



(19) 中華民國智慧財產局

(12) 發明說明書公開本

(11) 公開編號：TW 201822393 A

(43) 公開日：中華民國 107 (2018) 年 06 月 16 日

(21) 申請案號：106138345 (22) 申請日：中華民國 106 (2017) 年 11 月 06 日

(51) Int. Cl. : *H01M4/38 (2006.01)* *H01M4/48 (2010.01)*
H01M4/583 (2010.01) *H01M4/62 (2006.01)*
H01M4/139 (2010.01) *H01M10/0525 (2010.01)*

(30) 優先權：2016/11/07 美國 62/418,293
 2017/11/02 世界智慧財產權組織 PCT/CN2017/109079

(71) 申請人：香港商皓智環球有限公司 (香港地區) GRST INTERNATIONAL LIMITED (HK)
 香港

(72) 發明人：何 錦鏢 HO, KAM PIU (HK)；王 然石 WANG, RANSHI (HK)；申培華 SHEN,
 PEIHUA (CN)；江英凱 JIANG, YINGKAI (CN)

(74) 代理人：侯德銘

申請實體審查：無 申請專利範圍項數：20 項 圖式數：1 共 44 頁

(54) 名稱

製備電池陽極漿料的方法

METHOD OF PREPARING BATTERY ANODE SLURRIES

(57) 摘要

本發明提供一種製備鋰離子電池陽極漿料的方法。在與陽極漿料的其它組分混合之前，將矽基材料均勻分散。本發明所揭露的方法可以避免奈米尺寸的矽基材料的凝集，且有效地將奈米尺寸的矽基材料均勻地分散在陽極漿料中。利用本發明所揭露的陽極漿料塗覆的陽極同樣展示出導電性的改善。

Provided herein is a method of preparing anode slurries of lithium-ion batteries. The silicon-based material is uniformly dispersed prior to mixing with other components of the anode slurry. The method disclosed herein is capable of avoiding agglomeration of nano-sized silicon-based material and effectively dispersing the nano-sized silicon-based material uniformly in anode slurries. Anodes coated with the anode slurries disclosed herein also show an improvement in the electrical conductivity.

指定代表圖：

【發明說明書】

【中文發明名稱】

製備電池陽極漿料的方法

【英文發明名稱】

METHOD OF PREPARING BATTERY ANODE SLURRIES

【技術領域】

【0001】 本發明涉及電池領域。更具體地，本發明涉及製備鋰離子電池的陽極漿料的方法。

【先前技術】

【0002】 在過去的二十年中，鋰離子電池（LIB）在便攜式電子設備（例如移動電話和筆記本電腦）的廣泛應用中已經引起了廣泛關注。由於電動車輛（EV）和電網儲能的快速的市場發展，高性能、低成本的LIB當前對大規模儲能設備提供了最有前景的選擇之一。

【0003】 電極的特性可以顯著影響電池的性能和安全特性。常規的鋰離子電池的陽極主要包括例如中間相碳微球和人造石墨的碳基陽極材料。由於碳基陽極材料的全比容量的理論值為372mAh/g，傳統的鋰離子電池的儲存容量受限。相比於碳基陽極材料，含矽陽極材料具有約4,000 mAh/g的高理論值比容量。

【0004】 然而，矽基陽極的循環壽命差。在鋰離子充電和放電期間，鋰離子在含矽陽極材料上經歷嵌入和脫嵌，其導致含矽陽極材料的體積膨脹和收縮。所產生的應力往往會導致陽極層的破裂，繼而導致陽極材料從電極脫落且降低了鋰離子電池的服務壽命。當陽極中存在矽顆粒的凝集時，破裂問題變得更加嚴重。因此，製備陽極漿料是生產優質電池必不可少的第一步。

【0005】 中國專利申請公開第104617280 A號揭露無黏合劑的石墨烯/矽電極。通過在去離子水中加入矽粉末和表面活性劑以獲得混合

物；通過超音波處理將混合物分散；向混合物中加入石墨烯膠體；通過超音波處理將混合物分散以得到漿料；並將漿料塗覆在銅箔上來製備電極。然而，該方法是複雜的，由於其涉及引入官能團到石墨烯和銅箔的表面上的步驟。

【0006】 中國專利申請公開第105336937 A號揭露鋰離子電池的陽極漿料及其製備方法。該方法包含在乙二醇中加入奈米矽粉末以得到分散溶液；通過超音波處理將該分散溶液均質化；向溶劑中加入黏結劑、石墨粉末和導電劑以獲得混合的漿料；向混合的漿料中分幾次加入分散溶液；且均質化混合物以獲得陽極漿料。然而，該方法是複雜的且耗時的，因為其涉及在超音波處理期間冷卻分散溶液來防止過熱且向混合的漿料中分批加入分散溶液。

【0007】 中國專利申請公開第104282881 A號揭露一種陽極及其製備方法。該方法包含通過將聚醯亞胺溶解在含有至少一種選自N-甲基-2-吡咯烷酮(NMP)、二甲基乙醯胺(DMAC)和二甲基甲醯胺的(DMF)的溶劑的有機溶劑中來製備黏結劑溶液；向黏結劑溶液中加入導電劑以得到導電液體；向導電液體中加入矽陽極材料以形成混合物；且向混合物中加入碳材料和NMP以獲得漿料。然而，該方法不適合除聚醯亞胺之外的黏結劑。

【0008】 包含均勻分散的矽基材料的陽極漿料對電池性能是非常需要的。鑒於上文，需要連續改進製備包含均勻分散的矽基材料的陽極漿料的方法。

【發明內容】

【0009】 通過本發明所揭露的各個態樣和實施例滿足了前述需求。

【0010】 在一個態樣中，本發明提供一種製備陽極漿料的方法，包含以下步驟：

- 1) 將分散劑和第一溶劑混合以形成分散劑溶液；

- 2) 將矽基材料和第一導電劑分散在分散劑溶液中以形成第一懸浮液；
 - 3) 通過均質器將第一懸浮液均質化以獲得均質化的第一懸浮液；
 - 4) 將黏結劑材料與第二溶劑混合以形成黏結劑溶液；
 - 5) 將第二導電劑分散在黏結劑溶液中以形成第二懸浮液；
 - 6) 將均質化的第一懸浮液與第二懸浮液混合以形成第三懸浮液；
- 以及
- 7) 將第三懸浮液與碳活性材料混合以形成陽極漿料；
- 其中第一導電劑的粒徑小於第二導電劑的粒徑。

【0011】 在一些實施例中，分散劑係選自由聚乙烯醇、聚氧化乙烯、聚氧化丙烯、聚乙烯吡咯烷酮、聚陰離子纖維素、羧甲基纖維素、羥乙基纖維素、羧甲基羥乙基纖維素、甲基纖維素、澱粉、果膠、聚丙烯醯胺、明膠、聚丙烯酸及其組合所構成的群組。在某些實施例中，分散劑溶液的黏度是約10cps至約2,000cps。

【0012】 在某些實施例中，第一溶劑和第二溶劑中的每一者獨立地係選自由水、乙醇、異丙醇、甲醇、丙酮、正丙醇、叔丁醇、N-甲基-2-吡咯烷酮及其組合所構成的群組。

【0013】 在一些實施例中，矽基材料係選自由Si、SiO_x、Si/C、SiO_x/C、Si/M及其組合所構成的群組，其中各個x獨立地是0至2；M係選自鹼金屬、鹼土金屬、過渡金屬、稀土金屬或其組合，且不是Si。在一些實施例中，矽基材料的粒徑是約10nm至約800nm。

【0014】 在某些實施例中，第一導電劑係選自由碳、碳黑、乙炔黑、Super P、石墨烯、石墨烯奈米片、碳纖維、碳奈米纖維、石墨化碳片、碳管、碳奈米管、活性碳、介孔碳及其組合所構成的群組。在某些實施例中，第一導電劑的粒徑是約20nm至約100nm。

【0015】 在一些實施例中，第一懸浮液的粒徑分佈的D10值在約10nm至約100nm的範圍內，D50值在約30nm至約2μm的範圍內，且D90

值在約70nm至約3 μ m的範圍內。

【0016】 在某些實施例中，粒徑分佈的D90/D50的比小於2:1。

【0017】 在一些實施例中，第二導電劑係選自由碳、導電石墨、氣相生長碳纖維、KS6、KS15、膨脹石墨及其組合所構成的群組。在某些實施例中，第二導電劑的粒徑是約1 μ m至約10 μ m。在一些實施例中，第一導電劑和第二導電劑的重量比是約5:1至約1:1。

【0018】 在一些實施例中，碳活性材料係選自由硬碳、軟碳、石墨、中間相碳微球及其組合所構成的群組。在某些實施例中，碳活性材料的粒徑是約1 μ m至約20 μ m。

【0019】 在某些實施例中，第二導電劑的粒徑和第一導電劑的粒徑比是約20:1至約250:1。

【0020】 在一些實施例中，矽基材料和第一導電劑的重量比是約1.7:1至約5:1。

【0021】 在某些實施例中，第一導電劑和第二導電劑的重量比是約1:1至約2:1。

【0022】 在一些實施例中，基於陽極漿料中的固含量的總重量，矽基材料的量是按重量計約1%至約20%。

【0023】 在某些實施例中，基於陽極漿料中的固含量的總重量，陽極漿料中的第一導電劑和第二導電劑的量是按重量計大於或等於3%。

【0024】 在一些實施例中，基於陽極漿料的總重量，陽極漿料的固含量是按重量計約30%至約65%。

【圖式簡單說明】

【0025】

圖1示出本發明所揭露的方法的一個實施例。

【實施方式】**《定義和一般術語》**

【0026】 在一個態樣中，本發明提供一種製備陽極漿料的方法，包含以下步驟：

- 1) 將分散劑和第一溶劑混合以形成分散劑溶液；
 - 2) 將矽基材料和第一導電劑分散在分散劑溶液中以形成第一懸浮液；
 - 3) 通過均質器將第一懸浮液均質化以獲得均質化的第一懸浮液；
 - 4) 將黏結劑材料與第二溶劑混合以形成黏結劑溶液；
 - 5) 將第二導電劑分散在黏結劑溶液中以形成第二懸浮液；
 - 6) 將均質化的第一懸浮液與第二懸浮液混合以形成第三懸浮液；
- 以及
- 7) 將第三懸浮液與碳活性材料混合以形成陽極漿料；
- 其中第一導電劑的粒徑小於第二導電劑的粒徑。

【0027】 術語「電極」是指「陰極」或「陽極」。

【0028】 術語「正極」與陰極可交換地使用。同樣地，術語「負極」與陽極可交換地使用。

【0029】 術語「行星式混合器」是指可以用於混合或攪拌不同材料以生成均質混合物的設備，其由在容器內進行行星運動的槳組成。在一些實施例中，行星式混合器包含至少一個行星式槳和至少一個高速分散槳。行星式槳和高速分散槳圍繞自身的軸旋轉且同樣圍繞著容器連續旋轉。轉速可以以單位每分鐘的轉數(rpm)來表示，rpm是指旋轉體在一分鐘內完成的旋轉次數。

【0030】 術語「分散劑」是用於促進懸浮介質中微粒的均勻性和最大分離性，且形成穩定的懸浮液的化學製品。

【0031】 術語「分散」是指化學物種或固體或多或少均勻分佈

在整個流體中的行為。

【0032】 術語「矽基材料」是指由矽或矽和其它元素的組合組成的材料。

【0033】 術語「導電劑」是指具有化學惰性並且具有良好導電性的材料。因此，在形成電極時導電劑常與電極活性材料混合以提高電極導電性。

【0034】 術語「均質器」是指可以用於材料的均質化的設備。術語「均質化」是指使物質或材料減小到小顆粒和將其均勻分佈在整個流體中的方法。任何常規的均質器都可以用於本發明所揭露的方法。均質器的一些非限制性示例包括攪拌混合器、混合機、磨機（例如膠體磨和砂磨機）、超音波發生器、噴霧器、轉子-定子均質器和高壓均質器。

【0035】 術語「超音波發生器」是指可以施加超音波能量以攪拌樣品中的顆粒的設備。任何可以分散本發明所揭露的漿料的超音波發生器都可以在本發明中使用。超音波發生器的一些非限制性示例包括超音波浴、探針型超音波發生器和超音波流動池。

【0036】 術語「超音波浴」是指借助超音波浴的容器壁使超音波能量穿過其而傳遞到液體樣品中的設備。

【0037】 術語「探針型超音波發生器」是指浸沒在用於直接超音波處理的介質中的超音波探針。術語「直接超音波處理」是指超音波直接結合到處理液體中。

【0038】 術語「超音波流動池」或「超音波反應器腔室」是指這樣的設備：通過該設備，超音波處理方法可以流通模式進行。在一些實施例中，超音波流動池是單程(single-pass)配置、多程(multiple-pass)配置或再循環配置。

【0039】 術語「黏結劑材料」是指可以用於將活性電池電極材料和導電劑保持在合適位置的化學製品或物質。

【0040】 術語「碳活性材料」是指碳作為主要骨架的活性材料，其中可以嵌入鋰離子。碳活性材料的一些非限制性示例包括碳質材料和石墨材料。碳質材料是具有低石墨化(低結晶度)的碳材料。石墨材料是具有高結晶度的材料。

【0041】 術語「平均粒徑D50」是指基於體積的累積50%尺寸(D50)，其是當累積曲線被繪製時在累積曲線上的50%的點處的粒徑(即顆粒體積的第50個百分點(中位數)的顆粒直徑)，使得基於體積獲得粒徑分佈以及總體積為100%。此外，D10是指基於體積的累積10%尺寸(即顆粒體積的第10個百分點的顆粒直徑)，且D90是指基於體積的累積90%尺寸(即顆粒體積的第90個百分點的顆粒直徑)。

【0042】 術語「固含量」是指蒸發後剩餘的非揮發性物質的量。

【0043】 術語組合物的「主要組分」是指基於組合物的總重量或總體積，按重量或體積計大於50%、大於55%、大於60%、大於65%、大於70%、大於75%、大於80%、大於85%、大於90%或大於95%的組分。

【0044】 術語組合物的「次要組分」是指基於組合物的總重量或總體積，按重量或體積計小於50%、小於45%、小於40%、小於35%、小於30%、小於25%、小於20%、小於15%、小於10%或小於5%的組分。

【0045】 術語「C倍率」是指在其總儲存容量方面以Ah或mAh表示的電池或電池組的充電倍率或放電倍率。例如，1C的倍率意味著在一個小時內利用所有的儲存能量；0.1C意味著在一個小時內利用能量的10%或在10個小時內利用全部的能量；以及5C意味著在12分鐘內利用全部的能量。

【0046】 術語「安時(Ah)」是指在說明電池的儲存容量中所使用的單位。例如，1Ah容量的電池可以提供持續1小時的1安培的電流或者提供持續兩小時的0.5安培的電流等。因此，1安時(Ah)相當於3,600庫侖電荷。類似地，術語「毫安時(mAh)」也是指電池的儲存容量中所使用的單位且是安時的1/1,000。

【0047】 術語「毫安小時每克(mAh/g)」是指指定電池材料的比容量的單位(即電池材料的每單位質量的容量)。

【0048】 術語「電池循環壽命」是指在其額定容量降低低於其初始的額定容量的80%之前電池可以執行的完全充電/放電循環的次數。

【0049】 在以下描述中，本發明所揭露之所有數值是近似值，而不管是否結合使用詞彙「約」或「近似」。它們可以變動1%、2%、5%或者有時10%至20%。每當揭露具有下限 R^L 和上限 R^U 的數值範圍時，特別揭露了落入該範圍內的任何數值。具體而言，在該範圍內的以下數值被具體揭露： $R=R^L+k*(R^U-R^L)$ ，其中k是具有1%增量的1%至100%的變量，即，k是1%、2%、3%、4%、5%、……、50%、51%、52%、……、95%、96%、97%、98%、99%或100%。並且，也具體揭露了通過如以上所限定的兩個R數值所限定的任何數值範圍。

【0050】 製備含矽陽極漿料的常規方法包含以下步驟：加入例如石墨顆粒的碳活性材料到黏結劑溶液中以形成混合物，然後加入矽顆粒和導電劑至混合物中以形成含矽陽極漿料。然而，矽顆粒往往會由於強力保持在一起而形成凝集，且不易在正常分散條件下分離。矽顆粒的凝集往往會在鋰離子嵌入期間引起含矽陽極的破裂的問題。

【0051】 工業中需要的是製備包含分散均勻的矽的含矽陽極漿料的方法。本發明涉及具有改善的分散性的矽基材料、陽極活性材料和導電劑的陽極漿料。

【0052】 圖1係顯示本發明所揭露的方法的一個實施例。首先，將分散劑和第一溶劑混合以製備分散劑溶液。然後將矽基材料和第一導電劑分散在分散劑溶液中以形成第一懸浮液。然後將第一懸浮液均質化以獲得在第一懸浮液中均勻分散的矽基材料和第一導電劑。將黏結劑材料與第二溶劑混合以製備黏結劑溶液。將第二導電劑分散在黏結劑溶液中以形成第二懸浮液。接著將均質化的第一懸浮液與第二懸浮液混合以

形成第三懸浮液。最後，將碳活性材料加入到第三懸浮液中。矽基材料、碳活性材料和導電劑一起與黏結劑材料形成含矽陽極漿料。

【0053】 由於奈米尺寸的矽基材料有相互黏附或與其它組分黏附的趨勢，因此在與陽極漿料的其它組分混合之前，重要的是均勻分散矽基材料。本發明的方法能夠避免奈米尺寸的矽基材料的凝集且有效地在陽極漿料中均勻分散奈米尺寸的矽基材料。具有均勻分佈的矽基材料和第一導電劑的第一懸浮液對於生產陽極漿料中所有組分均勻分佈的陽極漿料至關重要。

【0054】 同樣地，在混合第一懸浮液之前製備含有均勻分佈的第二導電劑和/或碳活性材料的第二懸浮液可以確保在第三懸浮液中的材料的均勻分佈。因此，從第三懸浮液製得的陽極漿料具有均勻的材料分佈。

【0055】 第一導電劑可以增加電極塗層的密度。由不同尺寸的顆粒組成的陽極塗層可以有效地增加填充密度。中等尺寸的顆粒可以填充較大尺寸的顆粒之間的空隙，而較小尺寸的顆粒可以填充中等顆粒之間的空隙。通過較小尺寸的顆粒連續填充空隙會減少空隙的體積且增加陽極塗層的填充密度。這會相應地增加填充密度和電池容量。此外，由於矽的導電性低於碳的導電性，具有不同粒徑的導電劑的陽極塗層有良好連接的導電網絡，由此增加陽極塗層的導電性。

【0056】 然而，在鋰離子嵌入和脫嵌期間，矽基材料的體積變化大，陽極塗層中不足的空隙體積會引起層的破裂。本發明的其中一個優勢是，通過本發明揭露的方法所製備的陽極漿料可以用於製備陽極塗層，其具有增加的導電性和用於矽基材料膨脹的足夠空間。

【0057】 在某些實施例中，通過混合分散劑和第一溶劑來製備分散劑溶液。在一些實施例中，分散劑是丙烯酸酯基或纖維素基聚合物。丙烯酸基聚合物的一些非限制性示例包括聚乙烯吡咯烷酮、聚丙烯酸和聚乙烯醇。纖維素基聚合物的一些非限制性示例包括羥乙基纖維素

(HEC)、羥丙基纖維素(HPC)、甲基纖維素(MC)和羥烷基甲基纖維素。在進一步的實施例中，分散劑係選自由聚乙烯醇、聚氧化乙烯、聚氧化丙烯、聚乙烯吡咯烷酮、聚陰離子纖維素、羧甲基纖維素、羥乙基纖維素、羧甲基羥乙基纖維素、甲基纖維素、澱粉、果膠、聚丙烯醯胺、明膠、聚丙烯酸及其組合所構成的群組。

【0058】 分散劑的使用增強了矽基材料的潤濕性和幫助矽基材料分散在分散劑溶液中。然而，加入例如陰離子表面活性劑或陽離子表面活性劑的表面活性劑傾向於改變分散溶液的其它物理性質(例如表面張力)，且可能會使分散溶液不適用於所需的應用。此外，分散劑的使用也會通過增加分散溶液的黏度來幫助抑制固體成分的沉降。因此，分散溶液的恆定黏度和均勻的分散狀態可以長時間保持。

【0059】 陽極漿料中使用的溶劑可以是任何極性有機溶劑。在某些實施例中，第一溶劑和第二溶劑中的每一者獨立地係選自由甲基丙基酮、甲基異丁基酮、乙基丙基酮、二異丁基酮、苯乙酮、N-甲基-2-吡咯烷酮、丙酮、四氫呋喃、二甲基甲醯胺、乙腈、二甲基亞砷等所構成的群組中的極性有機溶劑。

【0060】 水性溶劑也可以用作製備陽極漿料。過渡到水基製程可期望減少揮發性有機化合物的排放，且提高加工效率。在某些實施例中，第一溶劑和第二溶劑中的每一者獨立地是包含作為主要組分的水和作為除了水的次要組分的揮發性溶劑，例如醇、低級脂肪酮、低級烷基乙酸酯等的溶液。在一些實施例中，水的用量是水和水之外的溶劑的總量的至少50%、至少55%、至少60%、至少65%、至少70%、至少75%、至少80%、至少85%、至少90%或至少95%。在某些實施例中，水的用量是水和水之外的溶劑的總量的至多55%、至多60%、至多65%、至多70%、至多75%、至多80%、至多85%、至多90%或至多95%。在一些實施例中，溶劑僅僅由水組成，即，水在溶劑中的比例是100vol.%。

【0061】 任何可與水混溶的溶劑可以用作第一溶劑或第二溶劑的次要組分。次要組分(即水之外的溶劑)的一些非限制性示例包括醇、

低級脂肪酮、低級烷基乙酸酯及其組合。醇的一些非限制性示例包括C₁-C₄醇，例如甲醇、乙醇、異丙醇、正丙醇、丁醇及其組合。低級脂肪酮的一些非限制性示例包括丙酮、二甲基酮和甲基乙基酮。低級烷基乙酸酯的一些非限制性示例包括乙酸乙酯、乙酸異丙酯和乙酸丙酯。

【0062】 在某些實施例中，第一溶劑和第二溶劑中的每一者不含例如醇、低級脂肪酮和低級烷基乙酸酯的有機溶劑。由於陽極漿料的組合不包括任何有機溶劑，因此在漿料製造中避免了昂貴的、限制的和複雜的處理的有機溶劑。

【0063】 基於分散劑溶液的總重量，分散劑溶液中的分散劑的量在約0.01%至約15%、約0.01%至約10%或約0.1%至約8%的範圍內。當分散劑的量太多時，活性材料的每重量分散劑的重量比增加，且因此活性材料的量減少。這導致電池容量的減少和電池性能的劣化。

【0064】 在某些實施例中，分散劑溶液的黏度是約10cps至約2,000cps、約20cps至約1,000cps、約50cps至約1,000cps、約100cps至約1,000cps、約200cps至約1,000cps、約500cps至約1,000cps、約20cps至約800cps、約20cps至約500cps、約20cps至約200cps、約20cps至約100cps或約20cps至約50cps。

【0065】 本發明所揭露的陽極漿料包含增加電池的儲存容量的矽基材料。矽基材料和第一導電劑分散在分散劑溶液中以形成第一懸浮液。在某些實施例中，矽基材料係選自由Si、SiO_x、Si/C、SiO_x/C、Si/M及其組合所構成的群組，其中各個x獨立地是0至2；M係選自鹼金屬、鹼土金屬、過渡金屬、稀土金屬或其組合，且不是Si。

【0066】 對矽基材料的類型沒有特別限制。矽基材料可以以細粉、奈米線、奈米棒、奈米纖維或奈米管的形式製備。在某些實施例中，矽基材料是細粉的形式。當矽基材料的粒徑太大（即大於800nm）時，矽基材料會經歷非常大的體積膨脹，由此導致陽極電極層的破裂。在一些實施例中，矽基材料的粒徑是約10nm至約800nm、約10nm至約500nm、

約10nm至約300nm、約10nm至約100nm、約30nm至約500nm、約30nm至約300nm、約30nm至約100nm、約50nm至約300nm、約50nm至約100nm或約100nm至約300nm。在某些實施例中，矽基材料的粒徑小於800nm、小於600nm、小於400nm、小於200nm或小於100nm。在一些實施例中，矽基材料的粒徑大於10nm、大於50nm、大於100nm、大於200nm或大於500nm。

【0067】 在一些實施例中，第一懸浮液中的矽基材料與分散劑的重量比是約1:1至約10:1、約1:1至約8:1、約1:1至約6:1、約3:1至約10:1、約3:1至約8:1、約3:1至約6:1或約4:1至約6:1。在某些實施例中，第一懸浮液中的矽基材料與分散劑的重量比小於10:1、小於8:1、小於6:1、小於4:1或小於2:1。在一些實施例中，第一懸浮液中的矽基材料與分散劑的重量比大於2:1、大於4:1、大於6:1或大於8:1。

【0068】 陽極漿料中的導電劑用來增強陽極的導電性。在一些實施例中，陽極漿料包含不同尺寸的導電劑。在某些實施例中，陽極漿料包含第一導電劑和第二導電劑，且第一導電劑的粒徑小於第二導電劑的粒徑。在一些實施例中，第一導電劑係選自由碳、碳黑、乙炔黑、Super P、石墨烯、石墨烯奈米片、碳纖維、碳奈米纖維、石墨化碳片、碳管、碳奈米管、活性碳、介孔碳及其組合所構成的群組。在某些實施例中，第一導電劑不是碳、碳黑、乙炔黑、Super P、石墨烯、石墨烯奈米片、碳纖維、碳奈米纖維、石墨化碳片、碳管、碳奈米管、活性碳或介孔碳。

【0069】 在一些實施例中，第一導電劑的粒徑是約20nm至約100nm、約20nm至約80nm、約30nm至約70nm、約30nm至約50nm、約40nm至約100nm、約40nm至約60nm、約45nm至約90nm、約45nm至約60nm或約60nm至約100nm。在一些實施例中，第一導電劑的粒徑小於100nm、小於80nm、小於60nm、小於40nm或小於20nm。在某些實施例中，第一導電劑的粒徑大於20nm、大於40nm、大於60nm或大於80nm。

【0070】 在某些實施例中，第一導電劑和第二導電劑中的每一者的長寬比獨立地是約1:1至約1:10、約1:1至約1:8、約1:1至約1:6、約1:1

至約1:5或約1:1至約1:3。在一些實施例中，第一導電劑和第二導電劑中的每一者的長寬比獨立地小於1:10、小於1:8、小於1:6、小於1:5或小於1:3。

【0071】 在一些實施例中，在第一懸浮液中的第一導電劑和分散劑的重量比是約0.5:1至約5:1、約0.5:1至約2.5:1、約1:1至約5:1、約1:1至約4:1、約1:1至約3:1或約1:1至約2:1。在某些實施例中，在第一懸浮液中的第一導電劑和分散劑的重量比小於5:1、小於4:1、小於3:1、小於2:1或小於1:1。在一些實施例中，在第一懸浮液中的第一導電劑和分散劑的重量比大於0.5:1、大於1:1、大於2:1、大於3:1或大於4:1。

【0072】 在某些實施例中，矽基材料和第一導電劑的重量比是約2至約5、約2至約4、約2至約3、約2.5至約5、約3至約5、約3至約4或約4至約5。

【0073】 在某些實施例中，第一懸浮液的粒徑分佈的D10值在約5nm至約100nm、約5nm至約50nm、約10nm至約100nm、約10nm至約80nm、約10nm至約60nm、約10nm至約40nm、約10nm至約20nm、約30nm至約100nm或約50nm至約100nm的範圍內。

【0074】 在一些實施例中，第一懸浮液的粒徑分佈的D50值在約30nm至約1 μ m、約30nm至約500nm、約30nm至約300nm、約30nm至約200nm、約30nm至約100nm、約30nm至約80nm、約30nm至約60nm或約30nm至約50nm的範圍內。

【0075】 在某些實施例中，第一懸浮液的粒徑分佈的D90值在約50nm至約1 μ m、約50nm至約800nm、約50nm至約500nm、約50nm至約300nm、約50nm至約100nm、約70nm至約300nm、約70nm至約200nm、約70nm至約100nm或約70nm至約90nm的範圍內。

【0076】 在一些實施例中，第一懸浮液的粒徑分佈的D50/D10的比和D90/D50的比中的每一者獨立地是約0.3:1至約10:1、約1:1至約10:1、約1:1至約5:1、約1:1至約3:1、約1:1至約2:1、約2:1至約5:1、約2:1

至約4:1或約1.5:1至約4:1。在某些實施例中，第一懸浮液的粒徑分佈的D50/D10的比和D90/D50的比中的每一者獨立地小於10:1、小於5:1、小於4:1、小於3:1、小於2:1、小於1.5:1或小於1:1。在一些實施例中，第一懸浮液的粒徑分佈的D50/D10的比和D90/D50的比中的每一者獨立地大於1:1、大於2:1、大於3:1、大於4:1或大於5:1。

【0077】 在某些實施例中，第一懸浮液的粒徑分佈的D90/D10的比是約2:1至約10:1、約2:1至約8:1、約2:1至約6:1、約2:1至約5:1、約4:1至約10:1、約4:1至約8:1或約4:1至約6:1。在一些實施例中，第一懸浮液的粒徑分佈的D90/D10的比小於10:1、小於8:1、小於6:1或小於5:1。在某些實施例中，第一懸浮液的粒徑分佈的D90/D10的比大於2:1、大於3:1、大於4:1、大於5:1或大於6:1。

【0078】 在一些實施例中，基於第一懸浮液的總重量，第一懸浮液的固含量是按重量計約3%至約35%、約3%至約30%、約3%至約20%、約3%至約15%、約3%至約10%、約3%至約5%、約5%至約15%、約5%至約10%、約10%至約35%、約20%至約35%或約25%至約35%。

【0079】 然後通過均質器將第一懸浮液均質化以實現矽基材料和第一導電劑的均勻分散，並得到均質化的第一懸浮液。本發明可以使用任何可以均質化第一懸浮液的設備。在一些實施例中，均質器是超音波發生器、攪拌混合器、行星式混合器、混合機、磨機、轉子-定子均質器和高壓均質器。

【0080】 在一些實施例中，均質器是超音波發生器。本發明可以使用任何可以施加超音波能量以攪拌和分散樣品中的顆粒的超音波發生器。在一些實施例中，超音波發生器是超音波浴、探頭式超音波發生器和超音波流動池。

【0081】 在某些實施例中，超音波發生器在約20 W/L至約200 W/L、約20 W/L至約150 W/L、約20 W/L至約100 W/L、約20 W/L至約50 W/L、約50 W/L至約200 W/L、約50 W/L至約150 W/L、約50 W/L至約100

W/L、約10 W/L至約50 W/L或約10 W/L至約30 W/L的功率密度下運行。

【0082】 在一些實施例中，超音波處理第一懸浮液的時段是約0.5小時至約5小時、約0.5小時至約3小時、約0.5小時至約2小時、約1小時至約5小時、約1小時至約3小時、約1小時至約2小時、約2小時至約5小時或約2小時至約4小時。

【0083】 在某些實施例中，通過機械攪拌均質化第一懸浮液約0.5小時至約5小時的時段。在一些實施例中，攪拌混合器是由行星式槳和高速分散槳組成的行星式混合器。在某些實施例中，行星式槳和高速分散槳的轉速相同。在其它實施例中，行星式槳的轉速是約50rpm至約200rpm，且分散槳的轉速是約1,000rpm至約3,500rpm。在某些實施例中，攪拌時間是約0.5小時至約5小時、約1小時至約5小時、約2小時至約5小時或約3小時至約5小時。

【0084】 在一些實施例中，通過機械攪拌和超音波處理同時均質化第一懸浮液。在某些實施例中，在室溫下超音波處理和攪拌第一懸浮液數小時。機械攪拌和超音波處理的綜合效果可以提高混合效果。因此，可以得到均質化的第一懸浮液並減少混合時間。在某些實施例中，攪拌和超音波處理的時間是約0.5小時至約5小時、約0.5小時至約4小時、約0.5小時至約3小時、約0.5小時至約2小時、約0.5小時至約1小時、約1小時至約4小時、約1小時至約3小時或約1小時至約2小時。在一些實施例中，為了確保在第一懸浮液中的材料的充分混合，攪拌和超音波處理的時間是至少1小時或2小時。

【0085】 在超音波發生器操作期間，超音波能量部分轉換成熱，引起懸浮液中溫度的升高。通常，使用冷卻系統消散產生的熱。為了在超音波處理期間維持懸浮液溫度，可以使用冰浴。此外，可以使用較短時段的超音波處理來防止由於產生大量的熱而使得懸浮液過熱。同樣可以間歇地超音波處理懸浮液以防止過熱。然而，當使用較高功率時，由於較大的振盪幅度，可以產生相當多的熱。因此，冷卻懸浮液變得更加困難。

【0086】 第一懸浮液中的矽基材料和第一導電劑的均勻性取決於輸送到懸浮液的超音波能量。超音波能量不能太高，因為超音波處理產生的熱可能會使懸浮液過熱。超音波處理期間溫度的升高會影響第一懸浮液中的顆粒的分散質量。

【0087】 可以在低的功率密度下操作超音波發生器來防止第一懸浮液過熱。在一些實施例中，通過在功率密度約20W/L至約200W/L下超音波處理，分散槳轉速約1,000rpm至約3,500rpm和行星式槳的轉速約50rpm至約200rpm下攪拌，來處理第一懸浮液。在其它實施例中，操作超音波發生器的功率密度是約20W/L至約150W/L、約20W/L至約100W/L、約20W/L至約50W/L、約50W/L至約200W/L、約50W/L至約150W/L、約50W/L至約100W/L、約10W/L至約50W/L或約10W/L至約30W/L。在一些實施例中，操作超音波發生器的功率密度小於100W/L、小於80W/L、小於60W/L或小於50W/L。當使用這種功率密度時，在分散步驟中不需要熱移除或冷卻。在一些實施例中，分散槳轉速是約1,000rpm至約3,000rpm、約1,000rpm至約2,000rpm、約2,000rpm至約3,500rpm或約3,000rpm至約3,500rpm。在某些實施例中，行星式槳的轉速是約50rpm至約150rpm、約50rpm至約100rpm、約75rpm至約200rpm、約75rpm至約150rpm、約100rpm至約200rpm或約100rpm至約150rpm。

【0088】 本發明製得的第一懸浮液展現出均勻的粒徑分佈。如果出現矽基材料和第一導電劑的凝集，將會影響第一懸浮液中的顆粒的均勻性，其將隨後影響陽極漿料的粒徑分佈。

【0089】 在一些實施例中，通過在黏結劑溶液中分散第二導電劑來製備第二懸浮液。

【0090】 陽極漿料中的黏結劑材料起到將活性電極材料和導電劑一起黏結到集流器上的作用。通過混合黏結劑材料和第二溶劑來製備黏結劑溶液。在一些實施例中，黏結劑材料係選自由丁苯橡膠(SBR)、丙烯酸化丁苯橡膠、丙烯腈共聚物、丁腈橡膠、腈基丁二烯橡膠、丙烯腈-苯乙烯-丁二烯共聚物、丙烯醯基橡膠、丁基橡膠、氟橡膠、聚四氟

乙烯、聚乙烯、聚丙烯、乙烯/丙烯共聚物、聚丁二烯、聚氧化乙烯、氯磺化聚乙烯、聚乙烯吡咯烷酮、聚乙烯基吡啶、聚乙烯醇、聚醋酸乙烯酯、聚環氧氯丙烷、聚磷腈、聚丙烯腈、聚苯乙烯、乳膠、丙烯酸樹脂、酚醛樹脂、環氧樹脂、羧甲基纖維素(CMC)、羥丙基纖維素、醋酸纖維素、醋酸丁酸纖維素、醋酸丙酸纖維素、氰基乙基纖維素、氰基乙基蔗糖、聚酯、聚醯胺、聚醚、聚醯亞胺、聚羧酸酯、聚羧酸、聚丙烯酸(PAA)、聚丙烯酸酯、聚甲基丙烯酸、聚甲基丙烯酸酯、聚丙烯醯胺、聚氨酯、氟化聚合物、氯化聚合物、海藻酸鹽、聚偏二氟乙烯(PVDF)、聚(偏二氟乙烯)-六氟丙烯(PVDF-HFP)、LA132、LA133及其組合所構成的群組。在某些實施例中，海藻酸鹽包括選自Na、Li、K、Ca、NH₄、Mg、Al或其組合所構成的群組中的陽離子。

【0091】 在一些實施例中，黏結劑材料是SBR、CMC、PAA、海藻酸鹽或其組合。在某些實施例中，黏結劑材料是丙烯腈共聚物。在一些實施例中，黏結劑材料是聚丙烯腈。在某些實施例中，黏結劑材料不含SBR、CMC、PVDF、丙烯腈共聚物、PAA、聚丙烯腈、PVDF-HFP、LA132、LA133、乳膠或海藻酸鹽。

【0092】 在其它實施例中，通過在第二溶劑中混合第二導電劑和碳活性材料來製備第二懸浮液。

【0093】 在一些實施例中，第二導電劑係選自由碳、導電石墨、氣相生長碳纖維、KS6、KS15、膨脹石墨及其組合所構成的群組。

【0094】 在某些實施例中，第二導電劑的粒徑是約1 μ m至約10 μ m、約1 μ m至約8 μ m、約1 μ m至約6 μ m、約1 μ m至約4 μ m、約3 μ m至約10 μ m、約3 μ m至約8 μ m、約3 μ m至約6 μ m、約5 μ m至約10 μ m或約5 μ m至約8 μ m。在一些實施例中，第二導電劑的粒徑小於10 μ m、小於8 μ m、小於6 μ m、小於4 μ m或小於2 μ m。在某些實施例中，第二導電劑的粒徑大於1 μ m、大於3 μ m、大於5 μ m、大於7 μ m或大於9 μ m。

【0095】 在一些實施例中，基於第二懸浮液的總重量，第二懸

浮液的固含量是按重量計約0.5%至約10%、約1%至約10%、約1%至約8%、約1%至約6%、約1%至約4%、約1%至約2%、約2%至約8%、約2%至約6%、約2%至約4%或約5%至約10%。

【0096】 在一些實施例中，通過在第二溶劑中混合第二導電劑和碳活性材料來製備第二懸浮液。基於第二懸浮液的總重量，第二懸浮液的固含量是按重量計約15%至約35%、約20%至約35%、約20%至約30%、約25%至約35%或約30%至約35%。

【0097】 在某些實施例中，將第二導電劑分散在黏結劑溶液中的時段是約0.5小時至約3小時、約0.5小時至約2小時、約0.5小時至約1小時、約1小時至約3小時或約1小時至約2小時。

【0098】 形成第二懸浮液後，均質化的第一懸浮液與第二懸浮液混合以形成第三懸浮液。在某些實施例中，混合均質化的第一懸浮液與第二懸浮液的時段是約0.5小時至約3小時、約0.5小時至約2小時、約0.5小時至約1小時、約1小時至約3小時或約1小時至約2小時。在一些實施例中，混合均質化的第一懸浮液與第二懸浮液的時段多於0.5小時、多於0.75小時或多於1小時。

【0099】 在一些實施例中，在第一懸浮液與第二懸浮液混合之前，攪拌或攪動第一懸浮液與第二懸浮液以防止顆粒的沉降。因此，懸浮液中的顆粒可以保持較長時間。

【0100】 在某些實施例中，基於第三懸浮液的總重量，第三懸浮液的固含量是按重量計約3%至約35%、約3%至約30%、約3%至約10%、約10%至約35%、約15%至約35%、約20%至約35%或約20%至約25%。

【0101】 在一些實施例中，通過混合碳活性材料和第三懸浮液來製備陽極漿料。混合均質化的第三懸浮液和碳活性材料可以避免顆粒凝集。在某些實施例中，碳活性材料係選自由硬碳、軟碳、石墨、中間相碳微球及其組合所構成的群組。在其它實施例中，碳活性材料不是硬碳、軟碳、石墨或中間相碳微球。在其它實施例中，通過混合黏結劑材

料和第三懸浮液來製備陽極漿料。

【0102】 在某些實施例中，碳活性材料的粒徑是約1 μm 至約30 μm 、約1 μm 至約20 μm 、約1 μm 至約10 μm 、約10 μm 至約30 μm 、約10 μm 至約20 μm 、約15 μm 至約30 μm 、約15 μm 至約25 μm 或約15 μm 至約20 μm 。在一些實施例中，碳活性材料的粒徑大於矽基材料、第一導電劑和第二導電劑中的每一者的粒徑。

【0103】 在一些實施例中，混合碳活性材料或黏結劑材料和第三懸浮液的時段是約0.5小時至約6小時、約1小時至約6小時、約1小時至約5小時、約1小時至約3小時、約2小時至約6小時或約2小時至約4小時。

【0104】 當陽極漿料中的分散劑的量太多時，製得的陽極的電化學性能會降低。在某些實施例中，基於陽極漿料中的固含量的總重量，陽極漿料中的分散劑的量是按重量計約0.1%至約5%、約0.1%至約2%、約0.5%至約5%、約0.5%至約3%、約0.5%至約2%、約1%至約5%、約1%至約4%或約1%至約3%。在一些實施例中，基於陽極漿料中的固含量的總重量，陽極漿料中的分散劑的量是按重量計少於10%、少於5%、少於4%、少於3%、少於2%或少於1%。在某些實施例中，基於陽極漿料中的固含量的總重量，陽極漿料中的分散劑的量是按重量計多於0.1%、多於0.5%、多於1%、多於2%、多於3%或多於4%。

【0105】 如果陽極電極層中的矽基材料的量太高，陽極電極層會產生高循環膨脹。因此，基於陽極漿料中的固含量的總重量，本發明的矽基材料的含量是按重量計約1%至約20%。在其它實施例中，基於陽極漿料中的固含量的總重量，陽極漿料中的矽基材料的量是按重量計約1%至約10%、約1%至約8%、約1%至約6%、約1%至約4%、約3%至約10%、約3%至約8%、約5%至約10%、約10%至約20%或約10%至約15%。

【0106】 在某些實施例中，基於陽極漿料中的固含量的總重量，陽極漿料中的矽基材料的量是按重量計少於20%、少於15%、少於10%、少於5%、少於4%、少於3%、少於2%或少於1%。在一些實施例中，基

於陽極漿料中的固含量的總重量，陽極漿料中的矽基材料的量是按重量計至多1%、至多2%、至多3%、至多4%、至多5%、至多10%、至多15%或至多20%。

【0107】 小粒徑的第一導電劑可以用來填充較大電極材料顆粒之間的空隙，來增加陽極的填充密度和導電性。在某些實施例中，第二導電劑的粒徑和第一導電劑的粒徑的比是約20:1至約250:1、約20:1至約200:1、約20:1至約150:1、約20:1至約100:1、約20:1至約50:1、約50:1至約250:1、約50:1至約200:1、約50:1至約150:1或約100:1至約250:1。在一些實施例中，第二導電劑的粒徑和第一導電劑的粒徑的比小於300:1、小於250:1、小於200:1、小於150:1、小於100:1或小於50:1。在某些實施例中，第二導電劑的粒徑和第一導電劑的粒徑的比大於10:1、大於20:1、大於50:1、大於100:1或大於150:1。

【0108】 在一些實施例中，基於陽極漿料中的固含量的總重量，陽極漿料中的第一導電劑和第二導電劑中之每一者的量獨立地是按重量計至少0.1%、至少0.5%、至少1%、至少1.5%、至少2%、至少2.5%、至少3%、至少3.5%、至少4%、至少4.5%、至少5%、至少6%或至少7%。在某些實施例中，基於陽極漿料中的固含量的總重量，陽極漿料中的第一導電劑和第二導電劑中之每一者的量獨立地是按重量計至多10%、至多9%、至多8%、至多7%、至多6%、至多5%、至多4.5%、至多4%或至多3.5%。

【0109】 在某些實施例中，基於陽極漿料中的固含量的總重量，陽極漿料中的第一導電劑和第二導電劑中之每一者的量獨立地是按重量計約0.5%至約10%、約0.5%至約5%、約1%至約10%、約1%至約8%、約1%至約6%、約1%至約5%、約1%至約4%、約3%至約7%或約3%至約5%。

【0110】 在一些實施例中，基於陽極漿料中的固含量的總重量，陽極漿料中的第一導電劑和第二導電劑的總量是按重量計約0.1%至約10%、約0.5%至約10%、約0.5%至約8%、約0.5%至約5%、約1%至約7%、

約1%至約5%、約3%至約8%或約3%至約5%。在某些實施例中，基於陽極漿料中的固含量的總重量，陽極漿料中的第一導電劑和第二導電劑的總量是按重量計至少0.1%、至少0.5%、至少1%、至少2%、至少3%、至少4%或至少5%。

【0111】 在一些實施例中，陽極漿料中的第一導電劑和第二導電劑的重量比是約1:1至約2:1、約1:1至約1.8:1、約1:1至約1.6:1、約1:1至約1.5:1、約1:1至約1.3:1、約1:1至約1.1:1、約1.2:1至約1.8:1、約1.3:1至約1.7:1或約1.5:1至約2:1。在某些實施例中，陽極漿料中的第一導電劑和第二導電劑的重量比小於3:1、小於2.5:1、小於2:1或小於1.5:1。在一些實施例中，陽極漿料中的第一導電劑和第二導電劑的重量比大於0.5:1、大於1:1或大於1.5:1。

【0112】 在一些實施例中，矽基材料和第一導電劑的重量比是約1.7:1至約5:1、約1.7:1至約4:1、約1.7:1至約3:1、約2:1至約5:1、約2:1至約4:1、約2:1至約3:1或約3:1至約5:1。在某些實施例中，矽基材料和第一導電劑的重量比小於2.5:1、小於3:1、小於3.5:1、小於4:1或小於4.5:1。在某些實施例中，矽基材料和第一導電劑的重量比大於1.7:1、大於2:1、大於2.5:1、大於3:1、大於3.5:1、大於4:1或大於4.5:1。

【0113】 在一些實施例中，基於陽極漿料中的固含量的總重量，陽極漿料中的黏結劑材料的量是按重量計至少0.1%、至少0.5%、至少1%、至少2%、至少3%、至少4%、至少5%或至少10%。在一些實施例中，基於陽極漿料中的固含量的總重量，陽極漿料中的黏結劑材料的量是按重量計至多0.1%、至多0.5%、至多1%、至多2%、至多3%、至多4%、至多5%或至多10%。

【0114】 在某些實施例中，基於陽極漿料中的固含量的總重量，陽極漿料中的黏結劑材料的量是按重量計約0.1%至約5%、約0.1%至約2%、約0.1%至約1%、約1%至約10%、約1%至約5%、約3%至約10%或約5%至約10%。

【0115】 基於陽極漿料的總重量，得到的陽極漿料可含有高達按重量計50%或60%的分散固體。在一些實施例中，基於陽極漿料的總重量，陽極漿料的固含量是按重量計約25%至約65%、約30%至約65%、約30%至約60%、約30%至約55%、約30%至約50%、約35%至約60%、約35%至約50%或約40%至約55%。

【0116】 在一些實施例中，陽極漿料的混合或分散可以通過攪拌混合器、混合機、磨機、轉子-定子均質器或高壓均質器進行。在進一步的實施例中，攪拌混合器是行星式攪拌器。在某些實施例中，行星式漿和高速分散漿的轉速相同。在其它實施例中，行星式漿的轉速是約50rpm至約200rpm，且分散漿的轉速是約1,000rpm至約3,500rpm。

【0117】 在某些實施例中，陽極漿料的顆粒的D10是約0.5 μm 至約10 μm 、約1 μm 至約10 μm 、約1 μm 至約8 μm 、約1 μm 至約6 μm 、約3 μm 至約10 μm 、約3 μm 至約8 μm 、約3 μm 至約6 μm 或約4 μm 至約6 μm 。

【0118】 在一些實施例中，陽極漿料的顆粒的D50是約1 μm 至約25 μm 、約5 μm 至約25 μm 、約5 μm 至約20 μm 、約10 μm 至約25 μm 、約10 μm 至約20 μm 、約10 μm 至約18 μm 、約12 μm 至約18 μm 或約14 μm 至約16 μm 。

【0119】 在某些實施例中，陽極漿料的顆粒的D90在約5 μm 至約40 μm 、約10 μm 至約40 μm 、約10 μm 至約30 μm 、約20 μm 至約40 μm 、約20 μm 至約35 μm 、約20 μm 至約30 μm 、約20 μm 至約28 μm 、約20 μm 至約26 μm 或約25 μm 至約30 μm 。

【0120】 黏度控制對塗覆過程十分重要。在一些實施例中，陽極漿料的黏度是約1,000cps至約10,000cps、約1,000cps至約8,000cps、約1,000cps至約6,000cps、約1,000cps至約3,000cps、約2,000cps至約8,000cps、約2,000cps至約6,000cps、約3,000cps至約8,000cps、約3,000cps至約6,000cps、約3,000cps至約5,000cps或約4,000cps至約6,000cps。

【0121】 本發明所揭露的陽極漿料的黏度是穩定的。陽極漿料的不同部分的恆定黏度和在陽極漿料中的均勻的分散狀態可以長時間

保持。通過在陽極集流器上塗覆陽極漿料，可以獲得在整個電極表面上的活性材料和的導電劑的均勻分佈。

《具體實施例》

《實施例1》

(A) 第一懸浮液的製備

【0122】 在2L去離子水中溶解0.1kg聚乙 烯醇(PVA；來自 Aladdin Industries Corporation，中國)來製備分散劑溶液。分散劑溶液的黏度是20 cP。然後通過在分散劑溶液中分散粒徑為50nm的0.5kg矽(來自 CWNANO Co. Ltd.，中國)和粒徑為50nm的0.2kg乙炔黑(來自Timcal Ltd., Bodio，瑞士)來製備第一懸浮液。第一懸浮液的固含量是28.6wt.%。將第一懸浮液通過30L超音波發生器(G-100ST；來自 Shenzhen Geneng Cleaning Equipment Co. Ltd.，中國)在功率密度20W/L中超音波處理，且使用5L行星式混合器(CM05，來自ChienMei Co. Ltd.，中國)在25°C下同時攪拌約2小時以獲得均質化的第一懸浮液。行星式漿的攪拌速度是40rpm，分散漿的攪拌速度是2,500rpm。

(B) 第二懸浮液的製備

【0123】 通過混合0.2kg聚丙 烯酸(PAA，#181285，來自 Sigma-Aldrich，美國)和20L去離子水來製備黏結劑溶液。通過30L的行星式混合器(CM30；來自ChienMei Co. Ltd.，中國)將粒徑為5 μm的0.1kg KS15(來自Timcal Ltd.，Bodio，瑞士)在黏結劑溶液中分散1小時來製備第二懸浮液，得到固含量為1.5wt.%的第二懸浮液。行星式漿的攪拌速度是40rpm，分散漿的攪拌速度是2,500rpm。

(C) 第三懸浮液的製備

【0124】 通過30L的行星式混合器將均質化的第一懸浮液和第二懸浮液混合1小時來製備第三懸浮液。該懸浮液的固含量為4.8wt.%。行星式漿的攪拌速度是40rpm，分散漿的攪拌速度是2,500rpm。

(D) 陽極漿料的製備

【0125】 在30L的行星式混合器中混合粒徑為 $15\mu\text{m}$ 的8.9kg石墨(#282863，來自Sigma-Aldrich，美國)和第三懸浮液1小時來製備陽極漿料。陽極漿料的固含量為31.3wt.%。行星式漿的攪拌速度是40rpm，分散漿的攪拌速度是2,500rpm。

(E) 第一懸浮液和陽極漿料的粒徑分佈的測量

【0126】 通過激光衍射粒度分佈分析儀(Mastersizer 3000, Malvern Instruments Ltd., 英國)測量第一懸浮液和陽極漿料的粒徑分佈。樣品在穩定的分散狀態下送往光學工作台的測量區域。在顆粒被充分分散的同時進行粒徑的測量。

(F) 鈕扣電池的裝配

【0127】 使用刮刀塗佈機(來自Shenzhen KejingStar Technology Ltd., 中國；型號MSK-AFA-III)將陽極漿料塗覆在厚度為 $9\mu\text{m}$ 的銅箔的一側上來製備負極，其中面密度為約 $8\text{mg}/\text{cm}^2$ 。使用設置在 90°C 的電熱隧道爐將銅箔上的塗膜乾燥2小時。

【0128】 塗覆的陽極片被切成用於鈕扣電池組件的盤型負極。使用厚度為 $500\mu\text{m}$ 的鋰金屬箔作為對電極。電解液是在以體積比為1:1:1的碳酸亞乙酯(EC)、碳酸甲乙酯(EMC)和碳酸二甲酯(DMC)的混合物中的 LiPF_6 的溶液(1M)。在填充氬氣的手套箱中裝配三個CR2032鈕扣電池。

(G) 軟包電池的裝配

(I) 陽極的製備

【0129】 通過轉移塗佈機將上述製得的陽極漿料塗覆在厚度為 $9\mu\text{m}$ 的銅箔的兩側上，其中面密度為約 $15\text{mg}/\text{cm}^2$ 。銅箔上的塗膜通過以10米/分鐘的傳送速度運行的24米長的隧道式熱風乾燥機在約 50°C 下乾燥2.4分鐘以獲得陽極。

(II) 陰極漿料的製備

【0130】 通過混合 92wt.% 的 LiMn_2O_4 陰極活性材料（來自 HuaGuan HengYuan LiTech Co. Ltd.，青島，中國）、4 wt.% 之作為導電劑的炭黑（SuperP；來自 Timcal Ltd，Bodio，瑞士）和作為黏結劑之 4 wt.% 的聚偏二氟乙烯（PVDF；Solef[®]5130，來自 Solvay S.A.，比利時）（這些物質被分散在含有 50 wt. % 的 N-甲基-2-吡咯烷基酮（NMP；純度 $\geq 99\%$ ，Sigma-Aldrich 公司，美國）和 50 wt.% 的丙酮（純度 $\geq 99\%$ ，Sigma-Aldrich 公司，美國）的混合溶劑中以形成具有 50 wt.% 固含量的漿料），來製備陰極漿料。該漿料通過行星式攪拌混合器被均質化。

(III) 陰極的製備

【0131】 通過空隙寬度為 $100\mu\text{m}$ 的刮刀塗佈機將均質化的漿料塗覆在作為集流器的厚度為 $20\mu\text{m}$ 的鋁箔的兩側上。鋁箔上的塗膜通過電熱隧道爐在 85°C 以約 8 米/分鐘的傳送速度乾燥以獲得陰極。

(IV) 軟包電池的裝配

【0132】 在乾燥之後，得到的陰極片和陽極片通過切割成單獨的電極板分別被用來製備陰極和陽極。通過交替地堆疊陰極電極片和陽極電極片然後封裝在由鋁-塑複合膜製成的容器（case）中，來裝配軟包電池。陰極和陽極片通過隔膜保持分開且該容器是預製成型的。然後在具有濕度和氧含量小於 1ppm 的高純度氬氣環境下，將電解液填充到容納所包裝的電極的容器中。電解液是在以體積比為 1：1：1 的碳酸亞乙酯（EC）、碳酸甲乙酯（EMC）和碳酸二甲酯（DMC）的混合物中的 LiPF_6 的（1M）的溶液。在電解液裝滿之後，軟包電池被真空密封然後使用具有標準方形的沖壓工具機械按壓。

(H) 電化學測量

(I) 鈕扣電池的放電倍率性能

【0133】 評價上述製備的鈕扣電池的放電倍率性能。使用多通

道電池測試儀 (BTS-4008-5V10mA, 來自Neware Electronics Co. Ltd, 中國) 以恆定電流模式分析鈕扣電池。在以C/10進行1次循環的初始活化過程後, 以C/10倍率對電池完全充電, 然後以C/10倍率放電。通過不同C倍率 (1C、3C和5C) 下對完全充電的電池模組放電來重複該過程, 以評估放電倍率性能。電壓範圍在0.005V與1.5V之間。

(II) 軟包電池的循環性能

【0134】 通過在3.0V與4.2V之間以1C的恆定電流倍率下充電和放電, 來測試軟包電池的循環性能。

《實施例2》

(A) 第一懸浮液的製備

【0135】 在2L N-甲基-2-吡咯烷酮(NMP; 純度 $\geq 99\%$, Sigma-Aldrich, 美國)中溶解0.1kg聚乙烯醇(PVA; 來自Aladdin Industries Corporation, 中國)來製備分散劑溶液。分散劑溶液的黏度是20 cP。然後, 通過在分散劑溶液中分散粒徑為50nm的0.5kg矽碳組合物(Si/C, 來自CWNANO Co. Ltd, 中國)和粒徑為50nm的0.2kg乙炔黑(來自Timcal Ltd., Bodio, 瑞士)來製備第一懸浮液。第一懸浮液的固含量是28.6wt.%。將第一懸浮液通過30L超音波發生器在功率密度20W/L中超音波處理, 且使用5L行星式混合器在25°C下同時攪拌約2小時以獲得均質化的第一懸浮液。行星式槳的攪拌速度是40rpm, 分散槳的攪拌速度是2,500rpm。

(B) 第二懸浮液的製備

【0136】 通過混合0.2kg聚偏二氟乙烯(PVDF; #181285, 來自Sigma-Aldrich, 美國) 和20L N-甲基-2-吡咯烷酮(NMP; 純度 $\geq 99\%$, Sigma-Aldrich, 美國)來製備黏結劑溶液。通過30L的行星式混合器將粒徑為5 μm 的0.1kg KS15(來自Timcal Ltd., Bodio, 瑞士) 在黏結劑溶液中分散1小時來製備第二懸浮液, 得到固含量為1.5wt.%的第二懸浮液。行星式槳的攪拌速度是40rpm, 分散槳的攪拌速度是2,500rpm。

(C) 第三懸浮液的製備

【0137】 通過30L的行星式混合器將均質化的第一懸浮液和第二懸浮液混合1小時來製備第三懸浮液。該懸浮液的固含量為4.8wt.%。行星式漿的攪拌速度是40rpm，分散漿的攪拌速度是2,500rpm。

(D) 陽極漿料的製備

【0138】 在30L的行星式混合器中混合粒徑為15 μ m的8.9kg石墨(#282863，來自Sigma-Aldrich，美國)和第三懸浮液1小時來製備陽極漿料。陽極漿料的固含量為31.3wt.%。行星式漿的攪拌速度是40rpm，分散漿的攪拌速度是2,500rpm。

《實施例3》

(A) 第一懸浮液的製備

【0139】 在2L去離子水中溶解0.1kg聚氧化乙烯(PEO；#181986，來自Sigma-Aldrich，美國)來製備分散劑溶液。分散劑溶液的黏度是20 cP。然後通過在分散劑溶液中分散粒徑為50nm的0.5kg矽碳組合物(Si/C，來自CWNANO Co. Ltd.，中國)和粒徑為50nm的0.2kg Super P(Super P；來自Timcal Ltd.，Bodio，瑞士)製備第一懸浮液。第一懸浮液的固含量是28.6wt.%。將第一懸浮液通過30L超音波發生器在功率密度20W/L中超音波處理，且使用5L行星式混合器在25 $^{\circ}$ C下同時攪拌約2小時以獲得均質化的第一懸浮液。行星式漿的攪拌速度是40rpm，分散漿的攪拌速度是2,500rpm。

(B) 第二懸浮液的製備

【0140】 通過混合0.2kg聚丙烯酸(PAA，#181285，來自Sigma-Aldrich，美國)和20L去離子水來製備黏結劑溶液。通過30L的行星式混合器將粒徑為5 μ m的0.1kg KS6(來自Timcal Ltd.，Bodio，瑞士)在黏結劑溶液中分散1小時來製備第二懸浮液，得到固含量為1.5wt.%的第二懸浮液。行星式漿的攪拌速度是40rpm，分散漿的攪拌速度是

2,500rpm。

(C) 第三懸浮液的製備

【0141】 通過30L的行星式混合器將均質化的第一懸浮液和第二懸浮液混合1小時來製備第三懸浮液。該懸浮液的固含量為4.8wt.%。行星式漿的攪拌速度是40rpm，分散漿的攪拌速度是2,500rpm。

(D) 陽極漿料的製備

【0142】 在30L的行星式混合器中混合粒徑為15 μ m的8.9kg石墨(#282863，來自Sigma-Aldrich，美國)和第三懸浮液1小時來製備陽極漿料。陽極漿料的固含量為31.3wt.%。行星式漿的攪拌速度是40rpm，分散漿的攪拌速度是2,500rpm。

《實施例4》

(A) 第一懸浮液的製備

【0143】 在2L去離子水中溶解0.1kg羧甲基纖維素(CMC；BSH-12, DKS Co. Ltd.，日本)來製備分散劑溶液。分散劑溶液的黏度是20 cP。然後通過在分散劑溶液中分散粒徑為50nm的0.5kg矽碳組合物(Si/C，來自CWNANO Co. Ltd.，中國)和粒徑為50nm的0.2kg Super P (來自Timcal Ltd., Bodio，瑞士)來製備第一懸浮液。第一懸浮液的固含量是28.6wt.%。將第一懸浮液通過30L超音波發生器在功率密度20W/L中超音波處理，且使用5L行星式混合器在25 $^{\circ}$ C下同時攪拌約2小時以獲得均質化的第一懸浮液。行星式漿的攪拌速度是40rpm，分散漿的攪拌速度是2,500rpm。

(B) 第二懸浮液的製備

【0144】 通過在20L去離子水中混合粒徑為5 μ m的0.1kg KS6(來自Timcal Ltd.，Bodio，瑞士)和粒徑為15 μ m的8.9kg石墨(#282863，來自Sigma-Aldrich，美國)，並使用30L的行星式攪拌器1小時來製備第二懸浮液。第二懸浮液的固含量為30.8wt.%。行星式漿的攪拌速度是40rpm，

分散漿的攪拌速度是2,500rpm。

(C) 第三懸浮液的製備

【0145】 通過30L的行星式混合器將均質化的第一懸浮液和第二懸浮液混合1小時來製備第三懸浮液。該懸浮液的固含量為30.8wt.%。行星式漿的攪拌速度是40rpm，分散漿的攪拌速度是2,500rpm。

(D) 陽極漿料的製備

【0146】 在30L的行星式混合器中混合0.2kg丁苯橡膠(SBR；AL-2001；NIPPON A&L INC.，日本)和第三懸浮液1小時來製備陽極漿料。陽極漿料的固含量為31.3wt.%。行星式漿的攪拌速度是40rpm，分散漿的攪拌速度是2,500rpm。

《實施例 5》

【0147】 通過實施例1所述的方法製備陽極漿料，只不過是使用粒徑為20nm而不是50nm的第一導電劑。

《實施例 6》

【0148】 通過實施例1所述的方法製備陽極漿料，只不過是使用粒徑為100nm而不是50nm的第一導電劑。

《實施例 7》

【0149】 通過實施例1所述的方法製備陽極漿料，只不過是使用粒徑為1 μ m而不是5 μ m的第二導電劑。

《實施例 8》

【0150】 通過實施例1所述的方法製備陽極漿料，只不過是使用粒徑為10 μ m而不是5 μ m的第二導電劑。

《實施例 9》

【0151】 通過實施例1所述的方法製備陽極漿料，只不過是使用

粒徑為10nm而不是50nm的矽基材料。

《實施例 10》

【0152】 通過實施例1所述的方法製備陽極漿料，只不過是使用粒徑為800nm而不是50nm的矽基材料。

《實施例 11》

【0153】 通過實施例1所述的方法製備陽極漿料，只不過是使用0.1kg而不是0.2kg的第一導電劑。

《實施例 12》

【0154】 通過實施例1所述的方法製備陽極漿料，只不過是使用6L而不是2L的去離子水來製備分散劑溶液，使用16L而不是20L的去離子水來製備黏結劑溶液，且使用不同重量比的電極材料。

《比較例 1》

【0155】 通過實施例1所述的方法製備陽極漿料，只不過是不製備分散劑溶液，且在去離子水中分散矽基材料和第一導電劑來形成第一懸浮液。

《比較例 2》

【0156】 通過實施例3所述的方法製備陽極漿料，只不過是將第二導電劑加入第一溶劑而不是第二溶劑中。通過在分散劑溶液中分散矽基材料、第一導電劑和第二導電劑來製備第一懸浮液。

《比較例 3》

【0157】 通過實施例3所述的方法製備陽極漿料，只不過是將第一導電劑加入第二溶劑而不是第一溶劑中。通過在黏結劑溶液中分散第一導電劑和第二導電劑來製備第二懸浮液。

《比較例 4》

【0158】 通過實施例3所述的方法製備陽極漿料，只不過是在製備第二懸浮液時不加入第二導電劑，且使用0.3kg而不是0.2kg的第一導電劑。

《比較例 5》

【0159】 通過實施例1所述的方法製備陽極漿料，只不過是在製備第一懸浮液時不加入第一導電劑，且使用0.3kg而不是0.1kg的第二導電劑。

《比較例 6》

【0160】 通過實施例1所述的方法製備陽極漿料，只不過是使用粒徑為5nm而不是50nm的第一導電劑。

《比較例 7》

【0161】 通過實施例1所述的方法製備陽極漿料，只不過是使用粒徑為300nm而不是50nm的第一導電劑。

《比較例 8》

【0162】 通過實施例1所述的方法製備陽極漿料，只不過是使用粒徑為0.7 μm 而不是5 μm 的第二導電劑。

《比較例 9》

【0163】 通過實施例1所述的方法製備陽極漿料，只不過是使用粒徑為15 μm 而不是5 μm 的第二導電劑。

《比較例 10》

【0164】 通過實施例1所述的方法製備陽極漿料，只不過是使用粒徑為1nm而不是50nm的矽基材料。

《比較例 11》

【0165】 通過實施例1所述的方法製備陽極漿料，只不過是使用

粒徑為1 μ m而不是50nm的矽基材料。

《比較例 12》

【0166】 通過實施例1所述的方法製備陽極漿料，只不過是使用1kg而不是0.2kg的第一導電劑。

《比較例 13》

【0167】 通過實施例1所述的方法製備陽極漿料，只不過是使用0.4kg而不是0.1kg的第二導電劑。

實施例 2-12 和比較例 1-13 的鈕扣電池的製備

【0168】 通過實施例1所述的方法製備鈕扣電池。

實施例 2-12 和比較例 1-13 的軟包電池的製備

【0169】 通過實施例1所述的方法製備軟包電池。

實施例 2-12 和比較例 1-13 的第一懸浮液和陽極漿料的粒徑分佈的測量

【0170】 通過實施例1所述的方法測量第一懸浮液和陽極漿料的粒徑分佈。

實施例 2-12 和比較例 1-13 的鈕扣電池和軟包電池的電化學測量

【0171】 通過實施例1所述的方法測量鈕扣電池和軟包電池的電化學性能。

【0172】 實施例1-3、5-12和比較例1、4-13的分散劑溶液和第一懸浮液的配方顯示在下表1中。實施例1-3、5-12和比較例1、4-13的第二懸浮液和陽極漿料的配方顯示在下表2中。實施例1-12和比較例1-13的第一懸浮液和陽極漿料的粒徑分佈顯示在下表3中。實施例1-12和比較例1-13的鈕扣電池的放電倍率性能和軟包電池的循環性能分別顯示在下表4和5中。

【0173】 通過實施例1-12所述的方法製備的陽極漿料產生更加

受控的粒徑分佈。實施例1-12的鈕扣電池展示出在高放電倍率和低放電倍率下優異的倍率性能。同樣地，實施例1-12的軟包電池展示出優異的循環性。

表 1

	使用的材料的量(kg)				分散劑溶液				第一懸浮液				分散劑溶液和第一懸浮液中使用的溶劑
	分散劑	矽基材料	第一導電劑	分散劑	分散劑的 Wt.%	矽基材料	粒徑 (nm)	第一導電劑	組分的 Wt.%		第一導電劑		
									分散劑	矽基材料			
實施例 1	0.1	0.5	0.2	PVA	4.8	50	50	50	3.6	17.9	7.1	7.1	水
實施例 2	0.1	0.5	0.2	PVA	4.8	50	50	50	3.6	17.9	7.1	7.1	NMP
實施例 3	0.1	0.5	0.2	PEO	4.8	50	50	50	3.6	17.9	7.1	7.1	水
實施例 5	0.1	0.5	0.2	PVA	4.8	50	50	20	3.6	17.9	7.1	7.1	水
實施例 6	0.1	0.5	0.2	PVA	4.8	50	50	100	3.6	17.9	7.1	7.1	水
實施例 7	0.1	0.5	0.2	PVA	4.8	50	50	50	3.6	17.9	7.1	7.1	水
實施例 8	0.1	0.5	0.2	PVA	4.8	50	50	50	3.6	17.9	7.1	7.1	水
實施例 9	0.1	0.5	0.2	PVA	4.8	10	50	50	3.6	17.9	7.1	7.1	水
實施例 10	0.1	0.5	0.2	PVA	4.8	800	50	50	3.6	17.9	7.1	7.1	水
實施例 11	0.1	0.5	0.1	PVA	4.8	50	50	50	3.7	18.5	3.7	3.7	水
實施例 12	0.3	1.5	0.6	PVA	4.8	50	50	50	3.6	17.9	7.1	7.1	水
比較例 1	/	0.5	0.2	/	/	50	50	50	/	18.5	7.4	7.4	水
比較例 4	0.1	0.5	0.3	PEO	4.8	50	50	50	3.4	17.2	10.3	10.3	水
比較例 5	0.1	0.5	/	PVA	4.8	50	50	/	3.8	19.2	/	/	水
比較例 6	0.1	0.5	0.2	PVA	4.8	50	50	5	3.6	17.9	7.1	7.1	水
比較例 7	0.1	0.5	0.2	PVA	4.8	50	50	300	3.6	17.9	7.1	7.1	水
比較例 8	0.1	0.5	0.2	PVA	4.8	50	50	50	3.6	17.9	7.1	7.1	水
比較例 9	0.1	0.5	0.2	PVA	4.8	50	50	50	3.6	17.9	7.1	7.1	水
比較例 10	0.1	0.5	0.2	PVA	4.8	1	50	50	3.6	17.9	7.1	7.1	水
比較例 11	0.1	0.5	0.2	PVA	4.8	1,000	50	50	3.6	17.9	7.1	7.1	水
比較例 12	0.1	0.5	1	PVA	4.8	50	50	50	2.8	13.9	27.8	27.8	水
比較例 13	0.1	0.5	0.2	PVA	4.8	50	50	50	3.6	17.9	7.1	7.1	水

表 2

	使用的材料的量(kg)				第二懸浮液		陽極漿料					
	第二導電劑		碳活性材料	碳活性材料的粒徑(μm)	第二導電劑的粒徑(μm)	組分的 Wt.%	碳活性材料		第一導電劑和第一導電劑的比	第二導電劑和第一導電劑的比	第一導電劑和第一導電劑的比	第二導電劑和第一導電劑的比
	第二導電劑	黏結劑					Wt.%	粒徑 (μm)				
實施例 1	0.1	0.2	8.9	5	0.49	0.99	15	27.8	100	100	2	
實施例 2	0.1	0.2	8.9	5	0.49	0.99	15	27.8	100	100	2	
實施例 3	0.1	0.2	8.9	5	0.49	0.99	15	27.8	100	100	2	
實施例 5	0.1	0.2	8.9	5	0.49	0.99	15	27.8	250	50	2	
實施例 6	0.1	0.2	8.9	5	0.49	0.99	15	27.8	50	20	2	
實施例 7	0.1	0.2	8.9	1	0.49	0.99	15	27.8	200	20	2	
實施例 8	0.1	0.2	8.9	10	0.49	0.99	15	27.8	200	200	2	
實施例 9	0.1	0.2	8.9	5	0.49	0.99	15	27.8	100	100	2	
實施例 10	0.1	0.2	8.9	5	0.49	0.99	15	27.8	100	100	2	
實施例 11	0.1	0.2	8.9	5	0.49	0.99	15	27.9	100	100	1	
實施例 12	0.3	0.4	6.9	5	1.80	2.40	15	21.6	100	100	2	
比較例 1	0.1	0.2	8.9	5	0.49	0.99	15	27.8	100	100	2	
比較例 4	/	0.2	8.9	/	/	0.99	15	27.8	/	/	/	
比較例 5	0.3	0.2	8.9	5	1.46	0.98	15	27.8	/	/	/	
比較例 6	0.1	0.2	8.9	5	0.49	0.99	15	27.8	1000	1000	2	
比較例 7	0.1	0.2	8.9	5	0.49	0.99	15	27.8	16.7	16.7	2	
比較例 8	0.1	0.2	8.9	0.7	0.49	0.99	15	27.8	14	14	2	
比較例 9	0.1	0.2	8.9	15	0.49	0.99	15	27.8	300	300	2	
比較例 10	0.1	0.2	8.9	5	0.49	0.99	15	27.8	100	100	2	
比較例 11	0.1	0.2	8.9	5	0.49	0.99	15	27.8	100	100	2	
比較例 12	0.1	0.2	8.9	5	0.49	0.99	15	27.1	100	100	10	
比較例 13	0.4	0.2	8.9	5	1.94	0.97	15	27.6	100	100	0.5	

表 3

	第一懸浮液的 PSD (nm)			陽極漿料的 PSD (μm)		
	D10	D50	D90	D10	D50	D90
實施例 1	15	45	80	4.5	14.7	25.3
實施例 2	17	46	78	5.1	15.8	27.3
實施例 3	13	50	86	5.6	15.3	26.7
實施例 4	15	48	83	4.9	15.7	24.8
實施例 5	11	40	70	4.9	15.1	24.1
實施例 6	31	89	112	5.4	15.9	24.7
實施例 7	16	50	80	6.3	16.2	25.1
實施例 8	15	45	84	5.8	16.4	27.5
實施例 9	10	37	66	5.7	15.4	26.3
實施例 10	270	782	1,053	5.3	16.1	26.8
實施例 11	15	46	87	5.8	15.7	27.2
實施例 12	16	45	83	5.1	15.1	27.9
比較例 1	35	220	468	7.9	18.6	32.5
比較例 2	1,650	5,120	7,130	8.2	19.3	41.2
比較例 3	16	55	81	7.6	17.3	32.4
比較例 4	19	49	79	6.8	16.2	31.3
比較例 5	21	54	84	7.1	17.5	32.5
比較例 6	6	31	63	7.2	17.8	33.6
比較例 7	124	295	530	6.8	17.1	34.8
比較例 8	17	49	84	6.7	18.1	31.8
比較例 9	18	50	90	7.9	19.8	41.5
比較例 10	4	20	49	6.8	17.4	34.5
比較例 11	358	983	2,113	7.1	17.5	32.8
比較例 12	25	57	128	6.7	17.2	33.1
比較例 13	18	47	79	7.1	18.0	35.1

表 4

	放電倍率性能(%)		
	1C	3C	5C
實施例 1	90.1	74.8	61.5
實施例 2	90.3	75.1	62.1
實施例 3	89.7	73.5	60.3
實施例 4	89.1	74.1	60.1
實施例 5	88.7	73.5	60.2
實施例 6	88.9	73.9	61.3
實施例 7	89.2	75.2	62.1
實施例 8	89.1	76.1	61.9
實施例 9	89.3	74.5	61.3
實施例 10	88.5	74.1	63.2
實施例 11	89.9	74.9	61.4
實施例 12	88.9	73.5	60.5
比較例 1	84.2	62.3	43.2
比較例 2	86.8	68.2	50.1
比較例 3	85.1	63.3	46.1
比較例 4	86.0	64.5	47.2
比較例 5	85.2	61.8	46.8
比較例 6	86.3	62.1	46.9
比較例 7	85.7	63.4	47.1
比較例 8	84.9	64.7	44.1
比較例 9	81.7	60.2	42.1
比較例 10	86.2	63.3	43.7
比較例 11	85.9	63.4	45.9
比較例 12	83.2	61.7	44.1
比較例 13	82.7	63.8	45.9

表 5

實施例	循環壽命 (80%的容量保持率)
實施例 1	1,560
實施例 2	1,420
實施例 3	1,610
實施例 4	1,500
實施例 5	1,480
實施例 6	1,530
實施例 7	1,410
實施例 8	1,520

實施例 9	1,480
實施例 10	1,470
實施例 11	1,540
實施例 12	1,460
比較例 1	750
比較例 2	920
比較例 3	1,020
比較例 4	1,210
比較例 5	1,240
比較例 6	1,140
比較例 7	1,110
比較例 8	1,040
比較例 9	900
比較例 10	1,010
比較例 11	820
比較例 12	860
比較例 13	780

【0174】 儘管結合有限數量的實施例已經描述了本發明，然而一個實施例的特定特徵不應該限定本發明的其他實施例。在一些實施例中，所述方法可包括大量的本文沒有提及的步驟。在其他實施例中，所述方法不包括或者基本上不含有本文沒有列舉的任何步驟。存在來自於所描述的實施例的變型和變化。所附的申請專利範圍意在涵蓋落在本發明的範圍內的所有這些變化和變型。

【符號說明】

【0175】

無

【發明摘要】**【中文發明名稱】**

製備電池陽極漿料的方法

【英文發明名稱】

METHOD OF PREPARING BATTERY ANODE SLURRIES

【中文】

本發明提供一種製備鋰離子電池陽極漿料的方法。在與陽極漿料的其它組分混合之前，將矽基材料均勻分散。本發明所揭露的方法可以避免奈米尺寸的矽基材料的凝集，且有效地將奈米尺寸的矽基材料均勻地分散在陽極漿料中。利用本發明所揭露的陽極漿料塗覆的陽極同樣展示出導電性的改善。

【英文】

Provided herein is a method of preparing anode slurries of lithium-ion batteries. The silicon-based material is uniformly dispersed prior to mixing with other components of the anode slurry. The method disclosed herein is capable of avoiding agglomeration of nano-sized silicon-based material and effectively dispersing the nano-sized silicon-based material uniformly in anode slurries. Anodes coated with the anode slurries disclosed herein also show an improvement in the electrical conductivity.

【指定代表圖】

圖 1

【代表圖之符號簡單說明】

無

【特徵化學式】

無

【發明申請專利範圍】

【第 1 項】 一種製備陽極漿料的方法，包含以下步驟：

- 1) 將分散劑和第一溶劑混合以形成分散劑溶液；
 - 2) 將矽基材料和第一導電劑分散在所述分散劑溶液中以形成第一懸浮液；
 - 3) 通過均質器將所述第一懸浮液均質化以獲得均質化的第一懸浮液；
 - 4) 將黏結劑材料與第二溶劑混合以形成黏結劑溶液；
 - 5) 將第二導電劑分散在所述黏結劑溶液中以形成第二懸浮液；
 - 6) 將所述均質化的第一懸浮液與所述第二懸浮液混合以形成第三懸浮液；以及
 - 7) 將所述第三懸浮液與碳活性材料混合以形成所述陽極漿料；
- 其中所述第一導電劑的粒徑小於所述第二導電劑的粒徑。

【第 2 項】 如申請專利範圍第 1 項所述的方法，其中所述分散劑係選自由聚乙烯醇、聚氧化乙烯、聚氧化丙烯、聚乙烯吡咯烷酮、聚陰離子纖維素、羧甲基纖維素、羥乙基纖維素、羧甲基羥乙基纖維素、甲基纖維素、澱粉、果膠、聚丙烯醯胺、明膠、聚丙烯酸及其組合所構成的群組。

【第 3 項】 如申請專利範圍第 1 項所述的方法，其中所述分散劑溶液的黏度是約 10cps 至約 2,000cps。

【第 4 項】 如申請專利範圍第 1 項所述的方法，其中所述第一溶劑和所述第二溶劑中的每一者獨立地係選自由水、乙醇、異丙醇、甲醇、丙酮、正丙醇、叔丁醇、N-甲基 2-吡咯烷酮及其組合所構成的群組。

【第 5 項】 如申請專利範圍第 1 項所述的方法，其中所述矽基材料係選自由 Si、SiO_x、Si/C、SiO_x/C、Si/M 及其組合所構成的群組，其中各個 x 獨立地是 0 至 2；M 係選自鹼金屬、鹼土金屬、過渡金屬、稀土金屬或其組合，且不是 Si。

【第 6 項】 如申請專利範圍第 1 項所述的方法，其中所述矽基材料的粒徑是約 10nm 至約 800nm。

【第 7 項】 如申請專利範圍第 1 項所述的方法，其中所述第一導電劑係選自由碳、碳黑、乙炔黑、Super P、石墨烯、石墨烯奈米片、碳纖維、碳奈米纖維、石墨化碳片、碳管、碳奈米管、活性碳、介孔碳及其組合所構成的群組。

【第 8 項】 如申請專利範圍第 1 項所述的方法，其中所述第一導電劑的粒徑是約 20nm 至約 100nm。

【第 9 項】 如申請專利範圍第 1 項所述的方法，其中所述第一懸浮液的粒徑分佈的 D10 值在約 10nm 至約 100nm 的範圍內，D50 值在約 30nm 至約 2 μ m 的範圍內，且 D90 值在約 70nm 至約 3 μ m 的範圍內。

【第 10 項】 如申請專利範圍第 1 項所述的方法，其中所述粒徑分佈的 D90/D50 的比小於 2:1。

【第 11 項】 如申請專利範圍第 1 項所述的方法，其中所述第二導電劑係選自由碳、導電石墨、氣相生長碳纖維、KS6、KS15、膨脹石墨及其組合所構成的群組。

【第 12 項】 如申請專利範圍第 1 項所述的方法，其中所述第二導電劑的粒徑是約 1 μ m 至約 10 μ m。

【第 13 項】 如申請專利範圍第 1 項所述的方法，其中所述碳活性材料係選自由硬碳、軟碳、石墨、中間相碳微球及其組合所構成的群組。

【第 14 項】 如申請專利範圍第 1 項所述的方法，其中所述碳活性材料的粒徑是約 1 μ m 至約 20 μ m。

【第 15 項】 如申請專利範圍第 1 項所述的方法，所述第二導電劑的粒徑和所述第一導電劑的粒徑比是約 20:1 至約 250:1。

【第 16 項】 如申請專利範圍第 1 項所述的方法，其中所述矽基材

料和所述第一導電劑的重量比是約 1.7:1 至約 5:1。

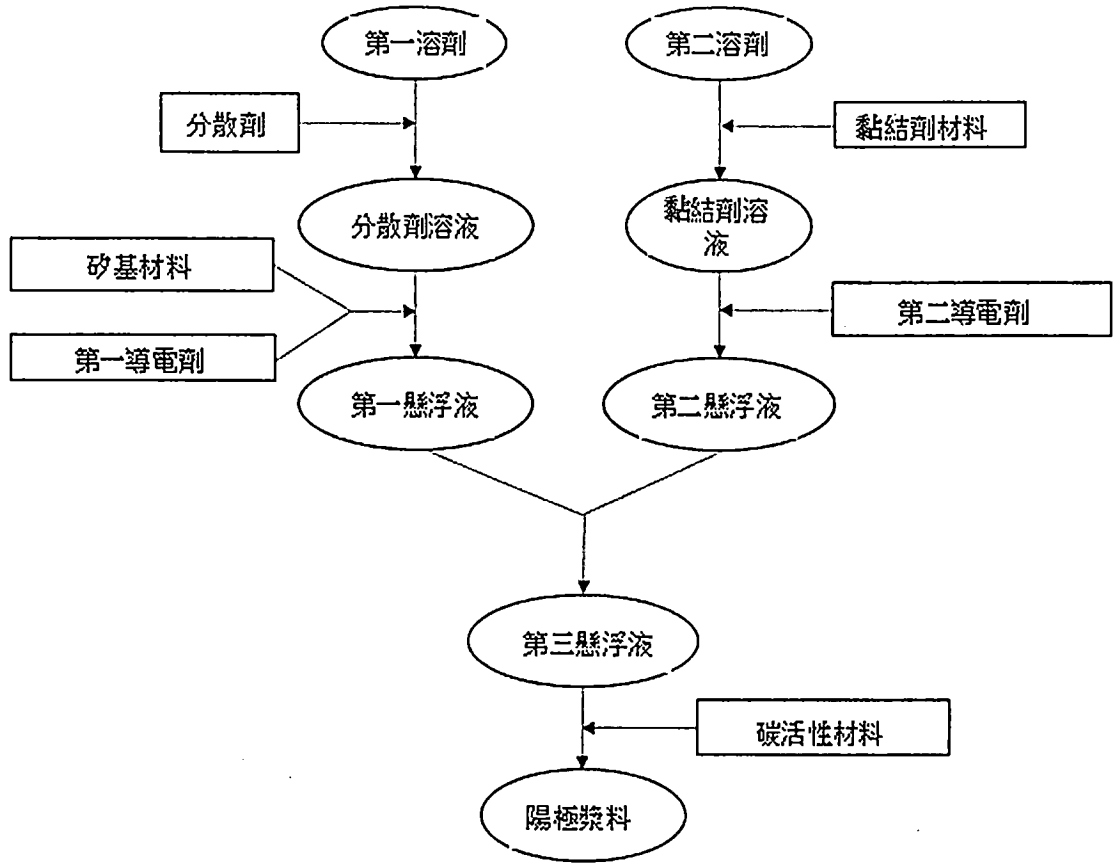
【第 17 項】 如申請專利範圍第 1 項所述的方法，其中所述第一導電劑和所述第二導電劑的重量比是約 1:1 至約 2:1。

【第 18 項】 如申請專利範圍第 1 項所述的方法，其中基於所述陽極漿料中的固含量的總重量，所述矽基材料的量是按重量計約 1%至約 20%。

【第 19 項】 如申請專利範圍第 1 項所述的方法，其中基於所述陽極漿料中的固含量的總重量，所述陽極漿料中的所述第一導電劑和所述第二導電劑的量是按重量計大於或等於 3%。

【第 20 項】 如申請專利範圍第 1 項所述的方法，其中基於所述陽極漿料的總重量，所述陽極漿料的固含量是按重量計約 30%至約 65%。

【發明圖式】



【圖 1】