201727976

(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 201727976 A

(43)公開日： 中華民國 106 (2017) 年 08 月 01 日

(21)申請案號：105142716 (22)申請日： 中華民國 105 (2016) 年 12 月 22 日

(51)Int. Cl.： *H01M4/1391 (2010.01)* *H01M4/62 (2006.01)*
H01M4/36 (2006.01)

(30)優先權：2016/01/18 美國 62/279,841

(71)申請人：皓智能源有限公司 (香港地區) GRST ENERGY LIMITED (HK)
香港

(72)發明人：申培華 SHEN, PEIHUA (CN) ；黃星雄 WONG, SING HUNG ERIC (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：23 共 70 頁

(54)名稱

製備電池電極的方法

METHOD OF PREPARING BATTERY ELECTRODES

(57)摘要

本發明提供了一種基於水性漿料製備電池電極的方法。本申請所公開的方法的優點是在製造方法中可使用水性溶劑，其可通過避免需要處理或循環利用危險的有機溶劑而節省工藝時間和設施。因此，通過簡化總工藝，降低了成本。此外，具有通過本申請所公開的方法而製備的電極的電池顯示出優異的能量保持性能。

Provided herein is a method for preparing a battery electrode based on an aqueous slurry. The method disclosed herein has the advantage that an aqueous solvent can be used in the manufacturing process, which can save process time and facilities by avoiding the need to handle or recycle hazardous organic solvents. Therefore, costs are reduced by simplifying the total process. In addition, the batteries having the electrodes prepared by the method disclosed herein show impressive energy retention.

201727976

發明摘要

※ 申請案號：105142716

※ 申請日：105/12/22　　※IPC 分類：H01M 4/1391(2010.01)
H01M 4/62(2006.01)
H01M 4/36(2006.01)

【發明名稱】（中文/英文）

製備電池電極的方法/METHOD OF PREPARING BATTERY ELECTRODES

【中文】

本發明提供了一種基於水性漿料製備電池電極的方法。本申請所公開的方法的優點是在製造方法中可使用水性溶劑，其可通過避免需要處理或循環利用危險的有機溶劑而節省工藝時間和設施。因此，通過簡化總工藝，降低了成本。此外，具有通過本申請所公開的方法而製備的電極的電池顯示出優異的能量保持性能。

【英文】

Provided herein is a method for preparing a battery electrode based on an aqueous slurry. The method disclosed herein has the advantage that an aqueous solvent can be used in the manufacturing process, which can save process time and facilities by avoiding the need to handle or recycle hazardous organic solvents. Therefore, costs are reduced by simplifying the total process. In addition, the batteries having the electrodes prepared by the method disclosed herein show impressive energy retention.

【代表圖】

【本案指定代表圖】： 無

【本代表圖之符號簡單說明】：

無

【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】：

無

發明專利說明書

（本說明書格式、順序，請勿任意更動）

【發明名稱】（中文/英文）

製備電池電極的方法/METHOD OF PREPARING BATTERY ELECTRODES

【技術領域】

【0001】 本發明涉及在可持續能源領域應用中的鋰離子電池。更具體地，本發明涉及用於製備電池電極的水基漿料的用途。

【先前技術】

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

【0003】 通常，鋰離子電池包括隔膜、陰極和陽極。當前，通過將活性電池電極材料、 導電劑和粘結劑材料的精細粉末分散在合適的溶劑中， 製備電極。可以將該分散液塗覆在諸如銅金屬箔或者鋁金屬箔的集流器上，然後在高溫下乾燥以去除溶劑。 陰極板和陽極板隨後與隔開陰極和陽極的隔膜堆疊或卷在一起以形成電池。

【0004】 聚偏二氟乙烯（PVDF）對陰極電極和陽極電極兩者已是最廣泛使用的粘結劑材料。與非PVDF粘結劑材料相比， PVDF提供了良好的電化學穩定性以及對電極材料和集流器的高粘附性。 然而，PVDF僅可以溶解在一些特定的有機溶劑（例如，N-甲基-2-吡咯烷酮（NMP））中，其需要特定的處理、生產標準和以環境友好的方式循環利用有機溶劑。這將導致在製造工藝中的高昂的成本。

【0005】 出於環境和處置的原因，優選使用水溶液來代替有機溶劑，因此已經考慮使用水基漿料。已經嘗試水溶性粘結劑，例如羥甲

基纖維素（CMC）和丁苯橡膠（SBR）。然而，CMC和SBR通常限於陽極用途。

【0006】 美國專利第8,956,688 B2號描述了製備電池電極的方法。該方法包括測量活性電極材料和導電添加劑材料的ζ電勢；基於該ζ電勢，選擇陽離子分散劑或陰離子分散劑；測定活性電極材料和導電添加劑材料的等電點（IEP）；利用至少一種分散劑將活性電極材料和導電添加劑分散在水中以形成混合的分散液； 處理集流器的表面以升高表面的表面能，使其至少爲混合分散液的表面張力；將所分散的活性電極材料和導電添加劑沉積在集流器上； 然後加熱所塗覆的表面以從塗層去除水。然而，該方法是複雜的，包括測量活性電極材料和導電添加劑材料的ζ電勢以及活性電極材料和導電添加劑材料的等電點（IEP）。並且需要用於處理集流器的表面的附加的表面處理步驟，以便提高容量保持率。

【0007】 美國專利第8,092,557 B2號描述了使用具有7.0至11.7的pH值的水基漿料，製作用於可充電鋰離子電池的電極的方法，其中，電極包括電活性材料、（聚苯乙烯丁二烯橡膠）-聚（丙烯腈-丙烯酸銨）共聚物和導電添加劑。 然而， 該方法沒有提供用於評價通過該方法所製備的電極的電化學性能的任何數據。

【0008】 美國專利申請第2013/0034651A1號描述了用於製造電極的漿料，其中漿料包括在水溶液和可電化學激活的化合物中的聚丙烯酸（PAA）、羥甲基纖維素（CMC）、丁苯橡膠（SBR）和聚偏二氟乙烯（PVDF）中的至少三種的組合。然而，用於製備陰極電極的漿料包括丙酮或其他有機溶劑，例如，NMP和DMAC。

【0009】 鑑於上文，一直存在開發一種使用簡單的、廉價的和環境友好的方法來製備用於鋰離子電池的陰極電極和陽極電極的方法的需求。

【發明內容】

【0010】 通過本申請所公開的各個方面和實施方案滿足了前述

需要。

【0011】 在一個方面中，本申請提供了一種製備電池電極的方法，包括以下步驟：

1）在具有約2.0至約7.5的pH值的第一水溶液中，預處理活性電池電極材料以形成第一懸浮液；

2）將所述第一懸浮液乾燥以獲得預處理的活性電池電極材料；

3）將所述預處理的活性電池電極材料、導電劑和粘結劑材料分散在第二水溶液中，以形成漿料；

4）通過均質器將所述漿料均質化以獲得均質化的漿料；

5）將所述均質化的漿料施加在集流器上以在集流器上形成塗膜；和

6）使集流器上的塗膜乾燥以形成所述電池電極。

【0012】 在某些實施方案中，活性電池電極材料是陰極材料，其中所述陰極材料選自由 $LiCO_2$、$LiNiO_2$、$LiNi_xMn_yO_2$、$Li_{1+z}Ni_xMn_yCo_{1-x-y}O_2$、$LiNi_xCo_yAl_zO_2$、$LiV_2O_5$、$LiTiS_2$、$LiMoS_2$、$LiMnO_2$、$LiCrO_2$、$LiMn_2O_4$、$LiFeO_2$、$LiFePO_4$ 及其組合構成的群組，其中各個 x 獨立地是 0.3 至 0.8；各個 y 獨立地是 0.1 至 0.45；以及各個 z 獨立地是 0 至 0.2。

【0013】 在一些實施方案中，第一水溶液的 pH 值在約 4 至約 7 的範圍內，以及將所述第一懸浮液攪拌持續約 2 分鐘至約 12 小時的時段。 在進一步的實施方案中，第一水溶液包括選自由 H_2SO_4、HNO_3、H_3PO_4、HCOOH、CH_3COOH、$H_3C_6H_5O_7$、$H_2C_2O_4$、$C_6H_{12}O_7$、$C_4H_6O_5$ 及其組合構成的群組中的一種或多種酸。

【0014】 在某些實施方案中，第一水溶液還包括乙醇、異丙醇、甲醇、丙酮、正丙醇、叔丁醇或其組合。

【0015】 在一些實施方案中，通過雙錐真空乾燥器、微波乾燥器或微波真空乾燥器，將所述第一懸浮液乾燥。

【0016】 在某些實施方案中，導電劑選自由碳、炭黑、石墨、膨脹石墨、石墨烯、石墨烯納米片、碳纖維、碳納米纖維、石墨化碳片、碳管、碳納米管、活性炭、介孔碳及其組合構成的群組。

【0017】 在一些實施方案中，將導電劑在鹼性溶液或鹼的溶液中預處理持續約 30 分鐘至約 2 小時的時段，其中所述鹼性溶液或鹼的溶液包括選自由 H_2O_2、LiOH、NaOH、KOH、$NH_3 \cdot H_2O$、$Be(OH)_2$、$Mg(OH)_2$、$Ca(OH)_2$、Li_2CO_3、Na_2CO_3、$NaHCO_3$、K_2CO_3、$KHCO_3$ 及其組合構成的群組中的鹼。

【0018】 在某些實施方案中，在步驟 3）之前將導電劑分散在第三水溶液中以形成第二懸浮液。

【0019】 在一些實施方案中，粘結劑材料選自由丁苯橡膠（SBR）、 羥甲基纖維素（CMC）、 聚偏二氟乙烯（PVDF）、 丙烯腈共聚物、 聚丙烯酸（PAA）、 聚丙烯腈、 聚偏二氟乙烯-六氟丙烯（PVDF-HFP）、 乳膠、 海藻酸鹽及其組合構成的群組。 在進一步的實施方案中，海藻酸鹽包括選自 Na、Li、K、Ca、NH_4、Mg、Al 或其組合的陽離子。

【0020】 在一些實施方案中，在步驟 3）之前將粘結劑材料溶解在第四水溶液中以形成得到的溶液。

【0021】 在某些實施方案中，第一水溶液、第二水溶液、第三水溶液和第四水溶液中的每一者獨立地是淨化水、純水、去離子水、蒸餾水或其組合。

【0022】 在一些實施方案中，漿料或均質化的漿料還包括選自由乙醇、異丙醇、正丙醇、叔丁醇、正丁醇、十二烷基硫酸鋰、三甲基十六烷基氯化銨、醇乙氧基化物、壬基苯酚乙氧基化物、十二烷基苯磺酸鈉、硬脂酸鈉及其組合構成的群組中的分散劑。

【0023】 在某些實施方案中，均質器是攪拌混合器、混合機、磨機、超聲發生器、轉子-定子均質器或高壓均質器。

【0024】 在一些實施方案中，超聲發生器是探針型超聲發生器或超聲流動池。

【0025】 在某些實施方案中，超聲發生器在約 10W/L 至約 100W/L 或者約 20W/L 至約 40W/L 的功率密度下運行。

【0026】 在一些實施方案中，使用刮刀塗布機、狹縫式模頭塗布機、轉送塗布機或者噴霧塗布機， 將所述均質化的漿料施加在集流器上。

【0027】 在某些實施方案中，正極和負極的各個集流器獨立地是不銹鋼、鈦、鎳、鋁、銅或導電樹脂。在某些實施方案中，正極的集流器是鋁薄片。在一些實施方案中，負極的集流器是銅薄片。

【0028】 在一些實施方案中，在約 45℃至約 100℃或者約 55℃至約 75℃的溫度下，將所述塗膜乾燥持續約 1 分鐘至約 30 分鐘或者約 2 分鐘至約 10 分鐘的時段。

【0029】 在某些實施方案中，通過傳送帶式熱風乾燥箱、傳送帶式電阻乾燥箱、傳送帶式電感乾燥箱或者傳送帶式微波乾燥箱，乾燥所述塗膜。

【0030】 在一些實施方案中，傳送帶移動的速度爲約 2 米/分鐘至約 30 米/分鐘、約 2 米/分鐘至約 25 米/分鐘、約 2 米/分鐘至約 20 米/分鐘、約 2 米/分鐘至約 16 米/分鐘、約 3 米/分鐘至約 30 米/分鐘、約 3 米/分鐘至約 20 米/分鐘或約 3 米/分鐘至約 16 米/分鐘。

【0031】 在某些實施方案中，活性電池電極材料是陽極材料，其中所述陽極材料選自由天然石墨顆粒、合成石墨顆粒、Sn 顆粒、$Li_4Ti_5O_{12}$ 顆粒、Si 顆粒、Si-C 複合顆粒及其組合構成的群組。

【圖式簡單說明】

【0032】 圖 1 示出本申請所公開的方法的實施方案。

【0033】 圖 2 示出本申請所公開的塗覆的陰極電極的實施方案的實施例 1 的表面形態的 SEM 圖像。

【0034】 圖 3 示出包含通過實施例 2 中所述的方法所製備的陰極和陽極的電化學電池的循環性能。

【0035】 圖 4 示出包含通過實施例 4 中所述的方法所製備的陰極和陽極的電化學電池的循環性能。

【0036】 圖 5 示出包含通過實施例 6 中所述的方法所製備的陰極和陽極的電化學電池的循環性能。

【0037】 圖 6 示出包含通過實施例 8 中所述的方法所製備的陰極和陽極的電化學電池的循環性能。

【0038】 圖 7 示出包含通過實施例 10 中所述的方法所製備的陰極和陽極的電化學電池的循環性能。

【0039】 圖 8 示出包含通過實施例 12 中所述的方法所製備的陰極和陽極的電化學電池的循環性能。

【0040】 圖 9 示出包含通過實施例 14 中所述的方法所製備的陰極和陽極的電化學電池的循環性能。

【0041】 圖 10 示出包含通過實施例 15 中所述的方法所製備的陰極和陽極的電化學電池的循環性能。

【0042】 圖 11 示出包含通過實施例 16 中所述的方法所製備的陰極和陽極的電化學電池的循環性能。

【0043】 圖 12 示出包含通過實施例 17 中所述的方法所製備的陰極和陽極的電化學電池的循環性能。

【0044】 圖 13 示出包含通過實施例 18 中所述的方法所製備的陰極和陽極的電化學電池的循環性能。

【0045】 圖 14 示出包含通過比較例 1 中所述的方法所製備的陰極和陽極的電化學電池的循環性能。

【0046】 圖 15 示出包含通過比較例 2 中所述的方法所製備的陰極和陽極的電化學電池的循環性能。

【0047】 圖 16 示出包含通過比較例 3 中所述的方法所製備的陰極和陽極的電化學電池的循環性能。

【0048】 圖 17 示出包含通過比較例 4 中所述的方法所製備的陰極和陽極的電化學電池的循環性能。

【0049】 圖 18 示出包含通過比較例 5 中所述的方法所製備的陰極和陽極的電化學電池的循環性能。

【0050】 圖 19 示出包含通過比較例 6 中所述的方法所製備的陰極和陽極的電化學電池的循環性能。

【0051】 圖 20 示出包含通過比較例 7 中所述的方法所製備的陰極和陽極的電化學電池的循環性能。

【0052】 圖 21 示出包含通過比較例 8 中所述的方法所製備的陰極和陽極的電化學電池的循環性能。

【0053】 圖 22 示出包含通過比較例 9 中所述的方法所製備的陰極和陽極的電化學電池的循環性能。

【0054】 圖 23 示出包含通過比較例 10 中所述的方法所製備的陰極和陽極的電化學電池的循環性能。

本發明的詳細說明書

定義和一般術語

【0055】 本發明提供了一種製備電池電極的方法，包括以下步驟：

1）在具有約 2.0 至約 7.5 的 pH 值的第一水溶液中，預處理活性電池電極材料以形成第一懸浮液；

2） 將所述第一懸浮液乾燥以獲得預處理的活性電池電極材料；

3）將所述預處理的活性電池電極材料、導電劑和粘結劑材料分散在第二水溶液中，以形成漿料；

4）通過均質器將所述漿料均質化以獲得均質化的漿料；

5）將所述均質化的漿料施加在集流器上以在集流器上形成塗膜；和

6）使集流器上的塗膜乾燥以形成所述電池電極。

【0056】 術語“電極”是指“陰極”或“陽極”。

【0057】 術語“正極”與陰極可交換地使用。同樣，術語“負極”與陽極可交換地使用。

【0058】 術語“酸”包括任何對另一物質提供氫離子和/或完全或部分地含有可取代的氫離子的分子或離子。 合適的酸的一些非限制性示例包括無機酸和有機酸。 無機酸的一些非限制性示例包括鹽酸、硝酸、磷酸、硫酸、硼酸、氫氟酸、氫溴酸、高氯酸、氫碘酸及其組合。有機酸的一些非限制性示例包括乙酸、乳酸、草酸、檸檬酸、尿酸、三氟乙酸、甲基磺酸、甲酸、丙酸、丁酸、戊酸、葡糖酸、蘋果酸、己酸及其組合。

【0059】 術語“酸溶液”是指具有小於 7.0、小於 6.5、小於 6.0、小於 5.0、小於 4.0、小於 3.0 或小於 2.0 的 pH 值的可溶性酸的溶液。在一些實施方案中，pH 值大於 6.0、大於 5.0、大於 4.0、大於 3.0 或大於 2.0。

【0060】 本申請所用的術語“預處理”是指改善或改變材料的性能或者通過利用一些試劑作用去除材料中的任何污染物的行爲或者在一些溶劑中使材料懸浮的行爲。

【0061】 本申請所用的術語“分散”是指使化學物種或固體或多或少地均勻地分佈在整個流體中的行爲。

【0062】 術語“粘結劑材料”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中的化學製品或物質。

【0063】 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。任何常規的均質器可以用於本申請所公開的方法。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）、超聲發生器、噴霧器、轉子-定子均質器和高壓均質器。

【0064】 術語“超聲發生器”是指可以施加超聲能量以攪拌樣品中的顆粒的設備。 任何可以分散本申請所公開的漿料的超聲發生器都可以在本申請中使用。 超聲發生器的一些非限制性示例包括超聲波浴、探針型超聲發生器和超聲流動池。

【0065】 術語“超聲波浴”是指借助超聲波浴的容器壁使超聲波能量穿過其而傳遞到液體樣品中的設備。

【0066】 術語“探針型超聲發生器”是指浸沒在用於直接超聲處理的介質中的超聲探針。術語“直接超聲處理”是指超聲波直接結合到處理液體中。

【0067】 術語“超聲流動池”或“超聲反應器腔室”是指這樣的設備：通過該設備，超聲處理方法可以流通模式進行。在一些實施方案中，超聲流動池是單程（single-pass）配置、多程（multiple-pass）配置或再循環配置。

【0068】 術語“行星式攪拌器”是指可以用來攪混或混合不同的材料用以產生均質混合物的設備， 其包括具有高速分散槳的單葉槳或雙葉槳。 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。

【0069】 本申請所用的術語“施加”通常是指在表面上放置或鋪展物質的行爲。

【0070】 術語“集流器”是指用於塗覆活性電池電極材料和化學性質穩定的高電子導體， 以在二次電池放電或充電期間保持電流流至電極的支撐物。

【0071】 術語“室溫”是指約 18℃至約 30℃的室內溫度，例如，18、19、20、21、22、23、24、25、26、27、28、 29 或 30℃。在一些實施方案中， 室溫是指約 20℃+/-1℃或+/-2℃或+/-3℃的溫度。在其他實施方案中， 室溫是指約 22℃或約 25℃的溫度。

【0072】 術語“C 速率”是指在其總存儲容量方面以 Ah 或 mAh 表示的電池或電池組的充電速率或放電速率。例如，1C 的速率意味著在一個小時中利用所有的存儲能量；0.1C 意味著在一個小時中利用能量的 10%以及在 10 個小時中利用全部的能量；以及 5C 意味著在 12 分鐘中利用全部的能量。

【0073】 術語“安時（Ah）”是指在說明電池的存儲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）是 3,600 庫電荷的當量。類似地，術語“毫安時（mAh）”也是指電池的存儲容量中所使用的單位且是安時的 1/1,000。

【0074】 術語“刮片（doctor blading）”是指用於在剛性基底或柔性基底上製造大面積膜的方法。塗覆厚度可以通過在塗覆片和塗覆表面之間的可調整的間隙寬度來控制，其允許可變的濕層厚度的沉積。

【0075】 術語“轉移塗覆”或“輥式塗覆”是指用於在剛性基底或柔性基底上製造大面積膜的方法。通過在壓力下從塗覆輥的表面轉移塗層而將漿料施加在基底上。塗覆厚度可以通過在計量片和塗覆輥的表面之間的可調整的間隙寬度來控制，其允許可變的濕層厚度的沉積。在計量輥系統中，塗層的厚度通過調整在計量輥和塗覆輥之間的間隙來控制。

【0076】 術語“電池循環壽命”是指在其額定容量降低至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。

【0077】 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。

【0078】 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。

【0079】 本申請所用的術語“較慢的速率”是指在較長的時段內損耗來自塗膜中的濕固體中的溶劑。在一些實施方案中，在較慢的速率下乾燥指定的塗層組合物的塗膜所需的時間是約 5 分鐘至約 20 分鐘。

【0080】 本申請所用的術語“較快的乾燥速率”是指在較短的時段內損耗來自塗膜中的濕固體中的溶劑。在一些實施方案中，在較快的乾燥速率下乾燥指定的塗層組合物的塗膜所需的時間是約1分鐘至約5分鐘。

【0081】 在以下描述中，本申請所公開的數字是近似值，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%。每當公開具有下限 R^L 和上限 R^U 的數值範圍時，特別公開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公開：$R=R^L+k*(R^U-R^L)$， 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，也具體公開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。

【0082】 圖 1 示出了本申請所公開的方法的實施方案，其中通過在 pH 值爲約 2.0 至約 7.5 的第一水溶液中，預處理活性電池電極材料以形成第一懸浮液來製備第一懸浮液。 然後將第一懸浮液乾燥以獲得預處理的活性電池電極材料。 通過在第二水溶液中混合預處理的活性電池電極材料、 導電劑和粘結劑材料，製備漿料。可加入其它的組

分。然後通過均質器，使漿料均質化以獲得均質化的漿料。集流器被塗覆有均質化的漿料，然後將所塗覆的集流器乾燥以形成電池電極。

【0083】 在某些實施方案中，通過在 pH 值為約 2.0 至約 7.5 的第一水溶液中預處理活性電池電極材料，製備第一懸浮液。

【0084】 本申請可以使用任何可以預處理活性電池電極材料的溫度。在一些實施方案中，在約 14℃、約 16℃、約 18℃、約 20℃、約 22℃、約 24℃或約 26℃下，可以將活性電池電極材料添加到攪拌的第一水溶液。在某些實施方案中，利用在約 30℃至約 80℃、約 35℃至約 80℃、約 40℃至約 80℃、約 45℃至約 80℃、約 50℃至約 80℃、約 55℃至約 80℃、約 55℃至約 70℃、約 45℃至約 85℃或約 45℃至約 90℃的溫度下加熱，可以執行預處理方法。在一些實施方案中，在低於 30℃、低於 25℃、 低於 22℃、 低於 20℃、 低於 15℃或低於 10℃的溫度下，可以執行預處理方法。

【0085】 在一些實施方案中，活性電池電極材料是陰極材料，其中陰極材料選自由 $LiCO_2$、 $LiNiO_2$、 $LiNi_xMn_yO_2$、 $Li_{1+z}Ni_xMn_yCo_{1-x-y}O_2$、$LiNi_xCo_yAl_zO_2$、$LiV_2O_5$、$LiTiS_2$、$LiMoS_2$、$LiMnO_2$、$LiCrO_2$、$LiMn_2O_4$、$LiFeO_2$、$LiFePO_4$及其組合構成的群組，其中各個 x 獨立地是 0.3 至 0.8；各個 y 獨立地是 0.1 至 0.45；以及各個 z 獨立地是 0 至 0.2。在某些實施方案中， 陰極材料選自由 $LiCO_2$、$LiNiO_2$、$LiNi_xMn_yO_2$、$Li_{1+z}Ni_xMn_yCo_{1-x-y}O_2$ (NMC)、 $LiNi_xCo_yAl_zO_2$、LiV_2O_5、$LiTiS_2$、$LiMoS_2$、$LiMnO_2$、$LiCrO_2$、$LiMn_2O_4$、$LiFeO_2$、$LiFePO_4$ 及其組合構成的群組，其中各個 x 獨立地是 0.4 至 0.6；各個 y 獨立地是 0.2 至 0.4；以及各個 z 獨立地是 0 至 0.1。在其他實施方案中，陰極材料不是 $LiCO_2$、 $LiNiO_2$、LiV_2O_5、$LiTiS_2$、$LiMoS_2$、 $LiMnO_2$、$LiCrO_2$、$LiMn_2O_4$、$LiFeO_2$ 或者 $LiFePO_4$。在進一步的實施方案中，陰極材料不是 $LiNi_xMn_yO_2$、$Li_{1+z}Ni_xMn_yCo_{1-x-y}O_2$或者$LiNi_xCo_yAl_zO_2$，其中各個x獨立地是0.3至0.8；各個 y 獨立地是 0.1 至 0.45；以及各個 z 獨立地是 0 至 0.2。

【0086】 在某些實施方案中，所述陰極材料摻有摻雜劑，所述摻雜劑選自由 Fe、Ni、Mn、Al、Mg、Zn、Ti、La、Ce、Sn、Zr、Ru 、

Si、Ge 及其組合構成的群組。在一些實施方案中，所述摻雜劑不包括 Fe、Ni、Mn、Mg、Zn、Ti、La、Ce、Ru、Si 或 Ge。在某些實施方案中，所述摻雜劑不包括 Al、Sn 或 Zr。

【0087】 在一些實施方案中，所述陰極材料包含或其本身即為核-殼複合物，該複合物包含一個含有鋰過渡金屬氧化物的核，及一個通過對所述核的表面進行過渡金屬氧化物包覆而形成的殼。在某些實施方案中，所述鋰過渡金屬氧化物選自由 $LiCO_2$、$LiNiO_2$、$LiNi_xMn_yO_2$、$Li_{1+z}Ni_xMn_yCo_{1-x-y}O_2$、$LiNi_xCo_yAl_zO_2$、$LiV_2O_5$、$LiTiS_2$、$LiMoS_2$、$LiMnO_2$、$LiCrO_2$、$LiMn_2O_4$、$LiFeO_2$、$LiFePO_4$及其組合構成的群組，其中各個 x 獨立地是 0.3 至 0.8；各個 y 獨立地是 0.1 至 0.45；以及各個 z 獨立地是 0 至 0.2。在一些實施方案中，所述過渡金屬氧化物選自由 Fe_2O_3、MnO_2、Al_2O_3、MgO、ZnO、TiO_2、La_2O_3、CeO_2、SnO_2、ZrO_2、RuO_2及其組合構成的群組。

【0088】 在某些實施方案中，所述陰極材料包含或其本身即為具有一個核結構及一個殼結構的核-殼複合物，其中核及殼各自獨立包含一種鋰過渡金屬氧化物，並選自由 $LiCO_2$、$LiNiO_2$、$LiNi_xMn_yO_2$、$Li_{1+z}Ni_xMn_yCo_{1-x-y}O_2$、$LiNi_xCo_yAl_zO_2$、$LiV_2O_5$、$LiTiS_2$、$LiMoS_2$、$LiMnO_2$、$LiCrO_2$、$LiMn_2O_4$、$LiFeO_2$、$LiFePO_4$及其組合構成的群組，其中各個 x 獨立地是 0.3 至 0.8；各個 y 獨立地是 0.1 至 0.45；以及各個 z 獨立地是 0 至 0.2。在其他實施方案中，所述核及殼各自獨立的包含兩種或多種鋰過渡金屬氧化物。所述在核及殼中的兩種或多種鋰過渡金屬氧化物可以相同或不同或部分不同。在一些實施方案中，所述兩種或多種的鋰過渡金屬氧化物在核中均勻分佈。在某些實施方案中，兩種或多種的鋰過渡金屬氧化物在核中分佈不均勻。

【0089】 在一些實施方案中，在核與殼中的鋰過渡金屬氧化物各自獨立的摻有摻雜劑，所述摻雜劑選自由 Fe、Ni、Mn、Al、Mg、Zn、Ti、 La、Ce、Sn、Zr、Ru、Si、Ge 及其組合構成的群組。在某些實施方案中，所述核及殼各自獨立的包含兩種或多種的摻雜鋰過渡金屬氧化物。在一些實施方案中，所述兩種或多種的摻雜鋰過渡金屬氧化物在核

中均勻分佈。在某些實施方案中，所述兩種或多種的摻雜鋰過渡金屬氧化物在核中分佈不均勻。

【0090】 在一些實施方案中，所述核的直徑為約 5μm 至約 45μm、約 5μm 至約 35μm、約 5μm 至約 25μm、約 10μm 至約 40μm 或約 10μm 至約 35μm。在某些實施方案中，殼的厚度為約 3μm 至約 15μm、約 15μm 至約 45μm、約 15μm 至約 30μm、約 15μm 至約 25μm、約 20μm 至約 30μm 或約 20μm 至約 35μm。在某些實施方案中，核及殼的直徑或厚度比例處於 15:85 至 85:15、25:75 至 75:25、30:70 至 70:30 或 40:60 至 60:40 的範圍內。在某些實施方案中，核及殼的體積或重量比為 80:20、70:30、60:40、50:50、40:60 或 30:70。

【0091】 在某些實施方案中，第一水溶液是含有作為主要組分的水和除了水之外的作為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。在某些實施方案中，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%。在一些實施方案中，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%。在一些實施方案中，第一水溶液僅包括水，即，在第一水溶液中的水的比例是 100 體積%。

【0092】 任何可與水混溶的溶劑可以用作次要組分。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 C_2-C_4 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。

【0093】 在某些實施方案中，揮發性溶劑或次要組分是甲基乙基酮、乙醇、乙酸乙酯或其組合。

【0094】 在一些實施方案中，第一水溶液是水和一種或多種可

與水混溶的次要組分的混合物。 在某些實施方案中， 第一水溶液是水和選自乙醇、異丙醇、正丙醇、叔丁醇、正丁醇及其組合的次要組分的混合物。在一些實施方案中，水和次要組分的體積比是約 51:49 至約 100:1。

【0095】 在某些實施方案中，第一水溶液是水。水的一些非限制性示例包括自來水、 瓶裝水、淨化水、純水、蒸餾水、去離子水、D_2O 或其組合。 在一些實施方案中，第一水溶液是去離子水。在某些實施方案中，第一水溶液不含醇、脂肪酮、烷基乙酸酯或其組合。

【0096】 在一些實施方案中，第一水溶液是酸性的、略微鹼性的或中性的， 且具有在約 2.0 至約 8.0 範圍內的任意 pH 值。 在某些實施方案中，第一水溶液的 pH 值是約 2.0 至約 7.5、約 3.0 至約 7.5、約 4.0 至約 7.5、約 4.0 至約 7.0、約 5.0 至約 7.5、約 6.0 至約 7.5 或約 6.0 至約 7.0。 在一些實施方案中， 第一水溶液的 pH 值是約 7.0、約 6.5、約 6.0、約 5.5、約 5.0 或約 4.0。在其他實施方案中，第一水溶液的 pH 值是約 2 至約 7、約 2 至約 6、約 2 至約 5 或約 2 至約 4。在一些實施方案中，第一水溶液的 pH 值是小於約 7、小於約 6、小於約 5、小於約 4 或小於約 3。

【0097】 在某些實施方案中，第一水溶液包括一種或多種選自由無機酸、有機酸及其組合構成的群組中的酸。

【0098】 在一些實施方案中，酸是一種或多種無機酸和一種或多種有機酸的混合物， 其中一種或多種無機酸與一種或多種有機酸的重量比是約 10/1 至約 1/10、約 8/1 至約 1/8、約 6/1 至約 1/6 或約 4/1 至約 1/4。

【0099】 在某些實施方案中，一種或多種無機酸選自由鹽酸、硝酸、磷酸、硫酸、硼酸、氫氟酸、氫溴酸、高氯酸、氫碘酸及其組合構成的群組。在進一步的實施方案中，一種或多種無機酸是硫酸、鹽酸、氫溴酸、硝酸、磷酸及其組合。在更進一步實施方案中，無機酸是鹽酸。在一些實施方案中， 酸不含諸如鹽酸、硝酸、磷酸、硫酸、硼酸、氫

氟酸、氫溴酸、高氯酸或氫碘酸的無機酸。

【0100】 在一些實施方案中，一種或多種有機酸是選自由乙酸、乳酸、草酸、檸檬酸、尿酸、三氟乙酸、甲基磺酸、甲酸、丙酸、丁酸、戊酸、葡糖酸、蘋果酸、己酸及其組合構成的群組。在進一步的實施方案中，一種或多種有機酸是甲酸、乙酸、丙酸及其組合。在更進一步實施方案中，有機酸是乙酸。在一些實施方案中，酸不含諸如乙酸、乳酸、草酸、檸檬酸、尿酸、三氟乙酸、甲基磺酸、甲酸、丙酸、丁酸、戊酸、葡糖酸、蘋果酸或己酸的有機酸。

【0101】 在添加活性電池電極材料期間，通過添加作為 pH 調節劑的一種或多種酸，使第一水溶液的 pH 值維持在約 4.0 至約 7.5 的範圍。pH 調節劑的選擇是不嚴格的。可以使用任何合適的有機酸或無機酸。在一些實施方案中，pH 調節劑是選自由無機酸、有機酸及其組合構成的群組中的酸。pH 可以通過 pH 測量裝置（例如 pH 傳感器）來監控。在一些實施方案中，多於一個的 pH 傳感器用於監控 pH 值。

【0102】 當具有核-殼結構的陰極材料暴露在酸性水溶液中，該核－殼複合物的殼將被酸性環境損壞，由此影響陰極材料的性能。在一些實施方案中，核-殼複合物的殼非常薄且具有約 3 μm 至約 15 μm 的厚度。該薄層非常脆弱，因此可以容易受到損壞。在某些實施方案中，第一水溶液是微鹼性或者中性，且具有 pH 在約 7.0 至約 7.5 或約 7.0 至約 8.0 的範圍內的任何值。在一些實施方案中，核-殼複合物在水、醇或水和醇的混合物中預處理。在一個實施方案中，第一水溶液是水，並且可以在不損壞殼的情況下將污染物例如灰塵和水溶性雜質從核-殼複合物表面去除。在另一個實施方案中，第一水溶液是醇或水和醇的混合物，並可以在不損壞殼的情況下將污染物例如灰塵，有機物例如油脂和油和水溶性雜質從核－殼複合物表面去除。在進一步的實施方案中，該醇選自由甲醇，乙醇，丙醇，丁醇，戊醇和異構體及其組合構成的群組。

【0103】 使用酸性水溶液預處理例如 NMC532, NMC622 或者 NMC811 的富鎳陰極材料可能會導致陰極材料表面上的缺陷。 這些缺陷繼而會導致電化學電池的電化學性能的輕微到嚴重的劣化。 酸的預

處理也可能導致陰極材料表面的不平整， 這繼而會導致電池性能的降低或甚至電池故障。在一些實施方案中，富鎳陰極材料在微鹼性或中性環境預處理。在某些實施方案中，第一水溶液具有 pH 在約 7.0 至約 7.5 或約 7.0 至約 8.0 的範圍內的任何值。在一些實施方案中，富鎳陰極材料在水、醇或水和醇的混合物中預處理。在其他實施方案中，富鎳陰極材料在具有 pH 在約 6.0 至約 7.0 中的微酸性環境中預處理。 在進一步的實施方案中，第一水溶液包含酸的用量約 0.001wt.%至約 0.01wt.%。在其他實施方案中，第一水溶液包含酸的用量約少於 0.01wt.%。因此，富鎳陰極材料表面的污染物可以在沒有產生陰極材料表面的缺陷下被移除。

【0104】 在一些實施方案中，在將活性電池電極材料添加到第一水溶液之後， 混合物可以進一步持續攪拌一個時段，至足以形成第一懸浮液。在某些實施方案中，該時段是約 5 分鐘至約 2 小時、約 5 分鐘至約 1.5 小時、約 5 分鐘至約 1 小時、約 5 分鐘至約 30 分鐘、約 5 分鐘至約 15 分鐘、約 10 分鐘至約 2 小時、約 10 分鐘至約 1.5 小時、約 10 分鐘至約 1 小時、約 10 分鐘至約 30 分鐘、約 15 分鐘至約 1 小時或約 30 分鐘至約 1 小時。

【0105】 在某些實施方案中，活性電池電極材料是陽極材料，其中陽極材料選自由天然石墨顆粒、合成石墨顆粒、Sn（錫）顆粒、$Li_4Ti_5O_{12}$ 顆粒、Si（矽）顆粒、Si-C 複合顆粒及其組合構成的群組。

【0106】 在一些實施方案中，可以使第一懸浮液乾燥以獲得預處理的活性電池電極材料。 本申請中可以使用任何可以乾燥懸浮液的乾燥器。在一些實施方案中，通過雙錐真空乾燥器、微波乾燥器或微波真空乾燥器，執行乾燥過程。

【0107】 通常，金屬材料是不建議利用微波乾燥器來乾燥，因為金屬材料的特性會反射微波頻率。令我們驚訝的是，通過微波乾燥器或微波真空乾燥器執行乾燥過程，陰極材料可以被有效地乾燥且乾燥時間顯著減少，從而降低操作成本。在一些實施方案中，乾燥時間是約 3 分鐘至約 25 分鐘。此外，在高溫下長時間乾燥陰極材料可能會導致陰

極材料不希望的分解，且改變陰極材料的氧化態。具有高鎳和/或錳含量的陰極材料對溫度尤其敏感。因此，正極可能具有低性能。因此，減少干燥時間顯著減少或消除陰極材料的降解。在某些實施方案中，乾燥器是微波乾燥器或微波真空乾燥器。在一些實施方案中，微波乾燥器或微波真空乾燥器在約 500W 至約 3kW、 約 5kW 至約 15kW、 約 6kW 至約 20kW、 約 7kW 至約 20kW、 約 15kW 至約 70kW、 約 20kW 至約 90kW、約 30kW 至約 100kW 或約 50kW 至約 100kW 的功率下運行。

【0108】 在一些實施方案中，乾燥步驟可以被執行持續一個時段，至足以乾燥第一懸浮液。在某些實施方案中，乾燥時間是約 3 分鐘至約 2 小時、約 5 分鐘至約 2 小時、約 10 分鐘至約 3 小時、約 10 分鐘至約 4 小時、約 15 分鐘至約 4 小時或約 20 分鐘至約 5 小時。

【0109】 通過乾燥第一懸浮液而形成預處理的活性電池電極材料之後，通過在第二水溶液中分散預處理的活性電池電極材料、導電劑和粘結劑材料可以形成漿料。

【0110】 在某些實施方案中，基於漿料的總重量或總體積，預處理的活性電池電極材料的用量是按重量計或按體積計至少 1%、至少 2%、至少 3%、至少 4%、至少 5%、至少 10%、至少 15%、至少 20%、至少 25%、至少 30%、至少 35%、至少 40%、至少 45%、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%。在一些實施方案中，基於漿料的總重量或總體積， 預處理的活性電池電極材料的用量是按重量計或按體積計至多 1%、 至多 2%、 至多 3%、 至多 4%、 至多 5%、 至多 10%、至多 15%、至多 20%、至多 25%、至多 30%、至多 35%、至多 40%、至多 45%、至多 50%、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%。

【0111】 在一些實施方案中，預處理的活性電池電極材料是漿料的主要組分。在一些實施方案中，基於漿料的總重量或總體積，預處理的活性電池電極材料存在的量是按重量計或按體積計約 50%至約 95%、按重量計或按體積計約 55%至約 95%、 按重量計或按體積計約

60%至約 95%、 按重量計或按體積計約 65%至約 95%、 按重量計或按體積計約 70%至約 95%、按重量計或按體積計約 75%至約 95%、按重量計或按體積計約 80%至約 95%、 按重量計或按體積計約 85%至約 95%、 按重量計或按體積計約 55%至約 85%、 按重量計或按體積計約 60%至約 85%、 按重量計或按體積計約 65%至約 85%、 按重量計或按體積計約 70%至約 85%、 按重量計或按體積計約 65%至約 80%或按重量計或按體積計約 70%至約 80%。

【0112】 在漿料中的導電劑用於增大電極的導電性。在一些實施方案中，導電劑選自由碳、炭黑、石墨、膨脹石墨、石墨烯、石墨烯納米片、碳纖維、碳納米纖維、石墨化碳片、 碳管、 碳納米管、活性炭、介孔碳及其組合構成的群組。在某些實施方案中，導電劑不是碳、炭黑、石墨、膨脹石墨、石墨烯、石墨烯納米片、碳纖維、碳納米纖維、石墨化碳片、碳管、碳納米管、活性炭或介孔碳。

【0113】 在漿料中的粘結劑材料起將活性電池電極材料和導電劑一起粘結在集流器的作用。 在一些實施方案中， 粘結劑材料選自由丁苯橡膠（SBR）、 羥甲基纖維素（CMC）、 聚偏二氟乙烯（PVDF）、丙烯腈共聚物、聚丙烯酸（PAA）、聚丙烯腈、聚偏二氟乙烯-六氟丙烯（PVDF-HFP）、乳膠、海藻酸鹽及其組合構成的群組。 在某些實施方案中，海藻酸鹽包括選自 Na、Li、K、Ca、NH_4、Mg、Al 或其組合的陽離子。

【0114】 在一些實施方案中，粘結劑材料是 SBR、CMC、PAA、海藻酸鹽或其組合。在某些實施方案中，粘結劑材料是丙烯腈共聚物。在一些實施方案中，粘結劑材料是聚丙烯腈。在某些實施方案中，粘結劑材料不含丁苯橡膠（SBR）、羥甲基纖維素（CMC）、聚偏二氟乙烯（PVDF）、 丙烯腈共聚物、 聚丙烯酸（PAA）、 聚丙烯腈、聚偏二氟乙烯-六氟丙烯（PVDF-HFP）、乳膠或海藻酸鹽。

【0115】 在某些實施方案中，基於漿料的總重量或總體積，導電劑和粘結劑材料中的每一者的用量獨立地是按重量計或按體積計至少 1%、至少 2%、至少 3%、至少 4%、至少 5%、至少 10%、至少 15%、

至少 20%、至少 25%、至少 30%、至少 35%、至少 40%、至少 45%或至少 50%。在一些實施方案中，基於漿料的總重量或總體積，導電劑和粘結劑材料中的每一者的用量獨立地是按重量計或按體積計至多 1%、至多 2%、至多 3%、至多 4%、至多 5%、至多 10%、至多 15%、至多 20%、至多 25%、至多 30%、至多 35%、至多 40%、至多 45%或至多 50%。

【0116】 在一些實施方案中，在步驟 3）之前，導電劑在鹼性溶液或鹼的溶液中預處理。在製備漿料之前預處理導電劑可以增大潤濕性以及導電劑在漿料中的分散能力，由此允許導電劑在所乾燥的複合電極內的均勻分佈。如果導電劑的顆粒不均勻地分散在電極中，將影響電池性能、壽命和安全性。

【0117】 在某些實施方案中，導電劑可以被預處理持續約 30 分鐘至約 2 小時、約 30 分鐘至約 1.5 小時、約 30 分鐘至約 1 小時、約 45 分鐘至約 2 小時、約 45 分鐘至約 1.5 小時或約 45 分鐘至約 1 小時的時段。在一些實施方案中，鹼性溶液或鹼的溶液包括選自由 H_2O_2、LiOH、NaOH、KOH、$NH_3•H_2O$、$Be(OH)_2$、$Mg(OH)_2$、$Ca(OH)_2$、Li_2CO_3、Na_2CO_3、$NaHCO_3$、K_2CO_3、$KHCO_3$ 及其組合構成的群組的鹼。在某些實施方案中，鹼的溶液包括有機鹼。在一些實施方案中，鹼的溶液不含有機鹼。在某些實施方案中，鹼的溶液不含 H_2O_2、LiOH、NaOH、KOH、$NH_3•H_2O$、$Be(OH)_2$、$Mg(OH)_2$、$Ca(OH)_2$、Li_2CO_3、Na_2CO_3、$NaHCO_3$、K_2CO_3 或 $KHCO_3$。期望在漿料中保持顆粒分散均勻。利用鹼性溶液預處理導電劑可以沖洗例如油和油脂的雜質，有助於導電劑顆粒的更均勻分佈，且在漿料中提高它的分散性，而不積累對電池性能有負面影響的鹼性雜質。相比於加入分散劑，分散劑將留在漿料中並可能負面的影響電池性能。

【0118】 在一些實施方案中，鹼性溶液或鹼的溶液的 pH 大於 7、大於 8、大於 9、大於 10、大於 11、大於 12 或大於 13。在一些實施方案中，鹼性溶液或鹼的溶液的 pH 小於 8、小於 9、小於 10、小於 11、小於 12 或小於 13。

【0119】 在某些實施方案中，在步驟 3）之前，將導電劑分散在第三水溶液中以形成第二懸浮液。

【0120】 與活性電池電極材料相比，導電劑具有較高的比表面積。 因此， 特別是當導電劑的顆粒必須分散在活性電池電極材料的高濃度懸浮液中時，導電劑由於其較高的比表面積而具有凝聚的趨勢。在製備漿料之前分散導電劑可以使顆粒的凝聚最小化， 由此允許在所乾燥的複合電極內導電劑的更均勻的分佈。 這可以降低內電阻和增大電極材料的電化學性能。

【0121】 可以一次性將預處理的活性電池電極材料，導電劑和粘結劑材料中的每一者獨立地加入到第二水溶液中，由此極大的簡化本發明的方法。

【0122】 在一些實施方案中，基於導電劑和第三水溶液的混合物的總重量， 在第二懸浮液中的導電劑的用量是約 0.05wt.%（重量百分比)至約0.5wt.%、 約0.1wt.%至約1wt.%、 約0.25wt.%至約2.5wt.%、約 0.5wt.%至約 5wt.%、約 2wt.%至約 5wt.%、約 3wt.%至約 7wt.%或約 5wt.%至約 10wt.%。

【0123】 在某些實施方案中，在步驟 3）之前，將粘結劑材料溶解在第四水溶液中以形成得到的溶液或粘結劑溶液。

【0124】 在製備漿料之前分散固態的粘結劑材料可以防止固態的粘結劑材料粘結到其他材料的表面， 由此允許粘結劑材料均勻地分散到漿料中。 如果粘結劑材料不均勻地分散在電極中， 則可能降低電池的性能。

【0125】 在一些實施方案中，基於粘結劑材料和第四水溶液的混合物的總重量，在粘結劑溶液中的粘結劑材料的用量是約 3wt.%至約 6wt.%、約 5wt.%至約 10wt.%、約 7.5wt.%至約 15wt.%、約 10wt.%至約 20wt.%、約 15wt.%至約 25wt.%、約 20wt.%至約 40wt.%或約 35wt.%至約 50wt.%。

【0126】 在某些實施方案中，第二水溶液、第三水溶液和第四

水溶液中的每一者獨立地是含有作為主要組分的水和除了水之外的作為次要組分的諸如醇、低級脂肪酮、低級烷基乙酸酯等的揮發性溶劑的溶液。在某些實施方案中，在各個溶液中的水的用量獨立地是水和水之外的溶劑的總量的至少 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%。在一些實施方案中，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%。在一些實施方案中，第二水溶液、第三水溶液和第四水溶液中的每一者獨立地僅由水組成，即在各個溶液中的水的比例是 100vol.%（體積百分比）。

【0127】 任何可與水混溶的溶劑可以用作第二水溶液、第三水溶液和第四水溶液的次要組分。次要組分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 C_2-C_4 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。

【0128】 在一些實施方案中，揮發性溶劑或次要組分是甲基乙基酮、乙醇、乙酸乙酯或其組合。

【0129】 在一些實施方案中，漿料的組合物不需要有機溶劑。在某些實施方案中，第二水溶液、第三水溶液和第四水溶液中的每一者獨立地是水。水的一些非限制性示例包括自來水、瓶裝水、淨化水、純水、蒸餾水、去離子水、D_2O 或其組合。在一些實施方案中，第二水溶液、第三水溶液和第四水溶液中的每一者獨立地是淨化水、純水、去離子水、蒸餾水或其組合。在某些實施方案中，第二水溶液、第三水溶液和第四水溶液中的每一者不含諸如醇、低級脂肪酮、低級烷基乙酸酯的有機溶劑。由於漿料的組合物不含有任何有機溶劑，因此在漿料的製造期間，避免了昂貴的、受限制的和複雜的有機溶劑處理。

【0130】 本申請可以使用任何可用來在分散步驟中形成漿料的溫度。在一些實施方案中，在約 14℃、約 16℃、約 18℃、約 20℃、約

22℃、約 24℃或約 26℃下，將預處理的活性電池電極材料、導電劑和粘結劑材料添加到攪拌的第二水溶液。 在某些實施方案中，利用在約 30℃至約 80℃、 約 35℃至約 80℃、 約 40℃至約 80℃、 約 45℃至約 80℃、約 50℃至約 80℃、約 55℃至約 80℃、約 55℃至約 70℃、約 45℃至約 85℃或約 45℃至約 90℃的溫度下加熱，可以執行分散過程。在一些實施方案中，分散過程可以在低於 30℃、 低於 25℃、低於 22℃、低於 20℃、低於 15℃或低於 10℃的溫度下執行。

【0131】 可選的組分可以用來輔助將預處理的活性電池電極材料、導電劑和粘結劑材料分散在漿料中。在一些實施方案中，可選的組分是分散劑。 任何可以提高分散的分散劑可以被添加到本申請所公開的漿料。在某些實施方案中，分散劑選自由乙醇、異丙醇、正丙醇、叔丁醇、正丁醇、十二烷基硫酸鋰、三甲基十六烷基氯化銨、聚乙烯乙氧基化物（polyethylene ethoxylate）、十二烷基苯磺酸鈉、硬脂酸鈉及其組合構成的群組。

【0132】 在一些實施方案中，基於漿料的總重量，分散劑的總量是按重量計約 0.1%至約 10%、約 0.1%至約 8%、約 0.1%至約 6%、約 0.1%至約 5%、約 0.1%至約 4%、約 0.1%至約 3%、約 0.1%至約 2%或約 0.1%至約 1%。

【0133】 在一些實施方案中，第二水溶液、第三水溶液和第四水溶液中的每一者獨立地包括用於促進顆粒的分散和/或防止顆粒的凝聚的分散劑。 任何可降低在液體和固體之間的表面張力的表面活性劑可以被用作分散劑。

【0134】 在某些實施方案中，分散劑是非離子型表面活性劑、陰離子型表面活性劑、陽離子型表面活性劑、 兩性表面活性劑或其組合。

【0135】 合適的非離子型表面活性劑的一些非限制性示例包括烷氧基化醇、羧酸酯、聚乙二醇酯及其組合。合適的烷氧基化醇的一些非限制性示例包括乙氧基化醇和丙氧基化醇。在一些實施方案中，本申

請所公開的漿料不含非離子型表面活性劑。

【0136】 合適的陰離子表面活性劑的一些非限制性示例包括烷基硫酸酯的鹽、烷基聚乙氧基化醚硫酸鹽、烷基苯磺酸鹽、烷基醚硫酸鹽、磺酸鹽、磺基琥珀酸酯、肌氨酸鹽及其組合。在一些實施方案中，陰離子表面活性劑包括選自由鈉、 鉀、銨及其組合構成的群組的陽離子。在一些實施方案中，本申請所公開的漿料不含陰離子表面活性劑。

【0137】 合適的陽離子表面活性劑的一些非限制性示例包括銨鹽、鏻鹽、咪唑鹽、銃鹽及其組合。合適的銨鹽的一些非限制性示例包括硬脂基三甲基溴化銨（STAB）、十六烷基三甲基溴化銨（CTAB）和肉豆蔻基三甲基溴化銨（MTAB）及其組合。在一些實施方案中，本申請所公開的漿料不含陽離子表面活性劑。

【0138】 合適的兩性表面活性劑的一些非限制性示例是含有陽離子基團和陰離子基團兩者的表面活性劑。該陽離子基團是銨、鏻、咪唑、銃或其組合。該陰離子親水基團是羧酸鹽、磺酸鹽、硫酸鹽、磷酸鹽或其組合。 在一些實施方案中， 本申請所公開的漿料不含兩性表面活性劑。

【0139】 漿料可以通過均質器被均質化。可以使用任何可以使漿料均質化的設備。 在一些實施方案中，均質器是攪拌混合器、混合機、磨機、超聲發生器、轉子-定子均質器、噴霧器或高壓均質器。

【0140】 在一些實施方案中，均質器是超聲發生器。在本申請中可以使用任何可以施加超聲能量以攪拌和分散樣品中的顆粒的超聲發生器。 在一些實施方案中， 超聲發生器是探針型超聲發生器或超聲流動池。

【0141】 在某些實施方案中，通過機械攪拌將漿料均質化持續約 2 小時至約 8 小時的時段。在一些實施方案中，攪拌混合器是包含行星和高速分散槳的行星式混合器。在某些實施方案中，公轉攪拌槳的轉速是約 20rpm 至約 200rpm，且自轉攪拌槳的轉速是約 1,000rpm 至約 3,500rpm。在進一步的實施方案中，公轉攪拌槳的轉速是約 20rpm 至約

150rpm 或約 30rpm 至約 100rpm，且自轉攪拌槳的轉速是約 1,000rpm 至約 3,000rpm 或約 1,500rpm 至約 2,500rpm。當均質器是攪拌混合器時，將漿料攪拌至少兩個小時以確保充分分散。如果分散不充分，電池性能例如循環壽命可能被嚴重影響。在進一步的實施方案中，攪拌時間是約 2 小時至約 6 小時、約 3 小時至約 8 小時、約 3 小時至約 6 小時或約 4 小時至約 8 小時。

【0142】 在某些實施方案中，超聲流動池可以以單程、多程或再循環模式運行。在一些實施方案中，超聲流動池可包括水冷套以輔助維持所需的溫度。可替選地，可使用分離的熱交換器。在某些實施方案中，該流動池可以由不銹鋼或玻璃製成。

【0143】 在一些實施方案中，漿料被均質化持續約 1 小時至約 10 小時、約 2 小時至約 4 小時、約 15 分鐘至約 4 小時、約 30 分鐘至約 4 小時、約 1 小時至約 4 小時、約 2 小時至約 5 小時、約 3 小時至約 5 小時或約 2 小時至約 6 小時的時段。

【0144】 在某些實施方案中，超聲發生器在約 10W/L 至約 100W/L、約 20W/L 至約 100W/L、約 30W/L 至約 100W/L、約 40W/L 至約 80W/L、約 40W/L 至約 70W/L、約 40W/L 至約 50W/L、約 40W/L 至約 60W/L、約 50W/L 至約 60W/L、約 20W/L 至約 80W/L、約 20W/L 至約 60W/L 或約 20W/L 至約 40W/L 的功率密度下運行。

【0145】 通過系統的連續流在批類型的處理上具有多個優點。通過借助超聲流動池的超聲處理，處理能力變得明顯更高。在流動池中的材料的保持時間可以通過調整流速來調節。

【0146】 通過再循環模式的超聲處理，在再循環配置中通過流動池材料被再循環多次。再循環增大了累積的暴露時間，這是因為在單程配置中液體僅通過超聲流動池一次。

【0147】 多程模式具有多流動池配置。該佈置允許單程處理而無需再循環或者多次通過系統。該佈置提供了等於所利用的流動池的數量的額外的生產率放大系數。

【0148】 本申請所公開的均質化步驟降低或者消除了活性電池電極材料和導電劑的潛在的聚集且提高了漿料中各種成分的分散。

【0149】 當漿料通過磨機均質化時，將介質例如球、卵石、小石子、砂石或其他介質與待混合的樣品材料一起用於攪拌的混合物中。在混合物中的顆粒被混合且在磨機中通過與快速移動的表面碰撞來減少尺寸。在一些實施方案中，球是用硬的材料例如鋼、不銹鋼、陶瓷或者二氧化鋯(ZrO_2)製成。然而，觀察到在研磨過程中的機械壓力會導致陰極材料的結構的損壞，引起變形或主要的結構損壞如裂紋。陰極材料也可能被球磨損導致結構破壞和不平整表面。這些缺陷繼而導致電化學電池的電化學性能的輕微至嚴重的劣化。由於殼的脆弱性，具有核-殼結構的陰極材料甚至更容易遭受機械損傷。

【0150】 均質化的漿料可以被施加到集流器上以在集流器上形成塗膜。 集流器充當收集通過活性電池電極材料的電化學反應而生成的電子或者提供電化學反應所需的電子。 在一些實施方案中，可以是箔、板或片形式的正極和負極的各個集流器獨立地是不銹鋼、鈦、鎳、鋁、銅或導電性樹脂。在某些實施方案中，正極的集流器是鋁薄片。在一些實施方案中，負極的集流器是銅薄片。

【0151】 在一些實施方案中，由於厚度將影響電池內集流器所佔據的體積以及活性電池電極材料的用量、以及由此影響電池的容量，故集流器具有約 6μm 至約 100μm 的厚度。

【0152】 在某些實施方案中，使用刮刀塗布機、狹縫式模頭塗布機、 轉送塗布機、噴霧塗布機、輥塗機、凹凸塗布機、浸漬塗布機或簾幕塗布機，執行塗覆過程。在一些實施方案中，在集流器上的塗膜的厚度是約 10μm 至約 300μm 或約 20μm 至約 100μm。

【0153】 在集流器上施加均質化的漿料之後，在集流器上的塗膜可以通過乾燥器來乾燥以獲得電池電極。 在本申請中可以使用任何可以乾燥集流器上的塗膜的乾燥器。 乾燥器的一些非限制性示例是分批乾燥箱、傳送帶式乾燥箱和微波乾燥箱。傳送帶式乾燥箱的一些非限

制性示例包括傳送帶式熱風乾燥箱、傳送帶式電阻乾燥箱、傳送帶式電感乾燥箱和傳送帶式微波乾燥箱。

【0154】 在一些實施方案中，用於乾燥在集流器上的塗膜的傳送帶式乾燥箱包括一個或多個加熱段，其中各個加熱段單獨地被溫度控制，且其中各個加熱段可獨立地包括受控的加熱區。

【0155】 在某些實施方案中，傳送帶式乾燥箱包括位於傳送帶一側的第一加熱段和位於傳送帶的與第一加熱段的相對側上的第二加熱段， 其中第一加熱段和第二加熱段中的每一者獨立地包括一個或多個加熱元件和溫度控制系統， 該溫度控制系統以監控和選擇性地控制各個加熱段的溫度的方式連接到第一加熱段的加熱元件和第二加熱段的加熱元件。

【0156】 在一些實施方案中， 傳送帶式乾燥箱包括多個加熱段，其中， 各個加熱段包括被操作用以維持加熱段內的恆定溫度的獨立的加熱元件。

【0157】 在某些實施方案中，第一加熱段和第二加熱段中的每一者獨立地具有入口加熱區和出口加熱區， 其中入口加熱區和出口加熱區分別獨立地包括一個或多個加熱元件和溫度控制系統， 該溫度控制系統以監控和選擇性地與其他加熱區的溫度控制分開控制各個加熱區的溫度的方式連接到入口加熱區的加熱元件和出口加熱區的加熱元件。

【0158】 在一些實施方案中， 可以在約 50℃至約 80℃的溫度下，乾燥集流器上的塗膜。該溫度範圍意味著可控的溫度梯度，其中，溫度從 50℃的入口溫度逐漸升高到 80℃的出口溫度。可控的溫度梯度避免了集流器上的塗膜過快地乾燥。 過快地乾燥塗膜會降解漿料中的材料。 過快地乾燥塗膜還可以導致電極中的應力缺陷，因為溶劑可以比膜可以鬆弛或者調節到所產生的體積變化更快地從塗膜中去除， 這可導致諸如裂縫的缺陷。人們認為， 避免該缺陷通常可以提高電極的性能。並且， 過快地乾燥塗膜可以導致粘結劑材料遷移以及在電極的

表面上形成粘結劑材料層。

【0159】 在某些實施方案中，集流器上的塗膜以較慢的速率乾燥。在某些實施方案中，集流器上的塗膜以恆定的速率被較慢地乾燥，隨後以較快的乾燥速率乾燥。

【0160】 在一些實施方案中，可在約 45℃至約 100℃、約 50℃至約 100℃、約 55℃至約 100℃、約 50℃至約 90℃、約 55℃至約 80℃、約 55℃至約 75℃、約 55℃至約 70℃、約 50℃至約 80℃或約 50℃至約 70℃的溫度下，乾燥集流器上的塗膜。在一個實施方案中，集流器上的塗膜可在約 40℃至約 55℃的溫度下乾燥約 5 分鐘至約 10 分鐘的時段。較低的乾燥溫度可以避免具有高鎳和/或錳含量的陰極材料的不希望的分解。

【0161】 在某些實施方案中，傳送帶以約 2 米/分鐘至約 30 米/分鐘、約 2 米/分鐘至約 25 米/分鐘、約 2 米/分鐘至約 20 米/分鐘、約 2 米/分鐘至約 16 米/分鐘、約 3 米/分鐘至約 30 米/分鐘、約 3 米/分鐘至約 20 米/分鐘或約 3 米/分鐘至約 16 米/分鐘的速度移動。

【0162】 控制傳送帶長度和速度可以調節塗膜的乾燥時間。因此，在不增加傳送帶的長度的情況下，可以增加乾燥時間。在一些實施方案中，集流器上的塗膜可以被乾燥約 1 分鐘至約 30 分鐘、約 1 分鐘至約 25 分鐘、約 1 分鐘至約 20 分鐘、約 1 分鐘至約 15 分鐘、約 1 分鐘至約 10 分鐘、約 2 分鐘至約 15 分鐘或約 2 分鐘至約 10 分鐘的時段。

【0163】 集流器上的塗膜被乾燥以後，形成電池電極。在一些實施方案中，電池電極被機械壓縮以便提高電極的密度。

【0164】 本申請所公開的方法的優點是在製造方法中使用水性溶劑， 該製造方法通過避免需要處理或循環利用危險的有機溶劑而可以節省工藝時間和設施。此外，通過簡化總工藝， 降低了成本。 因此，該方法由於其低成本和容易處理而尤其適於工業化過程。

【0165】 在一些實施方案中，以 1C 的放電速率下，包含通過本申請所公開的方法製備的電極的電池在 500 次循環後，表現出至少約

89%、約 94%、約 95%、約 97%或約 98%的容量保持率。在某些實施方案中， 以 1C 的放電速率下， 在 1,000 次循環後， 電池表現出至少約 83%、約 88%、約 90%、約 92%、約 94%、約 95%或約 96 %的容量保持率。在一些實施方案中，在 1C 的放電速率下，在 2,000 次循環後，電池表現出至少約 73%、約 77%、約 80%、約 81%、約 88%、約 90%或約 92%的容量保持率。

【0166】 為了例證本發明的實施方案給出以下的實施例，其不用來將本發明限制到所列舉的具體實施方式。除非相反指明，否則所有的份數和百分比是按重量計。 所有的數值是近似值。 當給出數值範圍時，應該理解，所聲明的範圍之外的實施方式仍落在本發明的範圍內。在各個實施例中描述的特定細節不應該被理解成本發明的必要特徵。

【實施方式】

實施例 1

A）活性電池電極材料的預處理

【0167】 在室溫下將陰極材料顆粒 $LiNi_{0.33}Mn_{0.33}Co_{0.33}O_2$(NMC333)（來自中國的廈門鎢業有限公司）添加到含有 50%去離子水和 50%乙醇的攪拌溶液中以形成具有按重量計約 35%固含量的懸浮液。利用 pH 計測量該懸浮液的 pH 值，pH 值為約 7。該懸浮液在室溫下被進一步攪拌持續 5 小時。然後該懸浮液被分離且通過 2.45GHz 的微波乾燥器（ZY-4HO，來自中國廣東的志雅工業用微波設備有限公司）在 750W 下乾燥 5 分鐘以獲得預處理的活性電池電極材料。

B）正極漿料的製備

【0168】 通過在去離子水中混合 91wt.%的經預處理的活性電池電極材料、4wt.%的炭黑（SuperP；Timcal Ltd，Bodio，瑞士）、4wt.%的聚丙烯腈(PAN)（LA 132，成都茵地樂電源科技有限公司，中國）和 1%的異丙醇（來自中國的阿拉丁工業公司）以形成具有 70wt.%的固含

量的漿料， 來製備正極漿料。 通過在 20rpm 的攪拌速度和 1,500rpm 的分散速度下運行的行星式攪拌混合器（200L 混合器，Chienemei Industry 有限公司，中國），將漿料均質化持續 6 小時以獲得均質化的漿料。實施例 1 的配方在下表 1 中示出。

C）正極的製備

【0169】 使用轉送塗布機（ZY-TSF6-6518，來自中國的金帆展宇新能源科技有限公司）將該均質化的漿料塗覆在具有 20μm 的厚度的鋁箔的兩側上，其中面密度為約 26mg/cm^2。鋁箔上的塗膜通過作為轉送塗布機的子模塊的在約 8 米/分鐘的傳送帶速度下運行的 24 米長的傳送帶式熱風乾燥箱乾燥 3 分鐘以獲得正極。 溫度程控箱允許可控的溫度梯度，其中，溫度從 55℃的入口溫度逐漸升高至 80℃的出口溫度。

D）負極的製備

【0170】 通過在去離子水中混合 90wt.%的硬碳（HC；99.5%純度，Ruifute Technology 有限公司，深圳，廣東，中國）、5wt.%的炭黑和 5wt.%的聚丙烯腈以形成具有 50wt.%的固含量的漿料，來製備負極漿料。使用轉送塗布機將該漿料塗覆在具有 9μm 的厚度的銅箔的兩側上，其中面密度為約 15mg/cm^2。銅箔上的塗膜通過在約 10 米/分鐘的傳送帶速度下運行的24米長的傳送帶式熱風乾燥箱在約50℃下乾燥2.4分鐘以獲得負極。

實施例 1 的形態測量

【0171】 圖 2 示出所塗覆的陰極電極在乾燥之後的表面形態的 SEM 圖像。 所塗覆的陰極電極的形態通過掃描電子顯微鏡（JEOL-6300，來自 JEOL 有限公司，日本）來表徵。SEM 圖像清楚地示出在整個電極表面的均勻的、無裂縫的和穩定的塗層。此外，該電極示出預處理的活性電池電極材料和導電劑的均勻分布而沒有大的團聚物。

實施例 2

軟包電池的裝配

【0172】 在乾燥之後，得到的實施例 1 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。陰極電極板和陽極電極板通過隔膜被保持分開且所述容器是預製成型的。然後在具有濕度和氧含量小於 1ppm 的高純度氬氣氣氛下，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 $LiPF_6$ 的溶液（1M）。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。

實施例 2 的電化學測量

I）額定容量

【0173】 在電池測試儀（BTS-5V20A，來自 Neware Electronics 有限公司，中國）上，在 25℃下和 C/2 的電流密度下恆流地測試該電池，電壓在 3.0V 和 4.3V 之間。額定容量是約 10Ah。

II）循環性能

【0174】 通過在 3.0V 和 4.3V 之間並 1C 的恆定電流速率下充電和放電， 測試軟包電池的循環性能。 循環性能的測試結果示出在圖 3 中。 在 450 次循環之後的容量保持率是初始值的約 95.6%。 測試結果在下表 2 中示出。

實施例 3

A）活性電池電極材料的預處理

【0175】 在室溫下將陰極材料顆粒 $LiMn_2O_4$(LMO)（來自中國青島的 HuaGuan HengYuan LiTech 有限公司）添加到攪拌的 7wt.%的乙酸的水溶液（來自中國的阿拉丁工業公司）中以形成具有按重量計約 50%固含量的懸浮液。利用 pH 計測量該懸浮液的 pH 值，pH 值為約 6。該懸浮液在室溫下被進一步攪拌持續 2.5 小時。然後該懸浮液被分離以及通過 2.45GHz 的微波乾燥器在 750W 下乾燥 5 分鐘以獲得預處理的活

性電池電極材料。

B）正極漿料的製備

【0176】 將碳納米管（NTP2003；Shenzhen Nanotech Port 有限公司，中國）（25g）在 2L 的含有 0.5wt.% NaOH 的鹼性溶液中預處理約 15 分鐘然後通過去離子水（5L）洗滌。然後將所處理的碳納米管分散在去離子水中以形成具有 6.25wt.%的固含量的懸浮液。

【0177】 通過在去離子水中混合 92wt.%的經預處理的活性電池電極材料、3wt.%的炭黑、1wt.%的所處理的碳納米管的懸浮液和 4wt.%的聚丙烯腈以形成具有 65wt.%的固含量的漿料，來製備正極漿料。通過在 1,000W 下運行的循環超聲流動池（NP8000，來自中國的廣州新棟力超聲電子設備有限公司），使漿料均質化持續 8 小時以獲得均質化的漿料。實施例 3 的配方在下表 1 中示出。

C）正極的製備

【0178】 使用轉送塗布機將該均質化的漿料塗覆在具有 20μm 的厚度的鋁箔的兩側上，其中面密度為約 40mg/cm^2。鋁箔上的塗膜通過作為轉送塗布機的子模塊的在約 4 米/分鐘的傳送帶速度下運行的 24 米長的傳送帶式熱風乾燥箱乾燥 6 分鐘以獲得正極。 溫度程控箱允許可控的溫度梯度，其中，溫度從 65℃的入口溫度逐漸升高至 90℃的出口溫度。

D）負極的製備

【0179】 通過在去離子水中混合 90wt.%的硬碳（HC；99.5%純度，Ruifute Technology 有限公司，深圳，廣東，中國）、5wt.%的炭黑和 5wt.%的聚丙烯腈以形成具有 50wt.%的固含量的漿料，來製備負極漿料。使用轉送塗布機將該漿料塗覆在具有 9μm 的厚度的銅箔的兩側上， 其中面密度為約 15mg/cm^2。 銅箔上的塗膜通過在約 10 米/分鐘的傳送帶速度下運行的24米長的傳送帶式熱風乾燥箱在約50℃下乾燥2.4分鐘以獲得負極。

實施例 4

軟包電池的裝配

【0180】 軟包電池的製備方法與實施例 2 相同。

實施例 4 的電化學測量

I）額定容量

【0181】 在電池測試儀上在 25℃下並 C/2 的電流密度下恆流地測試該電池，電壓在 3.0V 和 4.3V 之間。額定容量是約 10Ah。

II）循環性能

【0182】 通過在 3.0V 和 4.3V 之間在 1C 的恆定電流速率下充電和放電，測試軟包電池的循環性能。 循環性能的測試結果示出在圖 4 中。在 2,000 次循環之後的容量保持率是初始值的約 77%。測試結果在下表 2 中示出。

實施例 5

A）活性電池電極材料的預處理

【0183】 在室溫下將陰極材料顆粒 $LiNi_{0.33}Mn_{0.33}Co_{0.33}O_2$(NMC333)（來自中國的深圳市天驕科技開發有限公司）添加到攪拌的去離子水中以形成具有按重量計約 65%固含量的懸浮液。利用 pH 計測量該懸浮液的 pH 值，pH 值為約 7。該懸浮液在室溫下被進一步攪拌持續 10 小時。 然後該懸浮液被分離以及通過 2.45GHz 的微波乾燥器在 750W 下乾燥 5 分鐘以獲得預處理的活性電池電極材料。

B）正極漿料的製備

【0184】 通過在去離子水中混合 93wt.%的經預處理的活性電池電極材料、3wt.%的炭黑、0.5wt.%的壬基苯酚乙氧基化物（TERGITOL™ NP-6， DOW Chemical， 美國）和 3.5wt.%的聚丙烯腈以形成具有 75wt.%的固含量的漿料，來製備正極漿料。通過在 1,000W 下運行的循

環的超聲流動池，將漿料均質化持續 8 小時以獲得均質化的漿料。實施例 5 的配方在下表 1 中示出。

C）正極的製備

【0185】 使用轉送塗布機將該均質化的漿料塗覆在具有 20μm 的厚度的鋁箔的兩側上，其中面密度為約 32mg/cm^2。鋁箔上的塗膜通過作為轉送塗布機的子模塊的在約 6 米/分鐘的傳送帶速度下運行的 24 米長的傳送帶式熱風乾燥箱乾燥 4 分鐘以獲得正極。 溫度程控箱允許可控的溫度梯度，其中，溫度從 50℃的入口溫度逐漸升高至 75℃的出口溫度。

D）負極的製備

【0186】 通過在去離子水中混合 90wt.%的硬碳、5wt.%的炭黑和 5wt.%的聚丙烯腈以形成具有 50wt.%的固含量的漿料，來製備負極漿料。使用轉送塗布機將該漿料塗覆在具有 9μm 的厚度的銅箔的兩側上， 其中面密度為約 15mg/cm^2。 銅箔上的塗膜通過在約 10 米/分鐘的傳送帶速度下運行的24 米長的傳送帶式熱風乾燥箱在約50℃下乾燥2.4 分鐘以獲得負極。

實施例 6

軟包電池的裝配

【0187】 軟包電池的製備方法與實施例 2 相同。

實施例 6 的電化學測量

I）額定容量

【0188】 在電池測試儀上在 25℃下並 C/2 的電流密度下恆流地測試該電池，電壓在 3.0V 和 4.3V 之間。額定容量是約 10Ah。

II）循環性能

【0189】 通過在 3.0V 和 4.3V 之間並 1C 的恆定電流速率下充電和放電， 測試軟包電池的循環性能。循環性能的測試結果示出在圖 5

中。在 560 次循環之後的容量保持率是初始值的約 94.8%。測試結果在下表 2 中示出。

實施例 7

A）活性電池電極材料的預處理

【0190】 在室溫下將陰極材料顆粒 $LiFePO_4$（來自中國的廈門鎢業有限公司）添加到攪拌的 3wt.%的乙酸的水溶液（來自中國的阿拉丁工業公司）中以形成具有按重量計約 50%固含量的懸浮液。利用 pH 計測量該懸浮液的 pH 值，pH 值為約 3.8。該懸浮液在室溫下被進一步攪拌持續 2.5 小時。然後該懸浮液被分離以及通過 2.45GHz 的微波乾燥器在 700W 下乾燥 5 分鐘以獲得預處理的活性電池電極材料。

B）正極漿料的製備

【0191】 通過在去離子水中混合 88wt.%的預處理的活性電池電極材料、5.5wt.%的炭黑、0.5wt.%的壬基苯酚乙氧基化物（TERGITOL™ NP-6， DOW Chemical，美國）和 6wt.%的聚丙烯腈以形成具有 70wt.%的固含量的漿料，來製備正極漿料。通過在 1,000W 下運行的循環的超聲流動池，使漿料均質化持續 6 小時以獲得均質化的漿料。實施例 7 的配方在下表 1 中示出。

C）正極的製備

【0192】 使用轉送塗布機將該均質化的漿料塗覆在具有 30μm 的厚度的鋁箔的兩側上，其中面密度為約 56mg/cm^2。鋁箔上的塗膜通過作為轉送塗布機的子模塊的在約 4 米/分鐘的傳送帶速度下運行的 24 米長的傳送帶式熱風乾燥箱乾燥 6 分鐘以獲得正極。 溫度程控箱允許可控的溫度梯度，其中，溫度從 75℃的入口溫度逐漸升高至 90℃的出口溫度。

D）負極的製備

【0193】 通過在去離子水中混合 90wt.%的硬碳（HC；99.5%純度，Ruifute Technology 有限公司，深圳，廣東，中國）、5wt.%的炭黑

和 5wt.%的聚丙烯腈以形成具有 50wt.%的固含量的漿料，來製備負極漿料。使用轉送塗布機將該漿料塗覆在具有 9μm 的厚度的銅箔的兩側上，其中面密度為約 15mg/cm^2。銅箔上的塗膜通過在約 10 米/分鐘的傳送帶速度下運行的24米長的傳送帶式熱風乾燥箱在約50℃下乾燥2.4分鐘以獲得負極。

實施例 8

軟包電池的裝配

【0194】 軟包電池的製備方法與實施例 2 相同。

實施例 8 的電化學測量

I）額定容量

【0195】 在電池測試儀上在 25℃下並 C/2 的電流密度下恆流地測試該電池，電壓在 2.5V 和 3.6V 之間。額定容量是約 3.6Ah。

II）循環性能

【0196】 通過在 2.5V 和 3.6V 之間並 1C 的恆定電流速率下充電和放電，測試軟包電池的循環性能。循環性能的測試結果示出在圖 6 中。在 3,000 次循環之後的容量保持率是初始值的約 82.6%。測試結果在下表 2 中示出。

實施例 9

A）具有核-殼結構的活性陰極材料的製備

【0197】 一種核-殼陰極材料的核為通過共沉澱方式製備的 $Li_{1.03}Ni_{0.51}Mn_{0.32}Co_{0.17}O_2$。所述核-殼陰極材料的殼為 $Li_{0.95}Ni_{0.53}Mn_{0.29}Co_{0.15}Al_{0.03}O_2$，其製備方法為在上述核的表面形成 $Al(OH)_3$ 沉澱以形成前驅體，將所述前驅體與 Li_2CO_3（來自中國深圳天齊鋰業）混合以形成混合物，並在 900°C 溫度下煅燒該混合物。煅燒產物使用氣流粉碎機（LNJ-6A，來自中國四川綿陽流能粉體設備有限公司）粉碎約 1 個小時，並將粉碎產物通過 270 目篩網篩分以得到具有

粒徑 D50 約 38μm 的陰極材料。在核-殼陰極材料中的鋁含量自外層殼至內層核梯度降低。該殼的厚度為約 3μm。

B）活性電池電極材料的預處理

【0198】 將以上述方法製備的核-殼陰極材料(C-S NMC532)在室溫條件下加入到持續攪拌的包含 50%去離子水和 50%甲醇的水溶液，以形成具有按重量計約 50%固含量的懸浮液。利用 pH 計測量該懸浮液的 pH 值，pH 值為約 7.5。該懸浮液在室溫下被進一步持續攪拌 3.5 小時。 然後該懸浮液被分離以及通過 2.45GHz 的微波乾燥器在 750W 下乾燥 5 分鐘以獲得預處理的活性電池電極材料。

C）正極漿料的製備

【0199】 通過在去離子水中混合 90wt.%的經預處理活性電池電極材料、5wt.%作為導電劑的炭黑（SuperP；Timcal Ltd，Bodio，瑞士）和 5wt.%作為粘結劑的聚丙烯腈（LA 132，中國四川成都茵地樂電源科技有限公司）以形成具有 50wt.%的固含量的漿料，來製備正極漿料。通過在 20rpm 的攪拌速度和 1,500rpm 的分散速度下運行的行星式攪拌混合器，將漿料均質化持續 6 小時以獲得均質化的漿料。實施例 9 的配方在下表 1 中示出。

D）正極的製備

【0200】 使用轉送塗布機將該均質化的漿料塗覆在具有 30μm 的厚度的鋁箔的兩側上，其中面密度為約 44 mg/cm^2。鋁箔上的塗膜通過作為轉送塗布機的子模塊的在約 4 米/分鐘的傳送帶速度下運行的 24 米長的傳送帶式熱風乾燥箱乾燥 5 分鐘以獲得正極。溫度程控箱允許可控的溫度梯度，其中，溫度從 67 ˚C 的入口溫度逐漸升高至 78 ˚C 的出口溫度。

E）負極的製備

【0201】 通過在去離子水中混合 90wt.%的硬碳（HC；99.5%純度，Ruifute Technology 有限公司，深圳，廣東，中國）、5wt.%的炭黑

和 5wt.%的聚丙烯腈以形成具有 50wt.%的固含量的漿料， 來製備負極漿料。使用轉送塗布機將該漿料塗覆在具有 9μm 的厚度的銅箔的兩側上，其中面密度為約 15 mg/cm^2。銅箔上的塗膜通過在約 10 米/分鐘的傳送帶速度下運行的 24 米長的傳送帶式熱風乾燥箱在約 50°C 下乾燥 2.4 分鐘以獲得負極。

實施例 10

軟包電池的裝配

【0202】 軟包電池的製備方法與實施例 2 相同。

實施例 10 的電化學測量

I）額定容量

【0203】 在電池測試儀上在25°C下並C/2電流密度下恆流地測試該電池，電壓在 3.0V 至 4.2V 之間。額定容量是約 10.46Ah。

II）循環性能

【0204】 通過在 3.0V 至 4.2V 之間並 1C 的恆定電流速率下充電和放電， 測試軟包電池的循環性能。 循環性能的測試結果在圖 7 中展示。在 361 次循環之後的容量保持率是初始值的約 98.6%。測試結果在下表 2 中示出。

實施例 11

A) 具有核-殼結構的活性陰極材料的製備

【0205】 核-殼陰極材料的核為 $Li_{1.01}Ni_{0.96}Mg_{0.04}O_2$（C-SLNMgO），並通過固相反應法製備，其中將 MgO 及 NiO_x（x=1 至 2）與 LiOH 均勻混合並在 850°C 煅燒。所述核-殼陰極材料的殼為 $Li_{0.95}Co_{1.1}O_2$，其製備方法為在上述核的表面形成 $Co(OH)_2$ 沉澱以形成前驅體，將所述前驅體與 Li_2CO_3（來自中國深圳天齊鋰業）混合以形成混合物，並在 800°C 溫度下煅燒該混合物。煅燒產物使用氣流粉碎機（LNJ-6A，來自中國四川綿陽流能粉體設備有限公司）粉碎約 1 個小

時，並將粉碎產物通過 270 目篩網篩分得到具有粒徑 D50 約 33μm 的陰極材料。在核-殼陰極材料中的鈷含量自外層殼至內層核梯度降低。其中殼的厚度大約為 5 μm。

B) 活性電池電極材料的預處理

【0206】 將以上述方法製備的核-殼陰極材料在室溫條件下加入到持續攪拌的包含 70%去離子水和 30%異丙醇的水溶液中，以形成具有按重量計 60%的懸浮液。利用 pH 計測量該懸浮液的 pH 值，pH 值為約 8.0。然後該懸浮液繼續在室溫下被進一步持續攪拌約 6.5 小時。然後該懸浮液被分離以及通過 2.45GHz 微波乾燥器在 750W 下乾燥 5 分鐘以獲得預處理的活性電池電極材料。

C）正極漿料的製備

【0207】 通過在去離子水中混合 89wt.%的經預處理活性電池電極材料、5.5wt.%作為導電劑的炭黑（SuperP；Timcal Ltd，Bodio，瑞士）和 5.5wt.%作為粘結劑的的聚丙烯腈（LA 132，中國四川成都茵地樂電源科技有限公司）以形成具有 50wt.%的固含量的漿料，來製備正極漿料。通過在 20rpm 的攪拌速度和 1,500rpm 的分散速度下運行的行星式攪拌混合器，將漿料均質化持續 6 小時以獲得均質化的漿料。實施例 11 的配方在下表 1 中示出。

D）正極的製備

【0208】 使用轉送塗布機將該均質化的漿料塗覆在具有 30μm 的厚度的鋁箔的兩側上，其中面密度為約 42mg/cm^2。鋁箔上的塗膜通過作為轉送塗布機的子模塊的在約 4.2 米/分鐘的傳送帶速度下運行的 24 米長的傳送帶式熱風乾燥箱乾燥約 5.5 分鐘以獲得正極。溫度程控箱允許可控的溫度梯度，其中，溫度從 62 °C 的入口溫度逐漸升高至 75 °C 的出口溫度。

E）負極的製備

【0209】 通過在去離子水中混合 90wt.%的硬碳（HC；99.5%純

度，Ruifute Technology 有限公司，深圳，廣東，中國）、5wt.%的炭黑和 5wt.%的聚丙烯腈以形成具有 50wt.%的固含量的漿料， 來製備負極漿料。使用轉送塗布機將該漿料塗覆在具有 9μm 的厚度的銅箔的兩側上，其中面密度為約 15 mg/cm^2。銅箔上的塗膜通過在約 10 米/分鐘的傳送帶速度下運行的 24 米長的傳送帶式熱風乾燥箱在約 50°C 下乾燥 2.4 分鐘以獲得負極。

實施例 12

軟包電池的裝配

【0210】 軟包電池的製備方法與實施例 2 相同。

實施例 12 的電化學測量

I）額定容量

【0211】 在電池測試儀上在 25°C 下並 C/2 電流密度下恆流地測試該電池，電壓在 3.0V 至 4.2V 之間。額定容量是約 10.4Ah。

II）循環性能

【0212】 通過在 3.0V 至 4.2V 之間並 1C 的恆定電流速率下充電和放電，測試軟包電池的循環性能。循環性能的測試結果在圖 8 中展示。在 385 次循環之後的容量保持率是初始值的約 98.1%。測試結果在下表 2 中示出。

實施例 13

A）活性電池電極材料的預處理

【0213】 陰極材料顆粒 $LiCoO_2$（來自中國的廈門鎢業有限公司）在室溫下加入到持續攪拌的包含 50%去離子水和 50%乙醇水溶液中，以形成具有按重量計約 2%的固含量的懸浮液。利用 pH 計測量該懸浮液的 pH 值，pH 值為約 7.0。該懸浮液在室溫下被進一步攪拌持續 1 小時。然後該懸浮液被分離以及通過 2.45GHz 微波乾燥器(ZY-4HO，來自中國廣東的志雅工業用微波設備有限公司)在 750W 下乾燥 5 分鐘以獲得預

處理的活性電池電極材料。

B）正極漿料的製備

【0214】 通過在去離子水中分散混合的 90 wt.% 預處理的活性電池電極材料、5 wt.%作為導電劑的碳黑（SuperP；來自 Timcal Ltd，Bodio，瑞士）和 5 wt.%作為粘結劑的聚丙烯腈，以形成具有 50 wt.%固含量的漿料。 通過在 30rpm 的攪拌速度和 1,500rpm 的分散速度下運行的行星式攪拌混合器，將漿料均質化持續 6 小時以獲得均質化的漿料。實施例 13 的配方在下表 1 中示出。

C）正極的製備

【0215】 利用轉送塗布機（ZY-TSF6-6518，來自中國的金帆展宇新能源科技有限公司）將該均質化的漿料塗覆在具有 20μm 的厚度的鋁箔的兩側上，其中面密度為約 26mg/cm^2。鋁箔上的塗膜通過作為轉送塗布機子模塊的在約 7 米/分鐘的傳送帶速度下運行的 24 米長的傳送帶式熱風乾燥箱乾燥 3.4 分鐘，以獲得正極。溫度程控箱允許可控的溫度梯度，其中，溫度從 70 °C 的入口溫度逐漸升高至 80 °C 的出口溫度。

D）負極的製備

【0216】 通過在去離子水中混合 90wt.%的硬碳（HC；99.5%純度，Ruifute Technology 有限公司，深圳，廣東，中國）、5wt.%的炭黑和 5wt.%的聚丙烯腈以形成具有 50wt.%的固含量的漿料，來製備負極漿料。使用轉送塗布機將該漿料塗覆在具有 9μm 的厚度的銅箔的兩側上，其中面密度為約 15 mg/cm^2。銅箔上的塗膜通過在約 10 米/分鐘的傳送帶速度下運行的 24 米長的傳送帶式熱風乾燥箱在約 50°C 下乾燥 2.4 分鐘以獲得負極。

實施例 14

軟包電池的裝配

【0217】 軟包電池的製備方法與實施例 2 相同。

實施例 14 的電化學測量

【0218】 在電池測試儀上，在 25°C 下並 C/2 電流密度下恆流地測試該電池，電壓在 3.0V 至 4.2V 之間。額定容量是約 10.7Ah。

【0219】 通過在 3.0V 和 4.2V 之間並 1C 的恆定電流速率下充電和放電，測試軟包電池的循環性能。循環性能的測試結果在下表 2 和圖 9 中示出。

實施例 15

【0220】 軟包電池的製備方法與實施例 1 和 2 相同，除了使用陰極材料 $LiNi_{0.8}Mn_{0.1}Co_{0.1}O_2$ (NMC811)（來自 Henan Kelong NewEnergy Co., Ltd., Xinxiang, 中國）代替 NMC333，且不加入添加劑。通過在去離子水中混合 91 wt.% 預處理的活性電池電極材料、5 wt.%的碳黑（SuperP；來自 Timcal Ltd，Bodio，瑞士）和 4 wt.%的聚丙烯腈（PAN) (LA 132，成都茵地樂電源科技有限公司，中國），以形成具有 55 wt.%固含量的漿料，來製備正極漿料。通過行星式攪拌混合器（200L 混合器，Chienemei Industry Co. Ltd., 中國)在 20rpm 的攪拌速度和 1,500rpm 的分散速度下運行 6 小時將漿料均質化，以得到均質化的漿料。實施例 15 的配方在下表 1 中示出。

【0221】 在電池測試儀上，在 25°C 下並 C/2 電流密度下恆流地測試該電池，電壓在 3.0V 至 4.2V 之間。額定容量是約 12.7Ah。循環性能的測試結果在下表 2 和圖 10 中示出。

實施例 16

【0222】 軟包電池的製備方法與實施例 1 和 2 相同，除了使用陰極材料 $LiNi_{0.6}Mn_{0.2}Co_{0.2}O_2$ (NMC622)（來自 Hunan Rui Xiang New Material Co., Ltd., Changsha, 中國）代替 NMC333，且不加入添加劑。通過在去離子水中混合 90 wt.%預處理的活性電池電極材料、5 wt.%的碳黑（SuperP；來自 Timcal Ltd， Bodio，瑞士）和 5 wt.%的聚丙烯腈（PAN) (LA 132，成都茵地樂電源科技有限公司，中國），以形成具有 60 wt.%固含量的漿料，來製備正極漿料。通過行星式攪拌混合器（200L 混合器，Chienemei Industry Co. Ltd., 中國）在 20rpm 的攪拌速度和

1,500rpm 的分散速度下運行 6 小時將漿料均質化， 以得到均質化的漿料。實施例 16 的配方在下表 1 中示出。

【0223】 在電池測試儀上， 在 25°C 下並 C/2 電流密度下恆流地測試該電池,電壓在 3.0V 至 4.2V 之間。額定容量是約 10Ah。循環性能的測試結果在下表 2 和圖 11 中示出。

實施例 17

【0224】 軟包電池的製備方法與實施例 1 和 2 相同，除了使用陰極材料 $Li_{1.0}Ni_{0.8}Co_{0.15}Al_{0.05}O_2$ (NCA)（來自 Hunan Rui Xiang New Material Co., Ltd., Changsha, 中國）代替 NMC333，且不加入添加劑。通過在去離子水中混合 91 wt.% 預處理的活性電池電極材料、5 wt.%的碳黑（SuperP； 來自 Timcal Ltd， Bodio， 瑞士）和 4 wt.%的聚丙烯腈（PAN) (LA 132，成都茵地樂電源科技有限公司，中國），以形成具有 55 wt.%固含量的漿料，來製備正極漿料。通過行星式攪拌混合器（200L 混合器，Chienemei Industry Co. Ltd., 中國）在 20rpm 的攪拌速度和 1,500rpm 的分散速度下運行 6 小時將漿料均質化，以得到均質化的漿料。實施例 17 的配方在下表 1 中示出。

【0225】 在電池測試儀上，在 25°C 下並 C/2 電流密度下恆流地測試該電池,電壓在 3.0V 至 4.2V 之間。額定容量是約 10Ah。循環性能的測試結果在下表 2 和圖 12 中示出。

實施例 18

【0226】 軟包電池的製備方法與實施例 13 和 14 相同，除了使用陰極材料 $LiNi_{0.5}Mn_{0.3}Co_{0.2}O_2$ (NMC532)（來自 Hunan Rui Xiang New Material Co., Ltd., Changsha, 中國）代替 $LiCoO_2$， 使用藻酸鈉鹽（藻酸鈉，來自中國的阿拉丁工業公司）和聚丙烯腈代替聚丙烯腈作為陰極粘結劑材料，且不加入添加劑。通過在去離子水中混合 88 wt.%預處理的活性電池電極材料、6 wt.%的碳黑（SuperP；來自 Timcal Ltd，Bodio，瑞士）、2.5wt.% 的藻酸鈉鹽和 3.5 wt. %的聚丙烯腈(LA 132，成都茵地樂電源科技有限公司，中國），以形成具有 50 wt.%固含量的漿料，

來製備正極漿料。通過行星式攪拌混合器（200L 混合器，Chienemei Industry Co. Ltd., 中國）在 20rpm 的攪拌速度和 1,500rpm 的分散速度下運行 6 小時將漿料均質化，以得到均質化的漿料。實施例 18 的漿料的配方在下表 1 中示出。

【0227】 在電池測試儀上，在 25°C 下並 C/2 電流密度下恆流地測試該電池,電壓在 3.0V 至 4.2V 之間。額定容量是約 10.7Ah。循環性能的測試結果在下表 2 和圖 13 中示出。

比較例 1

【0228】 軟包電池的製備方法與實施例 13 和 14 相同，除了使用 1.5wt.%的羧甲基纖維素（CMC, BSH-12, DKS Co. Ltd., 日本）和 3.5 wt.%的 SBR (AL-2001, NIPPON A&L INC., 日本）代替 5 wt.%的聚丙烯腈作為陰極粘結劑材料，且在預處理陰極材料中使用 0.01 wt.%的乙酸水溶液代替水和乙醇的混合物。在室溫下將陰極材料顆粒 $LiCoO_2$（來自中國的廈門鎢業有限公司）添加到攪拌的 0.01 wt.%的乙酸水溶液中（來自中國的阿拉丁工業公司），以形成具有按重量計 2 wt.%固含量的懸浮液。利用 pH 計測量該懸浮液的 pH 值，pH 值為約 3.4。該懸浮液在室溫下被進一步攪拌持續 1 小時。然後該懸浮液被分離以及通過 2.45GHz 微波乾燥器 (ZY-4HO，來自中國廣東的志雅工業用微波設備有限公司）在 750W 下乾燥 5 分鐘以獲得預處理的活性電池電極材料。通過在去離子水中混合 90 wt.%預處理的活性電池電極材料、5 wt.%的碳黑、1.5wt.% 的羧甲基纖維素和 3.5 wt .%的 SBR，以形成具有 50 wt.%固含量的漿料，來製備正極漿料。通過行星式攪拌混合器（200L 混合器， Chienemei Industry Co. Ltd., 中國）在 30rpm 的攪拌速度和 1,500rpm 的分散速度下運行 6 小時將漿料均質化， 以得到均質化的漿料。 比較例 1 的配方在下表 1 中示出。

【0229】 在電池測試儀上，在 25°C 下並 C/2 電流密度下恆流地測試該電池,電壓在 3.0V 至 4.2V 之間。額定容量是約 9.1Ah。

【0230】 通過在 3.0V 和 4.2V 之間並 1C 的恆定電流速率下充

電和放電，測試軟包電池的循環性能。循環性能的測試結果在下表 2 和圖 14 中示出。

比較例 2

【0231】 軟包電池的製備方法與比較例 1 相同，除了使用 2 wt.%的羧甲基纖維素（CMC, BSH-12, DKS Co. Ltd., 日本）和 3 wt.%的聚乙烯醇(PVA) (來自 The Nippon Synthetic Chemical Industry Co., Ltd., 日本）代替 1.5wt.%的羧甲基纖維素和 3.5 wt.%的 SBR 作為陰極粘結劑材料。通過在去離子水中混合 90 wt.%預處理的活性電池電極材料、5 wt.%的碳黑、 2 wt.%的羧甲基纖維素和 3 wt.%的 PVA，以形成具有 50 wt. %固含量的漿料，來製備正極漿料。 通過行星式攪拌混合器（200L 混合器，Chienemei Industry Co. Ltd., 中國）在 30rpm 的攪拌速度和 1,500rpm 的分散速度下運行 6 小時將漿料均質化， 以得到均質化的漿料。比較例 2 的配方在下表 1 中示出。

【0232】 在電池測試儀上， 在 25°C 下並 C/2 電流密度下恆流地測試該電池,電壓在 3.0V 至 4.2V 之間。額定容量是約 8.2Ah。

【0233】 通過在 3.0V 和 4.2V 之間並 1C 的恆定電流速率下充電和放電，測試軟包電池的循環性能。循環性能的測試結果在下表 2 和圖 15 中示出。

比較例 3

【0234】 軟包電池的製備方法與實施例 13 和 14 相同，除了在製備正極漿料時，使用球磨機代替行星式混合器作為均質器，且在預處理陰極材料中使用 0.01 wt.%的乙酸水溶液代替水和乙醇的混合物。在室溫下將陰極材料顆粒 $LiCoO_2$（來自中國的廈門鎢業有限公司）添加到攪拌的 0.01 wt.%的乙酸水溶液中（來自中國的阿拉丁工業公司），以形成具有按重量計 2 wt.%固含量的懸浮液。利用 pH 計測量該懸浮液的 pH 值，pH 值為約 3.4。該懸浮液在室溫下被進一步攪拌持續 1 小時。然後該懸浮液被分離以及通過 2.45GHz 微波乾燥器 (ZY-4HO，來自中國廣東的志雅工業用微波設備有限公司）在 750W 下乾燥 5 分鐘以獲得

預處理的活性電池電極材料。通過在去離子水中混合 90 wt.%預處理的活性電池電極材料、5 wt.%的碳黑（SuperP；來自 Timcal Ltd，Bodio，瑞士）和 5 wt.%的聚丙烯腈（PAN) (LA 132，成都茵地樂電源科技有限公司，中國），以形成具有 50 wt.%固含量的漿料，來製備正極漿料。在具有三十個氧化鋯（ZrO_2）球（15 個 5mm 和 15 個 15mm）的行星式球磨機（Changsha MITR Instrument & Equipment Co. Ltd.，中國）中的 500mL 容器中將漿料均質化，在 150rpm 的公轉速度和 250 的自轉速度下運行 3 小時以獲得均質化的漿料。比較例 3 的配方在下表 1 中示出。

【0235】 在電池測試儀上，在 25°C 下並 C/2 電流密度下恆流地測試該電池,電壓在 3.0V 至 4.2V 之間。額定容量是約 9.9Ah。

【0236】 通過在 3.0V 和 4.2V 之間並 1C 的恆定電流速率下充電和放電，測試軟包電池的循環性能。循環性能的測試結果在下表 2 和圖 16 中示出。

比較例 4

【0237】 軟包電池的製備方法與比較例 1 相同，除了使用 5 wt.%的聚丙烯腈水溶液代替 1.5 wt.%的羧甲基纖維素和 3.5 wt.%的 SBR 作為陰極粘結劑材料。比較例 4 的配方在下表 1 中示出。

【0238】 在電池測試儀上，在 25°C 下並 C/2 電流密度下恆流地測試該電池,電壓在 3.0V 至 4.2V 之間。額定容量是約 10.1Ah。

【0239】 通過在 3.0V 和 4.2V 之間並 1C 的恆定電流速率下充電和放電，測試軟包電池的循環性能。循環性能的測試結果在下表 2 和圖 17 中示出。

比較例 5

【0240】 軟包電池的製備方法與實施例 15 相同， 除了在預處理陰極材料中使用 0.01 wt.%的檸檬酸水溶液代替水和乙醇的混合物。在室溫下將陰極材料顆粒 NMC811 添加到攪拌的 0.01 wt.%的檸檬酸（來自中國的阿拉丁工業公司）水溶液中，以形成具有按重量計 2 wt.%固含

量的懸浮液。利用 pH 計測量該懸浮液的 pH 值，pH 值為約 3.4。該懸浮液在室溫下被進一步攪拌持續 1 小時。然後該懸浮液被分離以及通過 2.45GHz 微波乾燥器 (ZY-4HO，來自中國廣東的志雅工業用微波設備有限公司）在 750W 下乾燥 5 分鐘以獲得預處理的活性電池電極材料。比較例 5 的配方在下表 1 中示出。

【0241】 在電池測試儀上，在 25°C 下並 C/2 電流密度下恆流地測試該電池,電壓在 3.0V 至 4.2V 之間。額定容量是約 11.4Ah。

【0242】 通過在 3.0V 和 4.2V 之間並 1C 的恆定電流速率下充電和放電，測試軟包電池的循環性能。循環性能的測試結果在下表 2 和圖 18 中示出。

比較例 6

【0243】 軟包電池的製備方法與實施例 15 相同，除了陰極材料不經過預處理。比較例 6 的配方在下表 1 中示出。

【0244】 在電池測試儀上，在 25°C 下並 C/2 電流密度下恆流地測試該電池,電壓在 3.0V 至 4.2V 之間。額定容量是約 12.5Ah。

【0245】 通過在 3.0V 和 4.2V 之間並 1C 的恆定電流速率下充電和放電，測試軟包電池的循環性能。循環性能的測試結果在下表 2 和圖 19 中示出。

比較例 7

【0246】 軟包電池的製備方法與實施例 11 相同，除了在預處理陰極材料中使用 0.01 wt.%的檸檬酸水溶液代替水和異丙醇的混合物。在室溫下將陰極材料顆粒 C-S LNMgO 添加到攪拌的 0.01 wt.%的檸檬酸（來自中國的阿拉丁工業公司）水溶液中，以形成具有按重量計 2 wt.%固含量的懸浮液。利用 pH 計測量該懸浮液的 pH 值，pH 值為約 3.6。該懸浮液在室溫下被進一步攪拌持續 1 小時。然後該懸浮液被分離以及通過 2.45GHz 微波乾燥器 (ZY-4HO，來自中國廣東的志雅工業用微波設備有限公司）在 750W 下乾燥 5 分鐘以獲得預處理的活性電池電極材

料。比較例 7 的配方在下表 1 中示出。

【0247】 在電池測試儀上，在 25°C 下並 C/2 電流密度下恆流地測試該電池,電壓在 3.0V 至 4.2V 之間。額定容量是約 10Ah。

【0248】 通過在 3.0V 和 4.2V 之間並 1C 的恆定電流速率下充電和放電，測試軟包電池的循環性能。循環性能的測試結果在下表 2 和圖 20 中示出。

比較例 8

【0249】 軟包電池的製備方法與實施例 13 相同，除了使用 1.5wt.%的羧甲基纖維素（CMC, BSH-12, DKS Co. Ltd., 日本）和 3.5wt.%的 SBR（AL-2001, NIPPON A&L INC., 日本）代替 5wt.%的聚丙烯腈作為陽極粘結劑材料。比較例 8 的配方在下表 1 中示出。

【0250】 在電池測試儀上，在 25°C 下並 C/2 電流密度下恆流地測試該電池,電壓在 3.0V 至 4.2V 之間。額定容量是約 11.2Ah。

【0251】 通過在 3.0V 和 4.2V 之間並 1C 的恆定電流速率下充電和放電，測試軟包電池的循環性能。循環性能的測試結果在下表 2 和圖 21 中示出。

比較例 9

【0252】 軟包電池的製備方法與實施例 13 相同，除了使用 5wt.%的聚偏二氟乙烯(PVDF；Solef® 5130, 來自 Solvay S.A., 比利時)代替 5wt.%的聚丙烯腈作為陽極粘結劑材料，和利用 N-甲基-2-吡咯烷酮(NMP；純度≥99%，Sigma-Aldrich，美國)代替去離子水作為溶劑。通過在 NMP 中混合 90wt.%的硬碳（HC；99.5%純度，Ruifute Technology 有限公司，深圳，廣東，中國）、5wt.%的炭黑和 5wt.%的 PVDF 以形成具有 50wt.%的固含量的漿料，來製備負極漿料。使用轉送塗布機將該漿料塗覆在具有 9μm 的厚度的銅箔的兩側上，其中面密度為約 15 mg/cm^2。銅箔上的塗膜通過在約 3 米/分鐘的傳送帶速度下運行的 24 米長的傳送帶式熱風乾燥箱在約 87°C 下乾燥 8 分鐘以獲得負極。比較例

9 的配方在下表 1 中示出。

【0253】 在電池測試儀上，在 25°C 下並 C/2 電流密度下恆流地測試該電池,電壓在 3.0V 至 4.2V 之間。額定容量是約 10.4Ah。

【0254】 通過在 3.0V 和 4.2V 之間並 1C 的恆定電流速率下充電和放電，測試軟包電池的循環性能。循環性能的測試結果在下表 2 和圖 22 中示出。

比較例 10

【0255】 軟包電池的製備方法與實施例 13 相同，除了使用真空烘箱 (HSZK-6050, Shanghai Hasuc Instrument Manufacture Co., Ltd., 中國)代替微波乾燥器來乾燥預處理的陰極材料。將經預處理的陰極材料在 88℃的真空烘箱中乾燥 8 小時。 比較例 10 的配方在下表 1 中示出。

【0256】 在電池測試儀上，在 25°C 下並 C/2 電流密度下恆流地測試該電池,電壓在 3.0V 至 4.2V 之間。額定容量是約 10.3Ah。

【0257】 通過在 3.0V 和 4.2V 之間並 1C 的恆定電流速率下充電和放電，測試軟包電池的循環性能。循環性能的測試結果在下表 2 和圖 23 中示出。

表 1

實施例	陰極材料	預處理	陰極材料			陽極材料	
			粘結劑	溶劑	均質器	粘結劑	溶劑
實施例 1	NMC333	H_2O/乙醇	PAN	H_2O	行星式混合器	PAN	H_2O
實施例 3	LMO	乙酸	PAN	H_2O	超聲流動池	PAN	H_2O
實施例 5	NMC333	H_2O	PAN	H_2O	超聲流動池	PAN	H_2O
實施例 7	$LiFePO_4$	乙酸	PAN	H_2O	超聲流動池	PAN	H_2O
實施例 9	C-S NMC532	H_2O/甲醇	PAN	H_2O	行星式混合器	PAN	H_2O
實施例 11	C-S LNMgO	H_2O/異丙醇	PAN	H_2O	行星式混合器	PAN	H_2O

實施例 13	$LiCoO_2$	H_2O/乙醇	PAN	H_2O	行星式混合器	PAN	H_2O
實施例 15	NMC811	H_2O/乙醇	PAN	H_2O	行星式混合器	PAN	H_2O
實施例 16	NMC622	H_2O/乙醇	PAN	H_2O	行星式混合器	PAN	H_2O
實施例 17	NCA	H_2O/乙醇	PAN	H_2O	行星式混合器	PAN	H_2O
實施例 18	NMC532	H_2O/乙醇	藻酸 +PAN	H_2O	行星式混合器	PAN	H_2O
比較例 1	$LiCoO_2$	乙酸	CMC+SBR	H_2O	行星式混合器	PAN	H_2O
比較例 2	$LiCoO_2$	乙酸	CMC+PVA	H_2O	行星式混合器	PAN	H_2O
比較例 3	$LiCoO_2$	乙酸	PAN	H_2O	球磨機	PAN	H_2O
比較例 4	$LiCoO_2$	乙酸	PAN	H_2O	行星式混合器	PAN	H_2O
比較例 5	NMC811	檸檬酸	PAN	H_2O	行星式混合器	PAN	H_2O
比較例 6	NMC811	/	PAN	H_2O	行星式混合器	PAN	H_2O
比較例 7	C-S LNMgO	檸檬酸	PAN	H_2O	行星式混合器	PAN	H_2O
比較例 8	$LiCoO_2$	H_2O/乙醇	PAN	H_2O	行星式混合器	CMC+SBR	H_2O
比較例 9	$LiCoO_2$	H_2O/乙醇	PAN	H_2O	行星式混合器	PVDF	NMP
[1]比較例 10	$LiCoO_2$	H_2O/乙醇	PAN	H_2O	行星式混合器	PAN	H_2O

註釋：[1]預處理的陰極材料在真空烘箱中乾燥。

【0258】 通過在 1C 的恆定電流速率下充電和放電來測試實施例 1-18 和比較例 1-10 的軟包電池的循環性能。根據圖中繪製的結果通過外推法估計和在循環期間測量電池的容量保持率。測量值和估計值在下表 2 中示出。

表 2

實施例	測量值		通過外推法得到的估計值	
	循環次數	容量保持率（%）	循環次數	容量保持率（%）

實施例 2	450	95.6	2,000	80.4
實施例 4	2,000	77	/	/
實施例 6	560	94.8	2,000	81.4
實施例 8	3,000	82.6	/	/
實施例 10	361	98.6	2,000	92.2
實施例 12	385	98.1	2,000	90.1
實施例 14	576	94.4	2,000	80.6
實施例 15	476	95.7	2,000	81.9
實施例 16	497	94.4	2,000	77.5
實施例 17	553	93.9	2,000	77.9
實施例 18	522	93.1	2,000	73.6
比較例 1	85	78.7	/	/
比較例 2	113	70.4	/	/
比較例 3	506	92.1	2,000	70.0
比較例 4	514	93.4	2,000	74.3
比較例 5	466	90.1	2,000	57.5
比較例 6	485	93.8	2,000	74.4
比較例 7	413	92.6	2,000	64.2
比較例 8	508	95.1	2,000	80.7
比較例 9	606	94.3	2,000	81.2
比較例 10	472	94.8	2,000	78

【0259】 當使用水溶性粘結劑例如 CMC、SBR 和 PVA 來製備水性漿料時，在只經過 100 次循環後，相比較的電池的放電容量保持率低於 80%。相反地，在 1,000 次循環後，實施例 1-18 的電池的放電容量保持率為至少 86%。

【0260】 該優異的循環性表明，與通過涉及使用有機溶劑的常規方法所製備的陰極電極和陽極電極製成的電池相比，通過本申請公開的方法所製備的電池的陰極電極和陽極電極可以達到相當的或甚至更好的穩定性。

【0261】 儘管結合有限數量的實施方案已經描述了本發明，然而一個實施方案的特定特徵不應該限定本發明的其他實施方案。在一些實施方案中，所述方法可包括大量的本申請沒有提及的步驟。在其他實施方案中，所述方法不包括或者基本上不含有本申請沒有列舉的任何步驟。存在來自於所描述的實施方案的變型和變化。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。

申請專利範圍

1. 一種製備電池電極的方法，包括以下步驟：

1）在包含水和具有約 2.0 至約 7.5 的 pH 值的第一水溶液中，預處理活性電池電極材料以形成第一懸浮液；

2）將所述第一懸浮液乾燥以獲得預處理的活性電池電極材料；

3）將所述預處理的活性電池電極材料、導電劑和粘結劑材料分散在第二水溶液中，以形成漿料；

4）通過均質器將所述漿料均質化以獲得均質化的漿料；

5）將所述均質化的漿料施加在集流器上以在所述集流器上形成塗膜；和

6）使所述集流器上的所述塗膜乾燥以形成所述電池電極。

2. 如申請專利範圍第 1 項所述的方法，其中所述活性電池電極材料是陰極材料以及其中所述陰極材料選自由 $LiCO_2$、$LiNiO_2$、$LiNi_xMn_yO_2$、$Li_{1+z}Ni_xMn_yCo_{1-x-y}O_2$、$LiNi_xCo_yAl_zO_2$、$LiV_2O_5$、$LiTiS_2$、$LiMoS_2$、$LiMnO_2$、$LiCrO_2$、$LiMn_2O_4$、$LiFeO_2$、$LiFePO_4$ 及其組合構成的群組，其中各個 x 獨立地是 0.3 至 0.8；各個 y 獨立地是 0.1 至 0.45；以及各個 z 獨立地是 0 至 0.2。

3. 如申請專利範圍第 1 項所述的方法，其中所述第一水溶液的 pH 值在約 4 至約 7 的範圍內，以及所述第一懸浮液被攪拌持續約 2 分鐘至約 12 小時的時段。

4. 如申請專利範圍第 1 項所述的方法，其中所述第一水溶液包括選自由 H_2SO_4、HNO_3、H_3PO_4、HCOOH、CH_3COOH、$H_3C_6H_5O_7$、$H_2C_2O_4$、$C_6H_{12}O_7$、$C_4H_6O_5$ 及其組合構成的群組中的一種或多種酸。

5. 如申請專利範圍第 1 項所述的方法，其中所述第一水溶液還包括乙醇、異丙醇、甲醇、丙酮、正丙醇、叔丁醇或其組合。

6. 如申請專利範圍第 1 項所述的方法，其中通過雙錐真空乾燥器、微波乾燥器或微波真空乾燥器，將所述第一懸浮液乾燥。

7. 如申請專利範圍第 1 項所述的方法，其中所述導電劑選自由碳、炭黑、石墨、膨脹石墨、石墨烯、石墨烯納米片、碳纖維、碳納米纖維、石墨化碳片、碳管、碳納米管、活性炭、介孔碳及其組合構成的群組。

8. 如申請專利範圍第 1 項所述的方法，其中，所述導電劑在鹼的溶液中被預處理持續約 30 分鐘至約 2 小時的時段，其中所述鹼的溶液包括選自由 H_2O_2、LiOH、NaOH、KOH、$NH_3•H_2O$、$Be(OH)_2$、$Mg(OH)_2$、$Ca(OH)_2$、Li_2CO_3、Na_2CO_3、$NaHCO_3$、K_2CO_3、$KHCO_3$ 及其組合構成的群組中的鹼。

9. 如申請專利範圍第 1 項所述的方法，其中在步驟 3）之前將所述導電劑分散在第三水溶液中以形成第二懸浮液。

10. 如申請專利範圍第 1 項所述的方法，其中所述粘結劑材料選自由丁苯橡膠（SBR）、羥甲基纖維素（CMC）、聚偏二氟乙烯（PVDF）、丙烯腈共聚物、聚丙烯酸（PAA）、聚丙烯腈、聚偏二氟乙烯-六氟丙烯（PVDF-HFP）、乳膠、海藻酸鹽及其組合構成的群組。

11. 如申請專利範圍第 10 項所述的方法，其中所述海藻酸鹽包括選自 Na、Li、K、Ca、NH_4、Mg、Al 或其組合中的陽離子。

12. 如申請專利範圍第 1 項所述的方法，其中在步驟 3）之前將所述粘結劑材料溶解在第四水溶液中以形成得到的溶液。

13. 如申請專利範圍第 1 項所述的方法，其中所述第一水溶液、所述第二水溶液、 所述第三水溶液和所述第四水溶液中的每一者獨立地是淨化水、純水、去離子水、蒸餾水或其組合。

14. 如申請專利範圍第 1 項所述的方法，其中所述漿料還包括選自由乙醇、異丙醇、正丙醇、叔丁醇、正丁醇、十二烷基硫酸鋰、三甲基

十六烷基氯化銨、醇乙氧基化物、壬基苯酚乙氧基化物、十二烷基苯磺酸鈉、硬脂酸鈉及其組合構成的群組中的分散劑。

15. 如申請專利範圍第 1 項所述的方法，其中所述均質器是攪拌混合器、混合機、磨機、超聲發生器、轉子-定子均質器或高壓均質器。

16. 如申請專利範圍第 15 項所述的方法，其中所述超聲發生器是探針型超聲發生器或超聲流動池。

17. 如申請專利範圍第 1 項所述的方法，其中使用刮刀塗布機、狹縫式模頭塗布機、轉送塗布機或者噴霧塗布機，將所述均質化的漿料施加在所述集流器上。

18. 如申請專利範圍第 1 項所述的方法，其中在約 45℃至約 100℃或者約 55℃至約 75℃的溫度下，將所述塗膜乾燥持續約 1 分鐘至約 30 分鐘或者約 2 分鐘至約 10 分鐘的時段。

19. 如申請專利範圍第 1 項所述的方法，其中通過傳送帶式熱風乾燥箱、傳送帶式電阻乾燥箱、傳送帶式電感乾燥箱或者傳送帶式微波乾燥箱，將所述塗膜乾燥。

20. 如申請專利範圍第 1 項所述的方法，其中所述活性電池電極材料是陽極材料，並且其中所述陽極材料選自由天然石墨顆粒、合成石墨顆粒、Sn 顆粒、$Li_4Ti_5O_{12}$ 顆粒、Si 顆粒、Si-C 複合顆粒及其組合構成的群組。

圖式

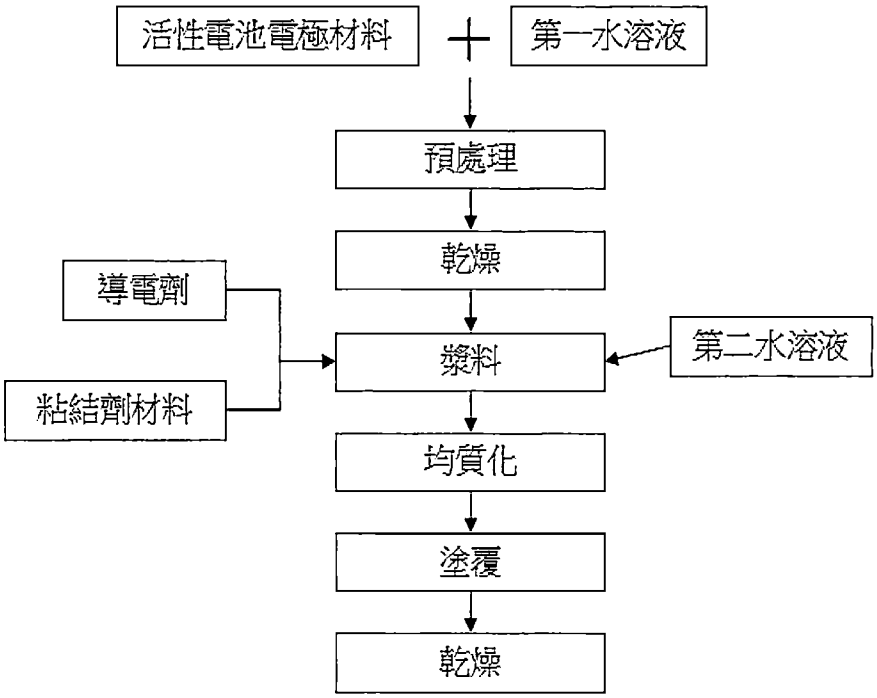


圖 1

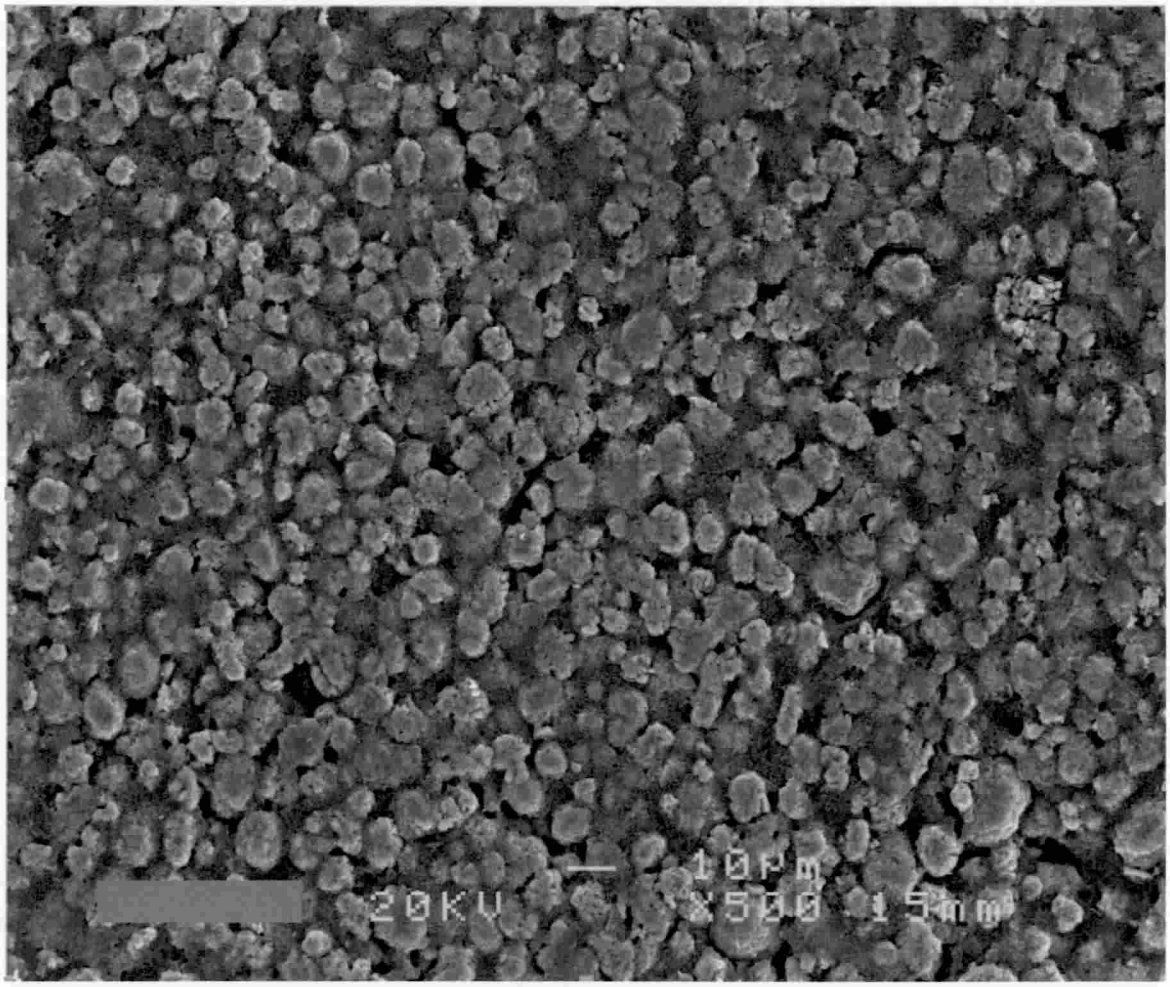


圖 2

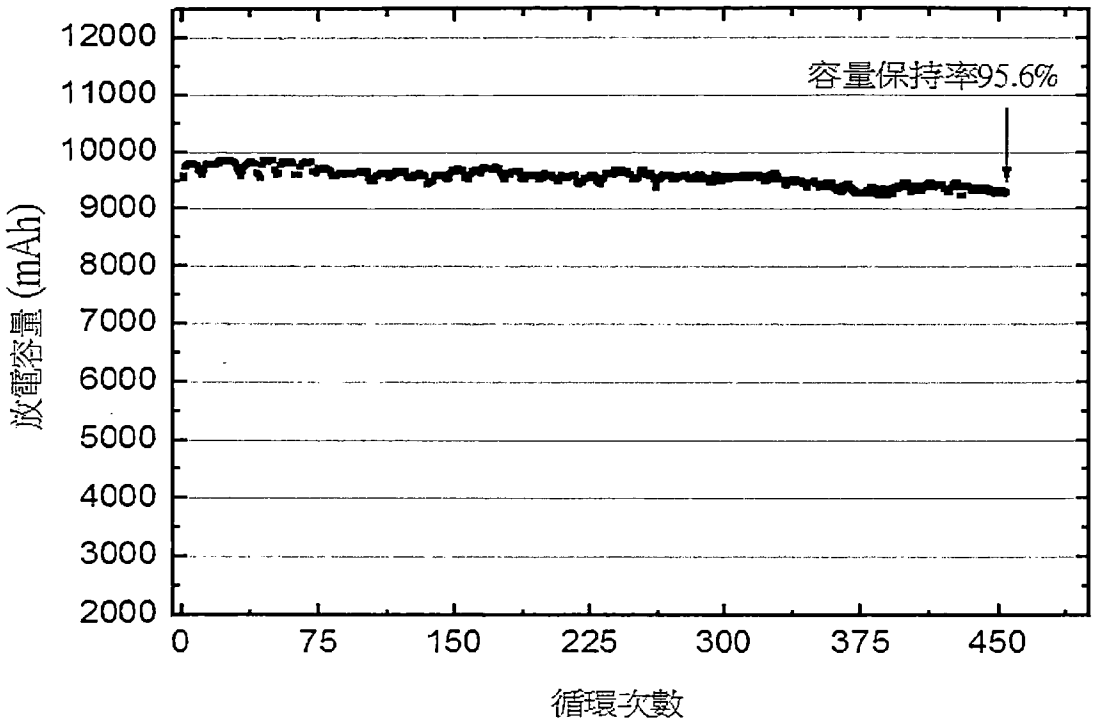

容量保持率95.6%
放電容量 (mAh)
循環次數
12000
11000
10000
9000
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
0
75
150
225
300
375
450

圖 3

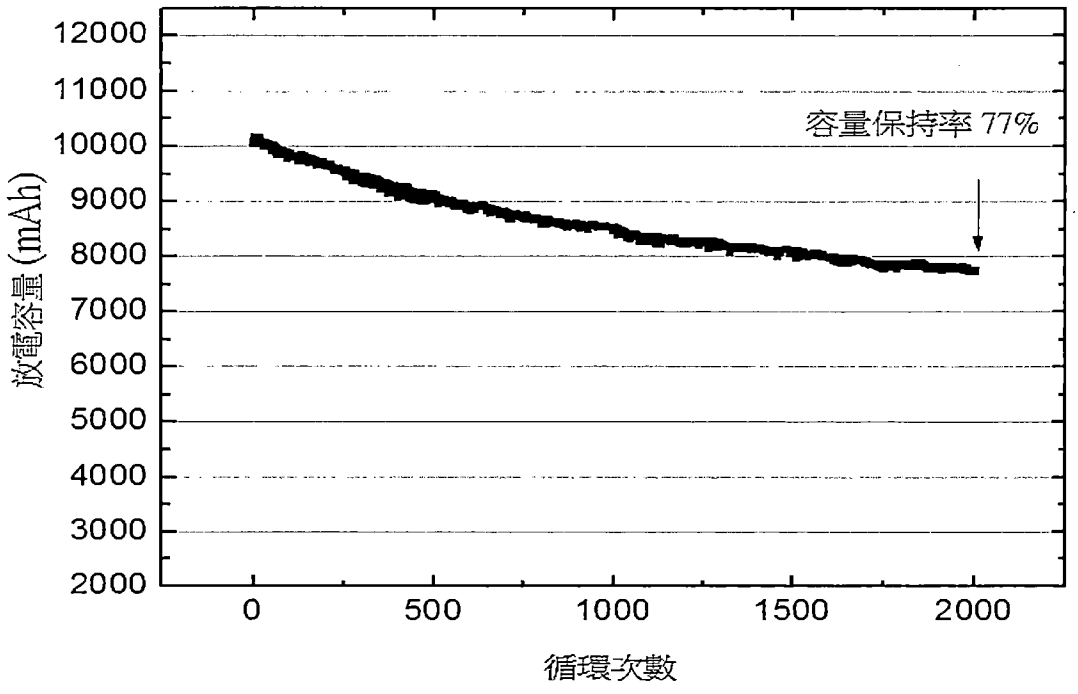

容量保持率 77%
放電容量 (mAh)
循環次數
12000
11000
10000
9000
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
0
500
1000
1500
2000

圖 4

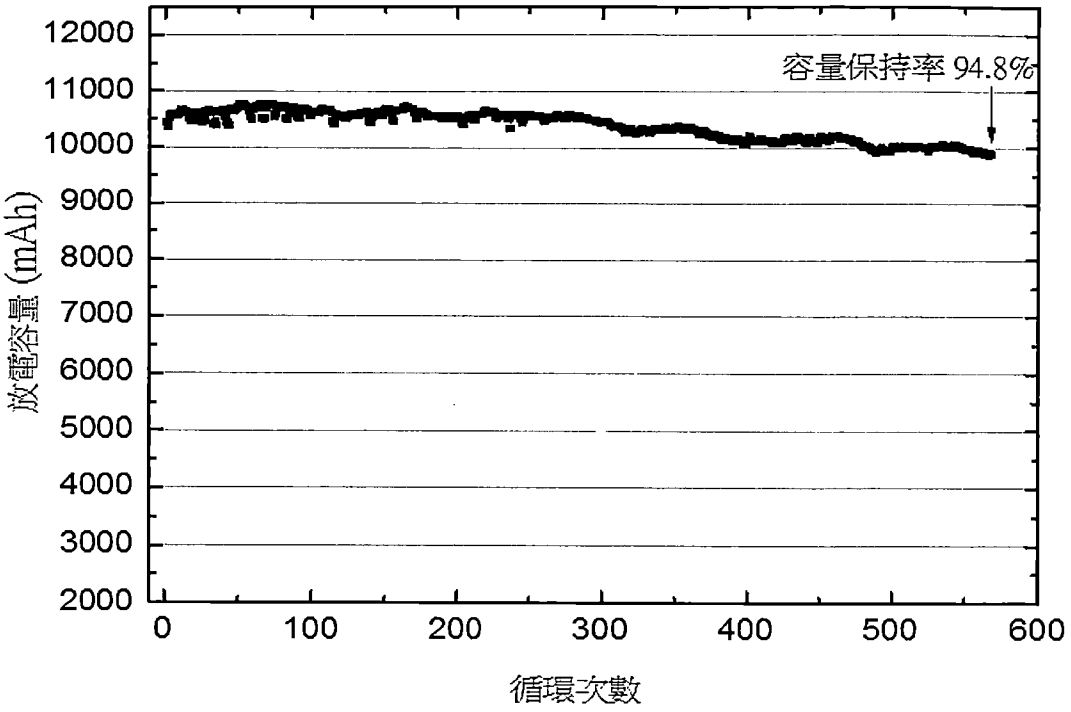

容量保持率 94.8%
放電容量 (mAh)
循環次數
12000
11000
10000
9000
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
0
100
200
300
400
500
600

圖 5

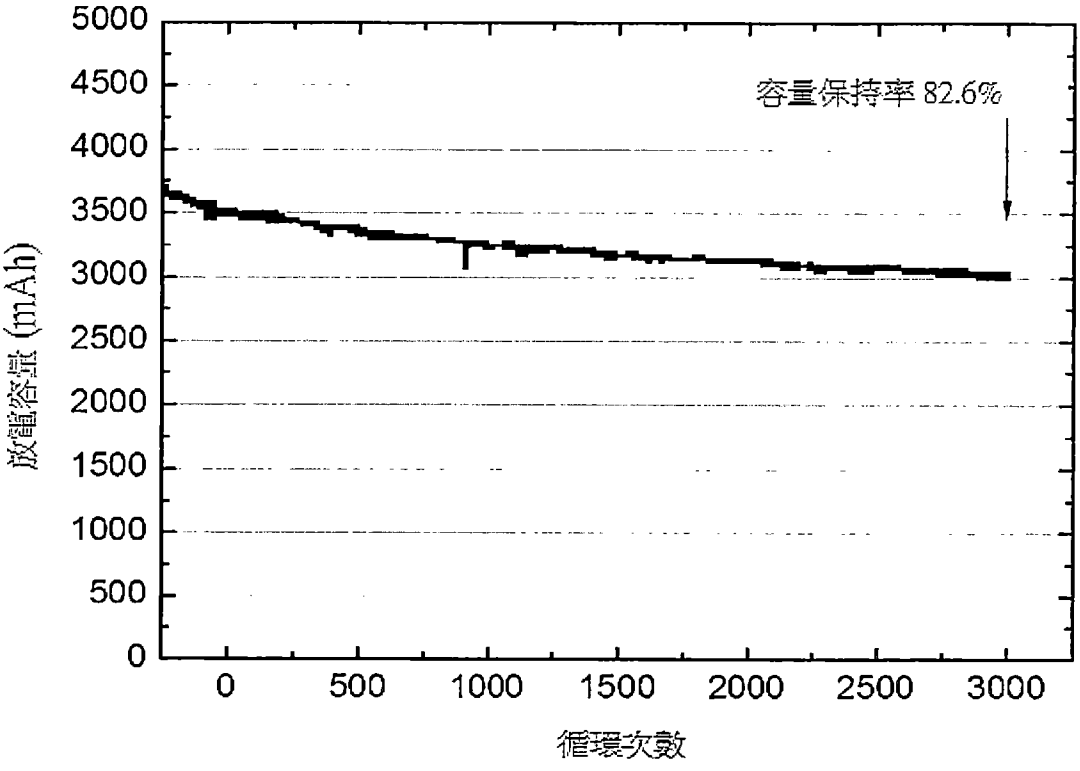

容量保持率 82.6%
放電容量 (mAh)
循環次數
5000
4500
4000
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
0
500
1000
1500
2000
2500
3000

圖 6

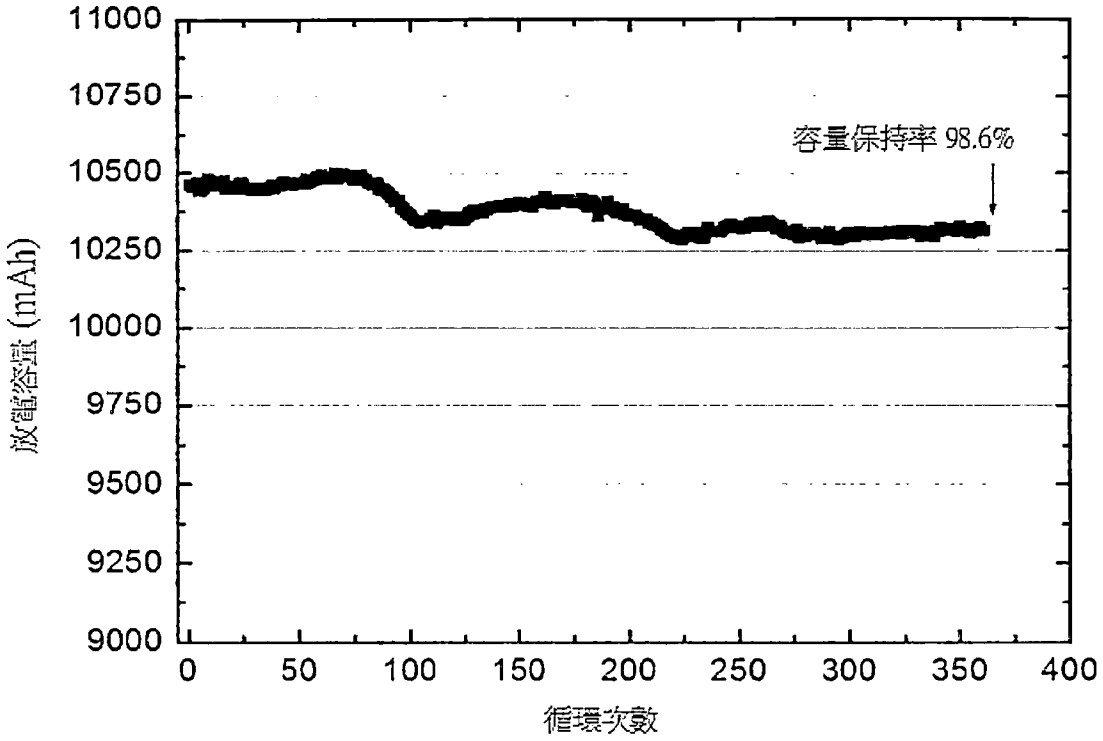

11000
10750
10500
10250
10000
9750
9500
9250
9000
放電容量 (mAh)
容量保持率 98.6%
0
50
100
150
200
250
300
350
400
循環次數

圖 7

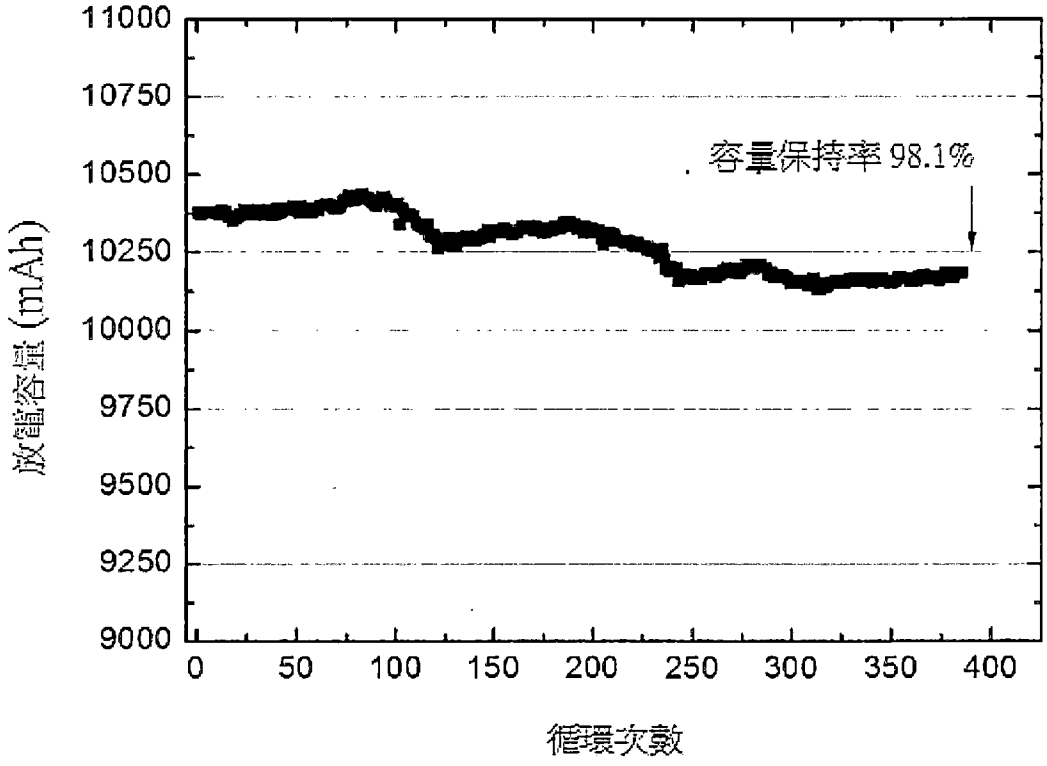

11000
10750
10500
10250
10000
9750
9500
9250
9000
放電容量 (mAh)
容量保持率 98.1%
0
50
100
150
200
250
300
350
400
循環次數

圖 8

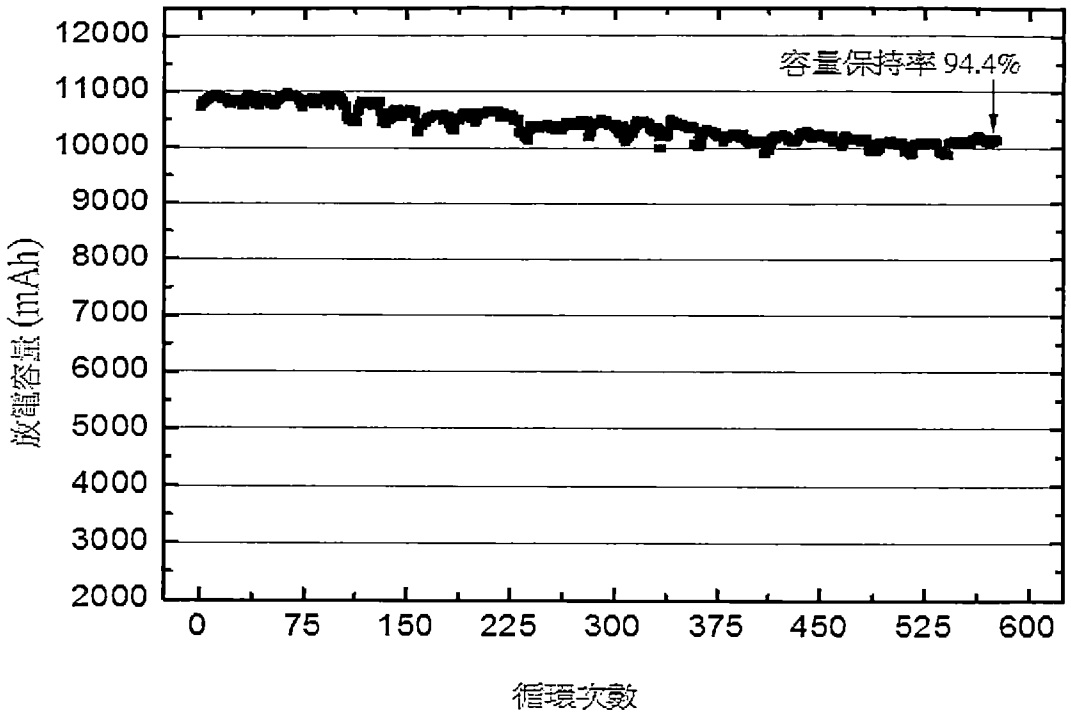

容量保持率 94.4%
放電容量 (mAh)
循環次數
12000
11000
10000
9000
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
0
75
150
225
300
375
450
525
600

圖 9

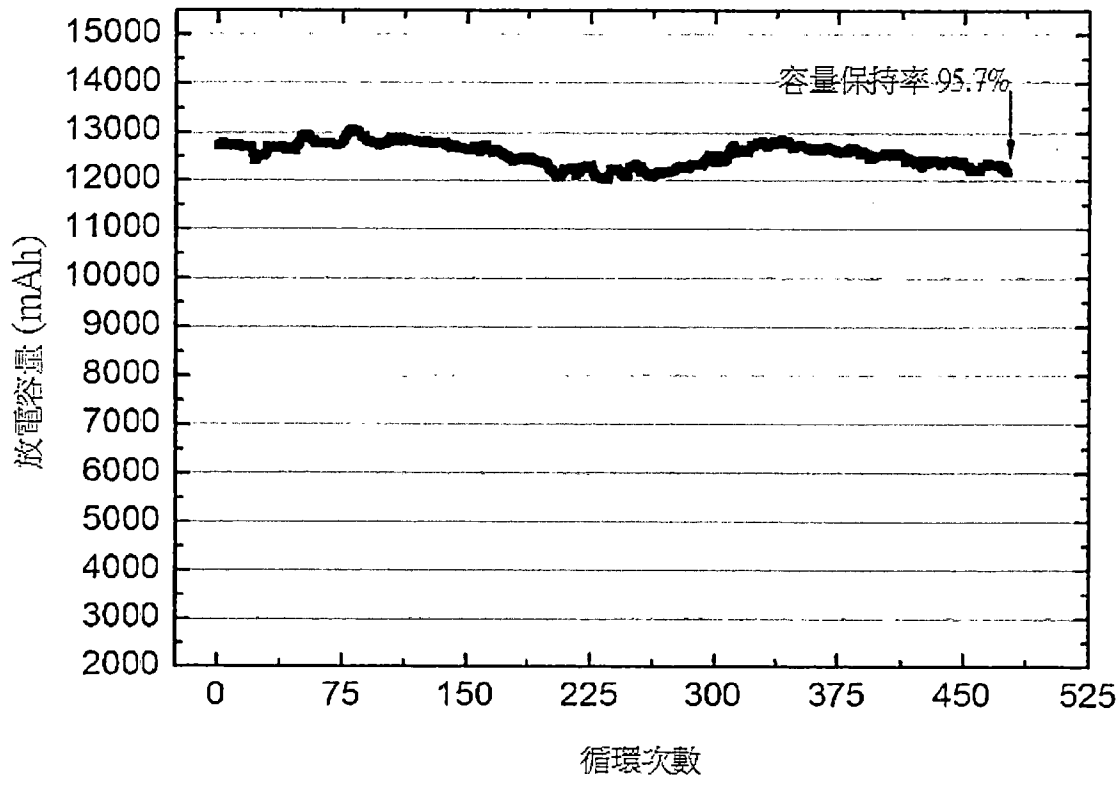

容量保持率 95.7%
放電容量 (mAh)
循環次數
15000
14000
13000
12000
11000
10000
9000
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
0
75
150
225
300
375
450
525

圖 10

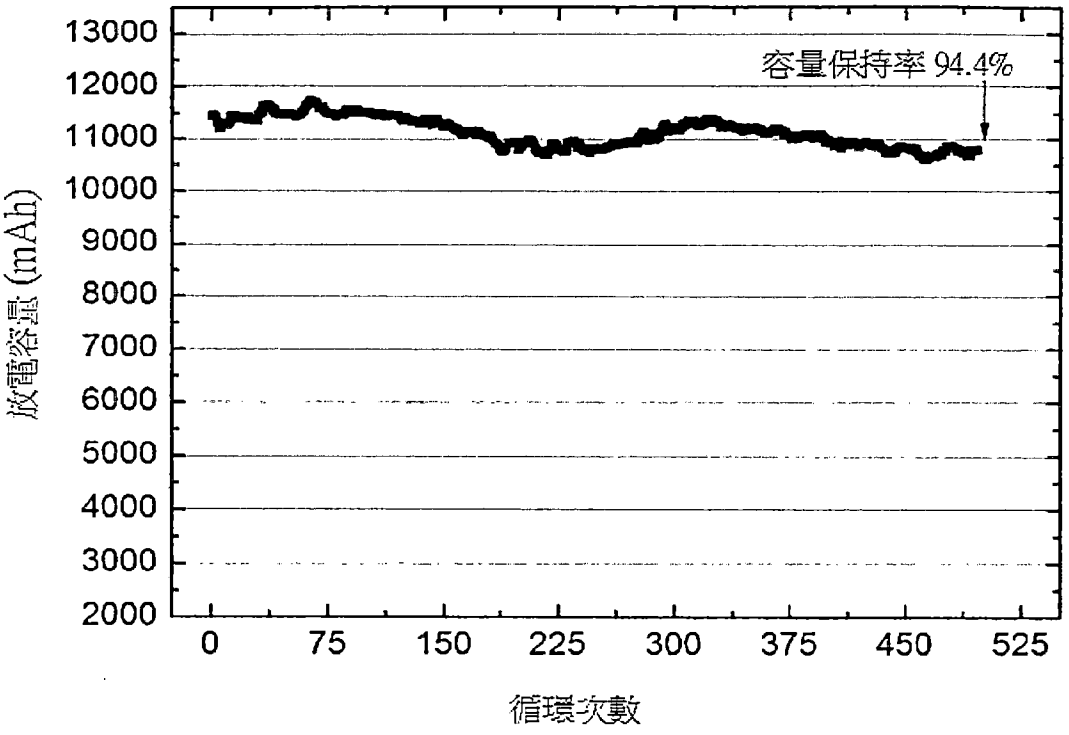

容量保持率 94.4%
放電容量 (mAh)
13000
12000
11000
10000
9000
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
0
75
150
225
300
375
450
525
循環次數

圖 11

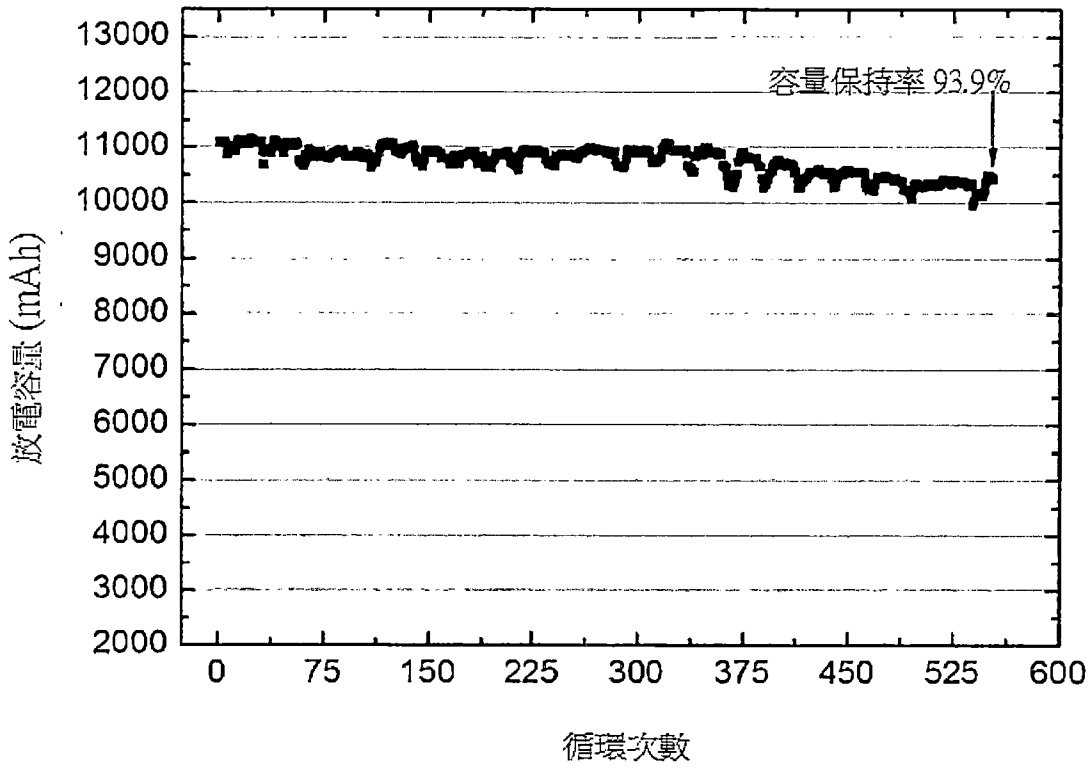

容量保持率 93.9%
放電容量 (mAh)
13000
12000
11000
10000
9000
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
0
75
150
225
300
375
450
525
600
循環次數

圖 12

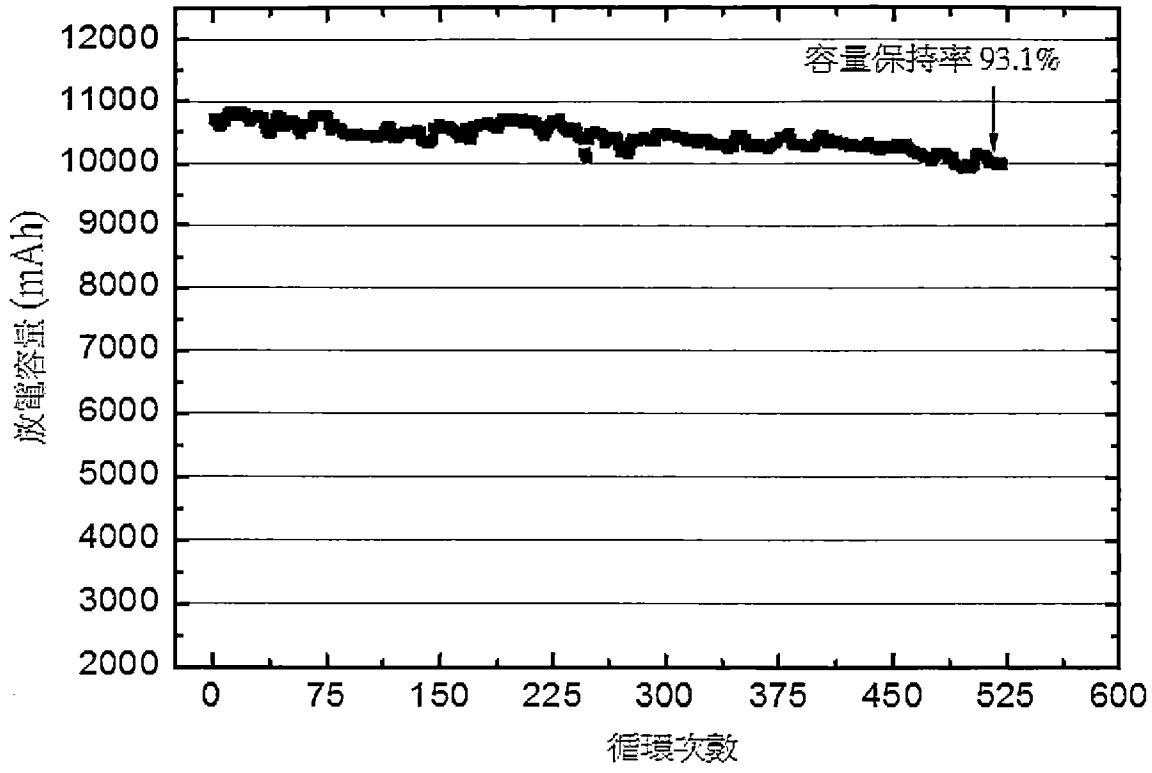

容量保持率 93.1%
放電容量 (mAh)
循環次數
12000
11000
10000
9000
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
0
75
150
225
300
375
450
525
600

圖 13

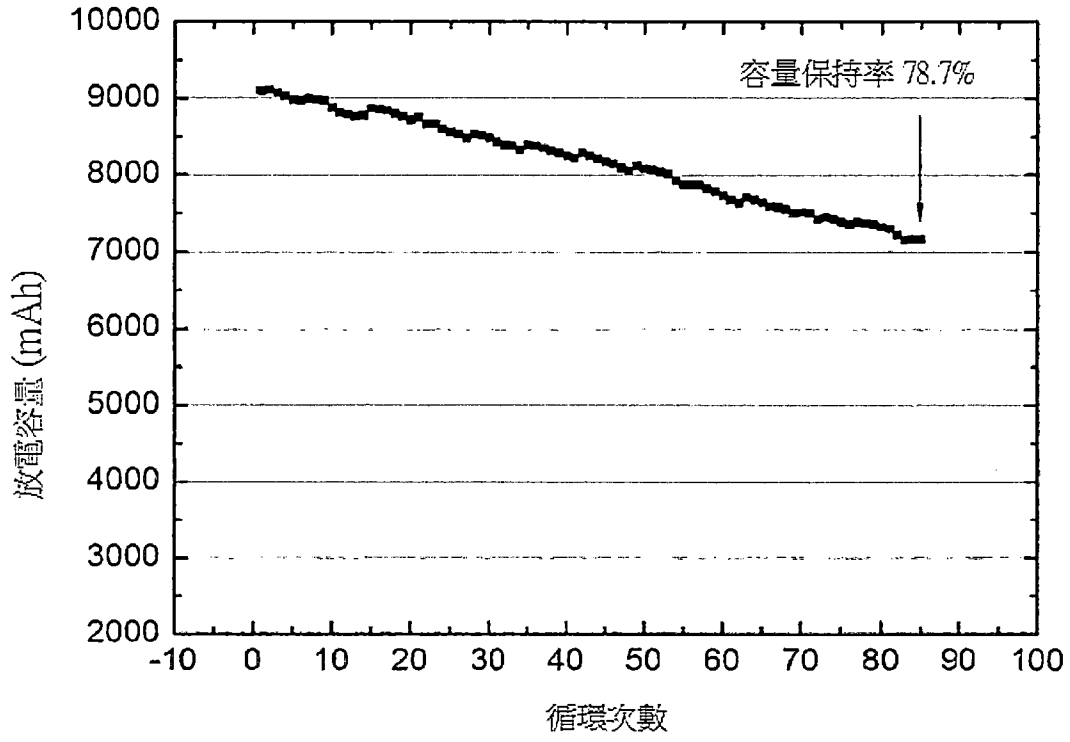

容量保持率 78.7%
放電容量 (mAh)
循環次數
10000
9000
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
-10
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100

圖 14

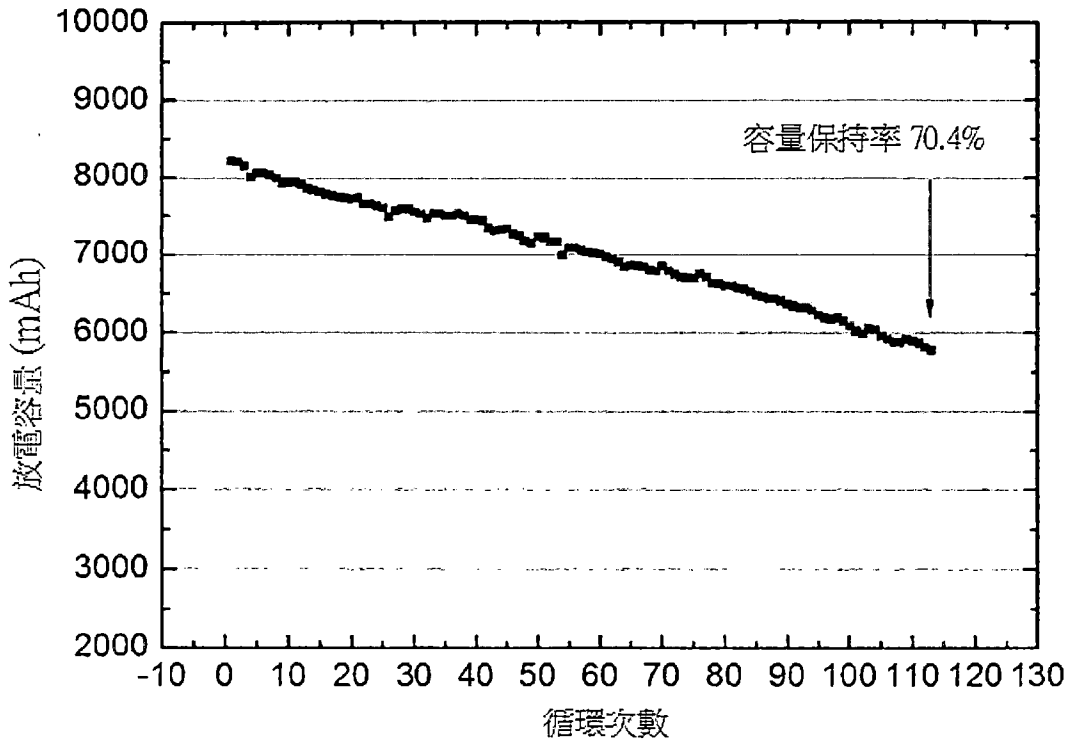

容量保持率 70.4%
放電容量 (mAh)
循環次數
10000
9000
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
-10 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130

圖 15

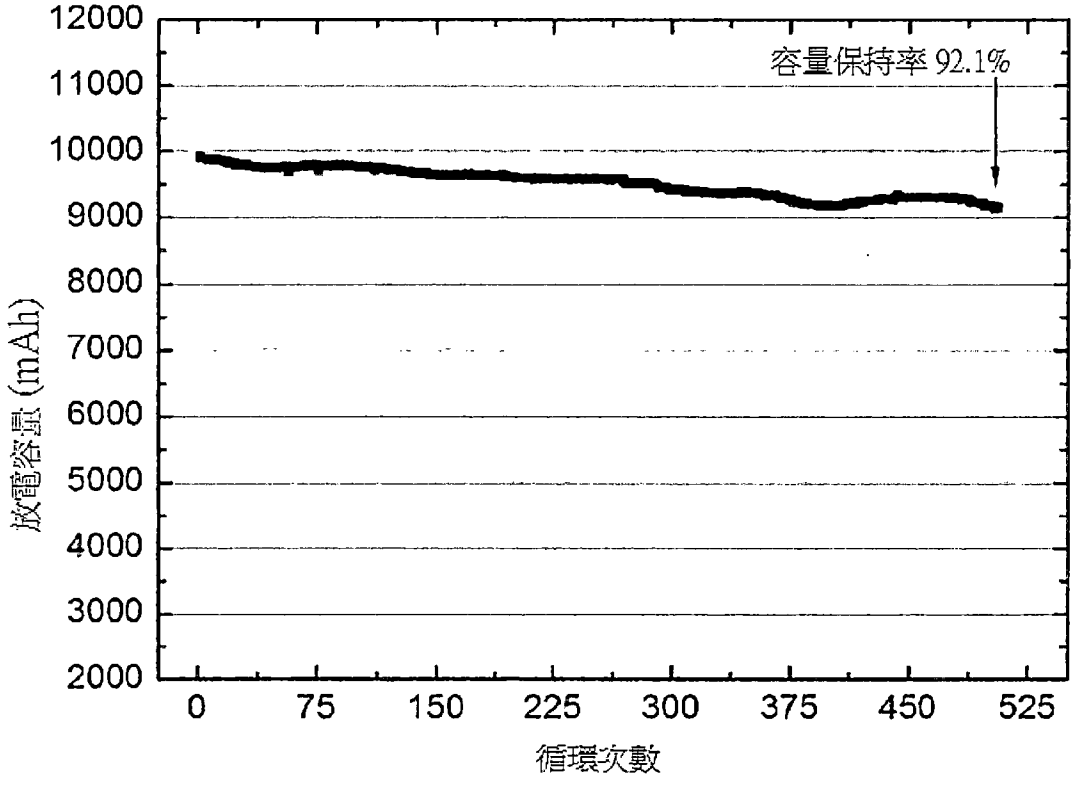

容量保持率 92.1%
放電容量 (mAh)
循環次數
12000
11000
10000
9000
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
0 75 150 225 300 375 450 525

圖 16

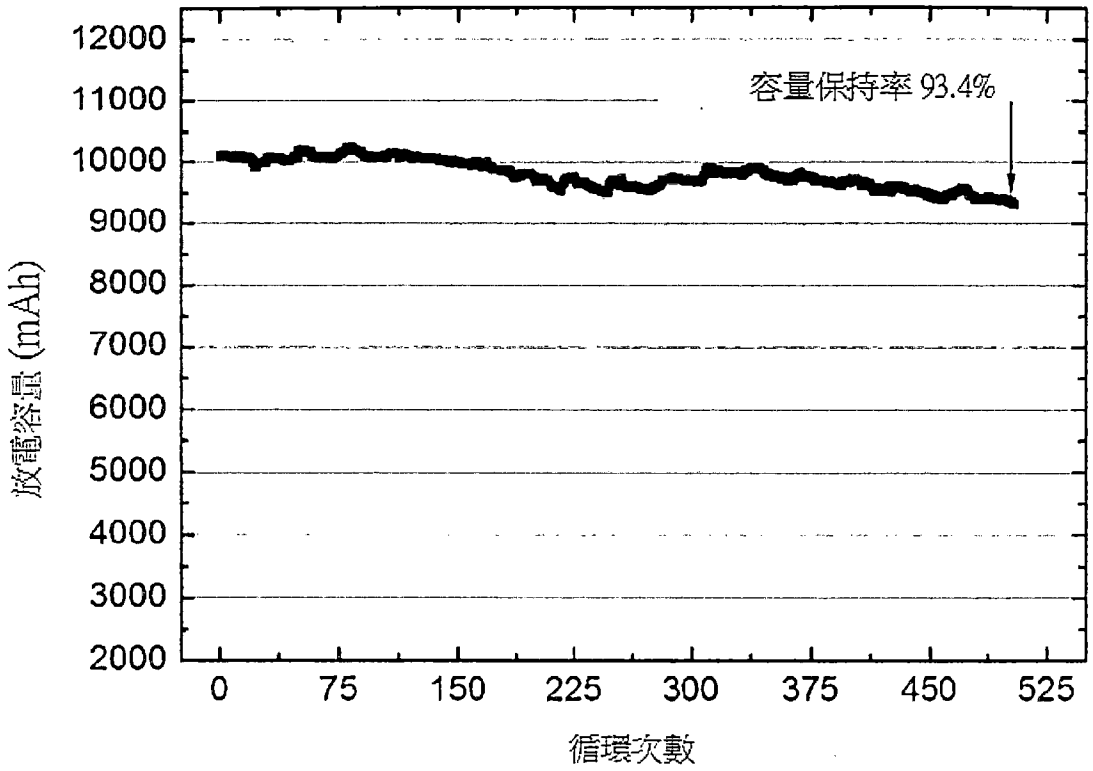

容量保持率 93.4%
放電容量 (mAh)
循環次數
12000
11000
10000
9000
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
0
75
150
225
300
375
450
525

圖 17

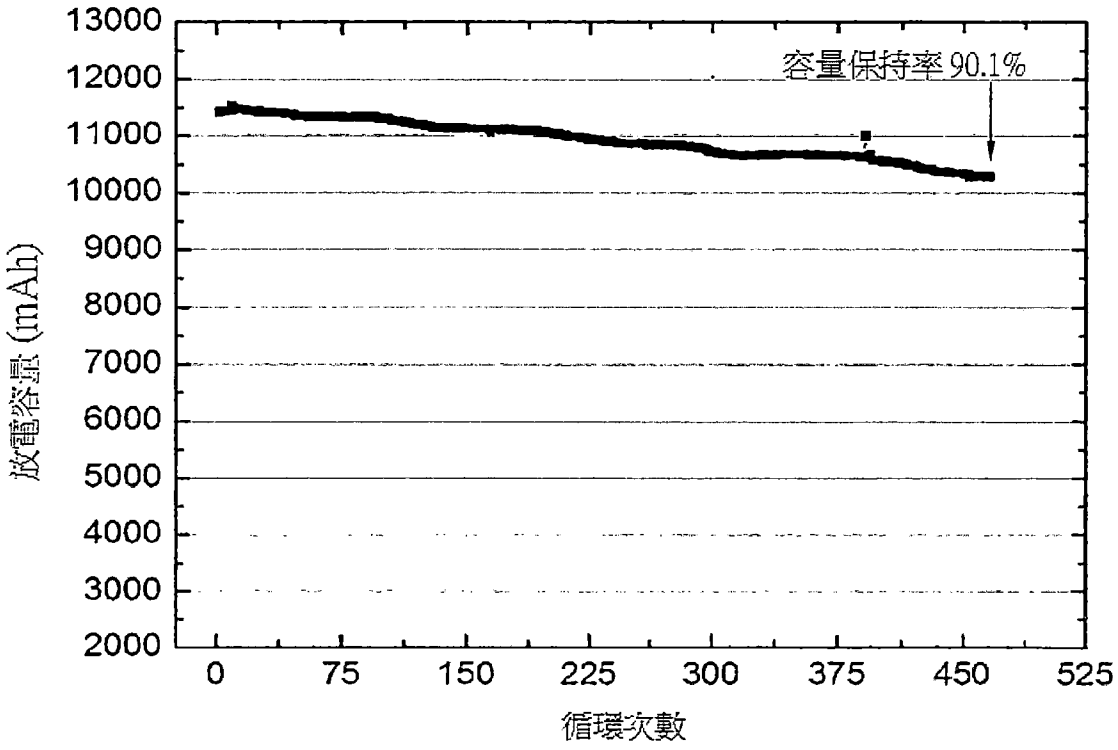

容量保持率 90.1%
放電容量 (mAh)
循環次數
13000
12000
11000
10000
9000
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
0
75
150
225
300
375
450
525

圖 18

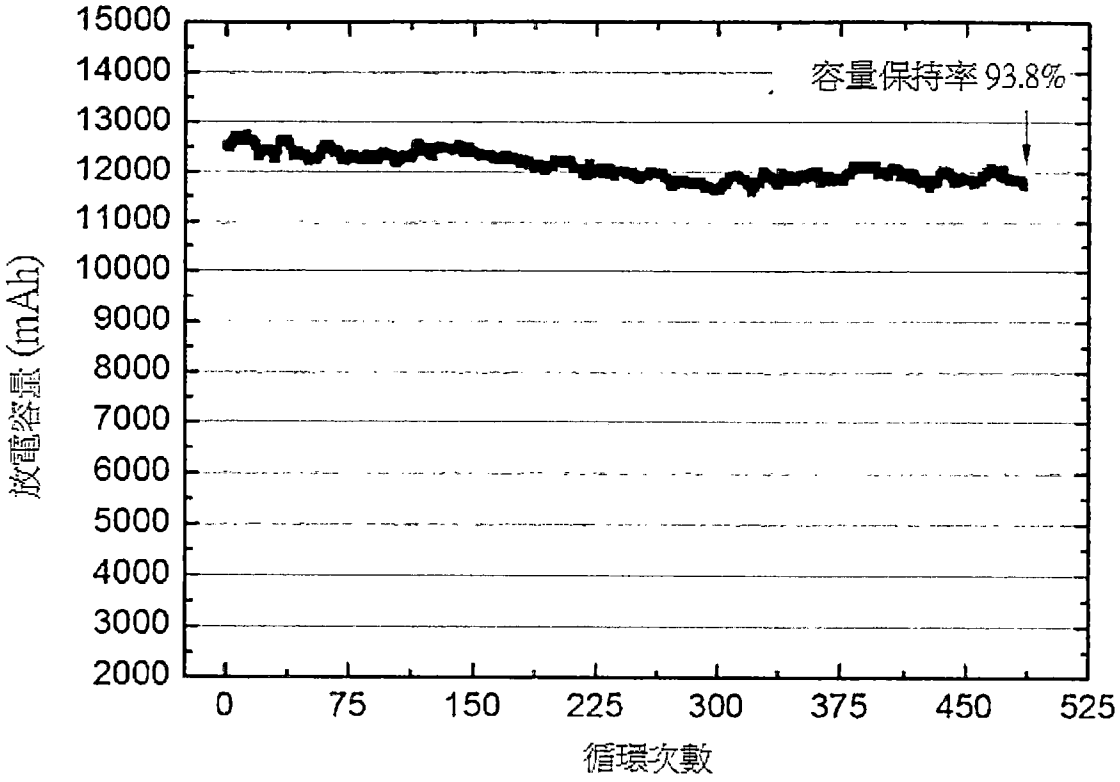

15000
14000
13000
12000
11000
10000
9000
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
放電容量 (mAh)
容量保持率 93.8%
0
75
150
225
300
375
450
525
循環次數

圖 19

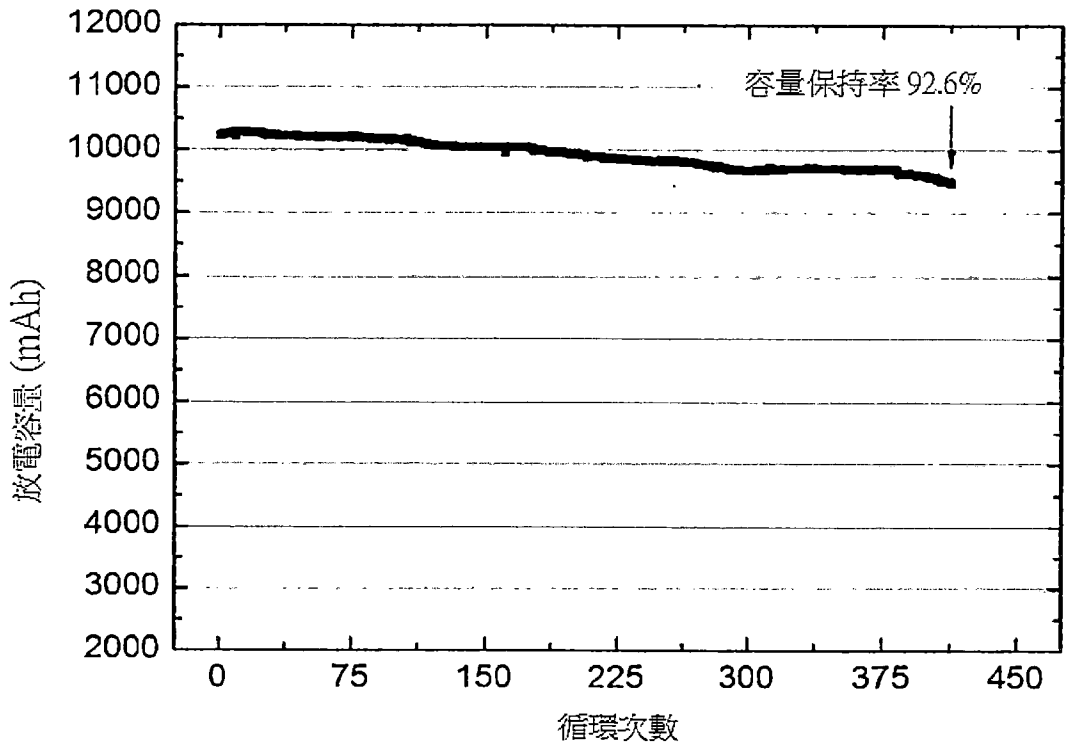

12000
11000
10000
9000
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
放電容量 (mAh)
容量保持率 92.6%
0
75
150
225
300
375
450
循環次數

圖 20

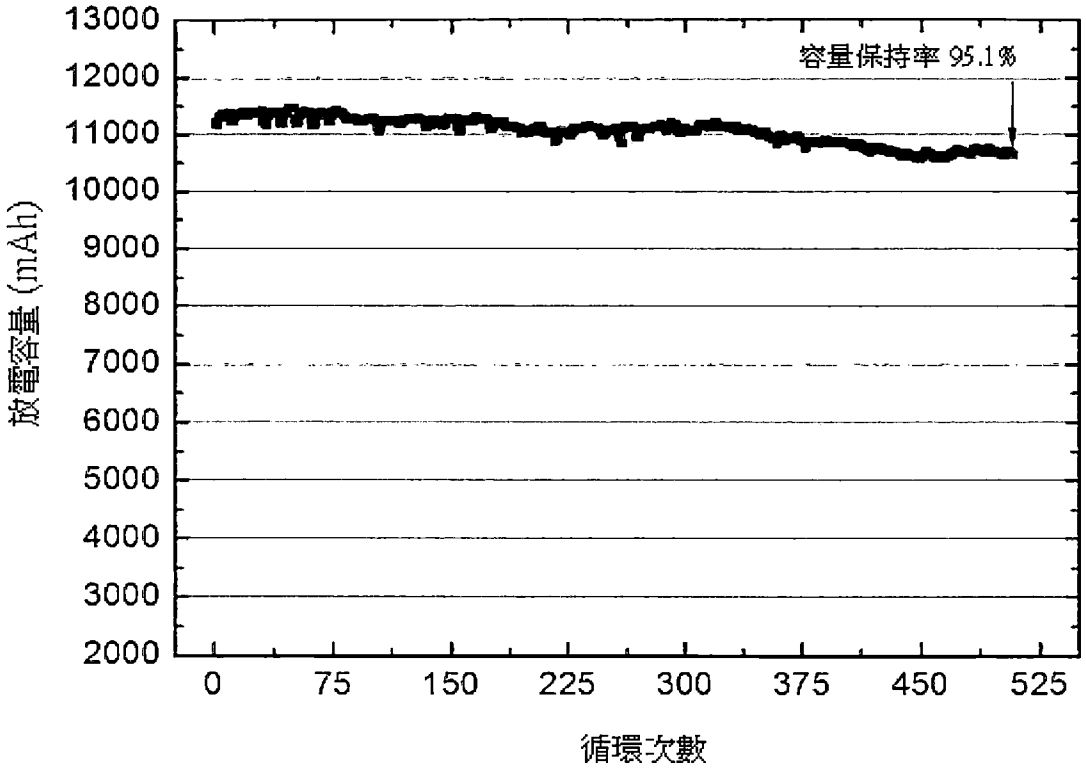

容量保持率 95.1%
放電容量 (mAh)
循環次數
13000
12000
11000
10000
9000
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
0
75
150
225
300
375
450
525

圖 21

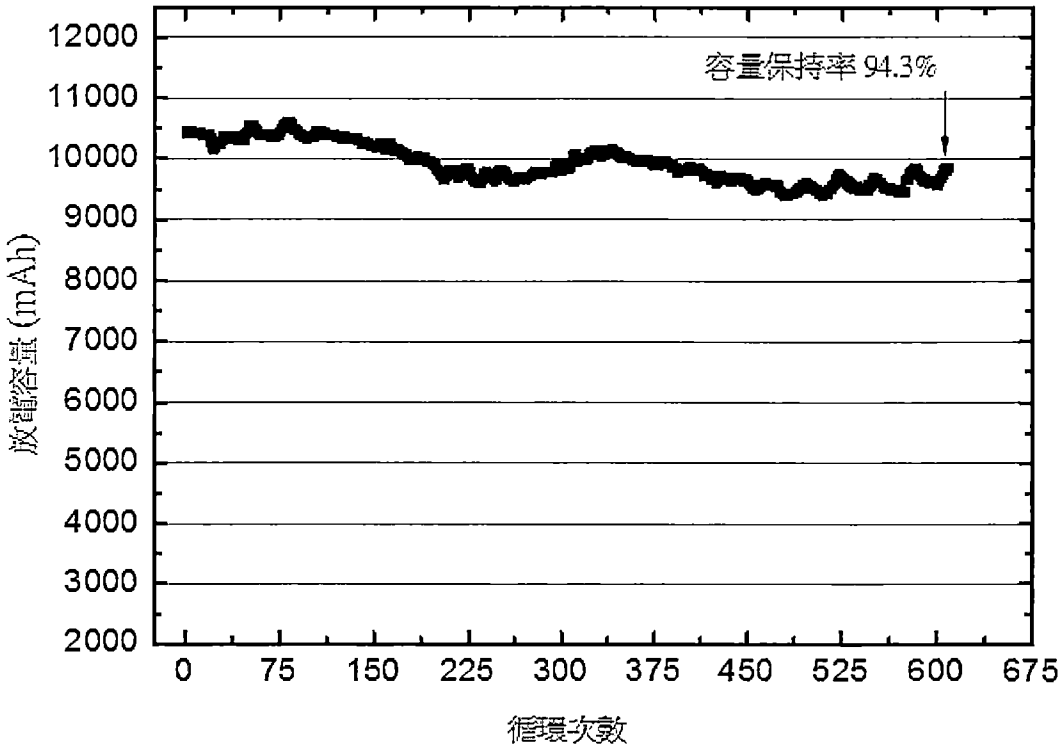

容量保持率 94.3%
放電容量 (mAh)
循環次數
12000
11000
10000
9000
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
0
75
150
225
300
375
450
525
600
675

圖 22

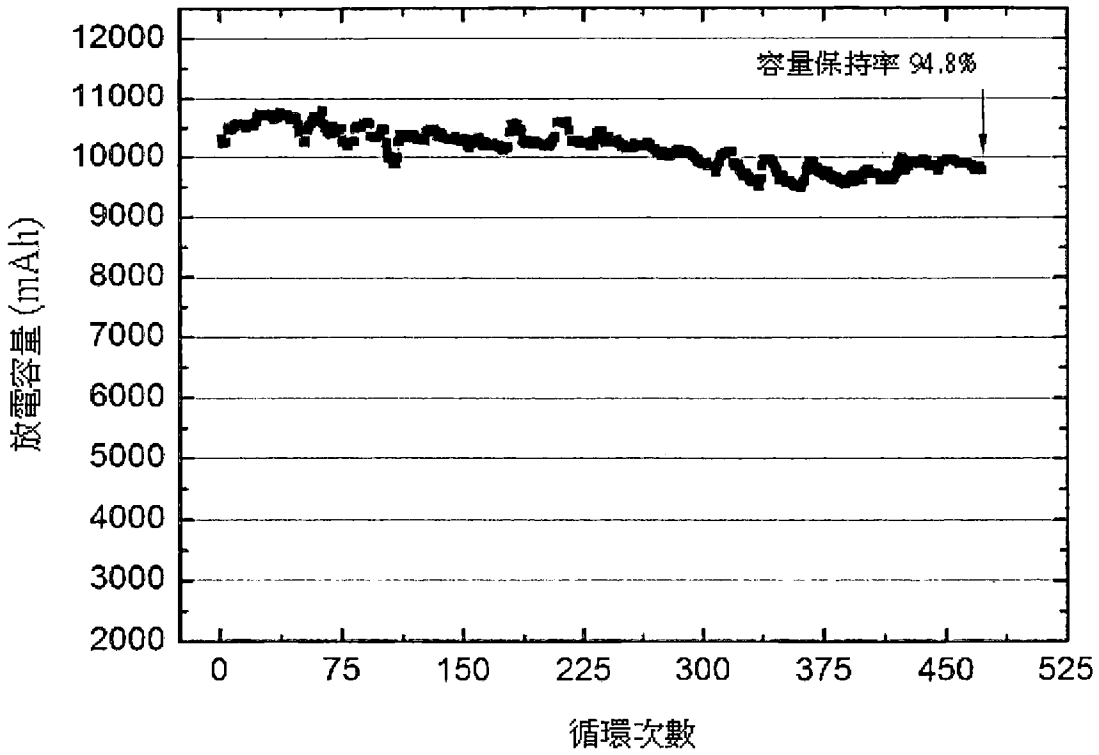

容量保持率 94.8%
放電容量 (mAh)
12000
11000
10000
9000
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
0
75
150
225
300
375
450
525
循環次數

圖 23