



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公告本

(11)證書號數：TW I722243 B

(45)公告日：中華民國 110 (2021) 年 03 月 21 日

(21)申請案號：106132307

(22)申請日：中華民國 106 (2017) 年 09 月 20 日

(51)Int. Cl. : **H01M10/058 (2010.01)****F26B5/04 (2006.01)**

(30)優先權：2016/09/22 美國

15/272,504

(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)

(74)代理人：侯德銘

(56)參考文獻：

CN 105890291A

審查人員：李嘉修

申請專利範圍項數：30 項 圖式數：5 共 41 頁

(54)名稱

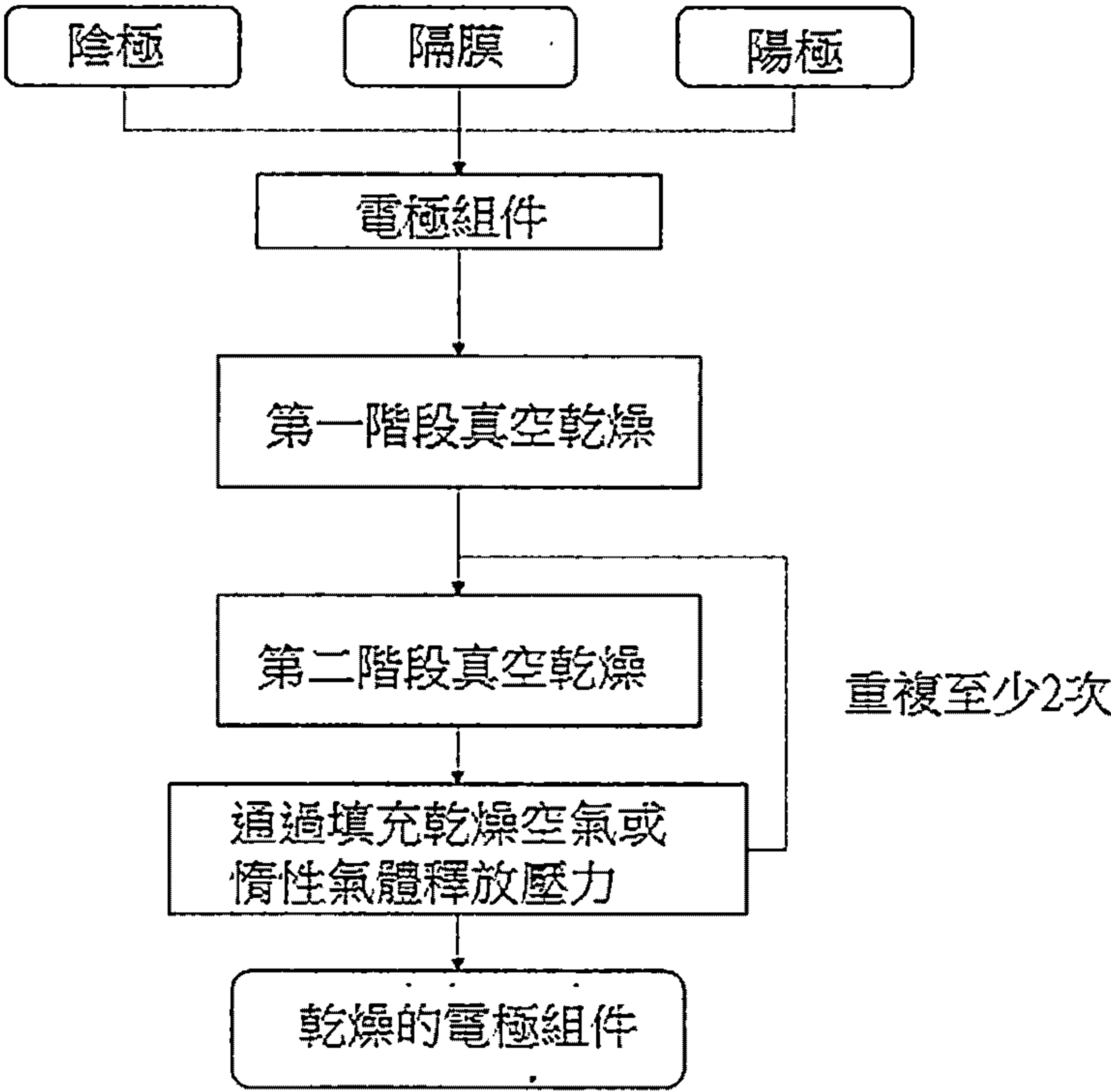
乾燥電極組件的方法

(57)摘要

本發明提供了一種乾燥鋰離子電池的電極組件的方法，包括在高溫和真空下以兩個相繼的階段乾燥電極組件；用熱的乾燥空氣或惰性氣體填充乾燥箱；重複真空乾燥和氣體填充步驟多次。本發明所揭露的方法特別適用於乾燥使用水性黏結劑的電極組件。

Provided herein is a method of drying an electrode assembly of lithium-ion battery, comprising drying the electrode assembly in two successive stages under vacuum at elevated temperature; filling the oven with hot, dry air or inert gas; repeating the steps of vacuum drying and gas filling several times. The method disclosed herein is particularly suitable for drying electrode assemblies using aqueous binders.

指定代表圖：



【圖1】

I722243

【發明摘要】

【中文發明名稱】

乾燥電極組件的方法

【英文發明名稱】

METHOD OF DRYING ELECTRODE ASSEMBLIES

【中文】

本發明提供了一種乾燥鋰離子電池的電極組件的方法，包括在高溫和高真空下以兩個相繼的階段乾燥電極組件；用熱的乾燥空氣或惰性氣體填充乾燥箱；重複真空乾燥和氣體填充步驟多次。本發明所揭露的方法特別適用於乾燥使用水性黏結劑的電極組件。

【英文】

Provided herein is a method of drying an electrode assembly of lithium-ion battery, comprising drying the electrode assembly in two successive stages under vacuum at elevated temperature; filling the oven with hot, dry air or inert gas; repeating the steps of vacuum drying and gas filling several times. The method disclosed herein is particularly suitable for drying electrode assemblies using aqueous binders.

1

【指定代表圖】

圖1

【代表圖之符號簡單說明】

無

【特徵化學式】

無

1

1

【發明說明書】

【中文發明名稱】

乾燥電極組件的方法

【英文發明名稱】

METHOD OF DRYING ELECTRODE ASSEMBLIES

【技術領域】

【0001】本發明涉及電池領域。具體而言，本發明涉及用於乾燥鋰離子電池的電極組件的方法和通過本發明所揭露的方法製作的電極組件。

【先前技術】

【0002】在過去的二十年中，鋰離子電池（LIB）在攜帶式電子設備（例如，行動電話和筆記型電腦）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】目前，通過將活性電池電極材料、導電劑和黏結劑材料的精細粉末分散在合適的溶劑中來製備電極。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捲在一起以形成電池。

【0004】鋰離子電池製造過程對濕度敏感。高含水量的電池導致電化學性能的嚴重衰減且影響電池的穩定性。因此，對於LIB的生產過程必須嚴格控制環境濕度。大多LIB在小於1%濕度的環境下生產。然而，由於嚴格的無水分過程，導致高昂成本。為了解決電極組件的濕度敏感問題，重要的是，在填充電解液之前乾燥電極組件以降低電池中的含水量。

【0005】中國專利第104142045B號描述了乾燥LIB的電極組件的方法。該方法包括在30°C-100°C的溫度和真空下加熱電極組件；將乾燥空氣或惰性氣體填充乾燥箱；將這兩個步驟重複1次至10次。該方法提供的電極組件的含水量在430.5ppm與488.1ppm之間。

【0006】中國專利申請第105115250A號描述了乾燥LIB的電極組件的方法。該方法包括在 $85\pm 5^{\circ}\text{C}$ 的溫度和真空下加熱電極組件；將熱的乾燥氮氣填充乾燥箱；將這兩個步驟重複10次至20次。該方法提供的電極組件的含水量小於200ppm。

【0007】中國專利第102735023B號描述了乾燥LIB的電極組件的方法。該方法包括在 20°C - 70°C 的溫度和真空下加熱電極組件；將乾燥空氣或乾燥氮氣填充乾燥箱；將這兩個步驟重複5次至50次。該方法提供的電極組件的含水量在110.1ppm與137.2ppm之間。

【0008】中國專利第103344097B號描述了乾燥LIB的電極組件的方法。該方法包括在 75°C - 85°C 的溫度和真空下加熱電極組件；將非氧化性氣體填充乾燥箱；將電極組件加熱至 75°C - 85°C ；再次將電極組件真空乾燥。然而，該方法沒有提供用於評估乾燥過程的乾燥的電極組件的含水量。

【0009】上述專利文獻都沒有揭露任何在電極中的黏結劑組合物，用於評估乾燥曲線與黏結劑組合物之間的關係。此外，如通過現有方法所乾燥的電極組件的含水量在一百ppm至數百ppm之間，其會影響LIB的循環穩定性和倍率特性。

【0010】鑒於上面所述，一直存在開發一種用於將LIB的電極組件乾燥至低含水量的方法的需求。並且一直存在對於具有低的含水量和良好的電化學性能的電極組件的需求。

【發明內容】

【0011】通過本發明所揭露的各個態樣和實施例滿足了前述需求。

【0012】在一個態樣中，本發明提供了一種乾燥電極組件的方法，包括以下步驟：

- (1) 將至少一個陽極、至少一個陰極和插入在至少一個陽極與至少一個陰極之間的至少一個隔膜堆疊以製備電極組件；
- (2) 將所述電極組件放入乾燥室中；

- (3) 在真空和約50°C至約90°C的溫度下，乾燥所述電極組件持續5分鐘至4小時的時段；
- (4) 在真空和約80°C至約155°C的溫度下，進一步乾燥所述電極組件；
- (5) 用乾燥空氣或惰性氣體填充所述乾燥室；以及
- (6) 重複步驟(4)和步驟(5)，以獲得乾燥的電極組件。

【0013】 在一些實施例中，步驟(3)中乾燥室中的壓力被降低至小於25kPa、小於15kPa、小於10kPa或小於5kPa。

【0014】 在某些實施例中，步驟(4)中的電極組件被進一步乾燥持續約15分鐘至約4小時或約30分鐘至約2小時的時段。

【0015】 在一些實施例中，步驟(4)中乾燥室中的壓力小於25kPa、小於15kPa、小於10kPa或小於5kPa。

【0016】 在某些實施例中，乾燥空氣或惰性氣體的溫度是約70°C至約155°C或約80°C至約120°C。

【0017】 在一些實施例中，乾燥空氣或惰性氣體停留在乾燥室中持續約5分鐘至約2小時或約15分鐘至約30分鐘的時段。

【0018】 在某些實施例中，乾燥空氣或惰性氣體使乾燥室恢復到大氣壓。

【0019】 在一些實施例中，步驟(4)和步驟(5)重複2次至50次、2次至30次或2次至20次。

【0020】 在某些實施例中，至少一個陰極包括陰極集流器和陰極電極層，其中在陰極集流器與陰極電極層之間的剝離強度是0.25N/cm或更大。

【0021】 在一些實施例中，至少一個陽極包括陽極集流器和陽極電極層，其中在陽極集流器與陽極電極層之間的剝離強度是0.15N/cm或更大。

【0022】 在某些實施例中，基於乾燥的電極組件的總重量，乾燥的電極組件的含水量按重量計小於20ppm、小於10ppm或小於5ppm。

【0023】 在一些實施例中，乾燥的電極組件包括至少一個乾燥的陽極和至少一個乾燥的陰極，其中基於所述至少一個乾燥的陽極和至少一個乾

燥的陰極的總重量，所述至少一個乾燥的陽極和至少一個乾燥的陰極的含水量按重量計小於20ppm、小於10ppm或小於5ppm。

【0024】在某些實施例中，乾燥的電極組件包括至少一個乾燥的隔膜，其中基於所述至少一個乾燥的隔膜的總重量，所述至少一個乾燥的隔膜的含水量按重量計小於20ppm、小於10ppm或小於5ppm。

【0025】在一些實施例中，所述至少一個隔膜由選自由聚烯烴、聚乙烯、高密度聚乙烯、線性低密度聚乙烯、低密度聚乙烯、超高分子量聚乙烯、聚丙烯、聚丙烯/聚乙烯共聚物、聚丁烯、聚戊烯、聚縮醛、聚醯胺、聚碳酸酯、聚醯亞胺、聚醚醚酮、聚砜、聚苯醚、聚苯硫醚、聚丙烯腈、聚偏二氟乙烯、聚甲醛、聚乙烯吡咯烷酮、聚酯、聚對苯二甲酸乙二醇酯、聚對苯二甲酸丁二醇酯、聚萘二甲酸乙二醇酯、聚萘二甲酸丁二醇酯及其組合構成的群組中的聚合物纖維製成。

【0026】在某些實施例中，所述至少一個陽極和至少一個陰極中的每一者獨立地包括選自由丁苯橡膠、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、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、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、聚(偏二氟乙烯)-六氟丙烯及其組合構成的群組中的黏結劑材料。

【0027】此外，本發明提供了一種包括通過本發明揭露的方法所製備的電極組件的鋰電池。

【圖式簡單說明】

【0028】

圖1顯示本發明所揭露的方法的實施例；

圖2顯示包含通過實施例2中所述的方法所製備的電極組件的電化學電池的循環性能；

圖3顯示包含通過實施例4中所述的方法所製備的電極組件的電化學電池的循環性能；

圖4顯示包含通過實施例6中所述的方法所製備的電極組件的電化學電池的循環性能；以及

圖5顯示包含通過實施例8中所述的方法所製備的電極組件的電化學電池的循環性能。

【實施方式】

《定義和一般術語》

【0029】本發明提供了一種乾燥電極組件的方法，包括以下步驟：

(1) 將至少一個陽極、至少一個陰極和插入在至少一個陽極與至少一個陰極之間的至少一個隔膜堆疊以製備電極組件；

(2) 將所述電極組件放入乾燥室中；

(3) 在真空和約50°C至約90°C的溫度下，乾燥所述電極組件持續5分鐘至4小時的時段；

(4) 在真空和約80°C至約155°C的溫度下，進一步乾燥所述電極組件；

(5) 用乾燥空氣或惰性氣體填充所述乾燥室；以及

(6) 重複步驟(4)和步驟(5)以獲得乾燥的電極組件。

【0030】術語「電極」是指「陰極」或「陽極」。

【0031】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。

【0032】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。

【0033】術語「水基黏結劑材料」是指可溶於水或可分散於水的黏結劑聚合物。水基黏結劑材料的一些非限制示例包括丁苯橡膠、丙烯酸化丁

苯橡膠、丁腈橡膠、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、聚乙烯吡咯烷酮、聚環氧氯丙烷、聚磷腈、聚丙烯腈、聚苯乙烯、乙烯/丙烯/二烯共聚物、聚乙烯基吡啶、氯磺化聚乙烯、乳膠、聚酯樹脂、丙烯酸樹脂、酚醛樹脂、環氧樹脂、聚乙烯醇、羧甲基纖維素、羥丙基纖維素及其組合。

【0034】術語「有機黏結劑材料」是指溶解或分散在有機溶劑中的黏結劑，該有機溶劑特別是N-甲基-2-吡咯烷酮（NMP）。有機黏結劑材料的一些非限制示例包括聚四氟乙烯（PTFE）、全氟烷氧基聚合物（PFA）、聚偏二氟乙烯（PVDF）、四氟乙烯（TFE）和六氟丙烯（HFP）的共聚物、氟化乙烯-丙烯（FEP）共聚物、四氟乙烯、六氟丙烯和偏二氟乙烯的三聚物及其組合。

【0035】術語「集流器」是指用於塗覆活性電池電極材料的支撐件和用於在二次電池的放電或充電期間保持電流流至電極的化學上鈍性的高電子導體。

【0036】術語「導電劑」是指在化學上鈍性的且具有良好導電性的材料。因此，導電劑在形成電極時通常與電極活性材料混合以改善電極的導電性。在一些實施例中，導電劑是碳質材料。

【0037】術語「電極組件」是指包括至少一個正極、至少一個負極和插入在該正極與該負極之間的至少一個隔膜的結構。

【0038】術語「剝離強度」是指將塗層與其已經層壓的基板分離所需的力。

【0039】術語「表面粗糙度」指在材料表面上出現的形狀的不平整性。

【0040】術語「室溫」是指約18°C至約30°C的室內溫度，例如18°C、19°C、20°C、21°C、22°C、23°C、24°C、25°C、26°C、27°C、28°C、29°C或30°C。在一些實施例中，室溫是指約20°C $\pm$ 1°C或 $\pm$ 2°C或 $\pm$ 3°C的溫度。在其他實施例中，室溫是指約22°C或約25°C的溫度。

【0041】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。

【0042】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。

【0043】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。

【0044】在以下描述中，本發明所揭露的所有數值是近似值，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。

【0045】圖1顯示了本發明所揭露的方法的實施例。通過將多個陽極和多個陰極與插入在它們之間的隔膜堆疊，來製作電極組件。在真空下以兩個相繼的階段逐漸乾燥該電極組件，其中第一階段的溫度低於下一階段的溫度。然後用熱的乾燥空氣填充乾燥室。重複真空乾燥和壓力恢復的步驟直到實現所需的含水量。

【0046】通常，鋰離子電池製造過程在乾燥房間中進行，其中環境必須被小心控制以保持最佳的生產條件。空氣的露點是乾燥房間的品質的指標。用於電池生產的典型的露點值範圍是-40°C至-65°C。在電池生產階段測定電池的效率和使用壽命。然而，沒有現有技術文獻描述用於實現具有特別低的含水量（例如，小於20ppm）的電極組件的方法。

【0047】通過依次將至少一個負極、至少一個隔膜和至少一個正極堆疊，可以建構電極組件。用於配置電極組件的至少一個正極、至少一個負

極和至少一個隔膜的數量和佈置沒有特別限制。在一些實施例中，電極組件具有堆疊結構，其中，兩個最外層的電極包含相反的極性（即，正極和負極），例如，正極/隔膜/負極結構或正極/隔膜/負極/隔膜/正極/隔膜/負極結構。

【0048】在某些實施例中，電極組件具有堆疊結構，其中，兩個最外層的電極包含相同的極性（即，正極或負極），例如，正極/隔膜/負極/隔膜/正極結構或負極/隔膜/正極/隔膜/負極結構。

【0049】在一些實施例中，電極組件具有隔膜被設置在最外側中之其中一側上的結構，例如，隔膜/正極/隔膜/負極結構或正極/隔膜/負極/隔膜結構。在其他實施例中，電極組件具有隔膜被設置在兩個最外側上的結構，例如，隔膜/正極/隔膜/負極/隔膜結構。

【0050】在某些實施例中，電極組件在嚴格濕度控制下裝配，其中，空氣具有 -65°C 的露點。在一些實施例中，電極組件在乾燥條件下裝配，其中，空氣具有 -50°C 、 -40°C 、 -30°C 、 -20°C 、 -10°C 、 0°C 、 5°C 或 10°C 的露點。在某些實施例中，電極組件在沒有控制濕度的露天中裝配。

【0051】在相對的活性的陽極表面與陰極表面之間設置的隔膜可以防止陽極與陰極之間的接觸和鋰離子電池的短路。在一些實施例中，隔膜可包括織造的或非織造的聚合物纖維、天然纖維、碳纖維、玻璃纖維或陶瓷纖維。在某些實施例中，隔膜包括織造的或非織造的聚合物纖維。

【0052】在某些實施例中，非織造的或織造的纖維由有機聚合物製成，例如聚烯烴、聚乙烯、高密度聚乙烯、線性低密度聚乙烯、低密度聚乙烯、超高分子量聚乙烯、聚丙烯、聚丙烯/聚乙烯共聚物、聚丁烯、聚戊烯、聚縮醛、聚醯胺、聚碳酸酯、聚醯亞胺、聚醚醚酮、聚砜、聚苯醚、聚苯硫醚、聚丙烯腈、聚偏二氟乙烯、聚甲醛、聚乙烯吡咯烷酮、聚酯、聚對苯二甲酸乙二醇酯、聚對苯二甲酸丁二醇酯、聚萘二甲酸乙二醇酯、聚萘二甲酸丁二醇酯、其衍生物或其組合。在某些實施例中，隔膜由選自由聚乙烯、高密度聚乙烯、線性低密度聚乙烯、低密度聚乙烯、超高分子量聚乙烯、聚丙烯、聚丙烯/聚乙烯共聚物及其組合構成的群組中的聚烯烴纖維製成。在一些實施例中，隔膜由選自由聚酯、聚縮醛、聚醯胺、聚碳酸酯、

聚醯亞胺、聚醚醚酮、聚醚砜、聚苯醚、聚苯硫醚、聚萘二甲酸乙二醇酯及其組合構成的群組中的聚合物纖維製成。在其他實施例中，聚合物纖維不是聚乙烯、高密度聚乙烯、線性低密度聚乙烯、低密度聚乙烯、超高分子量聚乙烯、聚丙烯或聚丙烯/聚乙烯共聚物。在進一步的實施例中，聚合物纖維不是聚縮醛、聚醚砜、聚苯醚、聚苯硫醚或聚碳酸酯。在更進一步的實施例中，聚合物纖維不是聚醯胺、聚醯亞胺或聚醚醚酮。但是也可以使用所有其他已知的聚合物纖維或許多天然纖維。

【0053】 在一些實施例中，本發明揭露的隔膜的熔點是100°C或更高、120°C或更高、140°C或更高、160°C或更高、180°C或更高、200°C或更高或250 °C或更高。在一些實施例中，本發明所揭露的隔膜的熔點是140°C或更高、160°C或更高、180°C或更高、200°C或更高或250°C或更高。具有高熔點的隔膜表現出高的熱穩定性和由此可以在高溫下乾燥而沒有熱收縮。這也允許更有效地進行乾燥。因此，電極組件可以在較短的時間內乾燥，從而導致短的生產時間。

【0054】 隔膜可以是塗覆或未塗覆的形式。在一些實施例中，隔膜的厚度是約10 μm 至約200 μm 、約30 μm 至約100 μm 、約10 μm 至約75 μm 、約10 μm 至約50 μm 、約10 μm 至約20 μm 、約15 μm 至約40 μm 、約15 μm 至約35 μm 、約20 μm 至約40 μm 、約20 μm 至約35 μm 、約20 μm 至約30 μm 、約30 μm 至約60 μm 、約30 μm 至約50 μm 或約30 μm 至約40 μm 。

【0055】 在某些實施例中，隔膜的厚度是約15 μm 、約20 μm 或約25 μm 。在一些實施例中，本發明的隔膜的厚度是小於40 μm 、小於35 μm 、小於30 μm 、小於25 μm 或小於20 μm 。如果隔膜足夠薄，則水分可以以高的乾燥速率進行蒸發。

【0056】 在一些實施例中，電極組件被鬆弛地堆疊。在鬆弛堆疊的電極組件中，在電極層與隔膜層之間存在空隙空間，從而允許水分逸出。因此，鬆弛堆疊的電極組件可以在短的時段內被有效地乾燥。另一方面，當電極組件在乾燥之前在壓力下被擠壓，緊密堆積的電極組件在電極層與隔膜層之間幾乎沒有空隙空間或者沒有空隙空間，由此降低了空氣流動和乾燥效率。

【0057】在某些實施例中，正極、隔膜和負極在乾燥前被堆疊且被成螺旋形地纏繞成捲繞式(jelly-roll)配置。由於捲繞式電極組件被緊密堆積，因此在電極層與隔膜層之間也幾乎沒有空隙空間或沒有空隙空間，由此降低了空氣流動和乾燥效率。

【0058】正極包括支撐在陰極集流器上的陰極電極層。陰極電極層至少包括陰極材料和黏結劑材料。陰極電極層還可包括用於增強陰極電極層的電子導電率的導電劑。負極包括支撐在陽極集流器上的陽極電極層。陽極電極層至少包括陽極材料和黏結劑材料。陽極電極層還可包括用於增強陽極電極層的電子導電率的導電劑。

【0059】在一些實施例中，至少一個陰極包括陰極集流器，和包括陰極材料、黏結劑材料和導電劑的陰極電極層，以及至少一個陽極包括陽極集流器，和包括陽極材料、黏結劑材料和導電劑的陽極電極層，其中基於陰極電極層或陽極電極層的總體積，各陰極電極層和陽極電極層獨立地具有小於40%、小於37%、小於35%、小於33%、小於30%、小於25%、小於20%、小於18%、小於15%、小於13%、小於10%或小於8%的空隙體積。在某些實施例中，基於陰極電極層或陽極電極層的總體積，陰極電極層和陽極電極層中的每一者的空隙體積獨立地是8%至40%、8%至35%、8%至30%、10%至30%、13%至30%、13%至33%、15%至30%、18%至30%、20%至30%或25%至30%。

【0060】如果電極層的空隙體積是35%或更大，則電池的能量密度和功率輸出兩者都是低的。當電極層的空隙體積是10%至35%時，電池呈現出良好的鋰離子擴散性和高輸出性能。

【0061】集流器用來收集由活性電池電極材料的電化學反應所生成的電子或者供給電化學反應所需的電子。在一些實施例中，正極的集流器和負極的集流器中的每一者（可以是箔、板或膜的形式）獨立地是不銹鋼、鈦、鎳、鋁、銅或導電樹脂。在某些實施例中，陰極集流器是鋁薄膜。在一些實施例中，陽極集流器是銅薄膜。

【0062】在一些實施例中，集流器的厚度是約6 μm 至約100 μm 。集流器的厚度將影響電池內集流器所佔據的體積和電極材料的量，從而影響電池

的容量。

【0063】在集流器的表面上所形成的表面粗糙度可以提高電極材料與集流器的黏結力，從而改善集流器與電極層之間的黏附力。在某些實施例中，集流器的表面粗糙度Ra是約 $0.1\mu\text{m}$ 至約 $5\mu\text{m}$ 、約 $1\mu\text{m}$ 至約 $3\mu\text{m}$ 、約 $0.1\mu\text{m}$ 至約 $1\mu\text{m}$ 或約 $0.1\mu\text{m}$ 至約 $0.5\mu\text{m}$ 。在一些實施例中，集流器的表面粗糙度是 $4\mu\text{m}$ 或更低、 $3\mu\text{m}$ 或更低、 $2\mu\text{m}$ 或更低、 $1.5\mu\text{m}$ 或更低、 $0.8\mu\text{m}$ 或更低或 $0.5\mu\text{m}$ 或更低。

【0064】在一些實施例中，在集流器上陰極電極層和陽極電極層中之每一者的厚度獨立地是約 $1\mu\text{m}$ 至約 $300\mu\text{m}$ 、約 $10\mu\text{m}$ 至約 $300\mu\text{m}$ 、約 $20\mu\text{m}$ 至約 $100\mu\text{m}$ 、約 $1\mu\text{m}$ 至約 $100\mu\text{m}$ 、約 $1\mu\text{m}$ 至約 $50\mu\text{m}$ 、約 $1\mu\text{m}$ 至約 $40\mu\text{m}$ 、約 $10\mu\text{m}$ 至約 $40\mu\text{m}$ 、約 $10\mu\text{m}$ 至約 $30\mu\text{m}$ 或約 $10\mu\text{m}$ 至約 $25\mu\text{m}$ 。在一些實施例中，集流器上的電極層的厚度是約 $10\mu\text{m}$ 、約 $15\mu\text{m}$ 、約 $20\mu\text{m}$ 、約 $25\mu\text{m}$ 、約 $30\mu\text{m}$ 、約 $35\mu\text{m}$ 或約 $40\mu\text{m}$ 。

【0065】在某些實施例中，在集流器上陰極電極層和陽極電極層中之每一者的密度獨立地是約 $1.0\text{g}/\text{cm}^3$ 至約 $6.5\text{g}/\text{cm}^3$ 、約 $1.0\text{g}/\text{cm}^3$ 至約 $5.0\text{g}/\text{cm}^3$ 、約 $1.0\text{g}/\text{cm}^3$ 至約 $4.0\text{g}/\text{cm}^3$ 、約 $1.0\text{g}/\text{cm}^3$ 至約 $3.5\text{g}/\text{cm}^3$ 、約 $1.0\text{g}/\text{cm}^3$ 至約 $3.0\text{g}/\text{cm}^3$ 、約 $1.0\text{g}/\text{cm}^3$ 至約 $2.0\text{g}/\text{cm}^3$ 、約 $2.0\text{g}/\text{cm}^3$ 至約 $5.0\text{g}/\text{cm}^3$ 、約 $2.0\text{g}/\text{cm}^3$ 至約 $4.0\text{g}/\text{cm}^3$ 、約 $3.0\text{g}/\text{cm}^3$ 至約 $5.0\text{g}/\text{cm}^3$ 或約 $3.0\text{g}/\text{cm}^3$ 至約 $6.0\text{g}/\text{cm}^3$ 。類似地，電極層的密度的增大將導致在最終的電極塗層中空隙體積的減小和較緻密的電極，由此實現所需的電池容量。

【0066】在一些實施例中，陰極材料選自由 LiCoO_2 、 LiNiO_2 、 $\text{LiNi}_x\text{Mn}_y\text{O}_2$ 、 $\text{Li}_{1+z}\text{Ni}_x\text{Mn}_y\text{Co}_{1-x-y}\text{O}_2$ 、 $\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Al}_z\text{O}_2$ 、 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。在某些實施例中，陰極材料選自由 LiCoO_2 、 LiNiO_2 、 $\text{LiNi}_x\text{Mn}_y\text{O}_2$ 、 $\text{Li}_{1+z}\text{Ni}_x\text{Mn}_y\text{Co}_{1-x-y}\text{O}_2$ 、 $\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Al}_z\text{O}_2$ 、 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。在其他實施例中，陰極材料不是 LiCoO_2 、 LiNiO_2 、 LiV_2O_5 、 LiTiS_2 、 LiMoS_2 、 LiMnO_2 、 LiCrO_2 、 LiMn_2O_4 、 LiFeO_2 或 LiFePO_4 。在進一步的實施例中，陰

極材料不是 $\text{LiNi}_x\text{Mn}_y\text{O}_2$ 、 $\text{Li}_{1+z}\text{Ni}_x\text{Mn}_y\text{Co}_{1-x-y}\text{O}_2$ 或 $\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Al}_z\text{O}_2$ ，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。

【0067】在某些實施例中，陽極材料選自由天然石墨顆粒、合成石墨顆粒、Sn（錫）顆粒、 $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ 顆粒、Si（矽）顆粒、Si-C複合顆粒及其組合構成的群組。在其他實施例中，陽極材料不是天然石墨顆粒、合成石墨顆粒、Sn（錫）顆粒、 $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ 顆粒、Si（矽）顆粒或Si-C複合顆粒。

【0068】在一些實施例中，基於陰極電極層或陽極電極層的總重量，陰極材料和陽極材料中之每一者的量獨立地是按重量計至少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，基於陰極電極層或陽極電極層的總重量，陰極材料和陽極材料中之每一者的量獨立地是按重量計至多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%。

【0069】在某些實施例中，導電劑選自由碳、炭黑、石墨、膨脹石墨、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、活性炭、介孔碳及其組合構成的群組。在一些實施例中，導電劑不是碳、炭黑、石墨、膨脹石墨、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、活性炭或介孔碳。

【0070】在一些實施例中，基於陰極電極層或陽極電極層的總重量，在陰極電極層和陽極電極層中之每一者中的導電劑的量獨立地是按重量計至少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%。在某些實施例中，基於陰極電極層或陽極電極層的總重量，在陰極電極層和陽極電極層中之每一者中的導電劑的量獨立地是按重量計至多1%、至多2%、至多3%、至多4%、至多5%、至多10%、至多15%、至多20%、至多25%、至多30%、至多35%、至多40%、至多45%或至多50%。

【0071】在某些實施例中，基於陰極電極層或陽極電極層的總重量，在陰極電極層和陽極電極層中之每一者中的導電劑的量獨立地是約0.05wt.%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.%。

【0072】在裝配電極組件之後，該電極組件被放入乾燥室。在一些實施例中，乾燥室被連接到真空泵，使得可以降低該室中的壓力。壓力被充分降低以降低水的沸點。因此可以大幅減少乾燥時間。在某些實施例中，乾燥室被連接到中央真空源（vacuum supply），由此允許多個真空乾燥箱同時操作。在一些實施例中，根據所操作的泵的數量，被連接到中央真空源的真空乾燥箱的數量範圍是1至20。在某些實施例中，真空泵或中央真空源通過配備有出氣閥的吸入管線被連接到乾燥室。在一些實施例中，乾燥室通過配備有進氣閥的導管也被連接到含有乾燥空氣或惰性氣體的氣體儲存器。當出氣閥關閉且進氣閥打開時，在乾燥室中不再是真空。閥可以是螺線管型或針型或者是大流量控制器。可以使用任何允許合適流量調整的裝置。

【0073】為了降低泵所需的功率，在乾燥室與泵之間可以提供冷凝器。冷凝器冷凝水蒸氣，該水蒸氣隨後被分離。

【0074】本發明包括利用至少兩個乾燥階段乾燥電極組件，這兩個乾燥階段是第一階段（即，步驟3）和第二階段（即，步驟4）。本發明揭露的電極組件在至少兩個相繼的階段中逐漸乾燥，其中第一階段的溫度低於任一個隨後階段的溫度。

【0075】第一階段的溫度可以在50°C至90°C的範圍內。部分乾燥的電極組件從第一階段獲得。在某些實施例中，在第一階段中，可在約50°C至約90°C、約50°C至約85°C、約50°C至約80°C、約60°C至約90°C、約60°C至約85°C、約60°C至約80°C或約70°C至約90°C的溫度和真空下乾燥電極組件。在一些實施例中，在第一階段中，可在約50°C或更高、約60°C或更高、約70°C或更高或約80°C或更高的溫度和真空下乾燥電極組件。在某些實施例中，在第一階段中，可在小於90°C、小於85°C、小於80°C、小於75°C、小於70°C、小於65°C、小於60°C、小於55°C或小於50°C的溫度和真空下乾燥電極組件。

【0076】在第一階段中的低溫有利於緩慢乾燥以避免電極層的破裂或

脆裂。電極層的表面應該緩慢乾燥以降低由於電極層的內部比電極層的表面乾燥慢造成的表面破裂的可能性。

【0077】第一階段的乾燥時間可以在約5分鐘至約4小時的範圍內。在一些實施例中，在第一階段中，在真空下乾燥電極組件的時段是約5分鐘至約4小時、約5分鐘至約3小時、約5分鐘至約2小時、約5分鐘至約1小時、約10分鐘至約2小時、約15分鐘至約2小時、約15分鐘至約1小時、約30分鐘至約4小時、約30分鐘至約3小時、約30分鐘至約2小時、約30分鐘至約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，在第一階段中，在真空下乾燥電極組件的時段是約5分鐘至約2小時或約15分鐘至約30分鐘。

【0078】第二階段中的溫度可以在80°C至155°C的範圍內。在某些實施例中，在第二階段中，可在約70°C至約155°C、約80°C至約155°C、約90°C至約155°C、約100°C至約155°C、約100°C至約140°C、約100°C至約130°C、約100°C至約120°C、約100°C至約110°C或約110°C至約130°C的溫度和真空下乾燥電極組件。在某些實施例中，在第二階段中，可在約80°C至約155°C的溫度和真空下乾燥電極組件。在一些實施例中，在第二階段中，可在約80°C或更高、約90°C或更高、約100°C或更高、約110°C或更高、約120°C或更高、約130°C或更高、約140°C或更高或約150°C或更高的溫度和真空下乾燥電極組件。在某些實施例中，在第二階段中，可在小於155°C、小於150°C、小於145°C、小於140°C、小於135°C、小於130°C、小於125°C、小於120°C、小於115°C、小於110°C、小於105°C、小於100°C或小於90°C的溫度和真空下乾燥電極組件。

【0079】第二階段的乾燥時間可以在約15分鐘至約4小時的範圍內。在一些實施例中，在第二階段中，在真空下乾燥電極組件的時段是約15分鐘至約3小時、約15分鐘至約2小時、約15分鐘至約1小時、約15分鐘至約30分鐘、約30分鐘至約4小時、約30分鐘至約3小時、約30分鐘至約2小時、約30分鐘至約1小時、約1小時至約4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4小時或約2小時至約3小時。在一些實施例中，在第二階段中，在真空下乾燥電極組件的時段是約5分鐘至約2小時或約15分鐘至約30分鐘。

【0080】本發明中可以使用任何可以降低乾燥室的壓力的真空泵。真空泵的一些非限制示例包括乾式真空泵、渦輪泵、旋片式真空泵、低溫泵和吸附泵。

【0081】在一些實施例中，真空泵是無油泵。無油泵在泵零件不需要油的情況下操作，該泵零件暴露於被泵吸的氣體或部分真空中。因此，通過泵回流的任何氣體不含油蒸汽。在電極組件的表面上沉積的累積的油蒸汽會降低電池的電化學性能。該泵的示例是隔膜式真空泵。

【0082】在某些實施例中，可以通過使用二級泵送系統抽空乾燥室，來實現高真空。泵送系統包括與高真空泵（例如渦輪分子泵）串聯設置的初級真空泵（例如旋轉泵或隔膜泵）。

【0083】在一些實施例中，電極組件在大氣壓下被乾燥。在某些實施例中，在真空狀態下進行乾燥。在進一步的實施例中，真空狀態被維持在約 1×10^{-1} Pa至約 1×10^{-4} Pa、約10 Pa至約 1×10^{-1} Pa、約 1×10^3 Pa至約10 Pa或約 2.5×10^4 Pa至約 1×10^3 Pa範圍內的壓力下。在更進一步的實施例中，真空狀態處於約 1×10^3 Pa、約 2×10^3 Pa、約 5×10^3 Pa、約 1×10^4 Pa或約 2×10^4 Pa的壓力下。

【0084】在預定的乾燥時段之後，乾燥室借助進氣閥直接通向含有乾燥空氣或惰性氣體的氣體儲存器。在一些實施例中，氣體儲存器是氮氣容器。在某些實施例中，惰性氣體選自由氮氣、氬氣、氖氣、氫氣、氫氣、氫氣、二氧化碳及其組合構成的群組。在一些實施例中，乾燥空氣或惰性氣體的含水量被維持小於或等於10 ppm、小於或等於8 ppm、小於或等於5 ppm、小於或等於4 ppm、小於或等於3 ppm、小於或等於2 ppm或小於或等於1 ppm。

【0085】在某些實施例中，在第二乾燥階段之後，通過用乾燥空氣或惰性氣體填充乾燥室，執行氣體填充步驟。在其他實施例中，在第一乾燥階段和第二乾燥階段之後，通過用乾燥空氣或惰性氣體填充乾燥室，執行氣體填充步驟。

【0086】在一些實施例中，乾燥空氣或惰性氣體在進入乾燥室之前被預熱。在某些實施例中，乾燥空氣或惰性氣體的溫度是約70°C至約130°C、約70°C至約110°C、約70°C至約100°C、約70°C至約90°C、約70°C至約80°C、約80°C至約155°C、約80°C至約120°C、約80°C至約100°C、約90°C至約155°C、

約90°C至約130°C、約90°C至約100°C、約70°C至約155°C、約100°C至約130°C或約100°C至約120°C。在一些實施例中，乾燥空氣或惰性氣體在進入乾燥室之前被預熱至約70°C至約155°C的溫度。

【0087】在某些實施例中，乾燥空氣或惰性氣體停留在乾燥室中持續的時段是約30秒至約2小時、約1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5分鐘至約10分鐘、約10分鐘至約30分鐘、約10分鐘至約20分鐘、約10分鐘至約15分鐘、約15分鐘至約1小時、約15分鐘至約30分鐘、約15分鐘至約20分鐘或約30分鐘至約1小時。在一些實施例中，乾燥空氣或惰性氣體停留在乾燥室中持續的時段是約30秒至約2小時、約5分鐘至約2小時或約15分鐘至約30分鐘。

【0088】在一些實施例中，在用乾燥氣體養護電極組件持續預定時間之後，電極組件可以在真空下被進一步乾燥。該步驟可以根據需要重複多次，以將電極組件的水分含量降低到合適水準。在某些實施例中，該步驟可以被重複約2次至50次，直到基於乾燥的電極組件的總重量，電極組件中的水分含量小於40ppm、小於30ppm、小於20ppm、小於15ppm、小於10ppm或小於5ppm。

【0089】在某些實施例中，真空乾燥和氣體填充的步驟可以被重複至少2次、至少3次、至少4次、至少5次、至少6次、至少7次、至少8次、至少9次、至少10次、至少12次、至少14次、至少16次、至少18次、至少20次、至少22次、至少24次、至少26次、至少28次或至少30次。在一些實施例中，真空乾燥和氣體填充的步驟可以被重複2次至50次、2次至30次、2次至20次、2次至10次、5次至30次、5次至20次或5次至10次。在某些實施例中，真空乾燥和氣體填充的步驟可以被重複2次或更多次。

【0090】在一些實施例中，用於乾燥電極組件的過程包括真空乾燥，隨後熱風乾燥。在一些實施例中，乾燥室從上方和/或從下方朝向電極組件吹熱空氣。在某些實施例中，熱風乾燥在約1米/秒至約50米/秒、約1米/秒至約40米/秒、約1米/秒至約30米/秒、約1米/秒至約20米/秒、約1米/秒至約10米/秒、約10米/秒至約50米/秒、約10米/秒至約40米/秒、約10米/秒至約30米/秒、約10米/秒至約20米/秒、約20米/秒至約30米/秒、約30米/秒至約40米/秒或約40米/秒至約50米/秒的氣體速率下進行。在其他實施例中，使用熱

的惰性氣體（即，氦氣、氬氣）代替熱空氣。

【0091】乾燥氣體可以通過熱交換表面被預熱。在一些實施例中，熱空氣的溫度範圍是約50°C至約155°C、約60°C至約150°C、約80°C至約150°C、約100°C至約150°C、約70°C至約150°C、約70°C至約130°C、約70°C至約100°C、約80°C至約150°C、約80°C至約130°C、約80°C至約110°C、約100°C至約140°C或約100°C至約120°C。

【0092】在某些實施例中，用於熱風乾燥的時段是約1分鐘至約2小時、約1分鐘至約1小時、約1分鐘至約30分鐘、約1分鐘至約15分鐘、約5分鐘至約30分鐘、約5分鐘至約20分鐘、約5分鐘至約15分鐘、約5分鐘至約10分鐘、約10分鐘至約1小時、約10分鐘至約30分鐘、約10分鐘至約20分鐘、約15分鐘至約1小時或約15分鐘至約30分鐘。

【0093】在一些實施例中，在吹熱空氣持續預定時間之後，電極組件可以在真空下被進一步乾燥。該步驟可以根據需要重複多次，以降低電極組件的水分含量到合適水準，例如40ppm、30ppm、20ppm、15ppm、10ppm或5ppm。

【0094】目前，在鋰離子電池的有機生產過程中，水是需要嚴格控制的關鍵因素。本發明的優點是大多數製造可以發生在乾燥房間之外。在一些實施例中，裝配過程可以發生在乾燥房間或者手套箱之外。在某些實施例中，只有用於填充電解液的步驟或用於乾燥電極組件和填充電解液的兩個步驟在乾燥房間或者手套箱中進行。因此，可以避免工廠中的濕度控制，明顯降低了投資成本。

【0095】水分的存在不利於電池的操作。通常，基於電極組件的總重量，通過常規方法所製備的電極組件中的含水量含有按重量計大於100ppm的水量。即使初始電池性能是可接受的，電池性能的衰減速率也是不可以接受的。為了能夠實現足夠高的電池性能，因此在電池中具有低含水量是有利的。

【0096】通過本發明所揭露的方法所製備的電極組件具有特別低的含水量，這有助於鋰離子電池的可靠性能。在一些實施例中，基於乾燥的電極組件的總重量，乾燥的電極組件中的含水量是按重量計約5ppm至約

50ppm、約5ppm至約40ppm、約5ppm至約30ppm、約5ppm至約20ppm、約5ppm至約10ppm、約3ppm至約30ppm、約3ppm至約20ppm或約3ppm至約10ppm。

【0097】在某些實施例中，基於乾燥的電極組件的總重量，乾燥的電極組件中的含水量是按重量計小於50ppm、小於40ppm、小於30ppm、小於20ppm、小於10ppm、小於5ppm、小於4ppm、小於3ppm、小於2ppm或小於1ppm。在一些實施例中，基於乾燥的電極組件的總重量，本發明所揭露的乾燥的電極組件中的含水量是按重量計不大於約5ppm。

【0098】在一些實施例中，乾燥的電極組件包括至少一個乾燥的陽極和至少一個乾燥的陰極，其中基於至少一個乾燥的陽極和至少一個乾燥的陰極的總重量，至少一個乾燥的陽極和至少一個乾燥的陰極的含水量按重量計小於50ppm、小於40ppm、小於30ppm、小於20ppm、小於10ppm、小於5ppm或小於3ppm。

【0099】在某些實施例中，基於至少一個陽極和至少一個陰極的總重量，至少一個陽極和至少一個陰極的含水量按重量計小於30ppm、小於20ppm、小於10ppm、小於5ppm或小於3ppm。在一些實施例中，基於至少一個陰極或陽極的總重量，至少一個陰極或陽極的含水量按重量計小於30ppm、小於20ppm、小於15ppm、小於10ppm、小於5ppm、小於4ppm、小於3ppm、小於2ppm或小於1ppm。

【0100】在一些實施例中，乾燥的電極組件包括至少一個乾燥的隔膜，其中基於至少一個乾燥的隔膜的總重量，至少一個乾燥的隔膜的含水量按重量計小於50ppm、小於40ppm、小於30ppm、小於20ppm、小於10ppm、小於5ppm或小於3ppm。

【0101】通常，通過增加在塗層中黏結劑的量，來增大電極塗層的剝離強度。然而，黏結劑量的增加自然地導致電極塗層中電極活性材料的量減少，由此降低了每單位重量的電池容量。通過執行兩階段乾燥過程，獲得實踐中足夠的剝離強度。

【0102】本發明包括利用兩個乾燥階段（第一階段和第二階段）乾燥電極組件，其中第一階段的溫度低於第二階段的溫度。第一階段中的低溫

防止表面水分的快速損失且通過幾乎消除乾燥中的不均勻性而增加產品質量。如果乾燥太快或溫度太高，這會導致不均勻的乾燥且會使電極層不均勻地收縮，由此導致電極剝離強度降低。

【0103】習知技術都沒有揭露描述黏結劑組合物與電極剝離強度之間的關係的乾燥方法。兩階段乾燥過程特別適用於包括水性黏結劑的電極。黏結劑僅構成電極組合物的一小部分，但是在一些情況中，它們在影響鋰離子電池的電池性能（例如循環穩定性和倍率特性）方面產生了重要的作用。水性黏結劑更綠色環保且更容易用於電極製造。然而，諸如羧甲基纖維素（CMC）的水基黏結劑被認為是脆性黏結劑，其在小的變形之後破裂。如果乾燥太快或溫度太高，則水性黏結劑可能變脆，從而導致脆性電極。

【0104】在一些實施例中，至少一個陰極包括陰極集流器和陰極電極層，其中在陰極集流器與陰極電極層之間的剝離強度是0.05N/cm或更大、0.1N/cm或更大、0.15N/cm或更大、0.2N/cm或更大、0.25N/cm或更大、0.3N/cm或更大、0.35N/cm或更大、0.4N/cm或更大、0.5N/cm或更大或0.75N/cm或更大。在某些實施例中，在陰極集流器與陰極電極層之間的剝離強度是0.05N/cm至0.75N/cm、0.05N/cm至0.6N/cm、0.05N/cm至0.5N/cm、0.1N/cm至0.5N/cm、0.1N/cm至0.45N/cm、0.1N/cm至0.4N/cm、0.1N/cm至0.35N/cm、0.15N/cm至0.5N/cm、0.15N/cm至0.45N/cm、0.15N/cm至0.4N/cm、0.15N/cm至0.35N/cm或0.15N/cm至0.3N/cm。

【0105】在某些實施例中，至少一個陽極包括陽極集流器和陽極電極層，其中在陽極集流器與陽極電極層之間的剝離強度是0.05N/cm或更大、0.1N/cm或更大、0.15N/cm或更大、0.2N/cm或更大、0.3N/cm或更大、0.35N/cm或更大、0.45N/cm或更大、0.5N/cm或更大、0.55N/cm或更大或0.65N/cm或更大。在一些實施例中，在陽極集流器與陽極電極層之間的剝離強度是0.05N/cm至0.65N/cm、0.05N/cm至0.45N/cm、0.05N/cm至0.4N/cm、0.1N/cm至0.55N/cm、0.1N/cm至0.45N/cm、0.1N/cm至0.4N/cm、0.1N/cm至0.35N/cm、0.15N/cm至0.5N/cm、0.15N/cm至0.45N/cm、0.15N/cm至0.4N/cm、0.15N/cm至0.35N/cm或0.15N/cm至0.3N/cm。

【0106】當在集流器與電極層之間的剝離強度高時，在反復充電和放電期間不太可能發生活性材料的脫離。在電極剝離強度是0.15N/cm或更大

的情況下，在將活性電極材料層壓到集流器的表面上之後電極具有足夠的剝離強度，且在可充電鋰電池的充電和放電期間，由於電極活性材料的收縮和膨脹引起的體積變化期間，電極層不分離。

【0107】在乾燥步驟之後，電極組件在從乾燥室移除之前可以被自然冷卻至50°C或更低。在一些實施例中，電極組件在從乾燥室移除之前被冷卻至45°C或更低、40°C或更低、35°C或更低、30°C或更低或25°C或更低。在某些實施例中，電極組件被冷卻到室溫。在一些實施例中，通過吹入乾燥氣體或惰性氣體，電極組件被冷卻以便更快地達到目標溫度。

【0108】在電極層中的黏結劑材料起到將電極材料和導電劑一起黏結到集流器上的作用。在某些實施例中，至少一個陽極和至少一個陰極中的每一者獨立地包括黏結劑材料，該黏結劑材料選自由有機黏結劑材料、水基黏結劑材料或水基黏結劑材料和有機黏結劑材料的混合物構成的群組。

【0109】在一些實施例中，在陰極電極層和陽極電極層中的各黏結劑材料獨立地選自由丁苯橡膠、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、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、聚丙烯酸酯、聚甲基丙烯酸、聚甲基丙烯酸酯、聚丙烯醯胺、聚氨基、氟化聚合物、氯化聚合物、海藻酸鹽、聚偏二氟乙烯、聚(偏二氟乙烯)-六氟丙烯及其組合構成的群組。在進一步的實施例中，海藻酸鹽包括選自Na、Li、K、Ca、NH₄、Mg、Al或其組合中的陽離子。

【0110】在某些實施例中，在陰極電極層和陽極電極層中的各黏結劑材料獨立地選自由丁苯橡膠、羧甲基纖維素、聚偏二氟乙烯、丙烯腈共聚物、聚丙烯酸、聚丙烯腈、聚(偏二氟乙烯)-六氟丙烯、乳膠、海藻酸鹽及其組合構成的群組。

【0111】在一些實施例中，在陰極電極層和陽極電極層中的各黏結劑材料獨立地選自SBR、CMC、PAA、海藻酸鹽或其組合。在某些實施例中，在陰極電極層和陽極電極層中的各黏結劑材料獨立地是丙烯腈共聚物。在一些實施例中，在陰極電極層和陽極電極層中的各黏結劑材料獨立地是聚丙烯腈。在某些實施例中，在陰極電極層和陽極電極層中的各黏結劑材料獨立地不含丁苯橡膠、羧甲基纖維素、聚偏二氟乙烯、丙烯腈共聚物、聚丙烯酸、聚丙烯腈、聚(偏二氟乙烯)-六氟丙烯、乳膠或海藻酸鹽。

【0112】在某些實施例中，基於陰極電極層或陽極電極層的總重量，在陰極電極層和陽極電極層中之每一者中的黏結劑材料的量獨立地是按重量計至少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%。在一些實施例中，基於陰極電極層或陽極電極層的總重量，在陰極電極層和陽極電極層中之每一者中的黏結劑材料的量獨立地是按重量計至多1%、至多2%、至多3%、至多4%、至多5%、至多10%、至多15%、至多20%、至多25%、至多30%、至多35%、至多40%、至多45%或至多50%。

【0113】在一些實施例中，基於陰極電極層或陽極電極層的總重量，在陰極電極層和陽極電極層中之每一者中的黏結劑材料的量獨立地是約2wt.%至約10wt.%、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.%。

【0114】為了防止水分存在於密封的容器內，填充電解液的步驟在乾燥房間中進行。在乾燥之後，電極組件被放入容器內然後在密封之前在惰性氣氛下，加入電解液以填充所有的隔膜和電極的層的孔以及在電極組件中的正極、負極與隔膜之間的每個間隙。

【0115】本發明所揭露的方法通過消耗更少的能量降低了鋰離子電池的生產成本以及縮短了乾燥所需的製造時間。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。

【0116】本發明還提供了一種用於非水性電解液的二次電池的電極組件，其包括至少一個陽極、至少一個陰極和插入在該至少一個陽極與該至

少一個陰極之間的至少一個隔膜，其中至少一個陽極包括陽極集流器和陽極電極層，且至少一個陰極包括陰極集流器和陰極電極層，其中陰極電極層和陽極電極層中的每一者獨立地具有小於35%的空隙體積，以及其中至少一個陰極和至少一個陽極中的每一者獨立地具有0.15N/cm或更大的剝離強度。在其他實施例中，陰極電極層和陽極電極層中的每一者獨立地具有小於33%、小於30%、小於25%、小於20%、小於18%或小於15%的空隙體積。

【0117】在某些實施例中，陰極電極層包括陰極材料、黏結劑材料和導電劑，陽極電極層包括陽極材料、黏結劑材料和導電劑，其中在陰極電極層和陽極電極層中的各黏結劑材料獨立地選自由丁苯橡膠、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、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、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、聚(偏二氟乙烯)-六氟丙烯及其組合構成的群組。

【0118】在一些實施例中，在集流器與電極層之間的剝離強度是0.15N/cm或更大、0.2N/cm或更大、0.3N/cm或更大、0.4N/cm或更大或0.5N/cm或更大。在進一步的實施例中，在陰極集流器與陰極電極層之間的剝離強度是0.3N/cm或更大、0.4N/cm或更大或0.5N/cm或更大。在更進一步的實施例中，在陽極集流器與陽極電極層之間的剝離強度是0.15N/cm或更大、0.2N/cm或更大或0.3N/cm或更大。

【0119】在某些實施例中，基於電極組件的總重量，電極組件的含水量按重量計小於20ppm、小於10ppm或小於5ppm。

【0120】本發明還提供了一種包括通過本發明揭露的方法所製備的電極組件的鋰電池。

【0121】為了例證本發明的實施例而給出以下的實施例。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例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。

《具體實施例》

【0122】通過Karl-fisher滴定法測量電極組件中的含水量。電極組件在充滿氫氣的手套箱中被切割成1cm×1cm的小片。所切割之具有1cm×1cm尺寸的電極組件在樣品瓶中被稱重。所稱量的電極組件隨後被加入滴定容器中，以使用Karl Fisher庫侖法水分測定儀（831 KF電量計，Metrohm，瑞士）用於Karl-fisher滴定。重複測量3次以得到平均值。

【0123】在電極或隔膜中的含水量通過Karl-fisher滴定法測量。電極組件在充滿氫氣的手套箱中被切割成1cm×1cm的小片。電極組件被分成陽極層、陰極層和隔膜層。所分離的電極層和隔膜層的含水量分別通過Karl-fisher滴定法分析。重複測量3次以得到平均值。

【0124】電極的剝離強度通過剝離試驗儀（來自Instron，美國；型號MTS 5581）來測量。乾燥的電極組件被分離成陽極層、陰極層和隔膜層。各陰極層和陽極層被切割成尺寸25mm×100mm的矩形形狀。然後，一條修補膠帶（3M；美國；型號810）被黏附到具有電極塗層的電極表面上，然後通過其上方的2kg輥的往復運動按壓來製備用於剝離強度測試的樣品。各個樣品被安裝在剝離測試儀上，然後通過在室溫下以180°剝離修補膠帶來測量剝離強度。修補膠帶以50mm/分鐘的速度被剝離。以10mm至70mm的預定間隔進行測量，然後重複3次。

《實施例1》

（A）正極漿料的製備

【0125】通過混合94wt.%的陰極材料（LNMC TLM 310，來自新鄉天力能源有限公司，中國）、3wt.%之作為導電劑的炭黑（SuperP；來自Timcal Ltd，Bodio，瑞士）和作為黏結劑的0.8wt.%的聚丙烯酸（PAA，#181285，來自Sigma-Aldrich，美國）、1.5wt.%的丁苯橡膠（SBR，AL-2001，來自

NIPPON A&L INC.，日本)和0.7 wt.%的聚偏二氟乙烯(PVDF ;Solef[®] 5130，來自Solvay S.A.，比利時)(這些物質被分散在去離子水中以形成具有50wt.%固含量的漿料)，來製備正極漿料。該漿料通過行星式攪拌混合器被均質化。

(B) 正極的製備

【0126】使用轉送塗佈機(ZY-TSF6-6518，來自金帆展宇新能源科技有限公司，中國)將該均質化的漿料塗覆在具有20 μm 的厚度以及5.5 μm 的表面粗糙度Ra的鋁箔的兩側上，其中面密度為約26 mg/cm^2 。鋁箔上的塗膜通過作為轉送塗佈機的子模組在約8米/分鐘的傳送帶速度下運行的24米長的隧道式熱風乾燥機乾燥3分鐘以獲得正極。溫度程式化控制箱允許可控的溫度梯度，其中，溫度從60°C的入口溫度逐漸升高至75°C的出口溫度。該電極然後被按壓以增大塗層的密度且密度是2.74 g/cm^3 。電極層的空隙體積是31%。

(C) 負極的製備

【0127】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。使用轉送塗佈機將該漿料塗覆在具有9 μm 的厚度以及3.4 μm 的表面粗糙度Ra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米長的隧道式熱風乾燥機在約50°C下乾燥2.4分鐘以獲得負極。該電極然後被按壓以增大塗層的密度且密度是1.8 g/cm^3 。電極層的空隙體積是19%。

《實施例2》

電極組件的裝配

【0128】在乾燥之後，將得到的實施例1的陰極片和陽極片通過切割成單獨的電極板分別用來製備陰極和陽極。通過在沒有控制濕度的露天下堆疊陽極、陰極和插入在正極與負極之間的隔膜，來製備電極組件。隔膜是由PET不織布製成的微孔膜(來自MITSUBISHI PAPER MILLS LTD，日本)，

其厚度是30 μm 。在第一乾燥階段期間，電極組件在手套箱內的真空乾燥箱中在 $5\times 10^3\text{Pa}$ 的壓力和70°C溫度下被乾燥2.5小時。在第二乾燥階段期間，電極組件在 $5\times 10^3\text{Pa}$ 的真空和120°C溫度下被進一步乾燥1.5小時。乾燥室然後填充具有5ppm的含水量和90°C的溫度的熱的乾燥空氣。該熱的乾燥空氣在排出乾燥室之前在乾燥室中保留15分鐘。包括第二階段中的真空乾燥和在第二階段之後執行的氣體填充的步驟的循環被重複10次。

電極組件、電極和隔膜的水分含量

【0129】電極組件、電極和隔膜的水分含量的平均值分別是5ppm、9ppm和13ppm。

電極剝離強度

【0130】在乾燥的電極組件中經處理的陰極和陽極的剝離強度的平均值分別是0.45N/cm和0.23N/cm，未處理的陰極和陽極的剝離強度的平均值分別是0.44N/cm和0.21N/cm。陰極和陽極都顯示出保持很大程度上不受乾燥過程影響之高的剝離強度。

軟包電池的裝配

【0131】通過將乾燥的電極組件封裝在由鋁-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的高純度氬氣氣氛下，將電解液填充到容納所封裝的電極的容器中。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 （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。

實施例2的電化學測量

（I）額定容量

【0132】在電池測試儀（BTS-5V20A，來自Neware Electronics有限公司，中國）上，在25°C下和C/2的電流密度下恆流地測試該電池，電壓在3.0V與4.2V之間。額定容量是約2.8Ah。

(II) 循環性能

【0133】通過在3.0V與4.2V之間在1C的恆定電流倍率下充電和放電，測試軟包電池的循環性能。循環性能的測試結果在圖2中顯示。在562次循環之後的容量保持率是初始值的約94.7%。該電化學測試顯示出電池在寬範圍電勢中良好的電化學穩定性以及優異的循環性能。

《實施例3》

(A) 正極漿料的製備

【0134】通過混合92wt.%的陰極材料（ LiMn_2O_4 ，來自HuaGuan HengYuan LiTech有限公司，青島，中國）4wt.%之作為導電劑的炭黑（SuperP；來自Timcal Ltd，Bodio，瑞士）和4wt.%之作為黏結劑的聚偏二氟乙烯（PVDF；Solef[®] 5130，來自Solvay S.A.，比利時）（這些物質被分散在N-甲基-2-吡咯烷酮（NMP；純度 $\geq 99\%$ ，Sigma-Aldrich，美國）中以形成具有50wt.%固含量的漿料），來製備正極漿料。該漿料通過行星式攪拌混合器被均質化。

(B) 正極的製備

【0135】使用轉送塗佈機將該均質化的漿料塗覆在具有20 μm 的厚度的鋁箔的兩側上，其中面密度為約2.4 mg/cm^2 。鋁箔上的塗膜通過作為轉送塗佈機的子模組在約4米/分鐘的傳送帶速度下運行的24米長的隧道式熱風乾燥機乾燥6分鐘以獲得正極。溫度程式化控制箱允許可控的溫度梯度，其中，溫度從65°C的入口溫度逐漸升高至80°C的出口溫度。該電極然後被按壓以增大塗層的密度且密度是2.83 g/cm^3 。電極層的空隙體積是29%。

(C) 負極的製備

【0136】通過混合90wt.%的硬碳（HC；99.5%純度，來自Ruifute Technology有限公司，深圳，廣東，中國）與作為黏結劑的1.5wt.%的羧甲基纖維素（CMC，BSH-12，DKS有限公司，日本）和3.5wt.%的SBR（AL-2001，NIPPON A&L INC.，日本）以及5wt.%之作為導電劑的炭黑（這些物質被分散在去離子水中以形成具有50wt.%固含量的另一漿料），來製備負極漿料。使用轉送塗佈機將該漿料塗覆在具有9 μm 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米長的隧道式熱風乾燥機在約50°C下乾燥2.4分鐘以獲得負極。該電極然後被按壓以增大塗層的密度且密度是1.8g/cm³。電極層的空隙體積是19%。

《實施例4》

電極組件的裝配

【0137】在乾燥之後，將得到的實施例3的陰極片和陽極片通過切割成單獨的電極板分別用來製備陰極和陽極。通過在沒有控制濕度的露天下堆疊陽極、陰極和插入在正極與負極之間的隔膜，來製備電極組件。隔膜是由不織布製成的陶瓷塗覆的微孔膜(SEPARION, Evonik Industries, 德國)，其厚度是35μm。在第一乾燥階段期間，電極組件在手套箱內的真空乾燥箱中在1×10⁴Pa的壓力和85°C溫度下被乾燥1.5小時。在第二乾燥階段期間，電極組件在5×10³Pa的真空和105°C溫度下被進一步乾燥2.5小時。乾燥室然後填充具有5ppm的含水量和90°C的溫度的熱的乾燥空氣。該熱的乾燥空氣在排出乾燥室之前在乾燥室中保留15分鐘。包括第二階段中的真空乾燥和在第二階段之後執行的氣體填充的步驟的循環被重複5次。

電極組件、電極和隔膜的水分含量

【0138】電極組件、電極和隔膜的水分含量的平均值分別是13ppm、9ppm和15ppm。

電極剝離強度

【0139】在乾燥的電極組件中經處理的陰極和陽極的剝離強度的平均值分別是0.31N/cm和0.18N/cm，未處理的陰極和陽極的剝離強度的平均值分別是0.32N /cm和0.17N/cm。陰極和陽極都顯示出保持很大程度上不受乾燥過程影響之高的剝離強度。

《實施例4》的電化學測量

(I) 額定容量

【0140】根據在實施例2中所述的方法裝配包含通過實施例4中所述的方法所製備之乾燥的電極組件的軟包電池。在電池測試儀上，在25°C下和

C/2的電流密度下恆流地測試該電池，電壓在3.0V與4.2V之間。額定容量是約2.9Ah。

(II) 循環性能

【0141】通過在3.0V與4.2V之間在1C的恆定電流倍率下充電和放電，測試軟包電池的循環性能。循環性能的測試結果在圖3中顯示。在1,050次循環之後的容量保持率是初始值的約94.2%。該電化學測試顯示出電池在寬範圍電勢中良好的電化學穩定性以及優異的循環性能。

《實施例5》

(A) 正極漿料的製備

【0142】通過混合94wt.%的陰極材料 $\text{LiNi}_{0.33}\text{Mn}_{0.33}\text{Co}_{0.33}\text{O}_2$ （來自深圳天驕技術有限公司，中國）、3wt.%之作為導電劑的炭黑（SuperP；來自Timcal Ltd，Bodio，瑞士）和作為黏結劑的1.5wt.%的聚丙烯酸（PAA，#181285，來自Sigma-Aldrich，美國）和1.5wt.%的聚丙烯腈（LA 132，來自成都茵地樂電源科技有限公司，中國）（這些物質被分散在去離子水中以形成具有50wt.%固含量的漿料），來製備正極漿料。該漿料通過行星式攪拌混合器被均質化。

(B) 正極的製備

【0143】使用轉送塗佈機將該均質化的漿料塗覆在具有20 μm 的厚度的鋁箔的兩側上，其中面密度為約32 mg/cm^2 。鋁箔上的塗膜通過作為轉送塗佈機的子模組在約6米/分鐘的傳送帶速度下運行的24米長的隧道式熱風乾燥機乾燥4分鐘以獲得正極。溫度程式化控制箱允許可控的溫度梯度，其中，溫度從60°C的入口溫度逐漸升高至75°C的出口溫度。該電極然後被按壓以增大塗層的面密度且面密度是3.47 g/cm^3 。電極層的空隙體積是13%。

(C) 負極的製備

【0144】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。使用轉送塗佈機將該漿料塗覆在具有9 μm 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

的隧道式熱風乾燥機在約50°C下乾燥2.4分鐘以獲得負極。

《實施例6》

電極組件的裝配

【0145】在乾燥之後，將得到的實施例5的陰極片和陽極片通過切割成單獨的電極板分別用來製備陰極和陽極。通過在沒有控制濕度的露天下堆疊陽極、陰極和插入在正極與負極之間的隔膜，來製備電極組件。隔膜是由聚醯亞胺製成的微孔膜（江西先進奈米纖維技術有限公司，中國），其厚度是20 μm 。在第一乾燥階段期間，電極組件在手套箱內的真空乾燥箱中在 $1.5 \times 10^4 \text{Pa}$ 的壓力和95°C溫度下被乾燥3.5小時。在第二乾燥階段期間，電極組件在 $5 \times 10^3 \text{Pa}$ 的真空和115°C溫度下被進一步乾燥2小時。乾燥室然後填充具有5ppm的含水量和85°C的溫度的熱的乾燥空氣。該熱的乾燥空氣在排出乾燥室之前在乾燥室中保留15分鐘。包括第二階段中的真空乾燥和在第二階段之後執行的氣體填充的步驟的循環被重複11次。

電極組件的水分含量

【0146】電極組件的水分含量的平均值是6ppm。

電極剝離強度

【0147】在乾燥的電極組件中經處理的陰極和陽極的剝離強度的平均值分別是0.51N/cm和0.28N/cm，未處理的陰極和陽極的剝離強度的平均值分別是0.49N/cm和0.25N/cm。陰極和陽極都顯示出保持很大程度上不受乾燥過程影響之高的剝離強度。

《實施例6》的電化學測量

(I) 額定容量

【0148】根據在實施例2中所述的方法裝配包含通過實施例6中所述的方法所製備之乾燥的電極組件的軟包電池。在電池測試儀上，在25°C下和C/2的電流密度下恆流地測試該電池，電壓在3.0V與4.2V之間。額定容量是約10Ah。

(II) 循環性能

【0149】通過在3.0V與4.2V之間在1C的恆定電流倍率下充電和放電，測試軟包電池的循環性能。循環性能的測試結果在圖4中顯示。在601次循環之後的容量保持率是初始值的約94.3%。該電化學測試顯示出電池在寬範圍電勢中良好的電化學穩定性以及優異的循環性能。

《實施例7》

(A) 正極漿料的製備

【0150】通過混合91wt.%的陰極材料 LiFePO_4 （來自廈門錫業有限公司，中國）、5wt.%之作為導電劑的炭黑（SuperP；來自Timcal Ltd，Bodio，瑞士）和4wt.%之作為黏結劑的聚丙稀腈（LA 132，來自成都茵地樂電源科技有限公司，中國）（這些物質被分散在去離子水中以形成具有50wt.%固含量的漿料），來製備正極漿料。該漿料通過行星式攪拌混合器被均質化。

(B) 正極的製備

【0151】使用轉送塗佈機將該均質化的漿料塗覆在具有30 μm 的厚度的鋁箔的兩側上，其中面密度為約56 mg/cm^2 。鋁箔上的塗膜通過作為轉送塗佈機的子模組在約4米/分鐘的傳送帶速度下運行的24米長的隧道式熱風乾燥機乾燥6分鐘以獲得正極。溫度程式化控制箱允許可控的溫度梯度，其中，溫度從75°C的入口溫度逐漸升高至90°C的出口溫度。該電極然後被按壓以增大塗層的密度且密度是2.98 g/cm^3 。電極層的空隙體積是26%。

(C) 負極的製備

【0152】通過混合90wt.%的硬碳（HC；99.5%純度，來自Ruifute Technology有限公司，中國）、作為黏結劑的1.5wt.%的CMC（BSH-12，DKS有限公司，日本）和3.5wt.%的SBR（AL-2001，NIPPON A&L INC，日本）和5wt.%之作為導電劑的炭黑（這些物質被分散在去離子水中以形成具有50wt.%固含量的另一漿料），來製備負極。使用轉送塗佈機將該漿料塗覆在具有9 μm 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米長的隧道式熱風乾燥機在約50°C下乾燥2.4分鐘以獲得負極。

《實施例8》

電極組件的裝配

【0153】在乾燥之後，將得到的實施例7的陰極片和陽極片通過切割成單獨的電極板分別用來製備陰極和陽極。通過在沒有控制濕度的露天下堆疊陽極、陰極和插入在正極與負極之間的隔膜，來製備電極組件。隔膜是由不織布製成的陶瓷塗覆的微孔膜(SEPARION, Evonik Industries, 德國)，其厚度是約 $35\mu\text{m}$ 。電極組件在手套箱內的真空乾燥箱中在 $7\times 10^3\text{Pa}$ 的壓力和 65°C 的溫度下被乾燥4小時。電極組件在 $1\times 10^4\text{Pa}$ 的真空和 115°C 的溫度下被進一步乾燥1.2小時。乾燥室然後填充具有5ppm的含水量和 100°C 的溫度的熱的乾燥空氣。該熱的乾燥空氣在排出乾燥室之前在乾燥室中保留5分鐘。包括第二階段中的真空乾燥和在第二階段之後執行的氣體填充的步驟的循環被重複8次。

電極組件的水分含量

【0154】電極組件的水分含量的平均值是7ppm。

電極剝離強度

【0155】在乾燥的電極組件中經處理的陰極和陽極的剝離強度的平均值分別是 0.38N/cm 和 0.24N/cm ，未處理的陰極和陽極的剝離強度的平均值分別是 0.37N/cm 和 0.22N/cm 。陰極和陽極都顯示出保持很大程度上不受乾燥過程影響之高的剝離強度。

《實施例8》的電化學測量

(I) 額定容量

【0156】根據在實施例2中所述的方法裝配包含通過實施例8中所述的方法所製備之乾燥的電極組件的軟包電池。在電池測試儀上，在 25°C 下和 $\text{C}/2$ 的電流密度下恆流地測試該電池，電壓在 3.0V 與 4.2V 之間。額定容量是約 9Ah 。

(II) 循環性能

【0157】通過在3.0V與4.2V之間在1C的恆定電流倍率下充電和放電，測試軟包電池的循環性能。循環性能的測試結果在圖5中顯示。在452次循環之後的容量保持率是初始值的約94.2%。該電化學測試顯示出電池在寬範圍電勢中良好的電化學穩定性以及優異的循環性能。

【0158】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發明沒有提及的步驟。在其他實施例中，所述方法不包括或者基本上不含有本發明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】

【0159】

無

【發明申請專利範圍】

【第1項】一種乾燥電極組件的方法，包括以下步驟：

- (1) 將至少一個陽極、至少一個陰極和插入在所述至少一個陽極與所述至少一個陰極之間的至少一個隔膜堆疊以製備電極組件；
- (2) 將所述電極組件放入乾燥室中；
- (3) 在真空和 50°C 至 90°C 的溫度下，乾燥所述電極組件持續 5 分鐘至 4 小時的時段；
- (4) 在真空和 90°C 至 155°C 的溫度下，進一步乾燥所述電極組件；
- (5) 用乾燥空氣或惰性氣體填充所述乾燥室；以及
- (6) 重複步驟(4)和步驟(5)，以獲得乾燥的電極組件。

【第2項】如申請專利範圍第 1 項所述之乾燥電極組件的方法，其中，步驟(3)中所述乾燥室中的壓力被降低至小於 25kPa 。

【第3項】如申請專利範圍第 1 項所述之乾燥電極組件的方法，其中，步驟(4)中所述電組件被進一步乾燥持續 15 分鐘至 4 小時的時段。

【第4項】如申請專利範圍第 1 項所述之乾燥電極組件的方法，其中，步驟(4)中所述乾燥室中的壓力小於 25kPa 。

【第5項】如申請專利範圍第 1 項所述之乾燥電極組件的方法，其中，所述乾燥空氣或惰性氣體的溫度是 70°C 至 155°C 。

【第6項】如申請專利範圍第 1 項所述之乾燥電極組件的方法，其中，所述乾燥空氣或惰性氣體在所述乾燥室中停留 5 分鐘至 2 小時的時段。

【第7項】如申請專利範圍第 1 項所述之乾燥電極組件的方法，其中，所述乾燥空氣或惰性氣體使所述乾燥室恢復到大氣壓。

【第8項】如申請專利範圍第 1 項所述之乾燥電極組件的方法，其中，將步驟(4)和步驟(5)重複 2 次至 50 次。

【第9項】如申請專利範圍第 1 項所述之乾燥電極組件的方法，其中，所述至少一個陰極包括陰極集流器和陰極電極層，其中，在所述陰極集流器與所述陰極電極層之間的剝離強度是 0.25N/cm 或更大。

【第10項】如申請專利範圍第1項所述之乾燥電極組件的方法，其中，所述至少一個陽極包括陽極集流器和陽極電極層，其中，在所述陽極集流器與所述陽極電極層之間的剝離強度是 0.15N/cm 或更大。

【第11項】如申請專利範圍第1項所述之乾燥電極組件的方法，其中，基於所述乾燥的電極組件的總重量，所述乾燥的電極組件的含水量按重量計小於 20ppm。

【第12項】如申請專利範圍第1項所述之乾燥電極組件的方法，其中，基於至少一個乾燥的陽極和至少一個乾燥的陰極的總重量，在所述乾燥的電極組件中的所述至少一個陽極和所述至少一個陰極的含水量按重量計小於 20ppm。

【第13項】如申請專利範圍第1項所述之乾燥電極組件的方法，其中，基於至少一個乾燥的隔膜的總重量，在所述乾燥的電極組件中的所述至少一個隔膜的含水量按重量計小於 20ppm。

【第14項】如申請專利範圍第1項所述之乾燥電極組件的方法，其中，所述至少一個隔膜由選自由聚烯烴、聚縮醛、聚醯胺、聚碳酸酯、聚醯亞胺、聚醚醚酮、聚砜、聚苯醚、聚苯硫醚、聚丙烯腈、聚偏二氟乙烯、聚甲醛、聚乙烯吡咯烷酮、聚酯及其組合構成的群組中的聚合物纖維製成。

【第15項】如申請專利範圍第14項所述之乾燥電極組件的方法，其中，所述聚烯烴選自由聚乙烯、高密度聚乙烯、線性低密度聚乙烯、低密度聚乙烯、超高分子量聚乙烯、聚丙烯、聚丙烯/聚乙烯共聚物、聚丁烯、聚戊烯及其組合構成的群組。

【第16項】如申請專利範圍第14項所述之乾燥電極組件的方法，其中，所述聚酯選自由聚對苯二甲酸乙二醇酯、聚對苯二甲酸丁二醇酯、聚萘二甲酸乙二醇酯、聚萘二甲酸丁二醇酯及其組合構成的群組。

【第17項】如申請專利範圍第1項所述之乾燥電極組件的方法，其中，所述至少一個陽極和所述至少一個陰極中的每一者獨立地包括選自由丁苯橡膠、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、丙烯醯基橡膠、丁基橡膠、氟橡膠、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、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、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、海藻酸鹽及其組合構成的群組中的黏結劑材料。

【第18項】如申請專利範圍第 17 項所述之乾燥電極組件的方法，其中，所述氟橡膠選自由聚四氟乙烯、聚偏二氟乙烯、聚(偏二氟乙烯)-六氟丙烯及其組合構成的群組。

【第19項】如申請專利範圍第 17 項所述之乾燥電極組件的方法，其中，所述丙烯腈共聚物為丙烯腈-苯乙烯-丁二烯共聚物。

【第20項】如申請專利範圍第 1 項所述之乾燥電極組件的方法，其中，步驟(3)中所述乾燥室中的壓力被降低至小於 15kPa。

【第21項】如申請專利範圍第 1 項所述之乾燥電極組件的方法，其中，步驟(3)中所述乾燥室中的壓力被降低至小於 10kPa。

【第22項】如申請專利範圍第 1 項所述之乾燥電極組件的方法，其中，步驟(3)中所述乾燥室中的壓力被降低至小於 5kPa。

【第23項】如申請專利範圍第 1 項所述之乾燥電極組件的方法，其中，步驟(4)中所述電組件被進一步乾燥持續 30 分鐘至 2 小時的時段。

【第24項】如申請專利範圍第 1 項所述之乾燥電極組件的方法，其中，步驟(4)中所述乾燥室中的壓力小於 15kPa。

【第25項】如申請專利範圍第 1 項所述之乾燥電極組件的方法，其中，步驟(4)中所述乾燥室中的壓力小於 10kPa。

【第26項】如申請專利範圍第 1 項所述之乾燥電極組件的方法，其中，步驟(4)中所述乾燥室中的壓力小於 5kPa。

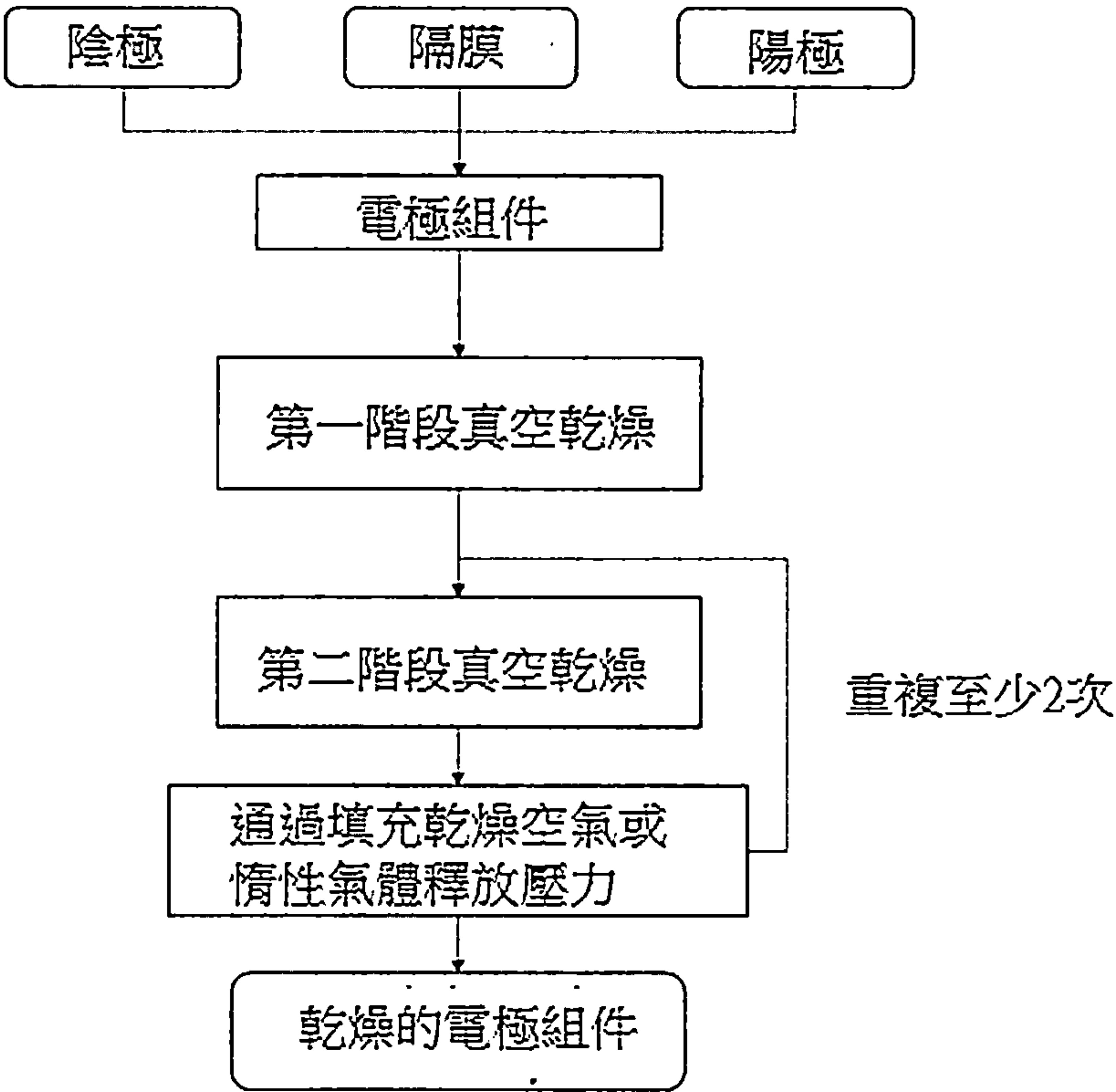
【第27項】如申請專利範圍第 1 項所述之乾燥電極組件的方法，其中，所述乾燥空氣或惰性氣體的溫度是 80°C 至 120°C。

【第28項】如申請專利範圍第 1 項所述之乾燥電極組件的方法，其中，所述乾燥空氣或惰性氣體在所述乾燥室中停留 15 分鐘至 30 分鐘的時段。

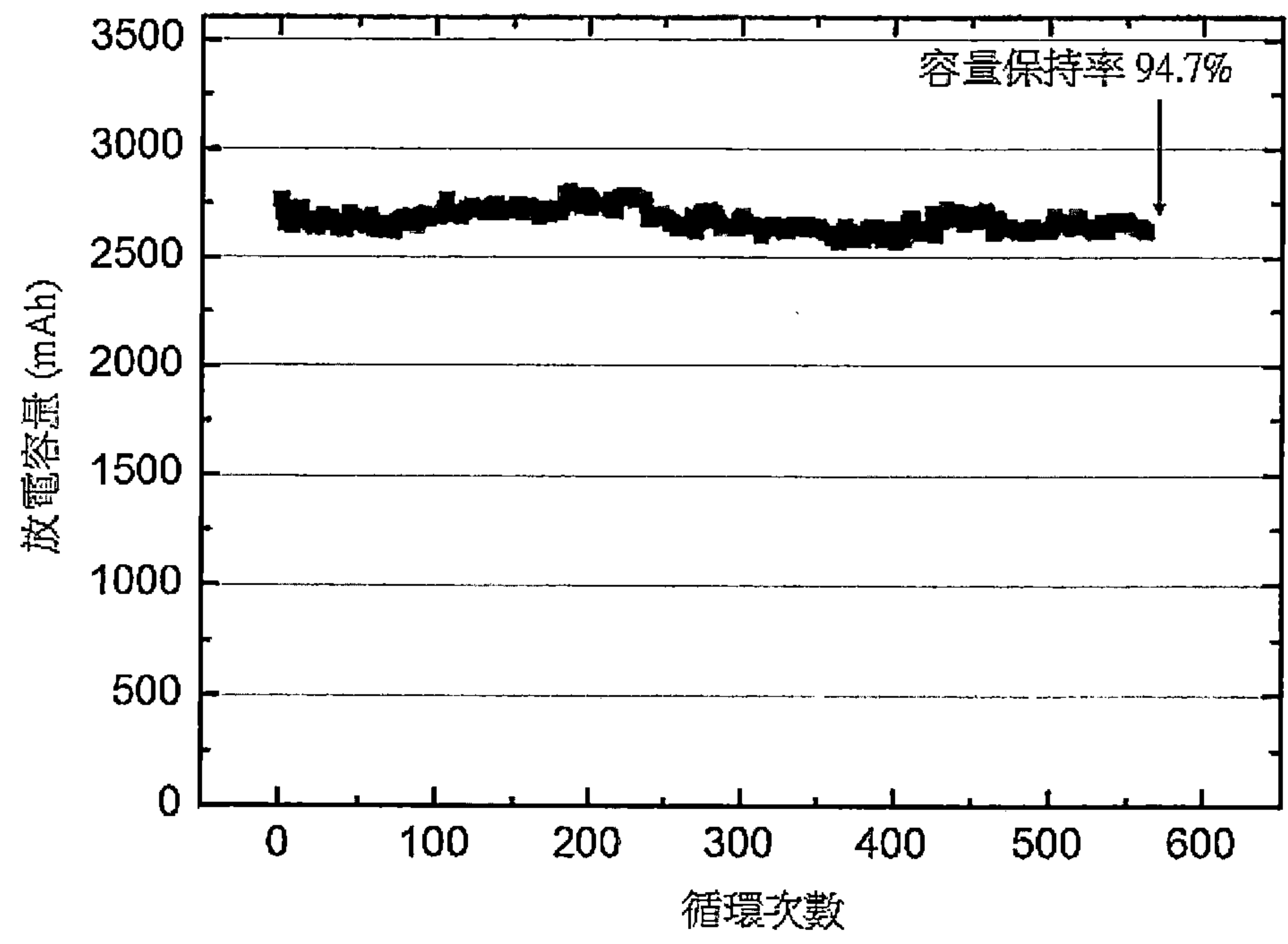
【第29項】如申請專利範圍第1項所述之乾燥電極組件的方法，其中，將步驟(4)和步驟(5)重複2次至30次。

【第30項】如申請專利範圍第1項所述之乾燥電極組件的方法，其中，將步驟(4)和步驟(5)重複2次至20次。

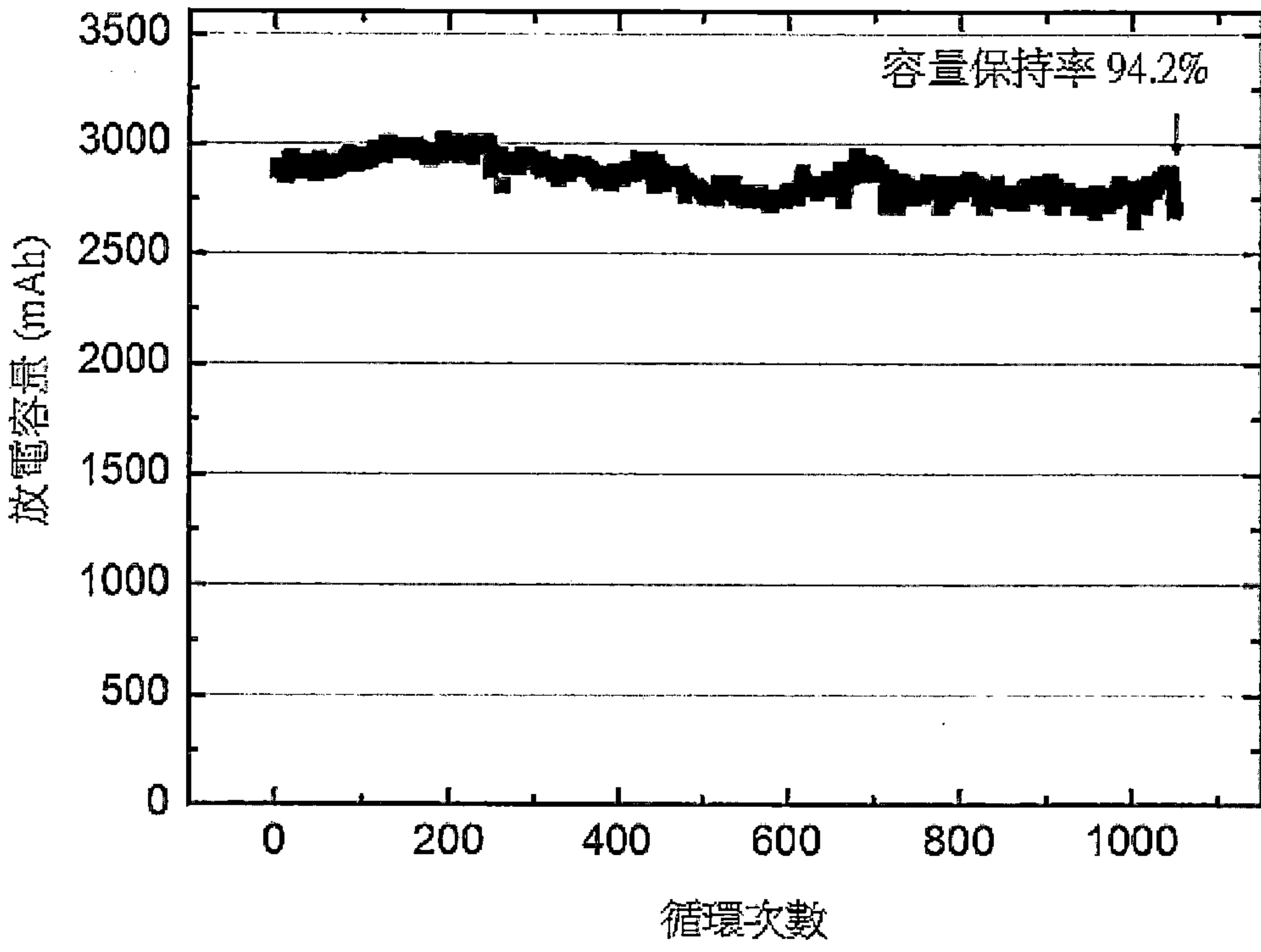
【發明圖式】



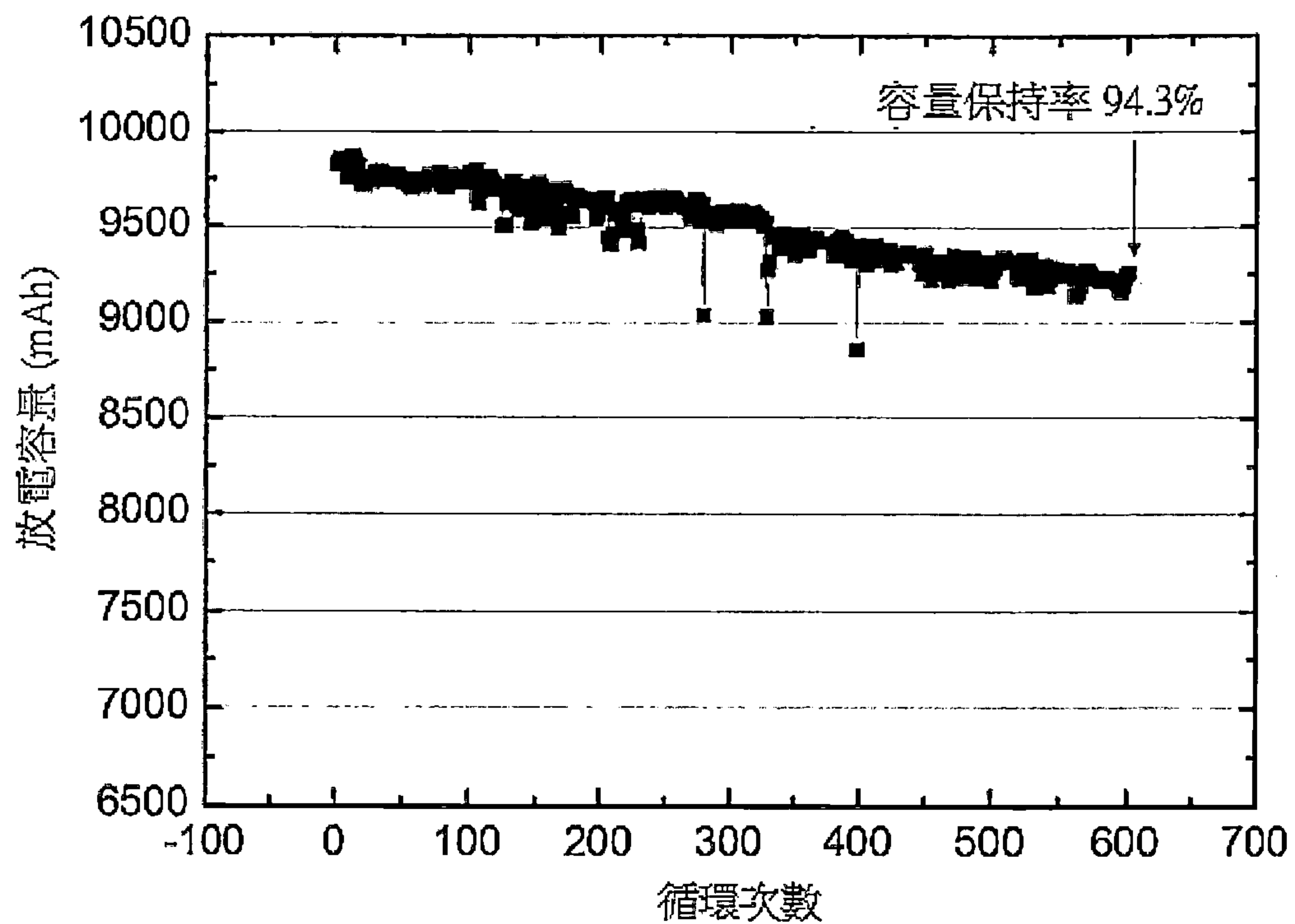
【圖1】



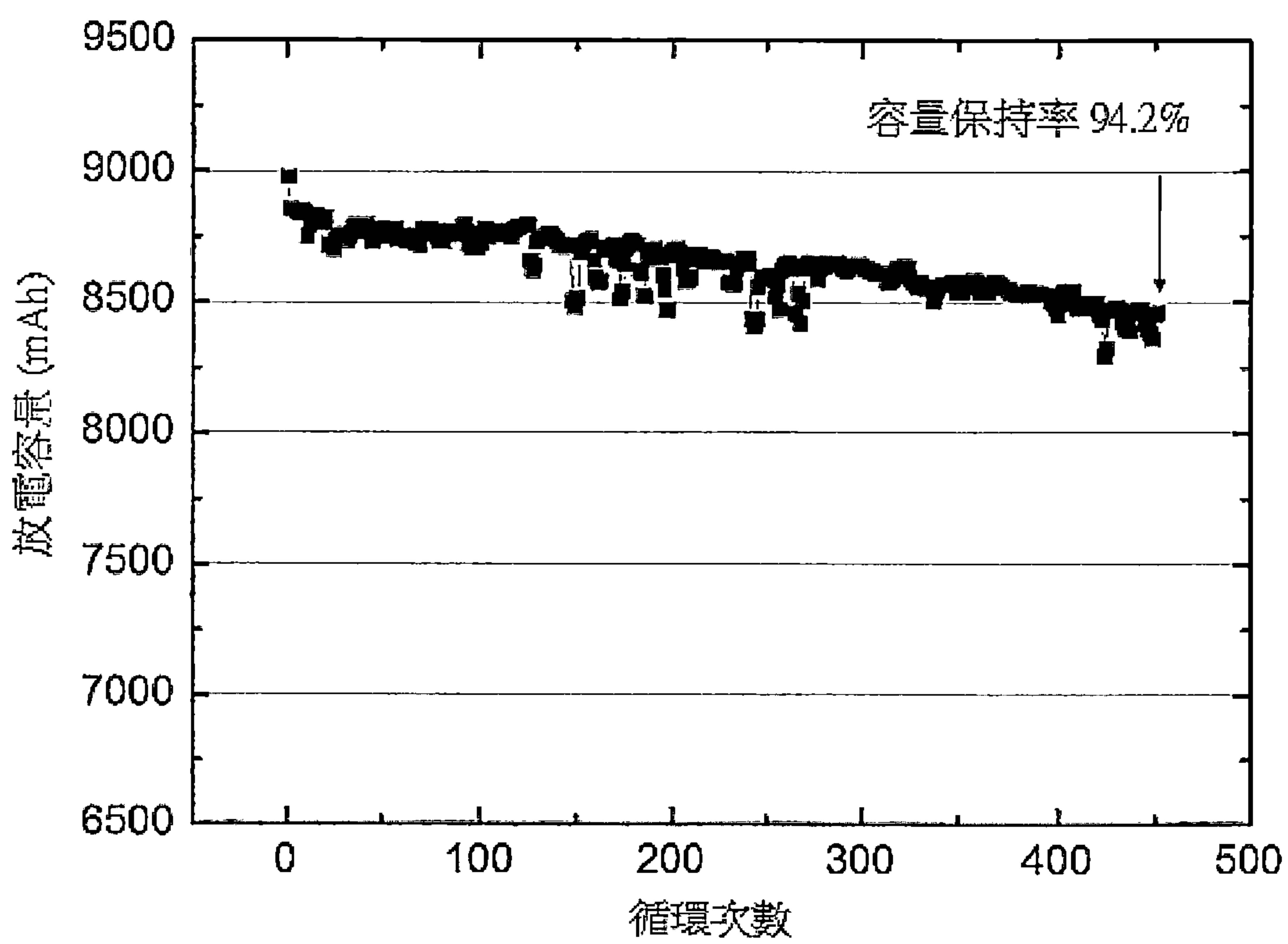
【圖2】



【圖3】



【圖4】



【圖5】