, 4319 (1965)

【非特許文献3】R. S. Mikhail, S. Brunauer, E. E. Bodor, J. Colloid Interface Sci., 26, 45 (1968)

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

以上のように、従来のリチウムイオンキャパシタにおいては、高容量化と高温耐久性向上のどちらか一方を改善するための技術しか提供されていない。自動車への搭載を考慮した場合、長期にわたって高温環境下にさらされても必要十分な容量を維持できる電池が求められる。そのため、更なるリチウムイオンキャパシタの高容量化と高温耐久性の向上が必要とされる。

40

【課題を解決するための手段】

【0012】

本発明によれば、リチウムイオンキャパシタにおいて、

正極中にリチウム化合物を含有し、電解液中の塩濃度をある一定範囲とすることで、高容量化と高温耐久性を兼ね備えた蓄電素子を提供することができる。

すなわち、本発明は、下記のとおりのものである。

【0013】

50

〔１〕正極、負極、セパレータ、リチウムイオンを含む非水系電解液からなる非水系リチウム型蓄電素子であって、

前記負極が、負極集電体と、前記負極集電体の片面上又は両面上に設けられた、負極活物質を含む負極活物質層とを有し、かつ前記負極活物質はリチウムイオンを吸蔵・放出できる炭素材料を含み、さらに、

前記正極が、正極集電体と、前記正極集電体の片面上又は両面上に設けられた、正極活物質を含む正極活物質層とを有し、かつ前記正極活物質は活性炭を含み、さらに、

前記正極が、リチウム化合物を含み、そして、

前記リチウム化合物が、炭酸リチウム、酸化リチウム、水酸化リチウム、フッ化リチウム、塩化リチウム、シュウ化リチウム、ヨウ化リチウム、窒化リチウム、シュウ酸リチウム、及び酢酸リチウムから選択される１種以上であって、該リチウム化合物の平均粒子径を X_1 とすると、 $0.1\mu\text{m} \leq X_1 \leq 10\mu\text{m}$ であり、前記正極活物質の平均粒子径を Y_1 とすると、 $2\mu\text{m} \leq Y_1 \leq 20\mu\text{m}$ であって $X_1 < Y_1$ であり、かつ前記正極中に含まれるリチウム化合物の量が１質量％以上５０質量％以下であり、加えて、前記非水系電解液が、該非水系電解液の総量を基準として、 $1.7\text{mol/L} \sim 6.5\text{mol/L}$ のリチウム塩を含有する非水系リチウム型蓄電素子。

〔２〕前記正極活物質層が、下記式（１）～（３）から選択される１種以上の化合物を前記正極物質層の単位質量当たり $1.60 \times 10^{-4}\text{mol/g} \sim 300.0 \times 10^{-4}\text{mol/g}$ 含有する、請求項１に記載の非水系リチウム型蓄電素子。

【化１】



{式（１）中、 R^1 は、炭素数１～４のアルキレン基、炭素数１～４のハロゲン化アルキレン基であり、 X^1 、 X^2 はそれぞれ独立に $-(\text{COO})_n$ （ここで、 n は０又は１である。）である。}

【化２】



{式（２）中、 R^1 は、炭素数１～４のアルキレン基、炭素数１～４のハロゲン化アルキレン基であり、 R^2 は水素、炭素数１～１０のアルキル基、炭素数１～１０のモノ若しくはポリヒドロキシアルキル基、炭素数２～１０のアルケニル基、炭素数２～１０のモノ又はポリヒドロキシアルケニル基、炭素数３～６のシクロアルキル基、又はアリール基であり、 X^1 、 X^2 はそれぞれ独立に $-(\text{COO})_n$ （ここで、 n は０又は１である。）である。}

【化３】



{式（３）中、 R^1 は、炭素数１～４のアルキレン基、炭素数１～４のハロゲン化アル

キレン基であり、 R^2 、 R^3 はそれぞれ独立に水素、炭素数1～10のアルキル基、炭素数1～10のモノ若しくはポリヒドロキシアルキル基、炭素数2～10のアルケニル基、炭素数2～10のモノ又はポリヒドロキシアルケニル基、炭素数3～6のシクロアルキル基、又はアリール基であり、 X^1 、 X^2 はそれぞれ独立に $-(COO)_n$ （ここで、 n は0又は1である。）である。}

【0014】

[3] 前記非水電解液が、エチレンカーボネート、プロピレンカーボネート、ブチレンカーボネート、ビニレンカーボネートおよびフルオロエチレンカーボネートから選択される少なくとも1種の有機溶媒を含有する、[1]又は[2]に記載の非水系リチウム型蓄電素子。

[4] 前記非水系電解液が $LiN(SO_2F)_2$ を含有する、[1]～[3]に記載の非水系リチウム型蓄電素子。

【0015】

[5] 前記非水系電解液が、 $LiPF_6$ 及び $LiBF_4$ のうち少なくとも1種を含有する、[1]～[4]のいずれか一項に記載の非水系リチウム型蓄電素子。

【0016】

[6] 前記正極活物質層に含まれる正極活物質が、BJH法により算出した直径 $20\text{ \AA}$ 以上 $500\text{ \AA}$ 以下の細孔に由来するメソ孔量を $V1\text{ (cc/g)}$ 、MP法により算出した直径 $20\text{ \AA}$ 未満の細孔に由来するマイクロ孔量を $V2\text{ (cc/g)}$ とするとき、 $0.3 < V1 \leq 0.8$ 、及び $0.5 \leq V2 \leq 1.0$ を満たし、かつ、BET法により測定される比表面積が $1,500\text{ m}^2/\text{g}$ 以上 $3,000\text{ m}^2/\text{g}$ 以下を示す活性炭である、[1]～[5]のいずれか一項に記載の非水系リチウム型蓄電素子。

[7] 前記正極活物質層に含まれる正極活物質が、BJH法により算出した直径 $20\text{ \AA}$ 以上 $500\text{ \AA}$ 以下の細孔に由来するメソ孔量 $V1\text{ (cc/g)}$ が $0.8 < V1 \leq 2.5$ を満たし、かつ、MP法により算出した直径 $20\text{ \AA}$ 未満の細孔に由来するマイクロ孔量 $V2\text{ (cc/g)}$ が $0.8 < V2 \leq 3.0$ を満たし、さらに、BET法により測定される比表面積が $2,300\text{ m}^2/\text{g}$ 以上 $4,000\text{ m}^2/\text{g}$ 以下を示す活性炭である、[1]～[5]のいずれか一項に記載の非水系リチウム型蓄電素子。

【0017】

[8] 前記負極活物質のリチウムイオンのドープ量が、単位質量当たり 530 mAh/g 以上 $2,500\text{ mAh/g}$ 以下である、[1]～[7]のいずれか一項に記載の非水系リチウム型蓄電素子。

[9] 前記負極活物質のBET比表面積が $100\text{ m}^2/\text{g}$ 以上 $1,500\text{ m}^2/\text{g}$ 以下である、[1]～[8]のいずれか一項に記載の非水系リチウム型蓄電素子。

[10] 前記負極活物質のリチウムイオンのドープ量が、単位質量当たり 50 mAh/g 以上 700 mAh/g 以下である、[1]～[7]のいずれか一項に記載の非水系リチウム型蓄電素子。

[11] 前記負極活物質のBET比表面積が $1\text{ m}^2/\text{g}$ 以上 $50\text{ m}^2/\text{g}$ 以下である、[1]～[7]及び[10]のいずれか一項に記載の非水系リチウム型蓄電素子。

[12] 前記負極活物質の平均粒子径は $1\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $10\text{ }\mu\text{m}$ 以下である、[10]又は[11]のいずれか一項に記載の非水系リチウム型蓄電素子。

[13] 前記正極集電体及び前記負極集電体が貫通孔を持たない金属箔である、[1]～[12]のいずれか一項に記載の非水系リチウム型蓄電素子。

【0018】

[14] [1]～[13]のいずれか一項に記載の非水系リチウム型蓄電素子において、セル電圧 4 V での初期の内部抵抗を $R_a\text{ (}\Omega\text{)}$ 、静電容量を $F\text{ (F)}$ 、電力量を $E\text{ (Wh)}$ 、電極積層体を収納している外装体の体積を $V\text{ (L)}$ 、とした時、以下の(a)、(b)の要件：

(a) R_a と F の積 $R_a \cdot F$ が 0.3 以上 3.0 以下であり、

(b) E/V が 15 以上 50 以下である、

10

20

30

40

50

を同時に満たす、非水系リチウム型蓄電素子。

【0019】

[15] [1]～[14]のいずれか一項に記載の非水系リチウム型蓄電素子において、該非水系リチウム型蓄電素子において、セル電圧4Vでの初期の内部抵抗を R_a (Ω)、静電容量を F_a (F)、セル電圧4Vの定電圧充電を環境温度60℃において100時間継続した後の25℃における内部抵抗を R_b (Ω)、静電容量を F_b (F)とした時、以下の(c)、(d)：

(c) R_b/R_a が0.9以上2.0以下であり；

(d) F_b/F_a が1.01以上である；

を同時に満たす、非水系リチウム蓄電素子。

10

【発明の効果】

【0020】

本発明によれば、リチウムイオンキャパシタにおいて、負極活物質はリチウムイオンを吸蔵・放出できる炭素材料を含み、正極活物質として活性炭を使用し、

該正極中にリチウム化合物を含有し、電解液中の塩濃度をある一定範囲とすることで、高容量化と高温耐久性を兼ね備えた蓄電素子を提供することができる。

【発明を実施するための形態】

【0021】

以下、本発明の実施形態につき詳細に説明する。

20

尚、本実施形態の各数値範囲における上限値及び下限値は任意に組み合わせて任意の数値範囲を構成することができる。

非水系リチウム型蓄電素子は一般に、正極、負極、セパレータ、電解液、及び外装体を主な構成要素とする。電解液としては、リチウム塩を溶解させた有機溶媒（以下、非水系電解液という。）を用いる。

【0022】

[正極]

正極は、正極集電体と、その片面又は両面に存在する正極活物質層とを有する。

また、正極は、蓄電素子組み立て前の正極前駆体として、リチウム化合物を含むことが好ましい。後述のように、本実施形態では蓄電素子組み立て工程内で、負極にリチウムイオンをプレドープすることが好ましいが、そのプレドープ方法としては、前記リチウム化合物を含む正極前駆体、負極、セパレータ、外装体、及び非水系電解液を用いて蓄電素子を組み立てた後に、正極前駆体と負極との間に電圧を印加することが好ましい。前記リチウム化合物は前記正極前駆体の正極集電体上に形成された正極活物質層に含有されることが好ましい。

30

本明細書中、リチウムドープ工程前における正極状態のことを正極前駆体、リチウムドープ工程後における正極状態のことを正極と定義する。

【0023】

[正極活物質層]

前記正極に含まれる正極活物質層は、活性炭を含む正極活物質を含有する。正極活物質層は、これ以外に、必要に応じて、導電性フィラー、結着剤、分散安定剤等の任意成分を含んでいてもよい。

40

また、正極前駆体の正極活物質層には、正極活物質以外のリチウム化合物が含有されることが好ましい。

【0024】

[正極活物質]

正極活物質は、活性炭を含む。正極活物質としては、活性炭のみを使用してもよく、又は活性炭に加えて、後述するような他の炭素材料を併用してもよい。この炭素材料としては、カーボンナノチューブ、導電性高分子、又は多孔性の炭素材料を使用することがより好ましい。正極活物質には、活性炭を含む1種類以上の炭素材料を混合して使用してもよ

50

く、炭素材料以外の材料（例えば、リチウムと遷移金属との複合酸化物等）を含んでもよい。

好ましくは該正極活物質の総量に対する該炭素材料の含有率が50質量%以上であり、より好ましくは70質量%以上である。該炭素材料の含有率が100質量%であることができるが、他の材料の併用による効果を良好に得る観点から、例えば、90質量%以下であることが好ましく、80質量%以下であってもよい。

【0025】

正極活物質として用いる活性炭の種類及びその原料には特に制限はない。しかし、高い入出力特性と、高いエネルギー密度とを両立させるために、活性炭の細孔を最適に制御することが好ましい。具体的には、B J H法により算出した直径20 Å以上500 Å以下の細孔に由来するメソ孔量をV1 (cc/g)、M P法により算出した直径20 Å未満の細孔に由来するマイクロ孔量をV2 (cc/g) とするとき、

10

(1) 高い入出力特性のためには、 $0.3 < V1 \leq 0.8$ 、及び $0.5 \leq V2 \leq 1.0$ を満たし、かつ、B E T法により測定される比表面積が $1,500 \text{ m}^2/\text{g}$ 以上 $3,000 \text{ m}^2/\text{g}$ 以下である活性炭（以下、活性炭1ともいう。）が好ましく、また、

(2) 高いエネルギー密度を得るためには、 $0.8 < V1 \leq 2.5$ 、及び $0.8 < V2 \leq 3.0$ を満たし、かつ、B E T法により測定される比表面積が $2,300 \text{ m}^2/\text{g}$ 以上 $4,000 \text{ m}^2/\text{g}$ 以下である活性炭（以下、活性炭2ともいう。）が好ましい。

【0026】

以下、前記(1)活性炭1及び前記(2)活性炭2について、個別に順次説明していく。

20

〔活性炭1〕

活性炭1のメソ孔量V1は、蓄電素子に組み込んだときの入出力特性を大きくする点で、 0.3 cc/g より大きい値であることが好ましい。他方、正極の嵩密度の低下を抑える点から、 0.8 cc/g 以下であることが好ましい。上記V1は、より好ましくは 0.35 cc/g 以上 0.7 cc/g 以下、更に好ましくは 0.4 cc/g 以上 0.6 cc/g 以下である。

活性炭1のマイクロ孔量V2は、活性炭の比表面積を大きくし、容量を増加させるために、 0.5 cc/g 以上であることが好ましい。他方、活性炭の嵩を抑え、電極としての密度を増加させ、単位体積当たりの容量を増加させるという点から、 1.0 cc/g 以下であることが好ましい。上記V2は、より好ましくは 0.6 cc/g 以上 1.0 cc/g 以下、更に好ましくは 0.8 cc/g 以上 1.0 cc/g 以下である。尚、下限と上限の組み合わせは任意のものであることができる。

30

【0027】

マイクロ孔量V2に対するメソ孔量V1の比($V1/V2$)は、 $0.3 \leq V1/V2 \leq 0.9$ の範囲であることが好ましい。すなわち、高容量を維持しながら出力特性の低下を抑えることができる程度に、マイクロ孔量に対するメソ孔量の割合を大きくするという点から、 $V1/V2$ が0.3以上であることが好ましい。他方、高出力特性を維持しながら容量の低下を抑えることができる程度に、メソ孔量に対するマイクロ孔量の割合を大きくするという点から、 $V1/V2$ は0.9以下であることが好ましい。より好ましいV1/V2の範囲は $0.4 \leq V1/V2 \leq 0.7$ 、更に好ましいV1/V2の範囲は $0.55 \leq V1/V2 \leq 0.7$ である。尚、下限と上限の組み合わせは任意のものであることができる。

40

【0028】

活性炭1の平均細孔径は、得られる蓄電素子の出力を最大にする点から、17 Å以上であることが好ましく、18 Å以上であることがより好ましく、20 Å以上であることが最も好ましい。また容量を最大にする点から、活性炭1の平均細孔径は25 Å以下であることが好ましい。

【0029】

活性炭1のB E T比表面積は、 $1,500 \text{ m}^2/\text{g}$ 以上 $3,000 \text{ m}^2/\text{g}$ 以下である

50

ことが好ましく、1, $500\text{ m}^2/\text{g}$ 以上 2, $500\text{ m}^2/\text{g}$ 以下であることがより好ましい。BET比表面積が1, $500\text{ m}^2/\text{g}$ 以上の場合には、良好なエネルギー密度が得られ易く、他方、BET比表面積が3, $000\text{ m}^2/\text{g}$ 以下の場合には、電極の強度を保つためにバインダーを多量に入れる必要がないので、電極体積当たりの性能が高くなる。尚、下限と上限の組み合わせは任意のものであることができる。

【0030】

上記のような特徴を有する活性炭1は、例えば、以下に説明する原料及び処理方法を用いて得ることができる。

本実施形態では、活性炭1の原料として用いられる炭素源は、特に限定されるものではない。例えば、木材、木粉、ヤシ殻、パルプ製造時の副産物、バガス、廃糖蜜等の植物系原料；泥炭、亜炭、褐炭、瀝青炭、無煙炭、石油蒸留残渣成分、石油ピッチ、コークス、コールタール等の化石系原料；フェノール樹脂、塩化ビニル樹脂、酢酸ビニル樹脂、メラミン樹脂、尿素樹脂、レゾルシノール樹脂、セルロイド、エポキシ樹脂、ポリウレタン樹脂、ポリエステル樹脂、ポリアミド樹脂等の各種合成樹脂；ポリブチレン、ポリブタジエン、ポリクロロプレン等の合成ゴム；その他の合成木材、合成パルプ等、及びこれらの炭化物が挙げられる。これらの原料の中でも、量産対応及びコストの観点から、ヤシ殻、木粉等の植物系原料、及びそれらの炭化物が好ましく、ヤシ殻炭化物が特に好ましい。

【0031】

これらの原料を上記活性炭1とするための炭化及び賦活の方式としては、例えば、固定床方式、移動床方式、流動床方式、スラリー方式、ロータリーキルン方式等の既知の方式を採用できる。

これらの原料の炭化方法としては、窒素、二酸化炭素、ヘリウム、アルゴン、キセノン、ネオン、一酸化炭素、燃焼排ガス等の不活性ガス、又はこれらの不活性ガスを主成分とした他のガスとの混合ガスを使用して、 $400\sim 700^\circ\text{C}$ （好ましくは $450\sim 600^\circ\text{C}$ ）程度において、30分～10時間程度に亘って焼成する方法が挙げられる。

【0032】

上記炭化方法により得られた炭化物の賦活方法としては、水蒸気、二酸化炭素、酸素等の賦活ガスを用いて焼成するガス賦活法が好ましく用いられる。このうち、賦活ガスとして、水蒸気又は二酸化炭素を使用する方法が好ましい。

この賦活方法では、賦活ガスを $0.5\sim 3.0\text{ kg/h}$ （好ましくは $0.7\sim 2.0\text{ kg/h}$ ）の割合で供給しながら、上記炭化物を3～12時間（好ましくは5～11時間、更に好ましくは6～10時間）かけて $800\sim 1,000^\circ\text{C}$ まで昇温して賦活するのが好ましい。

更に、上記炭化物の賦活処理に先立ち、予め上記炭化物を1次賦活してもよい。この1次賦活では、通常、炭素材料を水蒸気、二酸化炭素、酸素等の賦活ガスを用いて、 900°C 未満の温度で焼成してガス賦活する方法が、好ましく採用できる。

上記炭化方法における焼成温度及び焼成時間と、上記賦活方法における賦活ガス供給量、昇温速度及び最高賦活温度とを適宜組み合わせることにより、本実施形態において使用できる、上記の特徴を有する活性炭1を製造することができる。

【0033】

活性炭1の平均粒子径は、 $2\sim 20\text{ }\mu\text{m}$ であることが好ましい。

上記平均粒子径が $2\text{ }\mu\text{m}$ 以上であると、活物質層の密度が高いために電極体積当たりの容量が高くなる傾向がある。ここで、平均粒子径が小さいと耐久性が低いという欠点を招来する場合があるが、平均粒子径が $2\text{ }\mu\text{m}$ 以上であればそのような欠点が生じ難い。一方で、平均粒子径が $20\text{ }\mu\text{m}$ 以下であると、高速充放電には適合し易くなる傾向がある。上記平均粒子径は、より好ましくは $2\sim 15\text{ }\mu\text{m}$ であり、更に好ましくは $3\sim 10\text{ }\mu\text{m}$ である。上記平均粒子径の範囲の上限と下限は、任意に組み合わせることができる。

【0034】

[活性炭2]

活性炭2のメソ孔量V1は、蓄電素子に組み込んだときの出力特性を大きくする観点か

10

20

30

40

50

ら、 0.8 cc/g より大きい値であることが好ましい。一方、 $V1$ は、蓄電素子の容量の低下を抑える観点から、 2.5 cc/g 以下であることが好ましい。上記 $V1$ は、より好ましくは 1.00 cc/g 以上 2.0 cc/g 以下、さらに好ましくは、 1.2 cc/g 以上 1.8 cc/g 以下である。

【0035】

他方、活性炭2のマイクロ孔量 $V2$ は、活性炭の比表面積を大きくし、容量を増加させるために、 0.8 cc/g より大きい値であることが好ましい。一方、 $V2$ は、活性炭の電極としての密度を増加させ、単位体積当たりの容量を増加させるという観点から、 3.0 cc/g 以下、より好ましくは 1.0 cc/g より大きく 2.5 cc/g 以下、更に好ましくは 1.5 cc/g 以上 2.5 cc/g 以下である。

【0036】

上述したメソ孔量及びマイクロ孔量を有する活性炭2は、従来の電気二重層キャパシタ又はリチウムイオンキャパシタ用として使用されていた活性炭よりもBET比表面積が高いものである。活性炭2のBET比表面積の具体的な値としては、 $2,300 \text{ m}^2/\text{g}$ 以上 $4,000 \text{ m}^2/\text{g}$ 以下であることが好ましい。BET比表面積の下限としては、 $3,000 \text{ m}^2/\text{g}$ 以上であることがより好ましく、 $3,200 \text{ m}^2/\text{g}$ 以上であることが更に好ましい。一方、BET比表面積の上限としては、 $3,800 \text{ m}^2/\text{g}$ 以下であることがより好ましい。BET比表面積が $2,300 \text{ m}^2/\text{g}$ 以上の場合には、良好なエネルギー密度が得られ易く、他方、BET比表面積が $4,000 \text{ m}^2/\text{g}$ 以下の場合には、電極の強度を保つためにバインダーを多量に入れる必要がないので、電極体積当たりの性能が高くなる。

なお、活性炭2の $V1$ 、 $V2$ 及びBET比表面積については、それぞれ上記で説明された好適な範囲の上限と下限を、任意に組み合わせることができる。

【0037】

上記のような特徴を有する活性炭2は、例えば以下に説明するような原料及び処理方法を用いて得ることができる。

活性炭2の原料として用いられる炭素源としては、通常活性炭原料として用いられる炭素源であれば特に限定されるものではなく、例えば、木材、木粉、ヤシ殻等の植物系原料；石油ピッチ、コークス等の化石系原料；フェノール樹脂、フラン樹脂、塩化ビニル樹脂、酢酸ビニル樹脂、メラミン樹脂、尿素樹脂、レゾルシノール樹脂等の各種合成樹脂等が挙げられる。これらの原料の中でも、フェノール樹脂、及びフラン樹脂は、高比表面積の活性炭を作製するのに適しており特に好ましい。

【0038】

これらの原料を炭化する方式、或いは賦活処理時の加熱方法としては、例えば、固定床方式、移動床方式、流動床方式、スラリー方式、ロータリーキルン方式等の公知の方式が挙げられる。加熱時の雰囲気は窒素、二酸化炭素、ヘリウム、アルゴン等の不活性ガス、又はこれらの不活性ガスを主成分として他のガスとの混合したガスが用いられる。炭化温度は $400 \sim 700^\circ\text{C}$ （下限について、好ましくは 450°C 以上、更に好ましくは 500°C 以上。上限について、好ましくは 650°C 以下）程度で $0.5 \sim 10$ 時間程度焼成することが好ましい。

【0039】

上記炭化処理後の炭化物の賦活方法としては、水蒸気、二酸化炭素、酸素等の賦活ガスを用いて焼成するガス賦活法、及びアルカリ金属化合物と混合した後に加熱処理を行うアルカリ金属賦活法があるが、高比表面積の活性炭を作製するにはアルカリ金属賦活法が好ましい。

この賦活方法では、炭化物と KOH 、 NaOH 等のアルカリ金属化合物との質量比が $1:1$ 以上（アルカリ金属化合物の量が、炭化物の量と同じかこれよりも多い量）となるように混合した後に、不活性ガス雰囲気下で $600 \sim 900^\circ\text{C}$ （好ましくは $650^\circ\text{C} \sim 850^\circ\text{C}$ ）の範囲において、 $0.5 \sim 5$ 時間加熱を行い、その後アルカリ金属化合物を酸及び水により洗浄除去し、更に乾燥を行う。

【0040】

炭化物とアルカリ金属化合物の質量比（＝炭化物：アルカリ金属化合物）は1：1以上が好ましいことを先記したが、アルカリ金属化合物の量が増えるほど、メソ孔量が増えるが、質量比1：3.5付近を境に急激に孔量が増える傾向があるので、質量比は1：3よりアルカリ金属化合物が増えることが好ましく、1：5.5以下であることが好ましい。質量比はアルカリ金属化合物が増えるほど孔量が大きくなるが、その後の洗浄等の処理効率を考慮すると上記範囲であることが好ましい。

なお、マイクロ孔量を大きくし、メソ孔量を大きくしないためには、賦活する際に炭化物の量を多めにしてKOHと混合するとよい。マイクロ孔量及びメソ孔量の双方を大きくするためには、KOHの量を多めに使用するとよい。また、主としてメソ孔量を大きくするためには、アルカリ賦活処理を行った後に水蒸気賦活を行うことが好ましい。

活性炭2の平均粒子径は2 µm以上20 µm以下であることが好ましく、より好ましくは3 µm以上10 µm以下である。

【0041】

〔活性炭の使用態様〕

活性炭1及び2は、それぞれ、1種の活性炭であってもよいし、2種以上の活性炭の混合物であって上記した各々の特性値を混合物全体として示すものであってもよい。

上記の活性炭1及び2は、これらのうちのいずれか一方を選択して使用してもよいし、両者を混合して使用してもよい。

正極活物質は、活性炭1及び2以外の材料（例えば、前記特定のV1及び／若しくはV2を有さない活性炭、又は活性炭以外の材料（例えば、リチウムと遷移金属との複合酸化物等））を含んでもよい。例示の態様において、活性炭1の含有量、又は活性炭2の含有量、又は活性炭1及び2の合計含有量が、それぞれ、全正極活物質の50質量%より多いことが好ましく、70質量%以上がより好ましく、90質量%以上が更に好ましく、100質量%であることが最も好ましい。

【0042】

正極活物質層における正極活物質の含有割合は、正極前駆体における正極活物質層の全質量を基準として、35質量%以上95質量%以下であることが好ましい。正極活物質の含有割合の上限としては、45質量%以上であることがより好ましく、55質量%以上であることがさらに好ましい。他方、正極活物質の含有割合の下限としては、90質量%以下であることがより好ましく、80質量%以下であることが更に好ましい。この範囲の含有割合とすることにより、好適な充放電特性を発揮する。

【0043】

〔リチウム化合物〕

本実施形態の正極前駆体の正極活物質層には、正極活物質以外のリチウム化合物が含有されることが好ましい。また、本実施形態の正極の正極活物質層には、正極活物質以外のリチウム化合物が含有される。

前記リチウム化合物としては、後述のリチウムドーブ工程において正極で分解し、リチウムイオンを放出することが可能である、炭酸リチウム、酸化リチウム、水酸化リチウム、フッ化リチウム、塩化リチウム、シュウ化リチウム、ヨウ化リチウム、窒化リチウム、シュウ酸リチウム、及び酢酸リチウムから選択される1種以上が好適に用いられる。中でも、炭酸リチウム、酸化リチウム、及び水酸化リチウムがより好適であり、空気中での取り扱いが可能であり、かつ吸湿性が低いという観点から炭酸リチウムがさらに好適に用いられる。このようなリチウム化合物は、電圧の印加によって分解し、負極へのリチウムドーブのドーパント源として機能するとともに、正極活物質層において空孔を形成するから、電解液の保持性に優れ、イオン伝導性に優れる正極を形成することができる。

【0044】

〔正極前駆体のリチウム化合物〕

リチウム化合物は、粒子状であることが好ましい。正極前駆体に含有されるリチウム化合物の平均粒子径は0.1 µm以上100 µm以下であることが好ましい。正極前駆体に

含有されるリチウム化合物の平均粒子径の上限としては $50\text{ }\mu\text{m}$ 以下であることがより好ましく、 $20\text{ }\mu\text{m}$ 以下であることが更に好ましく、 $10\text{ }\mu\text{m}$ 以下であることが最も好ましい。他方、正極前駆体に含有されるリチウム化合物の平均粒子径の下限としては $0.3\text{ }\mu\text{m}$ 以上であることがより好ましく、 $0.5\text{ }\mu\text{m}$ 以上であることが更に好ましい。リチウム化合物の平均粒子径が $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 以上であれば、正極におけるリチウム化合物の酸化反応後に残る空孔が電解液を保持するのに十分な容積を有することとなるため、高負荷充放電特性が向上する。リチウム化合物の平均粒子径が $100\text{ }\mu\text{m}$ 以下であれば、リチウム化合物の表面積が過度に小さくはならないから、該リチウム化合物の酸化反応の速度を確保することができる。リチウム化合物の平均粒子径の範囲の上限と下限は、任意に組み合わせることができる。

10

リチウム化合物の微粒子化には、様々な方法を用いることができる。例えば、ボールミル、ビーズミル、リングミル、ジェットミル、ロッドミル等の粉碎機を使用することができる。

【0045】

正極前駆体の正極活物質層におけるリチウム化合物の含有割合は、正極前駆体における正極活物質層の全質量を基準として、 $5\text{ 質量}\%$ 以上 $60\text{ 質量}\%$ 以下であることが好ましく、 $10\text{ 質量}\%$ 以上 $50\text{ 質量}\%$ 以下であることがより好ましい。この範囲の含有割合とすることにより、負極へのドーパント源として好適な機能を発揮するとともに、正極に適当な程度の多孔性を付与することができ、両者相俟って高負荷充放電効率に優れる蓄電素子を与えることができ、好ましい。この含有割合の範囲の上限と下限は、任意に組み合わせることができる。

20

【0046】

[正極のリチウム化合物]

正極は、正極活物質以外のリチウム化合物を含有する。正極が含有する、正極活物質以外のリチウム化合物の平均粒子径を X_1 とすると、 $0.1\text{ }\mu\text{m} \leq X_1 \leq 10\text{ }\mu\text{m}$ であることが好ましい。更に好ましくは、 $0.5\text{ }\mu\text{m} \leq X_1 \leq 5\text{ }\mu\text{m}$ である。 X_1 が $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 以上の場合、高負荷充放電サイクルで生成するフッ素イオンを吸着することにより高負荷充放電サイクル特性が向上する。 X_1 が $10\text{ }\mu\text{m}$ 以下の場合、高負荷充放電サイクルで生成するフッ素イオンとの反応面積が増加するため、フッ素イオンの吸着を効率良く行うことができる。

30

【0047】

正極が含有する、正極活物質以外のリチウム化合物は、正極における正極活物質層の全質量を基準として、 $1\text{ 質量}\%$ 以上 $50\text{ 質量}\%$ 以下であることを特徴とし、 $2.5\text{ 質量}\%$ 以上 $25\text{ 質量}\%$ 以下であることがより好ましい。リチウム化合物量が $1\text{ 質量}\%$ 以上であると、高温環境下における正極上での電解液溶媒の分解反応を炭酸リチウムが抑制するため、高温耐久性が向上し、 $2.5\text{ 質量}\%$ 以上でその効果が顕著になる。また、リチウム化合物量が $50\text{ 質量}\%$ 以下であると、正極活物質間の電子伝導性がリチウム化合物により阻害されることが比較的小さいため、高い入出力特性を示し、 $25\text{ 質量}\%$ 以下であると、特に入出力特性の観点から特に好ましい。尚、下限と上限の組み合わせは任意のものであることができる。

40

【0048】

[正極中のリチウム化合物の同定方法]

正極中に含まれるリチウム化合物の同定方法は特に限定されないが、例えば、下記の方法により同定することができる。リチウム化合物の同定には、以下に記載する複数の解析手法を組み合わせることで同定することが好ましい。

以下に記載するSEM-EDX、ラマン、XPSを測定する際には、アルゴンボックス中で非水系リチウム型蓄電素子を解体して正極を取り出し、正極表面に付着した電解質を洗浄した後に測定を行うことが好ましい。正極の洗浄方法については、正極表面に付着した電解質を洗い流せばよいため、ジメチルカーボネート、エチルメチルカーボネート、ジエチルカーボネート等のカーボネート溶媒が好適に利用できる。洗浄方法としては、例

50

えば、正極質量の50～100倍のジエチルカーボネート溶媒に正極を10分間以上浸漬させ、その後溶媒を取り替えて再度正極を浸漬させる。その後正極をジエチルカーボネートから取り出し、真空乾燥（温度：0～200℃、圧力：0～20kPa、時間：1～40時間の範囲で正極中のジエチルカーボネートの残存が1質量%以下になる条件とする。ジエチルカーボネートの残存量については、後述する蒸留水洗浄、液量調整後の水のGC/MSを測定し、予め作成した検量線を基に定量することができる。）させた後に、前記SEM-EDX、ラマン、XPSの解析を実施する。

【0049】

後述するイオンクロマトグラフィーについては、正極を蒸留水で洗浄した後の水を解析することにより陰イオンを同定することができる。

前記解析手法にてリチウム化合物を同定できなかった場合、その他の解析手法として、固体⁷Li-NMR、XRD（X線回折）、TOF-SIMS（飛行時間型二次イオン質量分析）、AES（オージェ電子分光）、TPD/MS（加熱発生ガス質量分析）、DSC（示差走査熱量分析）等を用いることにより、リチウム化合物を同定することもできる。

【0050】

[SEM-EDX]

酸素を含有するリチウム化合物及び正極活物質は、観察倍率を1000倍～4000倍にして測定した正極表面のSEM-EDX画像による酸素マッピングにより判別できる。SEM-EDX画像の測定例として、加速電圧を10kV、エミッション電流を1μA、測定画素数を256×256ピクセル、積算回数を50回として測定できる。試料の帯電を防止するために、金、白金、オスミウム等を真空蒸着やスパッタリング等の方法により表面処理することもできる。SEM-EDX画像の測定方法については、明るさは最大輝度に達する画素がなく、明るさの平均値が輝度40%～60%の範囲に入るように輝度及びコントラストを調整することが好ましい。得られた酸素マッピングに対し、明るさの平均値を基準に二値化した明部を面積50%以上含む粒子をリチウム化合物とする。

【0051】

[ラマン]

炭酸イオンからなるリチウム化合物及び正極活物質は、観察倍率を1000倍～4000倍にして測定した正極表面のラマンイメージングにより判別できる。測定条件の例として、励起光を532nm、励起光強度を1%、対物レンズの長作動を50倍、回折格子を1800gr/mm、マッピング方式を点走査（スリット65mm、ビニング5pix）、1mmステップ、1点当たりの露光時間を3秒、積算回数を1回、ノイズフィルター有りの条件にて測定することができる。測定したラマンスペクトルについて、1071～1104cm⁻¹の範囲で直線のベースラインを設定し、ベースラインより正の値を炭酸イオンのピークとして面積を算出し、頻度を積算するが、この時にノイズ成分をガウス型関数で近似した炭酸イオンピーク面積に対する頻度を前記炭酸イオンの頻度分布から差し引く。

【0052】

[XPS]

リチウムの電子状態をXPSにより解析することによりリチウムの結合状態を判別することができる。測定条件の例として、X線源を単色化AlKα、X線ビーム径を100μmφ（25W、15kV）、パスエネルギーをナローズキャン：58.70eV、帯電中和を有り、スイープ数をナローズキャン：10回（炭素、酸素）20回（フッ素）30回（リン）40回（リチウム）50回（ケイ素）、エネルギーステップをナローズキャン：0.25eVの条件にて測定できる。XPSの測定前に正極の表面をスパッタリングにてクリーニングすることが好ましい。スパッタリングの条件として例えば、加速電圧1.0kV、2mm×2mmの範囲を1分間（SiO₂換算で1.25nm/min）の条件にて正極の表面をクリーニングすることができる。得られたXPSスペクトルについて、Li1sの結合エネルギー50～54eVのピークをLiO₂又はLi-C結合、55～6

0 e Vのピークを LiF 、 Li_2CO_3 、 $\text{Li}_x\text{PO}_y\text{F}_z$ （式中、 x 、 y 、 z は1～6の整数である）、C 1 sの結合エネルギー285 e VのピークをC—C結合、286 e VのピークをC—O結合、288 e Vのピークを COO 、290～292 e Vのピークを CO_3^{2-} 、C—F結合、O 1 sの結合エネルギー527～530 e Vのピークを O^{2-} （ Li_2O ）、531～532 e Vのピークを CO 、 CO_3 、 OH 、 PO_x （式中、 x は1～4の整数である）、 SiO_x （式中、 x は1～4の整数である）、533 e VのピークをC—O、 SiO_x （式中、 x は1～4の整数である）、F 1 sの結合エネルギー685 e Vのピークを LiF 、687 e VのピークをC—F結合、 $\text{Li}_x\text{PO}_y\text{F}_z$ （式中、 x 、 y 、 z は1～6の整数である）、 PF_6^- 、P 2 pの結合エネルギーについて、133 e Vのピークを PO_x （式中、 x は1～4の整数である）、134～136 e Vのピークを PF_x （式中、 x は1～6の整数である）、Si 2 pの結合エネルギー99 e VのピークをSi、シリサイド、101～107 e Vのピークを Si_xO_y （式中、 x 、 y は任意の整数である）として帰属することができる。得られたスペクトルについて、ピークが重なる場合には、ガウス関数又はローレンツ関数を仮定してピーク分離し、スペクトルを帰属することが好ましい。前記で得られた電子状態の測定結果及び存在元素比の結果から、存在するリチウム化合物を同定することができる。

10

【0053】

〔イオンクロマトグラフィー〕

正極の蒸留水洗浄液をイオンクロマトグラフィーで解析することにより、水中に溶出したアニオン種を同定することができる。使用するカラムとしては、イオン交換型、イオン排除型、逆相イオン対型を使用することができる。検出器としては、電気伝導度検出器、紫外可視吸光度検出器、電気化学検出器等を使用することができ、検出器の前にサプレッサーを設置するサプレッサー方式、またはサプレッサーを配置せずに電気伝導度の低い溶液を溶離液に用いるノンサプレッサー方式を用いることができる。また、質量分析計や荷電化粒子検出を検出器と組み合わせて測定することもできるため、SEM—EDX、ラマン、XPSの解析結果から同定されたリチウム化合物を基に適切なカラム、検出器を組み合わせることが好ましい。

20

サンプルの保持時間は、使用するカラムや溶離液等の条件が決まれば、イオン種成分毎に一定であり、また、ピークのレスポンスの大きさはイオン種毎に異なるが濃度に比例する。トレーサビリティが確保された既知濃度の標準液を予め測定しておくことでイオン種成分の定性と定量が可能となる。

30

【0054】

〔リチウム化合物の定量方法〕

正極中に含まれるリチウム化合物の定量方法を以下に記載する。

正極を有機溶媒で洗浄し、その後蒸留水で洗浄し、蒸留水での洗浄前後の正極質量変化からリチウム化合物を定量することができる。測定する正極の面積は特に制限されないが、測定のばらつきを軽減するという観点から 5 cm^2 以上 200 cm^2 以下であることが好ましく、更に好ましくは 25 cm^2 以上 150 cm^2 以下である。面積が 5 cm^2 以上あれば測定の再現性が確保される。面積が 200 cm^2 以下であればサンプルの取扱い性に優れる。有機溶媒による洗浄については正極表面に堆積した非水系電解液分解物を除去できれば良いため、有機溶媒は特に限定されないが、前記リチウム化合物の溶解度が2%以下である有機溶媒を用いることでリチウム化合物の溶出が抑制されるため好ましい。例えば、メタノール、アセトン等の極性溶媒が好適に用いられる。

40

【0055】

正極の洗浄方法は、正極の質量に対し50～100倍のメタノール溶液に正極を3日間以上十分に浸漬させる。この時、メタノールが揮発しないよう容器に蓋をするなどの対策を施すことが好ましい。その後正極をメタノールから取り出し、真空乾燥（温度：100～200℃、圧力：0～10 kPa、時間：5～20時間の範囲で正極中のメタノールの残存が1質量%以下になる条件とする。メタノールの残存量については、後述する蒸留水洗浄後の水のGC／MSを測定し、予め作成した検量線を基に定量することができる。）

50

し、その時の正極の質量を M_0 [g]とする。続いて、正極の質量の100倍 ($100M_0$ [g]) の蒸留水に正極を3日間以上十分に浸漬させる。この時、蒸留水が揮発しないよう容器に蓋をする等の対策を施すことが好ましい。3日間以上浸漬させた後、蒸留水から正極を取り出し（前述のイオンクロマトグラフィーを測定する場合は、蒸留水の量が $100M_0$ [g]になるように液量を調整する。）、前記のメタノール洗浄と同様に真空乾燥する。この時の正極の質量を M_1 [g]とし、続いて、得られた正極の集電体の質量を測定するため、スパチュラ、ブラシ、刷毛等を用いて集電体上の正極活物質層を取り除く。得られた正極集電体の質量を M_2 [g]とすると、正極中に含まれるリチウム化合物の質量% Z は、下記数式 (1) :

【数1】

10

$$Z=100 \times [1 - (M_1 - M_2) / (M_0 - M_2)] \quad (1)$$

により算出できる。

【0056】

本実施形態における正極活物質層は、必要に応じて、正極活物質及びリチウム化合物の他に、導電性フィラー、結着剤、分散安定剤等の任意成分を含んでもよい。

導電性フィラーとしては、特に制限されるものではないが、例えば、アセチレンブラック、ケッチェンブラック、気相成長炭素繊維、黒鉛、カーボンナノチューブ、これらの混合物等を用いることができる。導電性フィラーの使用量は、正極活物質100質量部に対して、好ましくは0質量部以上30質量部以下である。より好ましくは0.01質量部以上20質量部以下、さらに好ましくは1質量部以上15質量部以下である。導電性フィラーの使用量が30質量部より多くなると、正極活物質層における正極活物質の含有割合が少なくなるために、正極活物質層体積当たりのエネルギー密度が低下するので好ましくない。

20

【0057】

結着剤としては、特に制限されるものではないが、例えばPVdF（ポリフッ化ビニリデン）、PTFE（ポリテトラフルオロエチレン）、ポリイミド、ラテックス、スチレン-ブタジエン共重合体、フッ素ゴム、アクリル共重合体等を用いることができる。結着剤の使用量は、正極活物質100質量部に対して、好ましくは1質量部以上30質量部以下、より好ましくは3質量部以上27質量部以下、さらに好ましくは5質量部以上25質量部以下である。結着剤の使用量が1質量部以上であれば、十分な電極強度が発現される。一方で結着剤の使用量が30質量部以下であれば、正極活物質へのイオンの出入り及び拡散を阻害せず、高い入出力特性が発現される。

30

【0058】

分散安定剤としては、特に制限されるものではないが、例えばPVP（ポリビニルピロリドン）、PVA（ポリビニルアルコール）、セルロース誘導体等を用いることができる。分散安定剤の使用量は、正極活物質100質量部に対して、好ましくは、0質量部又は0.1質量部以上、10質量部以下である。分散安定剤の使用量が10質量部以下であれば、正極活物質へのイオンの出入り及び拡散を阻害せず、高い入出力特性が発現される。

40

【0059】

〔正極集電体〕

本実施形態における正極集電体を構成する材料としては、電子伝導性が高く、電解液への溶出及び電解質又はイオンとの反応等による劣化が起こらない材料であれば特に制限はないが、金属箔が好ましい。本実施の形態の非水系リチウム型蓄電素子における正極集電体としては、アルミニウム箔が特に好ましい。

該金属箔は凹凸や貫通孔を持たない通常の金属箔でもよいし、エンボス加工、ケミカルエッチング、電解析出法、ブラスト加工等を施した凹凸を有する金属箔でもよいし、エキ

50

スパンドメタル、パンチングメタル、エッチング箔等の貫通孔を有する金属箔でもよい。

正極集電体の厚みは、正極の形状及び強度を十分に保持できれば特に制限はないが、例えば、 $1 \sim 100 \mu\text{m}$ が好ましい。

【0060】

〔正極前駆体の製造〕

本実施形態において、非水系リチウム型蓄電素子の正極となる正極前駆体は、既知のリチウムイオン電池、電気二重層キャパシタ等における電極の製造技術によって製造することが可能である。例えば、正極活物質及びリチウム化合物、並びに必要に応じて使用されるその他の任意成分を水又は有機溶剤中に分散又は溶解してスラリー状の塗工液を調製し、この塗工液を正極集電体上の片面又は両面に塗工して塗膜を形成し、これを乾燥することにより正極前駆体を得ることが出来る。さらに、得られた正極前駆体にプレスを施して、正極活物質層の膜厚又は嵩密度を調整してもよい。代替的には、溶剤を使用せずに、正極活物質及びリチウム化合物、並びに必要に応じて使用されるその他の任意成分を乾式で混合し、得られた混合物をプレス成型した後、導電性接着剤を用いて正極集電体に貼り付ける方法も可能である。

【0061】

前記正極前駆体の塗工液は、正極活物質を含む各種材料粉末の一部若しくは全部をドライブレンドし、次いで水若しくは有機溶媒、及び／又はそれらに結着剤若しくは分散安定剤が溶解又は分散した液状又はスラリー状の物質を追加して調製してもよい。また、水又は有機溶媒に結着剤又は分散安定剤が溶解又は分散した液状又はスラリー状の物質の中に、正極活物質を含む各種材料粉末を追加して、塗工液を調製してもよい。前記ドライブレンドする方法として、例えばボールミル等を使用して正極活物質及びリチウム化合物、並びに必要に応じて導電性フィラーを予備混合して、導電性の低いリチウム化合物に導電性フィラーをコーティングさせる予備混合をしてもよい。これにより、後述のリチウムドーピング工程において正極前駆体でリチウム化合物が分解し易くなる。前記塗工液の溶媒に水を使用する場合には、リチウム化合物を加えることで塗工液がアルカリ性になることもあるため、必要に応じてpH調整剤を添加してもよい。

【0062】

前記正極前駆体の塗工液の調製には、特に制限されるものではないが、好適にはホモディスパーや多軸分散機、プラネタリーミキサー、薄膜旋回型高速ミキサー等の分散機等を用いることが出来る。良好な分散状態の塗工液を得るためには、周速 1 m/s 以上 50 m/s 以下で分散することが好ましい。周速が 1 m/s 以上であれば、各種材料が良好に溶解又は分散するため好ましい。また、周速が 50 m/s 以下であれば、分散による熱又はせん断力により各種材料が破壊されることなく、再凝集が生じることがないため好ましい。

前記塗工液の分散度は、粒ゲージで測定した粒度が $0.1 \mu\text{m}$ 以上 $100 \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。分散度の上限としては、より好ましくは粒度が $80 \mu\text{m}$ 以下、さらに好ましくは粒度が $50 \mu\text{m}$ 以下である。粒度が $0.1 \mu\text{m}$ 未満では、正極活物質を含む各種材料粉末の粒子径以下のサイズとなり、塗工液作製時に材料を破碎していることになり好ましくない。また、粒度が $100 \mu\text{m}$ 以下であれば、塗工液吐出時の詰まりや塗膜のスジ発生等がなく、安定に塗工ができる。

【0063】

前記正極前駆体の塗工液の粘度 (η_b) は、 $1,000 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ 以上 $20,000 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ 以下が好ましく、より好ましくは $1,500 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ 以上 $10,000 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ 以下、さらに好ましくは $1,700 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ 以上 $5,000 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ 以下である。粘度 (η_b) が $1,000 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ 以上であれば、塗膜形成時の液ダレが抑制され、塗膜幅及び膜厚が良好に制御できる。また、粘度 (η_b) が $20,000 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ 以下であれば、塗工機を用いた際の塗工液の流路における圧力損失が少なく安定に塗工でき、また所望の塗膜厚み以下に制御できる。

また、該塗工液のTI値（チクソトロピーインデックス値）は、 1.1 以上が好ましく

、より好ましくは1.2以上、さらに好ましくは1.5以上である。T I 値が1.1以上であれば、塗膜幅及び膜厚が良好に制御できる。

【0064】

前記正極前駆体の塗膜の形成は特に制限されるものではないが、好適にはダイコーターやコンマコーター、ナイフコーター、グラビア塗工機等の塗工機を用いることが出来る。塗膜は単層塗工で形成してもよいし、多層塗工で形成してもよい。多層塗工の場合には、塗膜各層内のリチウム化合物の含有量が異なるように塗工液組成を調整してもよい。また、塗工速度は0.1m/分以上100m/分以下であることが好ましく、より好ましくは0.5m/分以上70m/分以下、さらに好ましくは1m/分以上50m/分以下である。塗工速度が0.1m/分以上であれば、安定に塗工出来る。他方、塗工速度が100m/分以下であれば、塗工精度を十分に確保できる。

10

【0065】

前記正極前駆体の塗膜の乾燥については、特に制限されるものではないが、好適には熱風乾燥や赤外線（IR）乾燥等の乾燥方法を用いることが出来る。塗膜の乾燥は、単一の温度で乾燥させてもよいし、多段的に温度を変えて乾燥させてもよい。また、複数の乾燥方法を組み合わせて塗膜を乾燥させてもよい。乾燥温度は、25℃以上200℃以下であることが好ましく、より好ましくは40℃以上180℃以下、さらに好ましくは50℃以上160℃以下である。乾燥温度が25℃以上であれば、塗膜中の溶媒を十分に揮発させることが出来る。他方、乾燥温度が200℃以下であれば、急激な溶媒の揮発による塗膜のヒビ割れやマイグレーションによる結着剤の偏在、及び正極集電体や正極活物質層の酸化を抑制できる。

20

【0066】

前記正極前駆体のプレスには、特に制限されるものではないが、好適には油圧プレス機、真空プレス機等のプレス機を用いることが出来る。正極活物質層の膜厚、嵩密度及び電極強度は、後述するプレス圧力、隙間、及びプレス部の表面温度により調整できる。

プレス圧力は0.5kN/cm以上20kN/cm以下が好ましく、より好ましくは1kN/cm以上10kN/cm以下、さらに好ましくは2kN/cm以上7kN/cm以下である。プレス圧力が0.5kN/cm以上であれば、電極強度を十分に高くできる。他方、プレス圧力が20kN/cm以下であれば、正極前駆体に撓みやシワが生じることがなく、所望の正極活物質層膜厚や嵩密度に調整できる。

30

また、プレスロール同士の隙間は、所望の正極活物質層の膜厚や嵩密度となるように乾燥後の正極前駆体膜厚に応じて任意の値を設定できる。さらに、プレス速度は正極前駆体に撓みやシワが生じない任意の速度に設定できる。

また、プレス部の表面温度は室温でもよいし、必要によりプレス部を加熱してもよい。加熱する場合のプレス部の表面温度の下限は、使用する結着剤の融点マイナス60℃以上が好ましく、より好ましくは融点マイナス45℃以上、さらに好ましくは融点マイナス30℃以上である。他方、加熱する場合のプレス部の表面温度の上限は、使用する結着剤の融点プラス50℃以下が好ましく、より好ましくは融点プラス30℃以下、さらに好ましくは融点プラス20℃以下である。例えば、結着剤にPVdF（ポリフッ化ビニリデン：融点150℃）を用いた場合、プレス部の表面を90℃以上200℃以下に加温することが好ましく、より好ましくは105℃以上180℃以下、さらに好ましくは120℃以上170℃以下にプレス部の表面を加熱することである。また、結着剤にスチレンーブタジエン共重合体（融点100℃）を用いた場合、プレス部の表面を40℃以上150℃以下に加温することが好ましく、より好ましくは55℃以上130℃以下、さらに好ましくは70℃以上120℃以下にプレス部の表面を加温することである。

40

【0067】

結着剤の融点は、DSC（Differential Scanning Calorimetry、示差走査熱量分析）の吸熱ピーク位置で求めることができる。例えば、パーキンエルマー社製の示差走査熱量計「DSC7」を用いて、試料樹脂10mgを測定セルにセットし、窒素ガス雰囲気中で、温度30℃から10℃/分の昇温速度で250℃ま

50

で昇温し、昇温過程における吸熱ピーク温度が融点となる。

また、プレス圧力、隙間、速度、及びプレス部の表面温度の条件を変えながら複数回プレスを実施してもよい。

【0068】

前記正極活物質層の膜厚は、正極集電体の片面当たり $20\ \mu\text{m}$ 以上 $200\ \mu\text{m}$ 以下であることが好ましく、より好ましくは片面当たり $25\ \mu\text{m}$ 以上 $100\ \mu\text{m}$ 以下であり、更に好ましくは $30\ \mu\text{m}$ 以上 $80\ \mu\text{m}$ 以下である。この膜厚が $20\ \mu\text{m}$ 以上であれば、十分な充放電容量を発現することができる。他方、この膜厚が $200\ \mu\text{m}$ 以下であれば、電極内のイオン拡散抵抗を低く維持することができる。そのため、十分な出力特性が得られるとともに、セル体積を縮小することができるため、エネルギー密度を高めることができる。上記正極活物質層の膜厚の範囲の上限と下限は、任意に組み合わせることができる。なお、集電体が貫通孔や凹凸を有する場合における正極活物質層の膜厚とは、集電体の貫通孔や凹凸を有していない部分の片面当たりの膜厚の平均値をいう。

10

【0069】

[正極]

後述のリチウムドーピング工程後の正極における正極活物質層の嵩密度は、 $0.25\ \text{g}/\text{cm}^3$ 以上であることが好ましく、より好ましくは $0.30\ \text{g}/\text{cm}^3$ 以上 $1.3\ \text{g}/\text{cm}^3$ 以下の範囲である。正極活物質層の嵩密度が $0.25\ \text{g}/\text{cm}^3$ 以上であれば、高いエネルギー密度を発現でき、蓄電素子の小型化を達成できる。他方、この嵩密度が $1.3\ \text{g}/\text{cm}^3$ 以下であれば、正極活物質層内の空孔における電解液の拡散が十分となり、高い出力特性が得られる。

20

【0070】

[正極活物質層中の化合物]

本発明に係る正極活物質層は、下記式(1)～(3)から選択される1種以上の化合物を該正極物質層の単位質量当たり $1.60 \times 10^{-4}\ \text{mol}/\text{g} \sim 300.0 \times 10^{-4}\ \text{mol}/\text{g}$ 含有することが好ましい。

【化4】



(1)

30

{式(1)中、 R^1 は、炭素数1～4のアルキレン基、又は炭素数1～4のハロゲン化アルキレン基であり、 X^1 、 X^2 はそれぞれ独立に —(COO)_n (ここで、 n は0又は1である。)である。}

【化5】



(2)

40

{式(2)中、 R^1 は、炭素数1～4のアルキレン基、又は炭素数1～4のハロゲン化アルキレン基であり、 R^2 は水素、炭素数1～10のアルキル基、炭素数1～10のモノ若しくはポリヒドロキシアルキル基、炭素数2～10のアルケニル基、炭素数2～10のモノ又はポリヒドロキシアルケニル基、炭素数3～6のシクロアルキル基、及びアリール基からなる群から選択される基であり、 X^1 、 X^2 はそれぞれ独立に —(COO)_n (ここで、 n は0又は1である。)である。}

【化6】



(3)

{式(3)中、 R^1 は、炭素数1～4のアルキレン基、又は炭素数1～4のハロゲン化アルキレン基であり、 R^2 、 R^3 はそれぞれ独立に水素、炭素数1～10のアルキル基、炭素数1～10のモノ若しくはポリヒドロキシアルキル基、炭素数2～10のアルケニル基、炭素数2～10のモノ又はポリヒドロキシアルケニル基、炭素数3～6のシクロアルキル基、及びアリール基からなる群から選択される基であり、 X^1 、 X^2 はそれぞれ独立に $-(COO)_n$ (ここで、 n は0又は1である。)である。}

10

【0071】

式(1)中、 R^1 は、炭素数1～4のアルキレン基、又は炭素数1～4のハロゲン化アルキレン基であり、 X^1 、 X^2 はそれぞれ独立に $-(COO)_n$ (ここで、 n は0又は1である。)である。

特に好ましい化合物は、

$LiOC_2H_4OLi$ 、 $LiOC_3H_6OLi$ 、 $LiOC_2H_4OCOOLi$ 、 $LiOCOOC_3H_6OLi$ 、 $LiOCOOC_2H_4OCOOLi$ 及び $LiOCOOC_3H_6OOLi$ で表される化合物である。

20

【0072】

式(2)中、 R^1 は、炭素数1～4のアルキレン基、又は炭素数1～4のハロゲン化アルキレン基であり、 R^2 は水素、炭素数1～10のアルキル基、炭素数1～10のモノ若しくはポリヒドロキシアルキル基、炭素数2～10のアルケニル基、炭素数2～10のモノ又はポリヒドロキシアルケニル基、炭素数3～6のシクロアルキル基、及びアリール基からなる群から選択される基であり、 X^1 、 X^2 はそれぞれ独立に $-(COO)_n$ (ここで、 n は0又は1である。)である。

特に好ましい化合物は、

$LiOC_2H_4OH$ 、 $LiOC_3H_6OH$ 、 $LiOC_2H_4COOH$ 、 $LiOC_3H_6COOH$ 、 $LiOCOOC_2H_4COOH$ 、 $LiOCOOC_3H_6COOH$ 、 $LiOC_2H_4OCH_3$ 、 $LiOC_3H_6OCH_3$ 、 $LiOC_2H_4OCOCH_3$ 、 $LiOC_3H_6OCOCH_3$ 、 $LiOCOOC_2H_4OCOCH_3$ 、 $LiOCOOC_3H_6OCOCH_3$ 、 $LiOC_2H_4OC_2H_5$ 、 $LiOC_3H_6OC_2H_5$ 、 $LiOC_2H_4OCOOC_2H_5$ 、 $LiOC_3H_6OCOOC_2H_5$ 、 $LiOCOOC_2H_4OCOOC_2H_5$ 、 $LiOCOOC_3H_6OCOOC_2H_5$ で表される化合物である。

30

【0073】

式(3)中、 R^1 は、炭素数1～4のアルキレン基、又は炭素数1～4のハロゲン化アルキレン基であり、 R^2 、 R^3 はそれぞれ独立に水素、炭素数1～10のアルキル基、炭素数1～10のモノ若しくはポリヒドロキシアルキル基、炭素数2～10のアルケニル基、炭素数2～10のモノ又はポリヒドロキシアルケニル基、炭素数3～6のシクロアルキル基、及びアリール基からなる群から選択される基であり、 X^1 、 X^2 はそれぞれ独立に $-(COO)_n$ (ここで、 n は0又は1である。)である。

40

特に好ましい化合物は、

HOC_2H_4OH 、 HOC_3H_6OH 、 HOC_2H_4COOH 、 HOC_3H_6COOH 、 $HOCOOC_2H_4COOH$ 、 $HOCOOC_3H_6COOH$ 、 $HOC_2H_4OCH_3$ 、 $HOC_3H_6OCH_3$ 、 $HOC_2H_4OCOCH_3$ 、 $HOC_3H_6OCOCH_3$ 、 $HOCOOC_2H_4OCOCH_3$ 、 $HOCOOC_3H_6OCOCH_3$ 、 $HOC_2H_4OC_2H_5$ 、 $HOC_3H_6OC_2H_5$ 、 $HOC_2H_4OCOOC_2H_5$ 、 $HOC_3H_6OCOOC_2H_5$ 、 $HOCOOC_2H_4OCOOC_2H_5$ 、 $HOCOOC_3H_6OCOOC_2H_5$ で表される化合物である。

50

OC_2H_5 、 $\text{CH}_3\text{OC}_2\text{H}_4\text{OCH}_3$ 、 $\text{CH}_3\text{OC}_3\text{H}_6\text{OCH}_3$ 、 $\text{CH}_3\text{OC}_2\text{H}_4\text{OCOOCH}_3$ 、 $\text{CH}_3\text{OC}_3\text{H}_6\text{OCOOCH}_3$ 、 $\text{CH}_3\text{OCOOCC}_2\text{H}_4\text{OCOOCH}_3$ 、 $\text{CH}_3\text{OCOOCC}_3\text{H}_6\text{OCOOCH}_3$ 、 $\text{CH}_3\text{OC}_2\text{H}_4\text{OC}_2\text{H}_5$ 、 $\text{CH}_3\text{OC}_3\text{H}_6\text{OC}_2\text{H}_5$ 、 $\text{CH}_3\text{OC}_2\text{H}_4\text{OCOOCC}_2\text{H}_5$ 、 $\text{CH}_3\text{OC}_3\text{H}_6\text{OCOOCC}_2\text{H}_5$ 、 $\text{CH}_3\text{OCOOCC}_2\text{H}_4\text{OCOOCC}_2\text{H}_5$ 、 $\text{CH}_3\text{OCOOCC}_2\text{H}_4\text{OCOOCC}_3\text{H}_6\text{OCOOCC}_2\text{H}_5$ 、 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_4\text{OC}_2\text{H}_5$ 、 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OC}_3\text{H}_6\text{OC}_2\text{H}_5$ 、 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_4\text{OCOOCC}_2\text{H}_5$ 、 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OC}_3\text{H}_6\text{OCOOCC}_2\text{H}_5$ 、 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OCOOCC}_2\text{H}_4\text{OCOOCC}_2\text{H}_5$ 、 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OCOOCC}_3\text{H}_6\text{OCOOCC}_2\text{H}_5$ 、 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OCOOCC}_3\text{H}_6\text{OCOOCC}_2\text{H}_5$

で表される化合物である。

【0074】

本発明における上記の前記化合物を正極活物質層内に含有させるための方法としては、例えば、

正極活物質層に前記化合物を混合する方法、

正極活物質層に前記化合物を吸着させる方法、

正極活物質層に前記化合物を電気化学的に析出させる方法

等が挙げられる。

中でも、非水系電解液中に、分解してこれらの前記化合物を生成し得る前駆体を含有させておき、蓄電素子を作製する工程における前記前駆体の分解反応を利用して、正極活物質層内に前記化合物を堆積させる方法が好ましい。

【0075】

前記化合物を形成する前駆体としては、エチレンカーボネート、プロピレンカーボネート、ブチレンカーボネート、ビニレンカーボネートおよびフルオロエチレンカーボネートから選択される少なくとも1種の有機溶媒を使用することが好ましく、エチレンカーボネート、及びプロピレンカーボネートを使用することがさらに好ましい。

【0076】

ここで、前記化合物の総量は、前記正極活物質層の単位質量当たり、 $1.60 \times 10^{-4} \text{ mol/g}$ 以上であることが好ましく、 $5.0 \times 10^{-4} \text{ mol/g}$ 以上であることがより好ましい。前記化合物の総量が正極活物質層の単位質量当たり $1.60 \times 10^{-4} \text{ mol/g}$ 以上であれば、非水系電解液が正極活物質に接することがなく、非水系電解液が酸化分解してガスが発生することを抑制できる。

また、前記化合物の総量は、前記正極活物質層の単位質量当たり、 $300.0 \times 10^{-4} \text{ mol/g}$ 以下であることが好ましく、 $150.0 \times 10^{-4} \text{ mol/g}$ 以下であることがより好ましく、 $100.0 \times 10^{-4} \text{ mol/g}$ 以下であることが最も好ましい。前記化合物の総量が正極活物質層の単位質量当たり $300.0 \times 10^{-4} \text{ mol/g}$ 以下であれば、正極界面における Li^+ イオンの拡散を阻害することがなく、高い入出力特性を発現することができる。

【0077】

[負極]

負極は、負極集電体と、その片面又は両面に存在する負極活物質層とを有する。

【0078】

[負極活物質層]

負極活物質層は、リチウムイオンを吸蔵・放出できる負極活物質を含む。これ以外に、必要に応じて、導電性フィラー、結着剤、分散安定剤等の任意成分を含んでもよい。

【0079】

[負極活物質]

前記負極活物質は、リチウムイオンを吸蔵・放出可能な物質を用いることができる。具体的には、炭素材料、チタン酸化物、ケイ素、ケイ素酸化物、ケイ素合金、ケイ素化合物、錫及び錫化合物等が例示される。好ましくは該負極活物質の総量に対する該炭素材料の含有率が50質量%以上であり、より好ましくは70質量%以上である。該炭素材料の含有率が100質量%でよいが、他の材料の併用による効果を良好に得る観点から、例えば

、90質量%以下であることが好ましく、80質量%以下であることが好ましい。

【0080】

負極活物質には、リチウムイオンをドーピングすることが好ましい。本明細書において、負極活物質にドーピングされたりリチウムイオンとしては、主に3つの形態が包含される。

第一の形態としては、非水系リチウム型蓄電素子を作製する前に、負極活物質に設計値として予め吸蔵させるリチウムイオンである。

第二の形態としては、非水系リチウム型蓄電素子を作製し、出荷する際の負極活物質に吸蔵されているリチウムイオンである。

第三の形態としては、非水系リチウム型蓄電素子をデバイスとして使用した後の負極活物質に吸蔵されているリチウムイオンである。

負極活物質にリチウムイオンをドーピングしておくことにより、得られる非水系リチウム型蓄電素子の容量及び作動電圧を良好に制御することが可能となる。

【0081】

前記炭素材料としては、例えば、難黒鉛化性炭素材料；易黒鉛化性炭素材料；カーボンブラック；カーボンナノ粒子；活性炭；人造黒鉛；天然黒鉛；黒鉛化メソフェーズカーボン小球体；黒鉛ウイスカ；ポリアセン系物質等のアモルファス炭素質材料；石油系のピッチ、石炭系のピッチ、メソカーボンマイクロビーズ、コークス、合成樹脂（例えばフェノール樹脂等）等の炭素質材料前駆体を熱処理して得られる炭素質材料；フルフリルアルコール樹脂又はノボラック樹脂の熱分解物；フラーレン；カーボンナノフォーン；及びこれらの複合炭素材料を挙げることができる。

【0082】

これらの中でも負極の抵抗を下げる観点から、前記炭素材料1種以上（以下、基材ともいう。）と前記炭素質材料前駆体とを共存させた状態で熱処理を行い、該基材と該炭素質材料前駆体由来の炭素質材料とを複合させた複合炭素材料が好ましい。該炭素質材料前駆体としては、熱処理により該炭素質材料となるものであれば特に制限はないが、石油系のピッチ又は石炭系のピッチが特に好ましい。熱処理を行う前に、該炭素質材料前駆体の融点より高い温度において、該基材と該炭素質材料前駆体とを混合してもよい。熱処理温度は、使用する該炭素質材料前駆体が揮発又は熱分解して発生する成分が該炭素質材料となる温度であればよいが、好ましくは400℃以上2500℃以下、より好ましくは500℃以上2000℃以下、さらに好ましくは550℃以上1500℃以下である。熱処理を行う雰囲気は特に制限はないが、非酸化性雰囲気が好ましい。

【0083】

前記複合炭素材料の好ましい例は、後述の複合炭素材料1及び2である。これらの内どちらかを選択して使用しても良く、又はこれらの双方を併用してもよい。

【0084】

〔複合炭素材料1〕

複合炭素材料1は、BET比表面積が100m²/g以上3000m²/g以下の炭素材料1種以上を該基材として用いた該複合炭素材料である。該基材は、特に制限されるものではないが、活性炭やカーボンブラック、鋳型多孔質炭素、高比表面積黒鉛、カーボンナノ粒子等を好適に用いることができる。

【0085】

複合炭素材料1のBET比表面積は、100m²/g以上1,500m²/g以下が好ましく、より好ましくは150m²/g以上1,100m²/g以下、さらに好ましくは180m²/g以上550m²/g以下である。このBET比表面積が100m²/g以上であれば、細孔を適度に保持することができリチウムイオンの拡散が良好となるため、高い入出力特性を示すことが出来る。他方、1,500m²/g以下であることにより、リチウムイオンの充放電効率が向上するため、サイクル耐久性が損なわれることがない。

【0086】

複合炭素材料1における該炭素質材料の該基材に対する質量比率は10質量%以上200質量%以下が好ましい。この質量比率は、好ましくは12質量%以上180質量%以下

、より好ましくは15質量%以上160質量%以下、特に好ましくは18質量%以上150質量%以下である。炭素質材料の質量比率が10質量%以上であれば、該基材が有していたマイクロ孔を該炭素質材料で適度に埋めることができ、リチウムイオンの充放電効率が向上するため、良好なサイクル耐久性を示すことが出来る。また、炭素質材料の質量比率が200質量%以下であれば、細孔を適度に保持することができリチウムイオンの拡散が良好となるため、高い入出力特性を示すことが出来る。

【0087】

複合炭素材料1の単位質量当たりのリチウムイオンのドーブ量は、530mAh/g以上2,500mAh/g以下であることが好ましい。より好ましくは620mAh/g以上2,100mAh/g以下、さらに好ましくは760mAh/g以上1,700mAh/g以下、特に好ましくは840mAh/g以上1,500mAh/g以下である。

リチウムイオンをドーブすることにより、負極電位が低くなる。従って、リチウムイオンがドーブされた複合炭素材料1を含む負極を正極と組み合わせた場合には、非水系リチウム型蓄電素子の電圧が高くなるとともに、正極の利用容量が大きくなる。そのため、得られる非水系リチウム型蓄電素子の容量及びエネルギー密度が高くなる。

該ドーブ量が530mAh/g以上であれば、複合炭素材料1におけるリチウムイオンを一旦挿入したら脱離し得ない不可逆なサイトにもリチウムイオンが良好にドーブされ、更に所望のリチウム量に対する複合炭素材料1の量を低減することができる。そのため、負極膜厚を薄くすることが可能となり、高いエネルギー密度が得られる。ドーブ量が多いほど負極電位が下がり、入出力特性、エネルギー密度、及び耐久性は向上する。

一方で、ドーブ量が2,500mAh/g以下であれば、リチウム金属の析出等の副作用が発生するおそれがない。

【0088】

以下、複合炭素材料1の好ましい例として、該基材として活性炭を用いた複合炭素材料1aについて説明する。

複合炭素材料1aは、BJH法により算出した直径20Å以上500Å以下の細孔に由来するメソ孔量を V_{m1} (cc/g)、MP法により算出した直径20Å未満の細孔に由来するマイクロ孔量を V_{m2} (cc/g)とすると、 $0.010 \leq V_{m1} \leq 0.300$ 、 $0.001 \leq V_{m2} \leq 0.650$ であることが好ましい。

メソ孔量 V_{m1} は、より好ましくは $0.010 \leq V_{m1} \leq 0.225$ 、さらに好ましくは $0.010 \leq V_{m1} \leq 0.200$ である。マイクロ孔量 V_{m2} は、より好ましくは $0.001 \leq V_{m2} \leq 0.200$ 、更に好ましくは $0.001 \leq V_{m2} \leq 0.150$ 、特に好ましくは $0.001 \leq V_{m2} \leq 0.100$ である。

【0089】

メソ孔量 V_{m1} が0.300cc/g以下であれば、BET比表面積を大きくすることができ、リチウムイオンのドーブ量を高めることができることに加え、負極の嵩密度を高めることができる。その結果、負極を薄膜化することができる。また、マイクロ孔量 V_{m2} が0.650cc/g以下であれば、リチウムイオンに対する高い充放電効率が維持できる。他方、メソ孔量 V_{m1} 及びマイクロ孔量 V_{m2} が下限以上($0.010 \leq V_{m1}$ 、 $0.001 \leq V_{m2}$)であれば、高い入出力特性が得られる。

【0090】

複合炭素材料1aのBET比表面積は、 $100\text{m}^2/\text{g}$ 以上1,500 m^2/g 以下が好ましい。より好ましくは $150\text{m}^2/\text{g}$ 以上1,100 m^2/g 以下、さらに好ましくは $180\text{m}^2/\text{g}$ 以上550 m^2/g 以下である。このBET比表面積が $100\text{m}^2/\text{g}$ 以上であれば、細孔を適度に保持することができるため、リチウムイオンの拡散が良好となるため、高い入出力特性を示すことが出来る。また、リチウムイオンのドーブ量を高めることができるため、負極を薄膜化することができる。他方、1,500 m^2/g 以下であることにより、リチウムイオンの充放電効率が向上するので、サイクル耐久性が損なわれることがない。

【0091】

複合炭素材料 1 a の平均細孔径は、高い入出力特性にする点から、 $20 \text{ \AA}$ 以上であることが好ましく、 $25 \text{ \AA}$ 以上であることがより好ましく、 $30 \text{ \AA}$ 以上であることがさらに好ましい。他方、高エネルギー密度にする点から、平均細孔径は、 $65 \text{ \AA}$ 以下であることが好ましく、 $60 \text{ \AA}$ 以下であることがより好ましい。

【0092】

複合炭素材料 1 a の平均粒子径は $1 \text{ }\mu\text{m}$ 以上 $10 \text{ }\mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。下限については、より好ましくは $2 \text{ }\mu\text{m}$ 以上であり、更に好ましくは $2.5 \text{ }\mu\text{m}$ 以上である。上限については、より好ましくは $6 \text{ }\mu\text{m}$ 以下であり、更に好ましくは $4 \text{ }\mu\text{m}$ 以下である。平均粒子径が $1 \text{ }\mu\text{m}$ 以上 $10 \text{ }\mu\text{m}$ 以下であれば良好な耐久性が保たれる。

【0093】

複合炭素材料 1 a の水素原子／炭素原子の原子数比 (H/C) は、 0.05 以上 0.35 以下であることが好ましく、 0.05 以上 0.15 以下であることが、より好ましい。 H/C が 0.35 以下である場合には、活性炭表面に被着している炭素質材料の構造（典型的には、多環芳香族系共役構造）が良好に発達して容量（エネルギー密度）及び充放電効率が高くなる。他方、 H/C が 0.05 以上である場合には、炭素化が過度に進行することはないため良好なエネルギー密度が得られる。なお、 H/C は元素分析装置により測定される。

【0094】

複合炭素材料 1 a は、前記基材の活性炭に由来するアモルファス構造を有するが、同時に、主に被着した炭素質材料に由来する結晶構造を有する。X線広角回折法によると、該複合炭素材料 1 a は、 (002) 面の面間隔 d_{002} が $3.60 \text{ \AA}$ 以上 $4.00 \text{ \AA}$ 以下であり、このピークの半価幅から得られる c 軸方向の結晶子サイズ L_c が $8.0 \text{ \AA}$ 以上 $20.0 \text{ \AA}$ 以下であるものが好ましく、 d_{002} が $3.60 \text{ \AA}$ 以上 $3.75 \text{ \AA}$ 以下であり、このピークの半価幅から得られる c 軸方向の結晶子サイズ L_c が $11.0 \text{ \AA}$ 以上 $16.0 \text{ \AA}$ 以下であるものがより好ましい。

【0095】

上記の複合炭素材料 1 a の該基材として用いる前記活性炭としては、得られる複合炭素材料 1 a が所望の特性を発揮する限り、特に制限はない。例えば石油系、石炭系、植物系、高分子系等の各種の原材料から得られた市販品を使用することができる。特に、平均粒子径が $1 \text{ }\mu\text{m}$ 以上 $15 \text{ }\mu\text{m}$ 以下の活性炭粉末を用いることが好ましい。該平均粒子径は、

【0096】

本実施形態において規定する細孔分布範囲を有する複合炭素材料 1 a を得るためには、該基材に用いる活性炭の細孔分布が重要である。

該活性炭においては、BJH法により算出した直径 $20 \text{ \AA}$ 以上 $500 \text{ \AA}$ 以下の細孔に由来するメソ孔量を V_1 (cc/g)、MP法により算出した直径 $20 \text{ \AA}$ 未満の細孔に由来するマイクロ孔量を V_2 (cc/g) としたとき、 $0.050 \leq V_1 \leq 0.500$ 、 $0.005 \leq V_2 \leq 1.000$ 、かつ、 $0.2 \leq V_1/V_2 \leq 20.0$ であることが好ましい。

【0097】

メソ孔量 V_1 については、 $0.050 \leq V_1 \leq 0.350$ がより好ましく、 $0.100 \leq V_1 \leq 0.300$ が更に好ましい。マイクロ孔量 V_2 については、 $0.005 \leq V_2 \leq 0.850$ がより好ましく、 $0.100 \leq V_2 \leq 0.800$ が更に好ましい。メソ孔量／マイクロ孔量の比率については、 $0.22 \leq V_1/V_2 \leq 15.0$ がより好ましく、 $0.25 \leq V_1/V_2 \leq 10.0$ が更に好ましい。活性炭のメソ孔量 V_1 が 0.500 以下である場合及びマイクロ孔量 V_2 が 1.000 以下である場合、上記本実施形態における複合炭素材料 1 a の細孔構造を得るためには適量の炭素質材料を被着させれば足りるので、細孔構造を制御し易くなる。一方、活性炭のメソ孔量 V_1 が 0.050 以上である場合及びマイクロ孔量 V_2 が 0.005 以上である場合、 V_1/V_2 が 0.2 以上である場合、及び V_1/V_2 が 20.0 以下である場合にも構造が容易に得られる。

【0098】

上記の複合炭素材料1aの原料として用いる炭素質材料前駆体とは、熱処理することにより、活性炭に炭素質材料を被着させることができる、固体、液体、又は溶剤に溶解可能な有機材料である。この炭素質材料前駆体としては、例えば、ピッチ、メソカーボンマイクロビーズ、コークス、合成樹脂（例えばフェノール樹脂等）等を挙げることができる。これらの炭素質材料前駆体の中でも、安価であるピッチを用いることが、製造コスト上好ましい。ピッチは、大別して石油系ピッチと石炭系ピッチとに分けられる。石油系ピッチとしては、例えば原油の蒸留残渣、流動性接触分解残渣（デカントオイル等）、サーマルクラッカーに由来するボトム油、ナフサクラッキングの際に得られるエチレンタル等が例示される。

10

【0099】

上記ピッチを用いる場合、該ピッチを活性炭との共存下で熱処理し、活性炭の表面においてピッチの揮発成分又は熱分解成分を熱反応させて該活性炭に炭素質材料を被着させることにより、複合炭素材料1aが得られる。この場合、200～500℃程度の温度において、ピッチの揮発成分又は熱分解成分の活性炭細孔内への被着が進行し、400℃以上で該被着成分が炭素質材料となる反応が進行する。熱処理時のピーク温度（最高到達温度）は、得られる複合炭素材料1aの特性、熱反応パターン、熱反応雰囲気等により適宜決定されるものであるが、400℃以上であることが好ましく、より好ましくは450℃～1,000℃であり、さらに好ましくは500～800℃程度である。また、熱処理時のピーク温度を維持する時間は、30分間～10時間であることが好ましく、より好ましくは1時間～7時間、更に好ましくは2時間～5時間である。例えば、500～800℃程度のピーク温度で2時間～5時間に亘って熱処理する場合、活性炭表面に被着している炭素質材料は多環芳香族系炭化水素になっているものと考えられる。

20

【0100】

また、用いるピッチの軟化点は、30℃以上250℃以下が好ましく、60℃以上130℃以下が更に好ましい。軟化点が30℃以上であるピッチはハンドリング性に支障がなく、精度よく仕込むことが可能である。軟化点が250℃以下であるピッチには比較的分子の化合物を多く含有し、従って該ピッチを用いると、活性炭内の細かい細孔まで被着することが可能となる。

上記の複合炭素材料1aを製造するための具体的方法としては、例えば、炭素質材料前駆体から揮発した炭化水素ガスを含む不活性雰囲気中で活性炭を熱処理し、気相で炭素質材料を被着させる方法が挙げられる。また、活性炭と炭素質材料前駆体とを予め混合し熱処理する方法、又は溶媒に溶解させた炭素質材料前駆体を活性炭に塗布して乾燥させた後に熱処理する方法も可能である。

30

【0101】

複合炭素材料1aにおける該炭素質材料の該活性炭に対する質量比率が10質量%以上100質量%以下であるものが好ましい。この質量比率は、好ましくは15質量%以上80質量%以下でありである。炭素質材料の質量比率が10質量%以上であれば、該活性炭が有していたマイクロ孔を該炭素質材料で適度に埋めることができ、リチウムイオンの充放電効率が向上するから、サイクル耐久性が損なわれることがない。また、炭素質材料の質量比率が100質量%以下であれば、複合炭素材料1aの細孔が適度に保持されて比表面積が大きいまま維持される。そのため、リチウムイオンのドーブ量を高めることができる結果から、負極を薄膜化しても高出力密度かつ高耐久性を維持することができる。

40

【0102】

[複合炭素材料2]

複合炭素材料2は、BET比表面積が0.5m²/g以上80m²/g以下の炭素材料1種以上を前記基材として用いた前記複合炭素材料である。該基材は、特に制限されるものではないが、天然黒鉛、人造黒鉛、低結晶黒鉛、ハードカーボン、ソフトカーボン、カーボンブラック等を好適に用いることができる。

【0103】

50

複合炭素材料 2 の B E T 比表面積は、 $1 \text{ m}^2 / \text{g}$ 以上 $50 \text{ m}^2 / \text{g}$ 以下が好ましく、より好ましくは $1.5 \text{ m}^2 / \text{g}$ 以上 $40 \text{ m}^2 / \text{g}$ 以下、さらに好ましくは $2 \text{ m}^2 / \text{g}$ 以上 $25 \text{ m}^2 / \text{g}$ 以下である。この B E T 比表面積が $1 \text{ m}^2 / \text{g}$ 以上であれば、リチウムイオンとの反応場を十分に確保できるため、高い入出力特性を示すことが出来る。他方、 $50 \text{ m}^2 / \text{g}$ 以下であれば、リチウムイオンの充放電効率が向上し、かつ充放電中の非水系電解液の分解反応が抑制されるため、高いサイクル耐久性を示すことが出来る。

【0104】

複合炭素材料 2 の平均粒子径は $1 \mu\text{m}$ 以上 $10 \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。この平均粒子径は、より好ましくは $2 \mu\text{m}$ 以上 $8 \mu\text{m}$ 以下、さらに好ましくは $3 \mu\text{m}$ 以上 $6 \mu\text{m}$ 以下である。平均粒子径が $1 \mu\text{m}$ 以上であれば、リチウムイオンの充放電効率が向上できるため、高いサイクル耐久性を示すことが出来る。他方、 $10 \mu\text{m}$ 以下であれば、複合炭素材料 2 と非水系電解液との反応面積が増加するため、高い入出力特性を示すことができる。

10

【0105】

複合炭素材料 2 における該炭素質材料の該基材に対する質量比率は 1 質量% 以上 30 質量% 以下が好ましい。この質量比率は、より好ましくは 1.2 質量% 以上 25 質量% 以下、さらに好ましくは 1.5 質量% 以上 20 質量% 以下である。炭素質材料の質量比率が質量 1 % 以上であれば、該炭素質材料によりリチウムイオンとの反応サイトを十分に増加でき、かつリチウムイオンの脱溶媒和も容易となるため、高い入出力特性を示すことが出来る。他方、炭素質材料の質量比率が 20 質量% 以下であれば、該炭素質材料と該基材との間のリチウムイオンの固体内拡散を良好に保持できるため、高い入出力特性を示すことが出来る。また、リチウムイオンの充放電効率が向上出来るため、高いサイクル耐久性を示すことが出来る。

20

【0106】

複合炭素材料 2 の単位質量当たりのリチウムイオンのドーブ量は、 $50 \text{ mA h} / \text{g}$ 以上 $700 \text{ mA h} / \text{g}$ 以下であることが好ましい。より好ましくは $70 \text{ mA h} / \text{g}$ 以上 $650 \text{ mA h} / \text{g}$ 以下、さらに好ましくは $90 \text{ mA h} / \text{g}$ 以上 $600 \text{ mA h} / \text{g}$ 以下、特に好ましくは $100 \text{ mA h} / \text{g}$ 以上 $550 \text{ mA h} / \text{g}$ 以下である。

リチウムイオンをドーブすることにより、負極電位が低くなる。従って、リチウムイオンがドーブされた複合炭素材料 2 を含む負極を正極と組み合わせた場合には、非水系リチウム型蓄電素子の電圧が高くなるとともに、正極の利用容量が大きくなる。そのため、得られる非水系リチウム型蓄電素子の容量及びエネルギー密度が高くなる。

30

該ドーブ量が $50 \text{ mA h} / \text{g}$ 以上であれば、複合炭素材料 2 におけるリチウムイオンを一旦挿入したら脱離し得ない不可逆なサイトにもリチウムイオンが良好にドーブされるため、高いエネルギー密度が得られる。ドーブ量が多いほど負極電位が下がり、入出力特性、エネルギー密度、及び耐久性は向上する。

一方で、ドーブ量が $700 \text{ mA h} / \text{g}$ 以下であれば、リチウム金属の析出等の副作用が発生するおそれがない。

【0107】

以下、複合炭素材料 2 の好ましい例として、該基材として黒鉛材料を用いた複合炭素材料 2 a について説明する。

40

【0108】

複合炭素材料 2 a の平均粒子径は $1 \mu\text{m}$ 以上 $10 \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。この平均粒子径は、より好ましくは $2 \mu\text{m}$ 以上 $8 \mu\text{m}$ 以下、さらに好ましくは $3 \mu\text{m}$ 以上 $6 \mu\text{m}$ 以下である。平均粒子径が $1 \mu\text{m}$ 以上であれば、リチウムイオンの充放電効率が向上できるため、高いサイクル耐久性を示すことが出来る。他方、 $10 \mu\text{m}$ 以下であれば、複合炭素材料 2 a と非水系電解液との反応面積が増加するため、高い入出力特性を示すことができる。

【0109】

複合炭素材料 2 a の B E T 比表面積は、 $1 \text{ m}^2 / \text{g}$ 以上 $20 \text{ m}^2 / \text{g}$ 以下であることが

50

好ましい。より好ましくは $1 \text{ m}^2 / \text{g}$ 以上 $15 \text{ m}^2 / \text{g}$ 以下である。この B E T 比表面積が $1 \text{ m}^2 / \text{g}$ 以上であれば、リチウムイオンとの反応場を十分に確保できるため、高い入出力特性を示すことが出来る。他方、 $20 \text{ m}^2 / \text{g}$ 以下であれば、リチウムイオンの充放電効率が向上し、かつ充放電中の非水系電解液の分解反応が抑制されるため、高いサイクル耐久性を示すことが出来る。

【0110】

該基材として用いる前記黒鉛材料としては、得られる複合炭素材料 2 a が所望の特性を発揮する限り、特に制限はない。例えば人造黒鉛、天然黒鉛、黒鉛化メソフェーズカーボン小球体、黒鉛ウイスカ等を使用することができる。該黒鉛材料の平均粒子径は、好ましくは $1 \mu\text{m}$ 以上 $10 \mu\text{m}$ 以下、より好ましくは $2 \mu\text{m}$ 以上 $8 \mu\text{m}$ 以下である。

10

【0111】

上記の複合炭素材料 2 a の原料として用いる炭素質材料前駆体とは、熱処理することにより、黒鉛材料に炭素質材料を複合させることができる、固体、液体、又は溶剤に溶解可能な有機材料である。この炭素質材料前駆体としては、例えば、ピッチ、メソカーボンマイクロビーズ、コークス、合成樹脂（例えばフェノール樹脂等）等を挙げることができる。これらの炭素質材料前駆体の中でも、安価であるピッチを用いることが、製造コスト上好ましい。ピッチは、大別して石油系ピッチと石炭系ピッチとに分けられる。石油系ピッチとしては、例えば原油の蒸留残渣、流動性接触分解残渣（デカントオイル等）、サーマルクラッカーに由来するボトム油、ナフサクラッキングの際に得られるエチレンタル等が例示される。

20

【0112】

複合炭素材料 2 a における該炭素質材料の該黒鉛材料に対する質量比率は 1 質量% 以上 10 質量% 以下が好ましい。この質量比率は、より好ましくは 1.2 質量% 以上 8 質量% 以下、さらに好ましくは 1.5 質量% 以上 6 質量% 以下、特に好ましくは 2 質量% 以上 5 質量% 以下である。炭素質材料の質量比率が 1 質量% 以上であれば、該炭素質材料によりリチウムイオンとの反応サイトを十分に増加でき、かつリチウムイオンの脱溶媒和も容易となるため、高い入出力特性を示すことが出来る。他方、炭素質材料の質量比率が 20 質量% 以下であれば、該炭素質材料と該黒鉛材料との間のリチウムイオンの固体内拡散を良好に保持できるため、高い入出力特性を示すことが出来る。また、リチウムイオンの充放電効率が向上出来るため、高いサイクル耐久性を示すことが出来る。

30

【0113】

本発明における負極活物質層は、必要に応じて、負極活物質の他に、導電性フィラー、結着剤、分散安定剤等の任意成分を含んでもよい。

導電性フィラーの種類は特に制限されるものではないが、例えば、アセチレンブラック、ケッチェンブラック、気相成長炭素繊維等が例示される。導電性フィラーの使用量は、負極活物質 100 質量部に対して、好ましくは 0 質量部以上 30 質量部以下である。より好ましくは 0 質量部以上 20 質量部以下、さらに好ましくは 0 質量部以上 15 質量部以下である。

【0114】

結着剤としては、特に制限されるものではないが、例えば P V d F（ポリフッ化ビニリデン）、P T F E（ポリテトラフルオロエチレン）、ポリイミド、ラテックス、スチレンーブタジエン共重合体、フッ素ゴム、アクリル共重合体等を用いることができる。結着剤の使用量は、負極活物質 100 質量部に対して、好ましくは 1 質量部以上 30 質量部以下である。より好ましくは 2 質量部以上 27 質量部以下、さらに好ましくは 3 質量部以上 25 質量部以下である。結着剤の量が 1 質量部以上であれば、十分な電極強度が発現される。一方で結着剤の量が 30 質量部以下であれば、負極活物質へのリチウムイオンの出入りを阻害せず、高い入出力特性が発現される。

40

【0115】

分散安定剤としては、特に制限されるものではないが、例えば P V P（ポリビニルピロリドン）、P V A（ポリビニルアルコール）、セルロース誘導体等を用いることができる

50

。分散安定剤の使用量は、負極活物質 100 質量部に対して、好ましくは 0 質量部以上 10 質量部以下である。分散安定剤の量が 10 質量部以下であれば、負極活物質へのリチウムイオンの出入りを阻害せず、高い入出力特性が発現される。

【0116】

〔負極集電体〕

本発明における負極集電体を構成する材料としては、電子伝導性が高く、非水系電解液への溶出及び電解質又はイオンとの反応等による劣化がおこらない金属箔であることが好ましい。このような金属箔としては、特に制限はなく、例えば、アルミニウム箔、銅箔、ニッケル箔、ステンレス鋼箔等が挙げられる。本実施の形態の非水系リチウム型蓄電素子における負極集電体としては、銅箔が好ましい。

該金属箔は凹凸や貫通孔を持たない通常の金属箔でもよいし、エンボス加工、ケミカルエッチング、電解析出法、ブラスト加工等を施した凹凸を有する金属箔でもよいし、エキスパンドメタル、パンチングメタル、エッチング箔等の貫通孔を有する金属箔でもよい。電極作製の容易性の観点から、貫通孔を持たない金属箔であることがより好ましい。

負極集電体の厚みは、負極の形状及び強度を十分に保持できれば特に制限はないが、例えば、1～100 μm が好ましい。なお、負極集電体が孔又は凹凸を有するときには、孔又は凹凸が存在しない部分に基づいて負極集電体の厚みを測定するものとする。

【0117】

〔負極の製造〕

負極は、負極集電体の片面上又は両面上に負極活物質層を有して成る。典型的な態様において負極活物質層は負極集電体に固着している。

負極は、既知のリチウムイオン電池、電気二重層キャパシタ等における電極の製造技術によって製造することが可能である。例えば、負極活物質を含む各種材料を水又は有機溶剤中に分散又は溶解してスラリー状の塗工液を調製し、この塗工液を負極集電体上の片面又は両面に塗工して塗膜を形成し、これを乾燥することにより負極を得ることが出来る。さらに得られた負極にプレスを施して、負極活物質層の膜厚や嵩密度を調整してもよい。或いは、溶剤を使用せずに、負極活物質を含む各種材料を乾式で混合し、得られた混合物をプレス成型した後、導電性接着剤を用いて負極集電体に貼り付ける方法も可能である。

【0118】

塗工液の調整は、負極活物質を含む各種材料粉末の一部若しくは全部をドライブレンドし、次いで水又は有機溶媒、及び／又はそれらに結着剤や分散安定剤が溶解又は分散した液状又はスラリー状の物質を追加して調整してもよい。また、水又は有機溶媒に結着剤や分散安定剤が溶解又は分散した液状又はスラリー状の物質の中に、負極活物質を含む各種材料粉末を追加して調整してもよい。前記塗工液の調整に特に制限されるものではないが、好適にはホモディスパーや多軸分散機、プラネタリーミキサー、薄膜旋回型高速ミキサー等の分散機等を用いることが出来る。良好な分散状態の塗工液を得るためには、周速 1 m/s 以上 50 m/s 以下で分散することが好ましい。周速 1 m/s 以上であれば、各種材料が良好に溶解又は分散するため好ましい。また、50 m/s 以下であれば、分散による熱やせん断力により各種材料が破壊されることなく、再凝集が生じることがないため好ましい。

【0119】

前記塗工液の粘度 (ηb) は、1,000 mPa $\cdot$ s 以上 20,000 mPa $\cdot$ s 以下が好ましい。より好ましくは 1,500 mPa $\cdot$ s 以上 10,000 mPa $\cdot$ s 以下、さらに好ましくは 1,700 mPa $\cdot$ s 以上 5,000 mPa $\cdot$ s 以下である。粘度 (ηb) が 1,000 mPa $\cdot$ s 以上であれば、塗膜形成時の液ダレが抑制され、塗膜幅及び膜厚が良好に制御できる。また、20,000 mPa $\cdot$ s 以下であれば、塗工機を用いた際の塗工液の流路における圧力損失が少なく安定に塗工でき、また所望の塗膜厚み以下に制御できる。

また、該塗工液の T I 値 (チクソトロピーインデックス値) は、1.1 以上が好ましい。より好ましくは 1.2 以上、さらに好ましくは 1.5 以上である。T I 値が 1.1 以上

10

20

30

40

50

であれば、塗膜幅及び膜厚が良好に制御できる。

【0120】

前記塗膜の形成は特に制限されるものではないが、好適にはダイコーターやコンマコーター、ナイフコーター、グラビア塗工機等の塗工機を用いることが出来る。塗膜は単層塗工で形成してもよいし、多層塗工して形成してもよい。また、塗工速度は0.1m/分以上100m/分以下であることが好ましい。より好ましくは0.5m/分以上70m/分以下、さらに好ましくは1m/分以上50m/分以下である。塗工速度が0.1m/分以上であれば、安定に塗工出来る。他方、100m/分以下であれば、塗工精度を十分に確保できる。

【0121】

前記塗膜の乾燥は特に制限されるものではないが、好適には熱風乾燥や赤外線（IR）乾燥等の乾燥方法を用いることが出来る。塗膜の乾燥は、単一の温度で乾燥させても良いし、多段的に温度を変えて乾燥させても良い。また、複数の乾燥方法を組み合わせて乾燥させてもよい。乾燥温度は、25℃以上200℃以下であることが好ましい。より好ましくは40℃以上180℃以下、さらに好ましくは50℃以上160℃以下である。乾燥温度が25℃以上であれば、塗膜中の溶媒を十分に揮発させることが出来る。他方、200℃以下であれば、急激な溶媒の揮発による塗膜のヒビ割れやマイグレーションによる結着剤の偏在、負極集電体や負極活物質層の酸化を抑制できる。

【0122】

前記負極のプレスは特に制限されるものではないが、好適には油圧プレス機、真空プレス機等のプレス機を用いることが出来る。負極活物質層の膜厚、嵩密度及び電極強度は後述するプレス圧力、隙間、プレス部の表面温度により調整できる。プレス圧力は0.5kN/cm以上20kN/cm以下が好ましい。より好ましくは1kN/cm以上10kN/cm以下、さらに好ましくは2kN/cm以上7kN/cm以下である。プレス圧力が0.5kN/cm以上であれば、電極強度を十分に高くできる。他方、20kN/cm以下であれば、負極に撓みやシワが生じることがなく、所望の負極活物質層膜厚や嵩密度に調整できる。また、プレスロール同士の隙間は所望の負極活物質層の膜厚や嵩密度となるように乾燥後の負極膜厚に応じて任意の値を設定できる。さらに、プレス速度は負極に撓みやシワが生じない任意の速度に設定できる。また、プレス部の表面温度は室温でもよいし、必要により加熱してもよい。加熱する場合のプレス部の表面温度の下限は、使用する結着剤の融点マイナス60℃以上が好ましく、より好ましくは45℃以上、さらに好ましくは30℃以上である。他方、加熱する場合のプレス部の表面温度の上限は、使用する結着剤の融点プラス50℃以下が好ましく、より好ましくは30℃以下、さらに好ましくは20℃以下である。例えば、結着剤にPVdF（ポリフッ化ビニリデン：融点150℃）を用いた場合、90℃以上200℃以下に加熱することが好ましい。より好ましくは105℃以上180℃以下、さらに好ましくは120℃以上170℃以下に加熱することである。また、結着剤にスチレンーブタジエン共重合体（融点100℃）を用いた場合、40℃以上150℃以下に加熱することが好ましい。より好ましくは55℃以上130℃以下、さらに好ましくは70℃以上120℃以下に加熱することである。

【0123】

結着剤の融点は、DSC（Differential Scanning Calorimetry、示差走査熱量分析）の吸熱ピーク位置で求めることができる。例えば、パーキンエルマー社製の示差走査熱量計「DSC7」を用いて、試料樹脂10mgを測定セルにセットし、窒素ガス雰囲気中で、温度30℃から10℃/分の昇温速度で250℃まで昇温し、昇温過程における吸熱ピーク温度が融点となる。また、プレス圧力、隙間、速度、プレス部の表面温度の条件を変えながら複数回プレスを実施してもよい。

【0124】

[測定項]

本発明におけるBET比表面積及び平均細孔径、メソ孔量、マイクロ孔量は、それぞれ

10

20

30

40

50

以下の方法によって求められる値である。試料を200℃で一昼夜真空乾燥し、窒素を吸着質として吸脱着の等温線の測定を行なう。ここで得られる吸着側の等温線を用いて、BET比表面積はBET多点法又はBET1点法により、平均細孔径は質量当たりの全細孔容積をBET比表面積で除すことにより、メソ孔量はBJH法により、マイクロ孔量はMP法により、それぞれ算出される。

BJH法は一般的にメソ孔の解析に用いられる計算方法で、Barrett, Joyner, Halendaらにより提唱されたものである（非特許文献1）。

また、MP法とは、「t-プロット法」（非特許文献2）を利用して、マイクロ孔容積、マイクロ孔面積、及びマイクロ孔の分布を求める方法を意味し、R. S. Mikhail, Brunauer, Bodorにより考案された方法である（非特許文献3）。

10

【0125】

本発明における平均粒子径は、粒度分布測定装置を用いて粒度分布を測定した際、全体積を100%として累積カーブを求めたとき、その累積カーブが50%となる点の粒子径（すなわち、50%径（Median径））を指す。この平均粒子径は市販のレーザー回折式粒度分布測定装置を用いて測定することができる。

【0126】

本発明における出荷時及び使用後の非水系リチウム型蓄電素子における負極活物質のリチウムイオンのドーブ量は、例えば、以下のようにして知ることができる。

先ず、本実施形態における負極活物質層をエチルメチルカーボネート又はジメチルカーボネートで洗浄し風乾した後、メタノール及びイソプロパノールから成る混合溶媒により抽出した抽出液と、抽出後の負極活物質層と、を得る。この抽出は、典型的にはArボックス内にて、環境温度23℃で行われる。

20

上記のようにして得られた抽出液と、抽出後の負極活物質層と、に含まれるリチウム量を、それぞれ、例えばICP-MS（誘導結合プラズマ質量分析計）等を用いて定量し、その合計を求めることによって、負極活物質におけるリチウムイオンのドーブ量を知ることができる。そして、得られた値を抽出に供した負極活物質質量で割り付けて、上記単位の数値を算出すればよい。

【0127】

本発明における1次粒子径は、粉体を電子顕微鏡で数視野撮影し、それらの視野中の粒子の粒子径を、全自動画像処理装置等を用いて2,000~3,000個程度計測し、これらを算術平均した値を1次粒子径とする方法により得ることができる。

30

【0128】

本明細書中、分散度は、JIS K5600に規定された粒ゲージによる分散度評価試験により求められる値である。すなわち、粒のサイズに応じた所望の深さの溝を有する粒ゲージに対して、溝の深い方の先端に十分な量の試料を流し込み、溝から僅かに溢れさせる。次いで、スクレーパーの長辺がゲージの幅方向と平行になり、粒ゲージの溝の深い先端に刃先が接触するように置き、スクレーパーをゲージの表面になるように保持しながら、溝の長辺方向に対して直角に、ゲージの表面を均等な速度で、溝の深さ0まで1~2秒間かけて引き、引き終わってから3秒以内に20°以上30°以下の角度で光を当てて観察し、粒ゲージの溝に粒が現れる深さを読み取る。

40

【0129】

本発明における粘度（ η_b ）及びTI値は、それぞれ以下の方法により求められる値である。まず、E型粘度計を用いて温度25℃、ずり速度 2 s^{-1} の条件で2分以上測定した後の安定した粘度（ η_a ）を取得する。次いで、ずり速度を 20 s^{-1} に変更した他は上記と同様の条件で測定した粘度（ η_b ）を取得する。上記で得た粘度の値を用いてTI値は $\text{TI値} = \eta_a / \eta_b$ の式により算出される。ずり速度を 2 s^{-1} から 20 s^{-1} へ上昇させる際は、1段階で上昇させても良いし、上記の範囲で多段的にずり速度を上昇させ、適宜そのずり速度における粘度を取得しながら上昇させてもよい。

【0130】

負極活物質層の膜厚は、片面当たり、5 μm 以上100 μm 以下が好ましい。該負極活

50

物質層の膜厚の下限は、さらに好ましくは $7\text{ }\mu\text{m}$ 以上であり、より好ましくは $10\text{ }\mu\text{m}$ 以上である。該負極活物質層の膜厚の上限は、さらに好ましくは $80\text{ }\mu\text{m}$ 以下であり、より好ましくは $60\text{ }\mu\text{m}$ 以下である。この膜厚が $5\text{ }\mu\text{m}$ 以上であれば、負極活物質層を塗工した際にスジ等が発生せず塗工性に優れる。他方、この膜厚が $100\text{ }\mu\text{m}$ 以下であれば、セル体積を縮小することによって高いエネルギー密度を発現できる。なお、集電体が貫通孔や凹凸を有する場合における負極活物質層の膜厚とは、集電体の貫通孔や凹凸を有していない部分の片面当たりの膜厚の平均値をいう。

【0131】

負極活物質層の嵩密度は、好ましくは 0.30 g/cm^3 以上 1.8 g/cm^3 以下であり、より好ましくは 0.40 g/cm^3 以上 1.5 g/cm^3 以下、さらに好ましくは 0.45 g/cm^3 以上 1.3 g/cm^3 以下である。嵩密度が 0.30 g/cm^3 以上であれば、十分な強度を保つことができるとともに、負極活物質間の十分な導電性を発現することができる。また、 1.8 g/cm^3 以下であれば、負極活物質層内でイオンが十分に拡散できる空孔が確保できる。

【0132】

[電解液]

本実施形態の電解液は、非水系電解液である。すなわち、この電解液は、後述する非水溶媒を含む。非水系電解液は、該非水系電解液の総量を基準として、 1.7 mol/L 以上 6.5 mol/L 以下のリチウム塩濃度である。すなわち、非水系電解液は、リチウムイオンを電解質として含む。ここで、前記非水系電解液中のリチウム塩とは、蓄電素子の作製工程において投入する電解液中にあらかじめ含有されていたものとする。

該リチウム塩は、前記正極中に含まれるリチウム化合物とは異なるものであり、正極中に含まれるリチウム化合物が電解液中に溶出したものは、本発明における該非水系電解液中のリチウム塩とみなさないものとする。

【0133】

[リチウム塩]

本実施形態の非水系電解液は、リチウム塩として、例えば、 $\text{LiN}(\text{SO}_2\text{F})_2$ 、 $\text{LiN}(\text{SO}_2\text{CF}_3)_2$ 、 $\text{LiN}(\text{SO}_2\text{C}_2\text{F}_5)_2$ 、 $\text{LiN}(\text{SO}_2\text{CF}_3)(\text{SO}_2\text{C}_2\text{F}_5)$ 、 $\text{LiN}(\text{SO}_2\text{CF}_3)(\text{SO}_2\text{C}_2\text{F}_4\text{H})$ 、 $\text{LiC}(\text{SO}_2\text{F})_3$ 、 $\text{LiC}(\text{SO}_2\text{CF}_3)_3$ 、 $\text{LiC}(\text{SO}_2\text{C}_2\text{F}_5)_3$ 、 LiCF_3SO_3 、 $\text{LiC}_4\text{F}_9\text{SO}_3$ 、 LiPF_6 、 LiBF_4 等を単独で用いることができ、2種以上を混合して用いてもよい。高い伝導度を発現できることから、 LiPF_6 及び／又は $\text{LiN}(\text{SO}_2\text{F})_2$ を含むことが好ましい。

非水系電解液中のリチウム塩濃度は、該非水系電解液の総量を基準として、 2.2 mol/L 以上 6.0 mol/L 以下であることがより好ましく、 2.7 mol/L 以上 5.5 mol/L 以下の範囲であることがさらに好ましい。リチウム塩濃度が 2.7 mol/L 以上であれば、前記リチウム化合物を含む正極前駆体と負極との間に電圧を印加してリチウムをドーピングする際に、負極界面付近のLiイオン濃度が高い状態を保つことが可能となるため、負極へのリチウムドーピング量を高めることができる。結果として、電池の高容量化が実現できる。また、リチウム塩濃度が 6.5 mol/L 以下である場合、未溶解のリチウム塩が非水系電解液中に析出すること、及び電解液の粘度が高くなり過ぎることを防止でき、伝導度が低下せず、出力特性も低下しないため好ましい。

【0134】

本実施形態の非水系電解液は、 $\text{LiN}(\text{SO}_2\text{F})_2$ を含むことが好ましい。 1.5 mol/L 以上含むことが好ましく、 2.0 mol/L 以上含むことがさらに好ましい。 $\text{LiN}(\text{SO}_2\text{F})_2$ が 1.5 mol/L 以上であれば、電解液のイオン伝導度を高めるとともに、負極界面に電解質被膜が適量堆積し、これにより電解液が分解することによるガスを低減することができる。

【0135】

[非水溶媒]

10

20

30

40

50

本実施形態の非水系電解液は、非水溶媒として、好ましくは、環状カーボネートを含有する。非水系電解液が環状カーボネートを含有することは、所望の濃度のリチウム塩を溶解させる点、及び正極活物質層にリチウム化合物を適量堆積させる点で有利である。環状カーボネートとしては、例えば、エチレンカーボネート、プロピレンカーボネート、ブチレンカーボネート、ビニレンカーボネート、フルオロエチレンカーボネート等が挙げられる。

環状カーボネートの合計含有量は、非水系電解液の総量基準で、好ましくは15質量%以上、より好ましくは20質量%以上である。上記合計含有量が15質量%以上であれば、所望の濃度のリチウム塩を溶解させることが可能となり、高いリチウムイオン伝導度を発現することができる。さらに正極活物質層にリチウム化合物を適量堆積させることが可能となり、電解液の酸化分解を抑制することができる。

10

【0136】

本実施形態の非水系電解液は、非水溶媒として、好ましくは、鎖状カーボネートを含有する。非水系電解液が鎖状カーボネートを含有することは、高いリチウムイオン伝導度を発現する点で有利である。鎖状カーボネートとしては、ジメチルカーボネート、ジエチルカーボネート、メチルエチルカーボネート、ジプロピルカーボネート、ジブチルカーボネート等に代表されるジアルキルカーボネート化合物が挙げられる。ジアルキルカーボネート化合物は典型的には非置換である。

鎖状カーボネートの合計含有量は、非水系電解液の総量基準で、好ましくは30質量%以上、より好ましくは35質量%以上であり、好ましくは95質量%以下、より好ましくは90質量%以下である。上記鎖状カーボネートの含有量が30質量%以上であれば、電解液の低粘度化が可能であり、高いリチウムイオン伝導度を発現することができる。上記合計濃度が95質量%以下であれば、電解液が、後述する添加剤をさらに含有することができる。

20

【0137】

[添加剤]

本実施形態の非水系電解液は、更に添加剤を含有していてもよい。添加剤としては、特に制限されないが、例えば、スルトン化合物、環状ホスファゼン、非環状含フッ素エーテル、含フッ素環状カーボネート、環状炭酸エステル、環状カルボン酸エステル、及び環状酸無水物等を単独で用いることができ、また、2種以上を混合して用いてもよい。

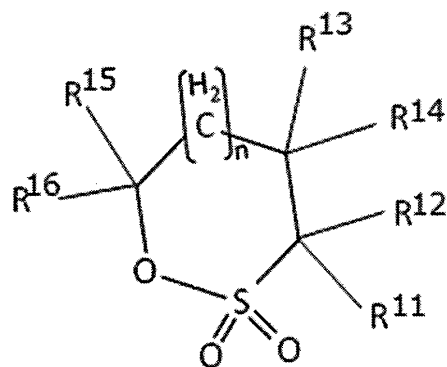
30

【0138】

[スルトン化合物]

前記スルトン化合物としては、例えば、下記一般式(4)～(6)で表されるスルトン化合物を挙げることができる。これらのスルトン化合物は、単独で用いてもよく、又は2種以上を混合して用いてもよい。

【化7】



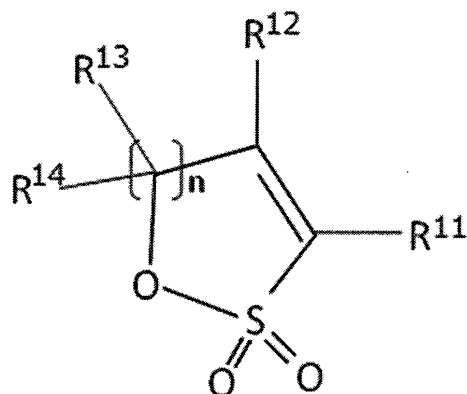
(4)

40

50

{式(4)中、 $R^{11} \sim R^{16}$ は、水素原子、ハロゲン原子、炭素数1～12のアルキル基、又は炭素数1～12のハロゲン化アルキル基を表し、互いに同一であっても異なっているいてもよく；そしてnは0～3の整数である。}

【化8】



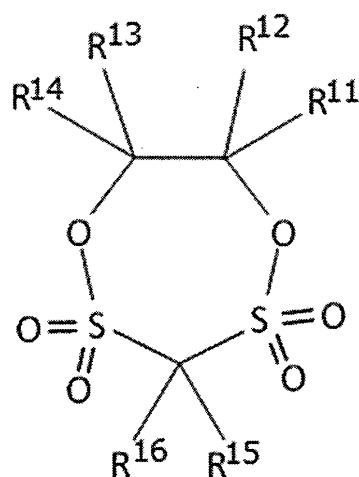
(5)

10

{式(5)中、 $R^{11} \sim R^{14}$ は、水素原子、ハロゲン原子、炭素数1～12のアルキル基、又は炭素数1～12のハロゲン化アルキル基を表し、互いに同一であっても異なっているいてもよく；そしてnは0～3の整数である。}

20

【化9】



(6)

30

{式(6)中、 $R^{11} \sim R^{16}$ は、水素原子、ハロゲン原子、炭素数1～12のアルキル基、又は炭素数1～12のハロゲン化アルキル基を表し、互いに同一であっても異なっているいてもよい。}

40

【0139】

本実施形態では、抵抗への悪影響の少なさの観点、及び非水系電解液の高温における分解を抑制してガス発生を抑えるという観点から、一般式(4)で表されるスルトン化合物としては、1, 3-プロパンスルトン、2, 4-ブタンスルトン、1, 4-ブタンスルトン、1, 3-ブタンスルトン又は2, 4-ペンタンスルトンが好ましく、一般式(5)で表されるスルトン化合物としては、1, 3-プロペンスルトン又は1, 4-ブテンスルトンが好ましく、一般式(6)で表されるスルトン化合物としては、1, 5, 2, 4-ジオキサジチエパン2, 2, 4, 4-テトラオキシドが好ましく、その他のスルトン化合物としては、メチレンビス(ベンゼンスルホン酸)、メチレンビス(フェニルメタンスルホン

50

酸)、メチレンビス(エタンスルホン酸)、メチレンビス(2, 4, 6, トリメチルベンゼンスルホン酸)、及びメチレンビス(2-トリフルオロメチルベンゼンスルホン酸)を挙げることができ、これらのうちから選択される少なくとも1種以上を選択することが好ましい。

【0140】

本実施形態における非水系リチウム型蓄電素子の非水系電解液中のスルホン化合物の総含有量は、非水系電解液の総量を基準として、0.5質量%以上15質量%以下であることが好ましい。非水系電解液中のスルホン化合物の総含有量が0.5質量%以上であれば、高温における電解液の分解を抑制してガス発生を抑えることが可能となる。一方で、この総含有量が15質量%以下であれば、電解液のイオン伝導度の低下を抑えることができ、高い入出力特性を保持することができる。また、非水系リチウム型蓄電素子の非水系電解液に存在するスルホン化合物の含有量は、高い入出力特性と耐久性を両立する観点から、好ましくは1質量%以上10質量%以下であり、より好ましくは3質量%以上8質量%以下である。

10

【0141】

[環状ホスファゼン]

前記環状ホスファゼンとしては、例えばエトキシペンタフルオロシクロトリホスファゼン、ジエトキシテトラフルオロシクロトリホスファゼン、フェノキシペンタフルオロシクロトリホスファゼン等を挙げることができ、これらのうちから選択される1種以上が好ましい。

20

【0142】

非水系電解液中の環状ホスファゼンの含有率は、該非水系電解液の総量を基準として、0.5質量%以上20質量%以下であることが好ましい。この値が0.5重量%以上であれば、高温における電解液の分解を抑制してガス発生を抑えることが可能となる。他方、この値が20質量%以下であれば、電解液のイオン伝導度の低下を抑えることができ、高い入出力特性を保持することができる。環状ホスファゼンの含有率は、より好ましくは2質量%以上15質量%以下であり、更に好ましくは4質量%以上12質量%以下である。尚、これらの環状ホスファゼンは、単独で用いてもよく、又は2種以上を混合して用いてもよい。

【0143】

[非環状含フッ素エーテル]

非環状含フッ素エーテルとしては、例えば、 $\text{HCF}_2\text{CF}_2\text{OCH}_2\text{CF}_2\text{CF}_2\text{H}$ 、 $\text{CF}_3\text{CFHCF}_2\text{OCH}_2\text{CF}_2\text{CF}_2\text{H}$ 、 $\text{HCF}_2\text{CF}_2\text{CH}_2\text{OCH}_2\text{CF}_2\text{CF}_2\text{H}$ 、 $\text{CF}_3\text{CFHCF}_2\text{OCH}_2\text{CF}_2\text{CFHCF}_3$ 等が挙げられ、中でも、電気化学的安定性の観点から、 $\text{HCF}_2\text{CF}_2\text{OCH}_2\text{CF}_2\text{CF}_2\text{H}$ が好ましい。

30

【0144】

非環状含フッ素エーテルの含有量は、該非水系電解液の総量を基準として、0.5質量%以上15質量%以下が好ましく、1質量%以上10質量%以下であることが更に好ましい。非環状含フッ素エーテルの含有量が0.5質量%以上であれば、非水系電解液の酸化分解に対する安定性が高まり、高温時耐久性が高い蓄電素子が得られる。他方、非環状含フッ素エーテルの含有量が15質量%以下であれば、電解質塩の溶解度が良好に保たれ、かつ、非水系電解液のイオン伝導度を高く維持することができるため、高度の入出力特性を発現することが可能となる。尚、非環状含フッ素エーテルは、単独で使用しても、2種以上を混合して使用してもよい。

40

【0145】

[含フッ素環状カーボネート]

含フッ素環状カーボネートについては、他の非水溶媒との相溶性の観点から、フルオロエチレンカーボネート(FEC)及びジフルオロエチレンカーボネート(dFEC)から選択して使用されることが好ましい。

フッ素原子を含有する環状カーボネートの含有量は、該非水系電解液の総量を基準とし

50

て、0.5質量%以上10質量%以下が好ましく、1質量%以上5質量%以下であることがより好ましい。フッ素原子を含有する環状カーボネートの含有量が0.5質量%以上であれば、負極上に良質な被膜を形成することができ、負極上における電解液の還元分解を抑制することによって、高温における耐久性が高い蓄電素子が得られる。他方、フッ素原子を含有する環状カーボネートの含有量が10質量%以下であれば、電解質塩の溶解度が良好に保たれ、かつ、非水系電解液のイオン伝導度を高く維持することができるため、高度の入出力特性を発現することが可能となる。尚、上記のフッ素原子を含有する環状カーボネートは、単独で使用しても、2種以上を混合して使用してもよい。

【0146】

[環状炭酸エステル]

環状炭酸エステルについては、ビニレンカーボネートが好ましい。

環状炭酸エステルの含有量は、該非水系電解液の総量を基準として、0.5質量%以上10質量%以下が好ましく、1質量%以上5質量%以下であることが更に好ましい。環状炭酸エステルの含有量が0.5質量%以上であれば、負極上の良質な被膜を形成することができ、負極上での電解液の還元分解を抑制することにより、高温における耐久性が高い蓄電素子が得られる。他方、環状炭酸エステルの含有量が10質量%以下であれば、電解質塩の溶解度が良好に保たれ、かつ、非水系電解液のイオン伝導度を高く維持することができるため、高度の入出力特性を発現することが可能となる。

【0147】

[環状カルボン酸エステル]

環状カルボン酸エステルとしては、例えば、ガンマブチロラクトン、ガンマバレロラクトン、ガンマカプロラクトン、イプシロンカプロラクトン等を挙げることができ、これらのうちから選択される1種以上を使用することが好ましい。中でも、ガンマブチロラクトンが、リチウムイオン解離度の向上に由来する電池特性向上の点から、特に好ましい。

環状カルボン酸エステルの含有量は、該非水系電解液の総量を基準として、0.5質量%以上15質量%以下が好ましく、1質量%以上5質量%以下であることがより好ましい。環状酸無水物の含有量が0.5質量%以上であれば、負極上の良質な被膜を形成することができ、負極上での電解液の還元分解を抑制することにより、高温時耐久性が高い蓄電素子が得られる。他方、環状カルボン酸エステルの含有量が5質量%以下であれば、電解質塩の溶解度が良好に保たれ、かつ、非水系電解液のイオン伝導度を高く維持することができるため、高度の入出力特性を発現することが可能となる。尚、上記の環状カルボン酸エステルは、単独で使用しても、2種以上を混合して使用してもよい。

【0148】

[環状酸無水物]

環状酸無水物については、無水コハク酸、無水マレイン酸、無水シトラコン酸、及び無水イタコン酸から選択される1種以上が好ましい。中でも工業的な入手のし易さによって電解液の製造コストが抑えられる点、非水系電解液中に溶解し易い点等から、無水コハク酸及び無水マレイン酸から選択することが好ましい。

環状酸無水物の含有量は、該非水系電解液の総量を基準として、0.5質量%以上15質量%以下が好ましく、1質量%以上10質量%以下であることがより好ましい。環状酸無水物の含有量が0.5質量%以上であれば、負極上に良質な被膜を形成することができ、負極上における電解液の還元分解を抑制することにより、高温時耐久性が高い蓄電素子が得られる。他方、環状酸無水物の含有量が10質量%以下であれば、電解質塩の溶解度が良好に保たれ、かつ非水系電解液のイオン伝導度を高く維持することができ、従って高度の入出力特性を発現することが可能となる。尚、上記の環状酸無水物は、単独で使用しても、2種以上を混合して使用してもよい。

【0149】

[セパレータ]

正極前駆体及び負極は、セパレータを介して積層又は捲回され、正極前駆体、負極及びセパレータを有する電極積層体または電極捲回体が形成される。

10

20

30

40

50

前記セパレータとしては、リチウムイオン二次電池に用いられるポリエチレン製の微多孔膜若しくはポリプロピレン製の微多孔膜、又は電気二重層キャパシタで用いられるセルロース製の不織紙等を用いることができる。これらのセパレータの片面または両面に、有機または無機の微粒子からなる膜が積層されていてもよい。また、セパレータの内部に有機または無機の微粒子が含まれていてもよい。

セパレータの厚みは $5\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $35\text{ }\mu\text{m}$ 以下が好ましい。 $5\text{ }\mu\text{m}$ 以上の厚みとすることにより、内部のマイクロショートによる自己放電が小さくなる傾向があるため好ましい。他方、 $35\text{ }\mu\text{m}$ 以下の厚みとすることにより、非水系リチウム型蓄電素子の入出力特性が高くなる傾向があるため好ましい。

また、有機または無機の微粒子からなる膜は、 $1\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $10\text{ }\mu\text{m}$ 以下が好ましい。 $1\text{ }\mu\text{m}$ 以上の厚みとすることにより、内部のマイクロショートによる自己放電が小さくなる傾向があるため好ましい。他方、 $10\text{ }\mu\text{m}$ 以下の厚みとすることにより、非水系リチウム型蓄電素子の入出力特性が高くなる傾向があるため好ましい。

【0150】

[非水系リチウム型蓄電素子]

本実施形態の非水系リチウム型蓄電素子は、後述する電極積層体又は電極捲回体が、前記非水系電解液とともに前記外装体内に収納されて構成される。

【0151】

[組立]

セル組み立て工程で得られる電極積層体は、枚葉の形状にカットした正極前駆体と負極を、セパレータを介して積層して成る積層体に、正極端子と負極端子を接続したものである。また、電極捲回体は、正極前駆体と負極を、セパレータを介して捲回して成る捲回体に正極端子及び負極端子を接続したものである。電極捲回体の形状は円筒型であっても、扁平型であってもよい。

正極端子と負極端子の接続の方法は特に限定はしないが、抵抗溶接や超音波溶接などの方法で行う。

【0152】

[外装体]

外装体としては、金属缶、ラミネート包材等を使用できる。

金属缶としては、アルミニウム製のものが好ましい。

ラミネート包材としては、金属箔と樹脂フィルムとを積層したフィルムが好ましく、外層樹脂フィルム／金属箔／内装樹脂フィルムから成る3層構成のものが例示される。外層樹脂フィルムは、接触等により金属箔が損傷を受けることを防止するためのものであり、ナイロン又はポリエステル等の樹脂が好適に使用できる。金属箔は水分及びガスの透過を防ぐためのものであり、銅、アルミニウム、ステンレス等の箔が好適に使用できる。また、内装樹脂フィルムは、内部に収納する非水系電解液から金属箔を保護するとともに、外装体のヒートシール時に溶融封口させるためのものであり、ポリオレフィン、酸変成ポリオレフィン等が好適に使用できる。

【0153】

[外装体への収納]

乾燥した電極積層体又は電極捲回体は、金属缶やラミネート包材に代表される外装体の中に収納し、開口部を1方だけ残した状態で封止することが好ましい。外装体の封止方法は特に限定しないが、ラミネート包材を用いる場合は、ヒートシールやインパルスシールなどの方法を用いる。

【0154】

[乾燥]

外装体へ収納した電極積層体又は電極捲回体は、乾燥することで残存溶媒を除去することが好ましい。乾燥方法に限定はないが、真空乾燥などにより乾燥する。残存溶媒は、正極活物質層又は負極活物質層の質量あたり、 1.5 質量%以下が好ましい。残存溶媒が 1.5 質量%より多いと、系内に溶媒が残存し、自己放電特性やサイクル特性を悪化させる

ため、好ましくない。

【0155】

〔注液、含浸、封止工程〕

組立工程の終了後に、外装体の中に収納された電極積層体又は電極捲回体に、非水系電解液を注液する。注液工程の終了後に、更に、含浸を行い、正極、負極、及びセパレータを非水系電解液で十分に浸すことが望ましい。正極、負極、及びセパレータのうちの少なくとも一部に非水系電解液が浸っていない状態では、後述するリチウムドープ工程において、ドープが不均一に進むため、得られる非水系リチウム型蓄電素子の抵抗が上昇したり、耐久性が低下したりする。上記含浸の方法としては、特に制限されないが、例えば、注液後の電極積層体又は電極捲回体を、外装体が開口した状態で、減圧チャンバーに設置し、真空ポンプを用いてチャンバー内を減圧状態にし、再度大気圧に戻す方法等を用いることができる。含浸工程終了後には、外装体が開口した状態の電極積層体又は電極捲回体を減圧しながら封止することで密閉する。

10

【0156】

〔リチウムドープ工程〕

リチウムドープ工程において、好ましい工程としては、前記正極前駆体と負極との間に電圧を印加して前記リチウム化合物を分解することにより、正極前駆体中のリチウム化合物を分解してリチウムイオンを放出し、負極でリチウムイオンを還元することにより負極活物質層にリチウムイオンがブレドープされる。

20

このリチウムドープ工程において、正極前駆体中のリチウム化合物の酸化分解に伴い、 CO_2 等のガスが発生する。そのため、電圧を印加する際には、発生したガスを外装体の外部に放出する手段を講ずることが好ましい。この手段としては、例えば、外装体の一部を開口させた状態で電圧を印加する方法；前記外装体の一部に予めガス抜き弁、ガス透過フィルム等の適宜のガス放出手段を設置した状態で電圧を印加する方法；等を挙げることができる。

【0157】

〔エージング工程〕

リチウムドープ工程の終了後に、電極積層体又は電極捲回体にエージングを行うことが好ましい。エージング工程において非水系電解液中の溶媒が負極で分解し、負極表面にリチウムイオン透過性の固体高分子被膜が形成される。

30

上記エージングの方法としては、特に制限されないが、例えば、高温環境下で非水系電解液中の溶媒を反応させる方法等を用いることができる。

【0158】

〔ガス抜き工程〕

エージング工程の終了後に、更にガス抜きを行い、非水系電解液、正極、及び負極中に残存しているガスを確実に除去することが好ましい。非水系電解液、正極、及び負極の少なくとも一部にガスが残存している状態では、イオン伝導が阻害されるため、得られる非水系リチウム型蓄電素子の抵抗が上昇してしまう。

上記ガス抜きの方法としては、特に制限されないが、例えば、前記外装体を開口した状態で電極積層体又は電極捲回体を減圧チャンバーに設置し、真空ポンプを用いてチャンバー内を減圧状態にする方法等を用いることができる。

40

【0159】

〔非水系リチウム型蓄電素子の特性評価〕

〔静電容量〕

本明細書中、静電容量 F (F) とは、以下の方法によって得られる値である：

先ず、非水系リチウム型蓄電素子と対応するセルを 25°C に設定した恒温槽内で、 20C の電流値で 3.8V に到達するまで定電流充電を行い、次いで、 3.8V の定電圧を印加する定電圧充電を合計で 30 分行う。その後、 2.2V まで 2C の電流値で定電流放電を施した際の容量を Q とする。ここで得られた Q を用いて、 $F = Q / (3.8 - 2.2)$ により算出される値をいう。

50

【0160】

[電力量]

本明細書中、電力量 E (Wh) とは、以下の方法によって得られる値である：

先に述べた方法で算出された静電容量 F (F) を用いて、 $F \times (3.8^2 - 2.2^2) / 2 / 3600$ により算出される値をいう。

【0161】

[体積]

非水系リチウム型蓄電素子の体積は、特に指定はないが、電極積層体又は電極巻回体のうち、正極活物質層及び負極活物質層が積重された領域が、外装体によって収納された部分の体積を指す。

例えば、ラミネートフィルムによって収納された電極積層体又は電極巻回体の場合は、電極積層体又は電極巻回体のうち、正極活物質層および負極活物質層が存在する領域が、カップ成形されたラミネートフィルムの中に収納されるが、この非水系リチウム型蓄電素子の体積 (V_1) は、このカップ成形部分の外寸長さ (l_1)、外寸幅 (w_1)、及びラミネートフィルムを含めた非水系リチウム型蓄電素子の厚み (t_1) により、 $V_1 = l_1 \times w_1 \times t_1$ で計算される。

角型の金属缶に収納された電極積層体又は電極巻回体の場合は、非水系リチウム型蓄電素子の体積としては、単にその金属缶の外寸での体積を用いる。すなわち、この非水系リチウム型蓄電素子の体積 (V_2) は、角型の金属缶の外寸長さ (l_2) と外寸幅 (w_2)、外寸厚み (t_2) により、 $V_2 = l_2 \times w_2 \times t_2$ で計算される。

また、円筒型の金属缶に収納された電極巻回体の場合においても、非水系リチウム型蓄電素子の体積としては、その金属缶の外寸での体積を用いる。すなわち、この非水系リチウム型蓄電素子の体積 (V_3) は、円筒型の金属缶の底面または上面の外寸半径 (r)、外寸長さ (l_3) により、 $V_3 = 3.14 \times r \times r \times l_3$ で計算される。

【0162】

[エネルギー密度]

本明細書中、エネルギー密度とは、電気量 E と体積 V_i ($i = 1, 2, 3$) を用いて E / V_i (Wh/L) の式により得られる値である。

【0163】

[常温内部抵抗]

本明細書では、常温内部抵抗 R_a (Ω) とは、以下の方法によって得られる値である：

まず、非水系リチウム型蓄電素子と対応するセルを 25°C に設定した恒温槽内で、 20°C の電流値で 3.8 V に到達するまで定電流充電し、続いて 3.8 V の定電圧を印加する定電圧充電を合計で 30 分間行う。続いて、 20°C の電流値で 2.2 V まで定電流放電を行って、放電カーブ (時間－電圧) を得る。この放電カーブにおいて、放電時間 2 秒及び 4 秒の時点における電圧値から、直線近似にて外挿して得られる放電時間 $= 0$ 秒における電圧を E_o としたときに、降下電圧 $\Delta E = 3.8 - E_o$ 、及び $R_a = \Delta E / (20^\circ\text{C} \text{ (電流値 } A))$ により算出される値である。

【0164】

[高温耐久性試験]

本明細書では、高温耐久性試験後の、常温内部抵抗及び静電容量は以下の方法によって測定する：

まず、非水系リチウム型蓄電素子と対応するセルを 60°C に設定した恒温槽内で、 100°C の電流値で 4.0 V に到達するまで定電流充電し、続いて 4.0 V の定電圧充電を 100 時間継続する。

前記高温耐久性試験後のセルに対して、 25°C 環境下で前記常温内部抵抗及び静電容量と同様の測定方法を用いて得られる抵抗値を高温耐久性試験後の常温内部抵抗 R_b 、静電容量 F_b としたとき、高温耐久性試験開始前の常温内部抵抗 R_a と静電容量 F_a に対する高温耐久性試験後の常温内部抵抗上昇率と容量維持率は R_b / R_a 、 F_b / F_a により算出される。

【0165】

本実施形態の非水系リチウム型蓄電素子は、初期の常温内部抵抗を R_a (Ω)、静電容量を F (F)、電力量を E (Wh)、蓄電素子の体積を V (L)としたとき、以下の：

(a) R_a と F との積 $R_a \cdot F$ が0.3以上3.0以下である；及び

(b) E/V が15以上50以下である；及び

を同時に満たすものであることが好ましい。

【0166】

(a)について、 $R_a \cdot F$ は、大電流に対して十分な充電容量と放電容量とを発現させる観点から、3.0以下であることが好ましく、より好ましくは2.6以下であり、更に好ましくは2.4以下である。 $R_a \cdot F$ が上記の上限値以下であれば、優れた入出力特性を有する非水系リチウム型蓄電素子を得ることができる。そのため、非水系リチウム型蓄電素子を用いた蓄電システムと、例えば高効率エンジンと、を組み合わせること等によって該非水系リチウム型蓄電素子に印加される高負荷にも十分に耐え得ることとなり、好ましい。

10

【0167】

(b)について、 E/V は十分な充電容量と放電容量とを発現させる観点から、15以上であることが好ましく、より好ましくは18以上であり、更に好ましくは20以上である。 E/V が上記の下限値以上であれば、優れた体積エネルギー密度を有する蓄電素子を得ることができる。そのため、蓄電素子を用いた蓄電システムを、例えば、自動車のエンジンと組み合わせて使用する場合に、自動車内の限られた狭いスペースに蓄電システムを設置することが可能となり、好ましい。

20

【0168】

本実施形態の非水系リチウム型蓄電素子は、

セル電圧4Vでの初期の内部抵抗を R_a (Ω)、静電容量を F_a (F)、セル電圧4Vの定電圧充電を環境温度60℃において100時間継続した後の25℃における内部抵抗を R_b (Ω)、静電容量を F_b (F)とした時、以下の(c)、(d)：

(c) R_b/R_a が0.9以上2.0以下であり；

(d) F_b/F_a が1.01以上である；

を同時に満たすことが好ましい。

【0169】

(c)について、 R_b/R_a は、高温環境下に長時間曝された場合に、大電流に対して十分な充電容量と放電容量とを発現させる観点から、2.0以下であることが好ましく、より好ましくは1.8以下であり、更に好ましくは1.6以下である。 R_b/R_a が上記の上限値以下であれば、長期間安定して優れた出力特性を得ることができるため、デバイスの長寿命化につながる。

30

【0170】

(d)について、 F_b/F_a は、高温環境下に長時間曝された場合に、必要十分な容量を発現させる観点から、1.01以上であることが好ましく、1.05以上であることが更に好ましい。 F_b/F_a が1.01以上であれば、電池を高温環境下で長期間使用した場合でも容量の低下がないため、電池の長寿命化が可能となる。

40

【実施例】

【0171】

以下に、本発明を実施例及び比較例によって具体的に説明するが、本発明はこれらに限定されるものではない。

<実施例1>

[炭酸リチウムの粉碎]

平均粒子径50 μm の炭酸リチウム200gを、アイメックス社製の粉碎機(液体窒素ビーズミルLNM)を用い、液体窒素で-196℃に冷却化した後、ドライアイスビーズを用い、周速10.0m/sにて9分間粉碎した。-196℃で熱変性を防止し、脆性破壊することにより得られた炭酸リチウムについて平均粒子径を測定することで仕込みの炭

50

酸リチウム粒子径を求めたところ、 $1.5\ \mu\text{m}$ であった。

【0172】

[正極活物質の調製]

[活性炭1の調製]

破碎されたヤシ殻炭化物を、小型炭化炉において窒素中、 550°C において3時間炭化処理して炭化物を得た。得られた炭化物を賦活炉内へ入れ、 1 kg/h の水蒸気を予熱炉で加温した状態で前記賦活炉内へ導入し、 800°C まで8時間かけて昇温して賦活した。賦活後の炭化物を取り出し、窒素雰囲気下で冷却して、賦活された活性炭を得た。得られた活性炭を10時間通水洗浄した後に水切りした。その後、 115°C に保持された電気乾燥機内で10時間乾燥した後に、ボールミルで0.5時間粉碎を行うことにより、活性炭1を得た。

10

この活性炭1について、島津製作所社製レーザー回折式粒度分布測定装置（SALD-2000J）を用いて平均粒子径を測定した結果、 $3.5\ \mu\text{m}$ であった。また、ユアサアイオニクス社製細孔分布測定装置（AUTOSORB-1 AS-1-MP）を用いて細孔分布を測定した。その結果、BET比表面積が $2060\text{ m}^2/\text{g}$ 、メソ孔量（V1）が 0.54 cc/g 、マイクロ孔量（V2）が 0.75 cc/g 、 $V1/V2=0.72$ であった。

【0173】

[活性炭2の調製]

フェノール樹脂について、窒素雰囲気下、焼成炉中 650°C において2時間の炭化処理を行った後、ボールミルにて粉碎し、分級を行って平均粒子径 $6.5\ \mu\text{m}$ の炭化物を得た。この炭化物とKOHとを、質量比1:5で混合し、窒素雰囲気下、焼成炉中 750°C において1時間加熱して賦活化を行った。その後濃度 2 mol/L に調整した希塩酸中で1時間攪拌洗浄を行った後、蒸留水でpH5~6の間で安定するまで煮沸洗浄した後に乾燥を行うことにより、活性炭2を得た。

20

この活性炭2について、島津製作所社製レーザー回折式粒度分布測定装置（SALD-2000J）を用いて平均粒子径を測定した結果、 $6.5\ \mu\text{m}$ であった。ユアサアイオニクス社製細孔分布測定装置（AUTOSORB-1 AS-1-MP）を用いて細孔分布を測定した。その結果、BET比表面積が $3327\text{ m}^2/\text{g}$ 、メソ孔量（V1）が 1.60 cc/g 、マイクロ孔量（V2）が 2.01 cc/g 、 $V1/V2=0.80$ であった。

30

【0174】

[正極塗工液の調製]

正極活物質として上記で得た活性炭1又は2を、仕込みのリチウム化合物として上記で得た炭酸リチウムを用いて下記方法で正極塗工液を製造した。

活性炭1又は2を57.5質量部、炭酸リチウムを30.0質量部、ケッチェンブラックを3.0質量部、PVP（ポリビニルピロリドン）を1.5質量部、及びPVDF（ポリフッ化ビニリデン）を8.0質量部、並びにNMP（N-メチルピロリドン）を混合し、それをPRIMIX社製の薄膜旋回型高速ミキサーフィルミックスを用いて、周速 17.0 m/s の条件で分散して塗工液を得た。

40

得られた塗工液の粘度（ η_b ）及びTI値を東機産業社のE型粘度計TVE-35Hを用いて測定した。その結果、粘度（ η_b ）は $2,700\text{ mPa}\cdot\text{s}$ 、TI値は3.5であった。また、得られた塗工液の分散度をヨシミツ精機社製の粒ゲージを用いて測定した。その結果、粒度は $35\ \mu\text{m}$ であった。

【0175】

[正極前駆体の調製]

上記塗工液を東レエンジニアリング社製のダイコーターを用いて厚み $15\ \mu\text{m}$ のアルミニウム箔の片面又は両面に塗工速度 1 m/s の条件で塗工し、乾燥温度 100°C で乾燥して正極前駆体を得た。得られた正極前駆体についてロールプレス機を用いて圧力 4 kN/cm 、プレス部の表面温度 25°C の条件でプレスを実施した。上記で得られた正極前駆体

50

の正極活物質層の膜厚を小野計器社製膜厚計 Linear Gauge Sensor GS-551を用いて、正極前駆体の任意の10か所で測定した厚さの平均値から、アルミニウム箔の厚さを引いて求めた。その結果、正極活物質層の膜厚は片面あたり60 μmであった。

【0176】

<負極活物質の調製>

[活物質Aの調製]

平均粒子径3.0 μm、BET比表面積が1,780 m²/gの市販のヤシ殻活性炭150 gをステンレススチールメッシュ製の籠に入れ、石炭系ピッチ（軟化点：50℃）270 gを入れたステンレス製バットの上に置き、両者を電気炉（炉内有効寸法300 mm × 300 mm × 300 mm）内に設置して、熱反応を行うことにより、複合炭素材料Aを得た。この熱処理は窒素雰囲気下で行い、600℃まで8時間で昇温し、同温度で4時間保持する方法によった。続いて自然冷却により60℃まで冷却した後、複合炭素材料Aを炉から取り出した。

得られた複合炭素材料Aについて、上記と同様の方法で平均粒子径及びBET比表面積を測定した。その結果、平均粒子径は3.2 μm、BET比表面積は262 m²/gであった。石炭系ピッチ由来の炭素質材料の活性炭に対する質量比率は78%であった。

【0177】

<負極Aの製造>

次いで複合炭素材料Aを負極活物質として用いて負極を製造した。

複合炭素材料Aを85質量部、アセチレンブラックを10質量部、及びPVdF（ポリフッ化ビニリデン）を5質量部、並びにNMP（N-メチルピロリドン）を混合し、それをPRIMIX社製の薄膜旋回型高速ミキサーフィルミックスを用いて、周速15 m/sの条件で分散して塗工液を得た。得られた塗工液の粘度（η_b）及びTI値を東機産業社のE型粘度計TVE-35Hを用いて測定した。その結果、粘度（η_b）は2,789 mPa·s、TI値は4.3であった。上記塗工液を東レエンジニアリング社製のダイコーターを用いて厚さ10 μmの貫通孔を持たない電解銅箔の両面に塗工速度1 m/sの条件で塗工し、乾燥温度85℃で乾燥して負極Aを得た。得られた負極Aについてロールプレス機を用いて圧力4 kN/cm、プレス部の表面温度25℃の条件でプレスを実施した。上記で得られた負極Aの負極活物質層の膜厚を小野計器社製膜厚計 Linear Gauge Sensor GS-551を用いて、負極Aの任意の10か所で測定した厚さの平均値から、銅箔の厚さを引いて求めた。その結果、負極Aの負極活物質層の膜厚は片面あたりの厚さは40 μmであった。

【0178】

[活物質Bの調製]

複合炭素材料Aの代わりに平均粒子径4.9 μmの人造黒鉛を基材として用い、石炭系ピッチの使用量を50 gとし、さらに熱処理温度を1000℃とした他は活物質Aの調製と同様にして複合炭素材料Bを製造し、評価を行った。その結果、複合炭素材料BのBET比表面積は6.1 m²/gであった。石炭系ピッチ由来の炭素質材料の人造黒鉛に対する質量比率は2%であった。

【0179】

<負極Bの製造>

上記で得た複合炭素材料Bを負極活物質として用いて負極を製造した。

複合炭素材料Bを80質量部、アセチレンブラックを8質量部、及びPVdF（ポリフッ化ビニリデン）を12質量部、並びにNMP（N-メチルピロリドン）を混合し、それをPRIMIX社製の薄膜旋回型高速ミキサーフィルミックスを用いて、周速15 m/sの条件で分散して塗工液を得た。得られた塗工液の粘度（η_b）及びTI値を東機産業社のE型粘度計TVE-35Hを用いて測定した。その結果、粘度（η_b）は2,798 mPa·s、TI値は2.7であった。上記塗工液を東レエンジニアリング社製のダイコーターを用いて厚さ10 μmの貫通孔を持たない電解銅箔の両面に塗工速度1 m/sの条件

で塗工し、乾燥温度 85℃で乾燥して負極を得た。得られた負極についてロールプレス機を用いて圧力 4 kN/cm、プレス部の表面温度 25℃の条件でプレスを実施した。上記で得られた負極の負極活物質層の膜厚を小野計器社製膜厚計 Linear Gauge Sensor GS-551を用いて、負極の任意の 10 か所で測定した厚さの平均値から、銅箔の厚さを引いて求めた。その結果、負極活物質層の膜厚は片面あたりの厚さは 25 μmであった。

【0180】

<電解液の調製>

有機溶媒として、エチレンカーボネート (EC) : メチルエチルカーボネート (EMC) = 40 : 60 (体積比) の混合溶媒を用い、全電解液に対して LiN(SO₂F)₂ 及び LiPF₆ の濃度比が 75 : 25 (モル比) であり、かつ LiN(SO₂F)₂ 及び LiPF₆ の濃度の和が 1.8 mol/L となるようにそれぞれの電解質塩を溶解して得た溶液を非水系電解液として使用した。

【0181】

<蓄電素子の組立>

得られた両面負極 A および両面正極前駆体 A を 10 cm × 10 cm (100 cm²) にカットした。最上面と最下面は片面正極前駆体を用い、更に両面負極 21 枚と両面正極前駆体 20 枚とを用い、負極と正極前駆体との間に、厚み 15 μm の微多孔膜セパレータを挟んで積層した。その後、負極と正極前駆体とに、それぞれ負極端子と正極端子を超音波溶接にて接続して電極積層体とした。この電極積層体を 80℃、50 Pa で、60 hr 真空乾燥した。この電極積層体を、露点 -45℃のドライ環境下にて、ラミネート包材からなる外装体内に挿入し、電極端子部およびボトム部の外装体 3 方を 180℃、20 sec、1.0 MPa でヒートシールした。非水系電解液を注入して該外装体を密閉することにより、非水系リチウム型蓄電素子を組立てた。

【0182】

<蓄電素子の注液、含浸、封止工程>

アルミラミネート包材の中に収納された電極積層体に、温度 25℃、露点 -40℃以下のドライエアー環境下にて、上記非水系電解液約 80 g を大気圧下で注入した。続いて、減圧チャンバーの中に前記非水系リチウム型蓄電素子を入れ、常圧から -87 kPa まで減圧した後、大気圧に戻し、5 分間静置した。その後、常圧から -87 kPa まで減圧した後、大気圧に戻す工程を 4 回繰り返したのち、15 分間静置した。さらに、常圧から -91 kPa まで減圧した後、大気圧に戻した。同様に減圧し、大気圧に戻す工程を合計 7 回繰り返した。(それぞれ -95、-96、-97、-81、-97、-97、-97 kPa まで減圧した)。以上の工程により、非水系電解液を電極積層体に含浸させた。

その後、非水系リチウム型蓄電素子を減圧シール機に入れ、-95 kPa に減圧した状態で、180℃で 10 秒間、0.1 MPa の圧力でシールすることによりアルミラミネート包材を封止した。

【0183】

<リチウムドープ工程>

得られた非水系リチウム型蓄電素子に対して、東洋システム社製の充放電装置 (TOSC AT-3100U) を用いて、45℃環境下、電流値 0.6 A で電圧 4.4 V に到達するまで定電流充電を行った後、続けて 4.2 V 定電圧充電を 30 時間継続する手法により初期充電を行い、負極にリチウムドープを行った。

【0184】

<エージング工程>

リチウムドープ後の非水系リチウム型蓄電素子を 25℃環境下、0.7 A で電圧 2.0 V に到達するまで定電流放電を行った後、4.0 V 定電流充電を 1 時間行うことにより電圧を 4.0 V に調整した。続いて、非水系リチウム型蓄電素子を 40℃の恒温槽に 30 時間保管した。

【0185】

10

20

30

40

50

<ガス抜き工程>

エージング後の非水系リチウム型蓄電素子を、温度25℃、露点-40℃のドライエアー環境下でアルミラミネート包材の一部を開封した。続いて、減圧チャンバーの中に前記非水系リチウム型蓄電素子を入れ、KNF社製のダイヤフラムポンプ（N816.3KT.45.18）を用いて大気圧から-80kPaまで3分間かけて減圧した後、3分間かけて大気圧に戻す工程を合計3回繰り返した。その後、減圧シール機に非水系リチウム型蓄電素子を入れ、-90kPaに減圧した後、200℃で10秒間、0.1MPaの圧力でシールすることによりアルミラミネート包材を封止した。

【0186】

<正極活物質層の解析>

10

完成した非水系リチウム型蓄電素子を2.9Vに調整した後、23℃の部屋に設置された露点-90℃以下、酸素濃度1ppm以下で管理されているArボックス内で解体して正極を取り出した。取り出した正極を、ジメチルカーボネート（DMC）で浸漬洗浄した後、大気非暴露を維持した状態でサイドボックス中で真空乾燥させた。

乾燥後の正極を、大気非暴露を維持した状態でサイドボックスからArボックスに移し、重水で浸漬抽出して、正極抽出液を得た。抽出液の解析は、(1)¹H-NMRにて行い、求めた正極抽出液中の各化合物の濃度A(mol/ml)、抽出に用いた重水の体積B(ml)、及び抽出に用いた正極活物質層の質量C(g)から、下記数式2：

【数2】

20

$$\text{単位質量当たりの存在量 (mol/g)} = A \times B \div C \quad (2)$$

により、正極活物質層に堆積する各化合物の、正極活物質層の単位質量当たりの存在量(mol/g)を求めた。

なお、抽出に用いた正極活物質層の質量は、以下の方法によって求めた。

重水抽出後に残った正極の集電体から正極活物質層を剥がし取り、該剥がし取った正極活物質層を、水洗した後、真空乾燥した。真空乾燥して得た正極活物質層を、NMP又はDMFにより洗浄した。続いて、得られた正極活物質層を再度真空乾燥した後、秤量することにより、抽出に用いた正極活物質層の質量を調べた。

30

【0187】

(1) 正極抽出液を3mmφNMRチューブ（株式会社シゲミ製PN-002）に入れ、1, 2, 4, 5-テトラフルオロベンゼン入りの重水素化クロロホルムの入った5mmφNMRチューブ（日本精密科学株式会社製N-5）に挿し込み、二重管法にて、¹H NMR測定を行った。1, 2, 4, 5-テトラフルオロベンゼンのシグナル7.1ppm(m, 2H)で規格化して、観測された各化合物の積分値を求めた。

また、濃度既知のジメチルスルホキシドの入った重水素化クロロホルムを3mmφNMRチューブ（株式会社シゲミ製PN-002）に入れ、上記と同一の1, 2, 4, 5-テトラフルオロベンゼン入りの重水素化クロロホルムの入った5mmφNMRチューブ（日本精密科学株式会社製N-5）に挿し込み、二重管法にて、¹H NMR測定を行った。上記と同様に、1, 2, 4, 5-テトラフルオロベンゼンのシグナル7.1ppm(m, 2H)で規格化して、ジメチルスルホキシドのシグナル2.6ppm(s, 6H)の積分値を求めた。用いたジメチルスルホキシドの濃度と積分値の関係から、正極抽出液中の各化合物の濃度Aを求めた。

40

【0188】

¹H NMRスペクトルの帰属は、以下のとおりである。

[XOCH₂CH₂OXについて]

XOCH₂CH₂OXのCH₂：3.7ppm(s, 4H)

CH₃OX：3.3ppm(s, 3H)

50

$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OX}$ の CH_3 : 1.2 ppm (t, 3H)

$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OX}$ の CH_2O : 3.7 ppm (q, 2H) 上記のように、 $\text{XOCH}_2\text{CH}_2\text{OX}$ の CH_2 のシグナル (3.7 ppm) は、 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OX}$ の CH_2O のシグナル (3.7 ppm) と重なってしまうため、 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OX}$ の CH_3 のシグナル (1.2 ppm) から算出される $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OX}$ の CH_2O 相当分を除いて、 $\text{XOCH}_2\text{CH}_2\text{OX}$ 量を算出する。

(上記において、Xは、それぞれ、 $-(\text{COO})_n\text{Li}$ または $-(\text{COO})_n\text{R}^1$ (ここで、nは0又は1、 R^1 は、炭素数1～4のアルキル基、炭素数1～4のハロゲン化アルキル基である。) である。

【0189】

上記解析により求めた各化合物の抽出液中の濃度、及び抽出に用いた重水の体積、抽出に用いた正極活物質層質量より、上記の正極活物質層には、 $\text{XOCH}_2\text{CH}_2\text{OX}$ が $2.30 \times 10^{-4} \text{ mol/g}$ 存在した。

【0190】

[エネルギー密度の算出]

前記工程で得られた蓄電素子について、 25°C に設定した恒温槽内で、富士通テレコムネットワークス株式会社製の充放電装置 (5V, 360A) を用いて、2Cの電流値で3.8Vに到達するまで定電流充電を行い、続いて3.8Vの定電圧を印加する定電圧充電を合計で30分行った。その後、2.2Vまで2Cの電流値で定電流放電を施した際の容量をQとし、 $F = Q / (3.8 - 2.2)$ により算出された静電容量Fa (F) を用いて、 $E/V = F \times (3.8^2 - 2.2^2) / 2 / 3600 / V$ によりエネルギー密度を算出したところ 37.1 Wh/L であった。

【0191】

[Ra・Faの算出]

前記工程で得られた蓄電素子について、 25°C に設定した恒温槽内で、富士通テレコムネットワークス株式会社製の充放電装置 (5V, 360A) を用いて、20Cの電流値で3.8Vに到達するまで定電流充電し、続いて3.8Vの定電圧を印加する定電圧充電を合計で30分間行い、続いて、20Cの電流値で2.2Vまで定電流放電を行って、放電カーブ (時間-電圧) を得た。この放電カーブにおいて、放電時間2秒及び4秒の時点における電圧値から、直線近似にて外挿して得られる放電時間=0秒における電圧をEoとし、降下電圧 $\Delta E = 3.8 - E_o$ 、及び $R = \Delta E / (20 \text{ C (電流値A)})$ により常温内部抵抗Raを算出した。

静電容量Faと 25°C における内部抵抗Raとの積Ra・Faは $1.78 \Omega \text{ F}$ であった。

【0192】

[高温耐久性試験後のRb/Ra及びFb/Fa]

前記工程で得られた蓄電素子について、 25°C に設定した恒温槽内で、富士通テレコムネットワークス株式会社製の充放電装置 (5V, 360A) を用いて、100Cの電流値で4.0Vに到達するまで定電流充電し、続いて4.0Vの定電圧充電を100時間継続した。前記高温耐久性試験後の蓄電素子に対して、前記[Ra・Faの算出]と同様にして高温耐久性試験後の常温内部抵抗Rb及び静電容量Fbを算出した。Rb/Raは1.20、Fb/Faは1.05であった。

【0193】

<実施例2～28、及び比較例1～12>

上記実施例1において、負極、正極前駆体活物質、正極前駆体活物質の平均粒径、リチウム化合物、リチウム化合物の平均粒径、正極前駆体の構成比、電解質塩、電解質塩の比率、電解質塩の濃度をそれぞれ表1に記載のとおりとした他は、実施例1と同様にして非水系リチウム型蓄電素子を作製し、各種の評価を行った。

評価結果は表2に示した。

【0194】

【表1】

表1

	調整した電解液中の 電解質塩				Total 塩濃度 [mol/L]	負極	正極								
	電解質塩1		電解質塩2				活物質		リチウム化合物		正極前駆体構成比				
	化合物	塩比率	化合物	塩比率			活物質種	活物 粒径 [μm]	リチウム 化合物種	リチウム 化合物 粒径 [μm]	活物質 [質量%]	リチウム 化合物 [質量%]	KB [質量%]	PVP [質量%]	PVDF [質量%]
実施例1	LiFSI	75	LiPF6	25	1.8	A	A	3.5	炭酸リチウム	1.5	57.5	30.0	3.0	1.5	8.0
実施例2	LiFSI	75	LiPF6	25	2.5	A	A	3.5	炭酸リチウム	1.5	57.5	30.0	3.0	1.5	8.0
実施例3	LiFSI	75	LiPF6	25	4.5	A	A	3.5	炭酸リチウム	1.5	57.5	30.0	3.0	1.5	8.0
実施例4	LiFSI	75	LiPF6	25	5.3	A	A	3.5	炭酸リチウム	1.5	57.5	30.0	3.0	1.5	8.0
実施例5	LiFSI	75	LiPF6	25	6.4	A	A	3.5	炭酸リチウム	1.5	57.5	30.0	3.0	1.5	8.0
実施例3	LiFSI	75	LiPF6	25	4.5	A	A	3.5	炭酸リチウム	3.5	57.5	30.0	3.0	1.5	8.0
実施例7	LiFSI	75	LiPF6	25	4.5	A	A	3.5	酸化リチウム	3.5	57.5	30.0	3.0	1.5	8.0
実施例8	LiFSI	75	LiPF6	25	1.8	B	A	3.5	炭酸リチウム	1.5	57.5	30.0	3.0	1.5	8.0
実施例9	LiFSI	75	LiPF6	25	2.5	B	A	3.5	炭酸リチウム	1.5	57.5	30.0	3.0	1.5	8.0
実施例10	LiFSI	75	LiPF6	25	4.5	B	A	3.5	炭酸リチウム	1.5	57.5	30.0	3.0	1.5	8.0
実施例11	LiFSI	75	LiPF6	25	5.3	B	A	3.5	炭酸リチウム	1.5	57.5	30.0	3.0	1.5	8.0
実施例12	LiFSI	75	LiPF6	25	6.4	B	A	3.5	炭酸リチウム	1.5	57.5	30.0	3.0	1.5	8.0
実施例13	LiFSI	75	LiPF6	25	4.5	B	A	3.5	炭酸リチウム	3.5	57.5	30.0	3.0	1.5	8.0
実施例14	LiFSI	75	LiPF6	25	4.5	B	A	3.5	酸化リチウム	3.5	57.5	30.0	3.0	1.5	8.0
実施例15	LiFSI	75	LiPF6	25	1.8	A	B	6.5	炭酸リチウム	1.5	55.5	30.0	3.0	1.5	10.0
実施例16	LiFSI	75	LiPF6	25	2.5	A	B	6.5	炭酸リチウム	1.5	55.5	30.0	3.0	1.5	10.0
実施例17	LiFSI	75	LiPF6	25	4.5	A	B	6.5	炭酸リチウム	1.5	57.5	30.0	3.0	1.5	8.0
実施例18	LiFSI	75	LiPF6	25	5.3	A	B	6.5	炭酸リチウム	1.5	55.5	30.0	3.0	1.5	10.0
実施例19	LiFSI	75	LiPF6	25	6.4	A	B	6.5	炭酸リチウム	1.5	57.5	30.0	3.0	1.5	8.0
実施例20	LiFSI	75	LiPF6	25	4.5	A	B	6.5	炭酸リチウム	3.5	57.5	30.0	3.0	1.5	8.0
実施例21	LiFSI	75	LiPF6	25	4.5	A	B	6.5	酸化リチウム	3.5	57.5	30.0	3.0	1.5	8.0
実施例22	LiFSI	75	LiPF6	25	1.8	B	B	6.5	炭酸リチウム	1.5	55.5	30.0	3.0	1.5	10.0
実施例23	LiFSI	75	LiPF6	25	2.5	B	B	6.5	炭酸リチウム	1.5	57.5	30.0	3.0	1.5	8.0
実施例24	LiFSI	75	LiPF6	25	4.5	B	B	6.5	炭酸リチウム	1.5	57.5	30.0	3.0	1.5	8.0
実施例25	LiFSI	75	LiPF6	25	5.3	B	B	6.5	炭酸リチウム	1.5	57.5	30.0	3.0	1.5	8.0
実施例26	LiFSI	75	LiPF6	25	6.4	B	B	6.5	炭酸リチウム	1.5	57.5	30.0	3.0	1.5	8.0
実施例27	LiFSI	75	LiPF6	25	4.5	B	B	6.5	炭酸リチウム	3.5	57.5	30.0	3.0	1.5	8.0
実施例28	LiFSI	75	LiPF6	25	4.5	B	B	6.5	酸化リチウム	3.5	57.5	30.0	3.0	1.5	8.0
比較例1	LiFSI	75	LiPF6	25	6.7	A	A	3.5	炭酸リチウム	1.5	57.5	30.0	3.0	1.5	8.0
比較例2	LiFSI	75	LiPF6	25	1	A	A	3.5	炭酸リチウム	1.5	57.5	30.0	3.0	1.5	8.0
比較例3	LiFSI	75	LiPF6	25	4.5	A	A	3.5	炭酸リチウム	6	57.5	30.0	3.0	1.5	8.0
比較例4	LiFSI	75	LiPF6	25	6.7	B	A	3.5	炭酸リチウム	1.5	57.5	30.0	3.0	1.5	8.0
比較例5	LiFSI	75	LiPF6	25	1	B	A	3.5	炭酸リチウム	1.5	57.5	30.0	3.0	1.5	8.0
比較例6	LiFSI	75	LiPF6	25	4.5	B	A	3.5	炭酸リチウム	6	57.5	30.0	3.0	1.5	8.0
比較例7	LiFSI	75	LiPF6	25	6.7	A	B	6.5	炭酸リチウム	1.5	57.5	30.0	3.0	1.5	8.0
比較例8	LiFSI	75	LiPF6	25	1	A	B	6.5	炭酸リチウム	1.5	57.5	30.0	3.0	1.5	8.0
比較例9	LiFSI	75	LiPF6	25	4.5	A	B	6.5	炭酸リチウム	8	57.5	30.0	3.0	1.5	8.0
比較例10	LiFSI	75	LiPF6	25	6.7	B	B	6.5	炭酸リチウム	1.5	57.5	30.0	3.0	1.5	8.0
比較例11	LiFSI	75	LiPF6	25	1.0	B	B	6.5	炭酸リチウム	1.5	57.5	30.0	3.0	1.5	8.0
比較例12	LiFSI	75	LiPF6	25	4.5	B	B	6.5	炭酸リチウム	8	57.5	30.0	3.0	1.5	8.0

LiFSI : LiN(SO₂F)₂

【0195】

【表 2】

表2

	正極活物質層内の化合物 式 (1) ~ 式 (3) の 化合物の総量 [$\times 10^{-4}$ mol/g]	評価結果			
		初期特性		高温耐久性試験	
		体積E密度 E/V [Wh/L]	初期時定数 Ra・Fa [Ω F]	抵抗上昇率 Rb/Ra	容量維持率 Fb/Fa
実施例1	230.1	37.1	1.78	1.20	1.05
実施例2	250.7	39.7	1.89	1.31	1.11
実施例3	268.1	42.5	1.67	1.49	1.15
実施例4	279.1	41.5	1.55	1.55	1.28
実施例5	294.5	40.1	1.64	1.74	1.33
実施例6	236.5	40.7	1.75	1.83	1.09
実施例7	220.7	37.8	1.89	1.91	1.07
実施例8	209.3	40.1	1.96	1.15	1.10
実施例9	215.6	42.9	2.08	1.26	1.17
実施例10	247.6	45.9	1.84	1.43	1.21
実施例11	266.4	44.9	1.71	1.49	1.34
実施例12	279.0	43.3	1.80	1.67	1.40
実施例13	113.7	44.0	1.93	1.76	1.14
実施例14	139.8	40.8	2.08	1.83	1.12
実施例15	193.4	33.4	1.72	1.21	1.02
実施例16	205.2	35.7	1.83	1.32	1.04
実施例17	218.9	38.3	1.62	1.50	1.07
実施例18	236.7	37.4	1.50	1.56	1.20
実施例19	256.9	36.1	1.59	1.75	1.24
実施例20	91.9	36.7	1.69	1.84	1.05
実施例21	127.0	34.0	1.83	1.93	1.03
実施例22	176.3	43.7	1.84	1.19	1.02
実施例23	183.0	46.7	1.96	1.29	1.03
実施例24	192.9	49.8	1.73	1.47	1.05
実施例25	211.3	48.9	1.61	1.53	1.16
実施例26	230.4	47.2	1.70	1.72	1.21
実施例27	80.6	48.0	1.81	1.81	1.03
実施例28	107.4	44.4	1.96	1.89	1.02
比較例1	319.4	37.4	3.22	2.45	1.38
比較例2	1.5	14.2	1.12	1.66	0.91
比較例3	1.2	13.8	1.58	2.27	1.12
比較例4	310.5	40.4	3.54	2.38	1.42
比較例5	1.3	14.7	1.23	1.61	0.94
比較例6	1.0	14.4	1.74	2.20	1.15
比較例7	304.2	34.8	3.06	2.50	1.26
比較例8	1.1	13.2	1.06	1.69	0.83
比較例9	0.8	12.8	1.50	2.32	1.02
比較例10	301.7	39.2	3.40	2.33	1.38
比較例11	1.0	14.9	1.18	1.58	0.91
比較例12	0.5	14.5	1.67	2.16	1.12

【0196】

< 実施例 29 ~ 37、及び比較例 13、14 >

上記実施例 1 において、正極前駆体の構成比、電解液中の電解質塩の比率、電解質塩の濃度をそれぞれ表 3 に記載のとおりとした他は、実施例 1 と同様にして非水系リチウム型

蓄電素子を作製し、各種の評価を行った。

評価結果は表4に示した。

【0197】

[比較例15]

<負極Cの製造>

前記負極Aの製造において、負極集電体を厚さ15 μm の貫通孔を持つ銅箔とした以外は同様の方法で負極Cを製造した。その結果、負極Cの負極活物質層の膜厚は片面あたりの厚さは40 μm であった。

<負極Dの製造>

前記負極Bの製造において、負極集電体を厚さ15 μm の貫通孔を持つ銅箔とした以外は同様の方法で負極Dを製造した。その結果、負極Dの負極活物質層の膜厚は片面あたりの厚さは25 μm であった。

【0198】

<電解液の調製>

有機溶媒として、エチレンカーボネート(EC)：メチルエチルカーボネート(EMC) = 40：60(体積比)の混合溶媒を用い、全電解液に対してLiN(SO₂F)₂及びLiPF₆の濃度比が75：25(モル比)であり、かつLiN(SO₂F)₂及びLiPF₆の濃度の和が4.5 mol/Lとなるようにそれぞれの電解質塩を溶解して得た溶液を非水系電解液として使用した。

<蓄電素子の組立>

両面負極Cおよび両面正極前駆体を10 cm×10 cm(100 cm²)にカットした。この両面負極Cの片面に、複合多孔性材料Aの単位質量当たり760 mAh/gに相当するリチウム金属箔を貼り付けた。最上面と最下面は片面正極前駆体を用い、更に前記リチウム貼り付け工程を経た両面負極21枚と両面正極前駆体20枚とを用い、負極と正極前駆体との間に、厚み15 μm の微多孔膜セパレータを挟んで積層した。その後、負極と正極前駆体とに、それぞれ負極端子と正極端子を超音波溶接にて接続して電極積層体とした。この電極積層体を80℃、50 Paで、60 hr真空乾燥した。この電極積層体を、露点-45℃のドライ環境下にて、ラミネートフィルムからなる外装体内に挿入し、電極端子部およびボトム部の外装体3方を180℃、20 sec、1.0 MPaでヒートシールした。非水系電解液を注入して該外装体を密閉することにより、非水系リチウム型蓄電素子を組立てた。

【0199】

<リチウムドープ工程>

得られた非水系リチウム型蓄電素子に対して、45℃に設定した恒温槽内で21時間放置することで、負極にリチウムドープを行った。

【0200】

<エージング工程>

リチウムドープ後の非水系リチウム型蓄電素子をセル電圧3.0 Vに調整した後、45℃に設定した恒温槽内で24時間保存した。続いて、アスカ電子製の充放電装置を用いて、充電電流10 A、放電電流10 Aとし、下限電圧2.0 V、上限電圧4.0 Vの間で定電流充電、定電流放電による充放電サイクルを2回繰り返した。

【0201】

蓄電素子組立、リチウムドープ工程、エージング工程を上記に記載する方法にした以外は実施例1と同様にして非水系リチウム型蓄電素子を作製し、各種の評価を行った。

評価結果は表4に示した。

【0202】

<比較例16～18>

上記比較例15において、負極、正極前駆体の活物質、活物質粒径、リチウム化合物、リチウム化合物粒径、及び正極前駆体の構成比、をそれぞれ表3に記載のとおりとした他は、実施例1と同様にして非水系リチウム型蓄電素子を作製し、各種の評価を行った。

評価結果は表 4 に示した。

【 0 2 0 3 】

【 表 3 】

表3

	調整した電解液中の 電解質塩				Total 塩濃度 [mol/L]	負極	正極								
	電解質塩1		電解質塩2				活物質		リチウム化合物		正極前駆体構成比				
	化合物	塩比率	化合物	塩比率			活物質種	活物 粒径 [μm]	リチウム 化合物種	リチウム 化合物 粒径 [μm]	活物質 [質量%]	リチウム 化合物 [質量%]	KB [質量%]	PVP [質量%]	PVDF [質量%]
実施例29	LiFSI	75	LiPF6	25	4.5	A	A	3.5	炭酸リチウム	1.5	42.4	45.1	3.0	1.5	8.0
実施例30	LiFSI	75	LiPF6	25	4.5	A	A	3.5	炭酸リチウム	1.5	72.5	15.0	3.0	1.5	8.0
実施例31	LiFSI	75	LiPF6	25	4.5	A	A	3.5	炭酸リチウム	1.5	79.5	8.0	3.0	1.5	8.0
実施例32	LiFSI	75	LiPF6	25	4.5	A	A	3.5	炭酸リチウム	1.5	85.5	2.0	3.0	1.5	8.0
実施例33	LiFSI	100	LiPF6	0	4.5	A	A	3.5	炭酸リチウム	1.5	57.5	30.0	3.0	1.5	8.0
実施例34	LiFSI	50	LiPF6	50	4.5	A	A	3.5	炭酸リチウム	1.5	57.5	30.0	3.0	1.5	8.0
実施例35	LiFSI	25	LiPF6	75	4.5	A	A	3.5	炭酸リチウム	1.5	57.5	30.0	3.0	1.5	8.0
実施例36	LiFSI	0	LiPF6	100	4.5	A	A	3.5	炭酸リチウム	1.5	57.5	30.0	3.0	1.5	8.0
比較例13	LiFSI	75	LiPF6	25	4.5	A	A	3.5	炭酸リチウム	1.5	34.5	53.0	3.0	1.5	8.0
比較例14	LiFSI	75	LiPF6	25	4.5	A	A	3.5	炭酸リチウム	1.5	87.0	0.5	3.0	1.5	8.0
比較例15	LiFSI	75	LiPF6	25	4.5	C	A	3.5	なし		87.5	0.0	3.0	1.5	8.0
比較例16	LiFSI	75	LiPF6	25	4.5	D	A	3.5	なし		87.5	0.0	3.0	1.5	8.0
比較例17	LiFSI	75	LiPF6	25	4.5	C	B	6.5	なし		87.5	0.0	3.0	1.5	8.0
比較例18	LiFSI	75	LiPF6	25	4.5	D	B	6.5	なし		87.5	0.0	3.0	1.5	8.0

【 0 2 0 4 】

【表 4】

表4

	正極活物質層内の化合物 式 (1) ~ 式 (3) の 化合物の総量 [$\times 10^{-4}$ mol/g]	評価結果			
		初期特性		高温耐久性試験	
		体積E密度 E/V [Wh/L]	初期時定数 Ra・Fa [Ω F]	抵抗上昇率 Rb/Ra	容量維持率 Fb/Fa
実施例29	297.3	46.7	2.03	1.58	1.35
実施例30	120.5	35.7	1.54	1.41	1.10
実施例31	43.7	28.4	1.38	1.32	1.07
実施例32	29.4	20.9	1.20	1.18	1.03
実施例33	274.6	43.9	1.45	1.31	1.16
実施例34	253.3	40.6	1.70	1.55	1.14
実施例35	239.8	38.9	1.90	1.71	1.14
実施例36	211.6	35.1	2.58	1.94	1.10
比較例13	420.3	45.2	3.86	2.69	1.40
比較例14	1.3	13.3	1.08	1.34	0.89
比較例15	0.9	9.9	1.19	2.05	0.83
比較例16	0.4	12.6	1.65	2.38	0.91
比較例17	0.6	7.6	0.57	1.85	0.77
比較例18	0.3	9.5	1.48	2.18	0.85

【産業上の利用可能性】

【0205】

本発明の非水系リチウム型蓄電素子は、例えば、自動車における内燃機関、燃料電池、又はモーターと、蓄電素子と、を組み合わせたハイブリット駆動システムの分野；瞬間電力ピーク時のアシスト電源用途等として、好適に利用することができる。

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I テーマコード (参考)
H 0 1 G 11/32 (2013.01) H 0 1 G 11/32

(74)代理人 100135895

弁理士 三間 俊介

(74)代理人 100142387

弁理士 齋藤 都子

(72)発明者 木村 維摩

東京都千代田区神田神保町一丁目 1 0 5 番地 旭化成株式会社内

(72)発明者 森田 均

東京都千代田区神田神保町一丁目 1 0 5 番地 旭化成株式会社内

(72)発明者 梅津 和照

東京都千代田区神田神保町一丁目 1 0 5 番地 旭化成株式会社内

F ターム (参考) 5E078 AA01 AA09 AB06 BA13 BA18 BA26 BA59 BA62 BA65 BA66
BA67 BA70 BA71 BA73 DA03 DA06 ZA04 ZA06 ZA07