



(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 201230453 A1

(43)公開日：中華民國 101 (2012) 年 07 月 16 日

(21)申請案號：100132248

(22)申請日：中華民國 100 (2011) 年 09 月 07 日

(51)Int. Cl.：

H01M2/14 (2006.01)

H01M10/052 (2010.01)

(30)優先權：2010/09/30 美國

61/388,498

2011/09/02 美國

13/224,709

(71)申請人：應用材料股份有限公司 (美國) APPLIED MATERIALS, INC. (US)

美國

(72)發明人：奧利拉馬韓卓 C ORILALL, MAHENDRA C. (GF)；塔瓦爾萊曼 TALWAR, RAMAN (US)；布朗卡爾 M BROWN, KARL M. (GB)；楊泉 YANG, LU (CN)；柏藍迪佛曼 BOLANDI, HOOMAN (US)；彼比尼多維多 PEBENITO, VICTOR (US)；王品今 WANG, CONNIE P. (US)；貝奇拉奇羅柏特 Z BACHRACH, ROBERT Z. (US)

(74)代理人：蔡坤財；李世章

申請實體審查：無 申請專利範圍項數：20 項 圖式數：16 共 59 頁

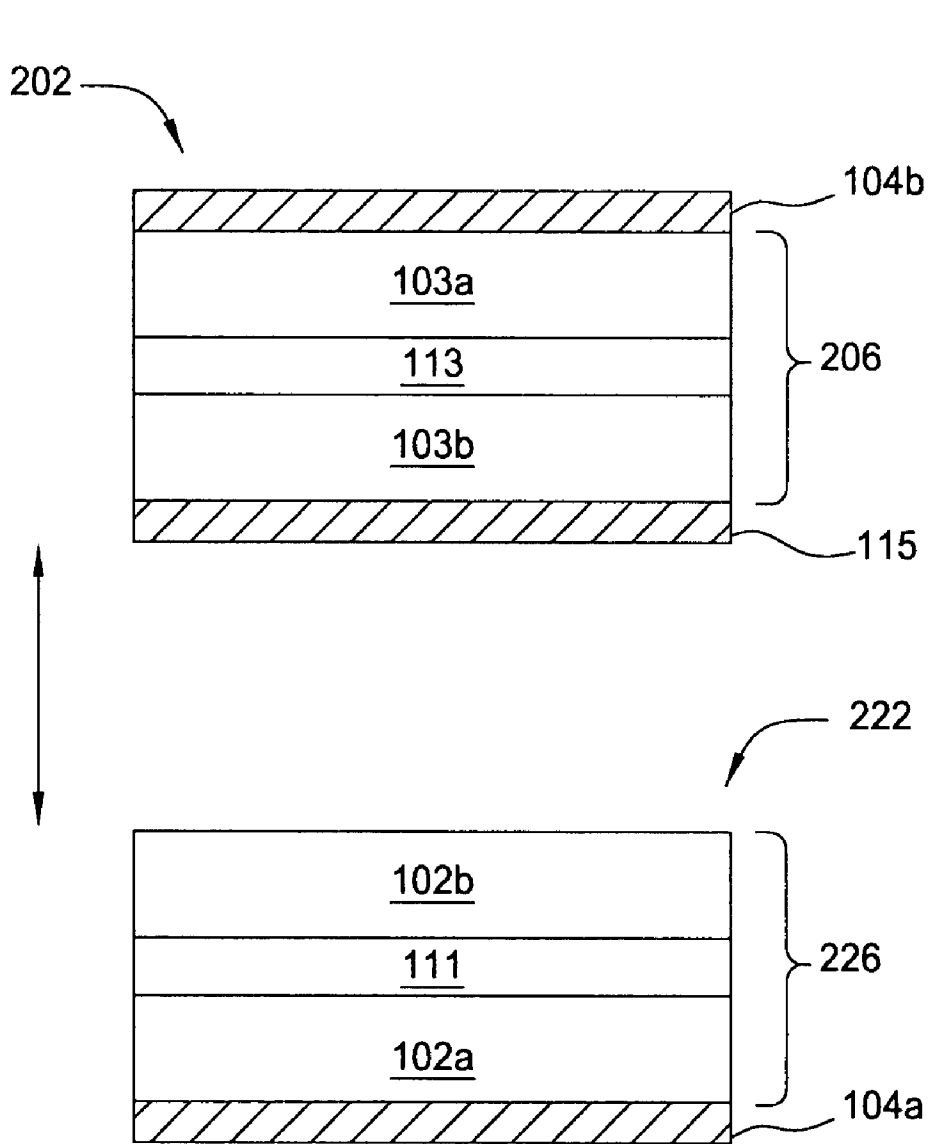
(54)名稱

電紡絲鋰離子電池的整合隔離件

ELECTROSPINNING FOR INTEGRATED SEPARATOR FOR LITHIUM-ION BATTERIES

(57)摘要

本發明的實施例大體上關於鋰離子電池，並且更特別地關於具有整合隔離件的電池與製造此種電池的方法。在一實施例中，提供一種鋰離子電池，鋰離子電池具有電極結構。鋰離子電池包含：陽極堆疊；陰極堆疊；及多孔電紡絲聚合物隔離件，多孔電紡絲聚合物隔離件包含奈米纖維骨幹結構。陽極堆疊包含：陽極電流收集器；及陽極結構，陽極結構被形成在陽極電流收集器的第一表面上方。陰極堆疊包含：陰極電流收集器；及陰極結構，陰極結構被形成在陰極電流收集器的第一表面上方。多孔電紡絲聚合物隔離件位在陽極結構與陰極結構之間。



- 102a：第一陽極結構
- 102b：第二陽極結構
- 103a：第一陰極結構
- 103b：第二陰極結構
- 104a：隔離件層
- 104b：隔離件層
- 111：電流收集器
- 113：電流收集器
- 115：電紡絲隔離件
- 202：陰極堆疊
- 206：陰極結構
- 222：陽極堆疊
- 226：陽極結構



(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 201230453 A1

(43)公開日：中華民國 101 (2012) 年 07 月 16 日

(21)申請案號：100132248

(22)申請日：中華民國 100 (2011) 年 09 月 07 日

(51)Int. Cl.：

H01M2/14 (2006.01)

H01M10/052 (2010.01)

(30)優先權：2010/09/30 美國

61/388,498

2011/09/02 美國

13/224,709

(71)申請人：應用材料股份有限公司 (美國) APPLIED MATERIALS, INC. (US)

美國

(72)發明人：奧利拉馬韓卓 C ORILALL, MAHENDRA C. (GF)；塔瓦爾萊曼 TALWAR, RAMAN (US)；布朗卡爾 M BROWN, KARL M. (GB)；楊泉 YANG, LU (CN)；柏藍迪佛曼 BOLANDI, HOOMAN (US)；彼比尼多維多 PEBENITO, VICTOR (US)；王品今 WANG, CONNIE P. (US)；貝奇拉奇羅柏特 Z BACHRACH, ROBERT Z. (US)

(74)代理人：蔡坤財；李世章

申請實體審查：無 申請專利範圍項數：20 項 圖式數：16 共 59 頁

(54)名稱

電紡絲鋰離子電池的整合隔離件

ELECTROSPINNING FOR INTEGRATED SEPARATOR FOR LITHIUM-ION BATTERIES

(57)摘要

本發明的實施例大體上關於鋰離子電池，並且更特別地關於具有整合隔離件的電池與製造此種電池的方法。在一實施例中，提供一種鋰離子電池，鋰離子電池具有電極結構。鋰離子電池包含：陽極堆疊；陰極堆疊；及多孔電紡絲聚合物隔離件，多孔電紡絲聚合物隔離件包含奈米纖維骨幹結構。陽極堆疊包含：陽極電流收集器；及陽極結構，陽極結構被形成在陽極電流收集器的第一表面上方。陰極堆疊包含：陰極電流收集器；及陰極結構，陰極結構被形成在陰極電流收集器的第一表面上方。多孔電紡絲聚合物隔離件位在陽極結構與陰極結構之間。

六、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明的實施例大體上關於高容量的能量儲存裝置，並且更特別地關於具有整合隔離件的電池與製造此種電池的方法。

【先前技術】

快速充電的高容量的能量儲存裝置(諸如超級電容與鋰離子電池)用在成長數量的應用中，包括用在可攜式電子裝置、醫療、運輸、格柵連接的大能量儲存、可更新的能量儲存、與不斷電系統(UPS)。

典型地，鋰離子電池包括陽極電極、陰極電極與隔離件，隔離件位在陽極電極與陰極電極之間。隔離件是在陽極與陰極電極之間提供實體與電性分離的電子絕緣體。典型地，隔離件是由微多孔乙烯與聚烯烴製成，並且隔離件在一個別的製造步驟中被施加。在電化學反應期間(即在充電與放電期間)，經由電解質將鋰離子輸送通過兩電極之間的隔離件中的細孔。因此，期望具有高孔隙度以增加離子導電率。然而，當循環期間所形成的鋰樹突(lithium dendrites)在電極之間產生短路時，一些高孔隙度的隔離件易遭受短路。

目前，電池單元製造業者購買隔離件，接著該些隔離件在個別處理步驟中隨同陽極與陰極被壓疊在一起。其

他隔離件是藉由聚合物的濕式或乾式擠出且接著被伸展以在聚合物中產生孔洞(裂縫)而製成。隔離件亦是鋰離子電池中最昂貴的部件之一且佔電池單元的材料成本的超過 20%。

對於大部分的能量儲存應用，能量儲存裝置的充電時間與容量是重要的參數。此外，此種能量儲存裝置的尺寸、重量與/或耗費會是明顯的限制。電流隔離件的使用具有許多缺失。也就是說，此種材料限制了從此種材料所建構的電極的最小尺寸、遭受電性短路、需要複雜的製造方法與昂貴的材料。

所以，此技術領域中需要可更快速地充電的具有更高容量的能量儲存裝置，該些能量儲存裝置具有更小、更輕的隔離件，並且該些能量儲存裝置能以更符合經濟效益的方式來製造。

【發明內容】

本發明的實施例大體上關於高容量的能量儲存裝置，並且更特別地關於具有整合隔離件的電池與製造此種電池的方法。在一實施例中，提供一種鋰離子電池，鋰離子電池具有電極結構。鋰離子電池包含：陽極堆疊；陰極堆疊；及多孔電紡絲聚合物隔離件，多孔電紡絲聚合物隔離件包含一奈米纖維骨幹結構。陽極堆疊包含：陽極電流收集器；及陽極結構，陽極結構被形成在陽極電

流收集器的第一表面上方。陰極堆疊包含：陰極電流收集器；及陰極結構，陰極結構被形成在陰極電流收集器的第一表面上方。多孔電紡絲聚合物隔離件位在陽極結構與陰極結構之間。

在另一實施例中，提供一種形成電極結構的方法。此方法包含下列步驟：提供第一電極結構；及將奈米纖維骨幹結構直接地電紡絲在第一電極結構的表面上，以形成多孔電紡絲聚合物隔離件。

在又另一實施例中，提供一種用於在撓性導電基材上方形成整合隔離件的線上基材處理系統。線上基材處理系統包含：微結構形成腔室，微結構形成腔室用於在撓性導電基材上方形成電極結構的至少一部分；電紡絲腔室，電紡絲腔室用於直接地在電極結構上形成多孔電紡絲聚合物隔離件的至少一部分；及基材傳送機構，基材傳送機構設以在此等腔室之間傳送撓性導電基材。基材傳送機構包含：饋送筒，饋送筒設置在各個腔室的處理容積的外面，並且饋送筒設以將撓性導電基材的一部分保持在各個腔室的處理容積內；及接取筒，接取筒設置在處理容積的外面，並且接取筒設以將撓性導電基材的一部分保持住，其中基材傳送機構設以致動饋送筒與接取筒以將撓性導電基材移動進與出各個腔室，並且基材傳送機構將撓性導電基材保持在各個腔室的處理容積中。

【實施方式】

本發明的實施例大體上關於高容量的能量儲存裝置，並且更特別地關於具有整合隔離件的電池與製造此種電池的方法。在特定實施例中，提供電紡絲整合隔離件在電池電極上的直接沉積。隔離件可以是能達到低成本的單層或能達到效能改善的多層。電紡絲隔離件可包含多孔聚合物。電紡絲聚合物可包含多種聚合物。多孔聚合物可包含聚合物纖維，該些聚合物纖維直接地被電紡絲在諸如陰極與/或陽極的電極上。電紡絲隔離件還可包含陶瓷微粒。陶瓷微粒可以併同聚合物纖維被共沉積。隨後，陶瓷聚合物被沉積在多孔聚合物結構的細孔中。在將聚合物電紡絲的特定實施例中，聚合物可具有隨機或「似義大利麵條(spaghetti-like)」的網路。陶瓷微粒可被沉積在多孔的「似義大利麵條」的網路的細孔內。此種聚合物纖維的一實例包括半結晶的聚醯胺，諸如熔點溫度(T_m)為約 250°C 的耐綸-6,6。另一實例是熔點溫度為約 170°C 的聚偏二氟乙烯(PVDF)纖維。另一實例是諸如 PVDF-HFP(聚偏二氟乙烯+六氟丙烯)的共聚物。可將塗覆的陰極結構和陽極結構壓疊在一起，以形成電池單元堆疊。

電紡絲是電性力量會產生噴流的技術，噴流源自聚合物溶液。噴流可源自毛細管的尖端或可在無針製程中導出。當施加足夠高的電壓到聚合物溶液的液滴或膜時，

液體的本體變成充電的，並且靜電排斥會抵消表面張力，並且液滴在液體流從表面噴出的臨界點處被伸展。此噴出點稱為泰勒錐(Taylor cone)。若液體的分子內聚力足夠高，則流分散不會發生(若流分散發生，則液滴會被電噴灑)且形成了一充電的液體噴流。隨著噴流在飛行中乾燥，電流流動模式從歐姆的改變成傳送的，此是因為電荷遷移到纖維的表面。接著，噴流被一攪打製程伸長，其中該攪打製程是由纖維中的小彎曲處所開始的靜電排斥而造成，直到噴流最後被沉積在一接地的收集器上。由此彎曲不穩定性所造成的纖維的伸長與薄化會導致具有奈米尺度直徑的均勻纖維的形成。

儘管特定設備(在此所述的實施例可被實施在該特定設備中)是沒有限制的，將實施例實施在美國加州聖大克勞拉市的應用材料公司所販售的網系筒-至-筒系統(web-based roll-to-roll system)上是特別有利的。示範的筒-至-筒與不連續的基材系統(在此所述的實施例可被實施在該示範的筒-至-筒與不連續的基材系統上)更詳細地被描述在共同受讓的美國專利申請案第 12/620,788 號(代理人卷號 APPM/012922/EES/AEP/ESONG)、共同受讓的美國專利申請案第 12/839,051 號(代理人卷號 APPM/014080/EES/AEP/ESONG)及共同受讓的美國專利申請案第 12/880,564 號(代理人卷號 APPM/015469/AEP/LES/ESONG)中，該美國專利申請案第 12/620,788 號授予給 Lopatin 等人且具有「APPARATUS AND

METHOD FOR FORMING 3D NANOSTRUCTURE ELECTRODE FOR ELECTROCHEMICAL BATTERY AND CAPACITOR」的發明名稱且現已被公開為 US 2010/0126849，該美國專利申請案第 12/839,051 號是在西元 2010 年 7 月 19 日提出申請而授予給 Bachrach 等人且具有「COMPRESSED POWDER 3D BATTERY ELECTRODE MANUFACTURING」的發明名稱且現已被公開為 US 2011/0129732，該美國專利申請案第 12/880,564 號是在西元 2010 年 9 月 13 日提出申請而授予給 Bachrach 等人且具有「SPRAY DEPOSITION MODULE FOR AN IN-LINE PROCESSING SYSTEM」的發明名稱，所有的該等美國專利申請案整體以引用之方式在此被併入本文。

會影響纖維形成的參數包括溶液性質(例如導電率、表面張力、黏度與彈性)、毛細管之間的距離、在毛細管尖端處的電位與外界環境參數(例如濕度、溶液溫度與空氣黏度)。

聚合物溶液或形成隔離件的溶液可包含被稀釋在溶劑系統中的一或更多種聚合物。示範的聚合物材料包括羧甲基纖維素(CMC)、耐綸-6,6、聚丙烯酸(PAA)、聚乙烯醇(PVA)、聚乳酸(PLA)、聚乙烯-共-醋酸乙烯酯、PEVA/PLA、聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)/四氫全氟丙烯酸辛酯(TAN)、聚氧乙烯(PEO)、聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)、聚醯胺(PA)、聚己內酯(PCL)、聚乙醯亞胺

(PEI)、聚己內醯胺、聚乙烯(PE)、聚乙烯對苯二甲酸酯(PET)、聚烯烴、聚苯醚(PPE)、聚氯乙烯(PVC)、聚偏二氯乙烯(PVDC)、聚偏二氟乙烯(PVDF)、聚(偏二氟乙烯-共-六氟丙烯)(PVDF-HFP)、聚乙烯吡啶、聚乳酸(PLA)、聚丙烯(PP)、聚丁烯(PB)、聚丁烯對苯二甲酸酯樹脂(PBT)、聚醯胺(PA)、聚醯亞胺(PI)、聚碳酸酯(PC)、聚四氟乙烯(PTFE)、聚苯乙烯(PS)、聚酯(PE)、丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物(ABS)、聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)、聚縮醛(POM)、聚砜(PES)、苯乙烯-丙烯腈共聚物(SAN)、聚丙烯腈(PAN)、苯乙烯-丁二烯橡膠(SBR)、乙烯醋酸乙烯酯(EVA)、苯乙烯-馬來酸酐共聚物(SMA)與上述的組合。聚合物可包含形成隔離件的溶液的總重量的約 0.5 wt.%至約 30 wt.%。

形成隔離件的溶液還包含一溶劑系統。溶劑系統可包含能溶解一或更多種聚合物成分的任何溶劑。示範的容易系統包括 N-甲基吡咯酮(NMP)、丙酮、乙烯乙酯、乙酸丙酯、水、甲酸、二甲基甲醯胺、二氯甲烷、四氫呋喃、異丙醇與上述的組合。溶劑系統可包含形成隔離件的溶液的剩餘部分。溶劑系統可包含形成隔離件的溶液的總重量的約 70 wt.%至約 99.5 wt.%。

形成隔離件的溶液還可包含無機成分。可從各種材料來選擇無機成分，該等各種材料和電池材料與併入有整合隔離件的化學相容。無機材料可以是陶瓷材料。示範的陶瓷材料包括 BaTiO_3 、 HfO_2 (二氧化鈦)、 SrTiO_3 、

TiO_2 (二氧化鈦)、 SiO_2 (二氧化矽)、 Al_2O_3 (氧化鋁)、 ZrO_2 (二氧化鋯)、 SnO_2 、 CeO_2 、 MgO 、 CaO 、 Y_2O_3 、 CaCO_3 、與上述的組合。在一實施例中，從包含 SiO_2 、 Al_2O_3 、 MgO 與上述的組合的群組中選擇陶瓷微粒。

可選擇陶瓷微粒的尺寸，而使得微粒尺寸小於聚合物纖維的直徑且微粒不會堵塞沉積系統。在特定實施例中，陶瓷微粒可具有約 5 nm 至約 0.3 μm 的微粒尺寸。微粒的直徑可小於 300 nm 或小於 100 nm 且更典型地為約 10-20 nm。陶瓷微粒的小微粒尺寸使得在循環過程期間所形成的鋰樹突更難以生長通過隔離件且造成短路。

可使用溶膠-凝膠製程將陶瓷微粒添加到聚合物溶液。在溶膠-凝膠製程中，將無機前驅物添加到聚合物溶液，並且該等無機前驅物反應而在聚合物溶液中形成陶瓷微粒。舉例而言，將諸如 TiCl_4 與 $\text{Ti}(\text{OH})_4$ 的無機前驅物添加到聚合物溶液，並且該等無機前驅物反應而形成 TiO_2 溶膠微粒。因此，用於陶瓷微粒的前驅物被添加到聚合物溶液。隨著前驅物混合，或在一些情況中，隨著前驅物需要加熱混合物或需要在纖維已經被電紡絲之後加熱纖維，陶瓷微粒可形成。加熱溫度將低於聚合物纖維的熔點溫度。

可從聚合物熔融物來形成聚合物纖維。在高溫會熔融的聚合物可用在熔融製程中。聚合物熔融物的電紡絲類似於將聚合物溶液電紡絲的製程，但是聚合物熔融物的電紡絲是被執行在真空環境中。典型地，充電的熔融噴

流基材(熔融物被沉積在該基材上)是在真空環境中被封裝。能以熔融形態被電紡絲的示範的聚合物包括聚乙烯(PE)、聚丙烯(PP)、耐綸-12、PA-12、聚乙烯對苯二甲酸酯(PET)、聚亞烯萘(PEN)、PET/PEN 混合物與上述的組合。

第 1A 圖是根據在此所述的實施例的部分的鋰離子電池單元雙層 100 的示意圖，鋰離子電池單元雙層 100 具有電紡絲隔離件 115。第 1B 圖是根據在此所述的實施例的部分的鋰離子電池單元 120 的示意圖，鋰離子電池單元 120 具有電紡絲隔離件。根據在此所述的一實施例，鋰離子電池單元 100、120 電連接到一負載 101。鋰離子電池單元雙層 100 的主要作用部件包括：陽極結構 102a、102b；陰極結構 103a、103b；隔離件層 104a、104b；電紡絲隔離件 115；電流收集器 111、113；及一電解質(未圖示)，電解質位在介於該等隔離件層 104a、104b 之間的區域內。鋰離子電池單元 120 的主要作用部件包括：陽極結構 102b；陰極結構 103b；電紡絲隔離件 115；電流收集器 111、113；及一電解質(未圖示)，電解質位在介於該等電流收集器 111、113 之間的區域內。各種材料可被用作為電解質，例如位在有機溶劑中的鋰鹽。可以電解質將鋰離子電池單元 100、120 密封在適當的封裝件中，其中該封裝件具有供電流收集器 111 與 113 所用的導線。陽極結構 102a、102b、陰極結構 103a、103b、電紡絲隔離件 115 與流體可滲透的隔離件層 104a、104b 被

浸沒在電解質中，其中電解質位在介於隔離件層 104a、104b 之間的區域中。應瞭解，圖上顯示部分的示範性結構，並且在特定實施例中，隔離件層 104a 與 104b 是以電紡絲隔離件層(類似於電紡絲隔離件層 115)來替換，接著是替換相應的陽極結構、陰極結構與電流收集器。

陽極結構 102b 與陰極結構 103b 作為鋰離子電池 100 的半單元。陽極結構 102b 包括一金屬陽極電流收集器 111 與一第一含電解質材料(諸如用於保留住鋰離子的碳系嵌入型主材料)。類似地，陰極結構 103b 包括一陰極電流收集器 113 與一第二含電解質材料(諸如用於保留住鋰離子的金屬氧化物)。電流收集器 111 與 113 是由諸如金屬的導電材料製成。在一實施例中，陽極電流收集器 111 包含銅，並且陰極電流收集器 113 包含鋁。在特定實施例中，電紡絲隔離件層 115 用於避免陽極結構 102b 與陰極結構 103b 中的部件之間的直接電接觸。

位在鋰離子電池單元 100、120 的陰極側或正電極上的含電解質多孔材料可包含一含鋰金屬氧化物，諸如二氧化鈷鋰(LiCoO_2)或二氧化錳鋰(LiMnO_2)。含電解質多孔材料可由層壓的氧化物(諸如氧化鈷鋰)、橄欖石(諸如磷酸鐵鋰)或尖晶石(諸如氧化錳鋰)製成。在非鋰的實施例中，示範的陰極可由二硫化鈦(TiS_2)製成。示範的含鋰氧化物可以是層壓的氧化物(諸如二氧化鈷鋰(LiCoO_2)或混合的金屬氧化物(諸如 $\text{LiNi}_x\text{Co}_{1-2x}\text{MnO}_2$ 、 $\text{LiNi}_{0.5}\text{Mn}_{1.5}\text{O}_4$ 、 $\text{Li}(\text{Ni}_{0.8}\text{Co}_{0.15}\text{Al}_{0.05})\text{O}_2$ 、 LiMn_2O_4)。示範

的磷酸鹽可以是鐵橄欖石 (LiFePO_4) 和其變形 (諸如 $\text{LiFe}_{1-x}\text{MgPO}_4$)、 LiMoPO_4 、 LiCoPO_4 、 LiNiPO_4 、 $\text{Li}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_3$ 、 LiVOPO_4 、 LiMP_2O_7 或 $\text{LiFe}_{1.5}\text{P}_2\text{O}_7$ 。示範的氟磷酸鹽可以是 LiVPO_4F 、 LiAlPO_4F 、 $\text{Li}_5\text{V}(\text{PO}_4)_2\text{F}_2$ 、 $\text{Li}_5\text{Cr}(\text{PO}_4)_2\text{F}_2$ 、 $\text{Li}_2\text{CoPO}_4\text{F}$ 或 $\text{Li}_2\text{NiPO}_4\text{F}$ 。示範的矽酸鹽可以是 $\text{Li}_2\text{FeSiO}_4$ 、 $\text{Li}_2\text{MnSiO}_4$ 或 $\text{Li}_2\text{VOSiO}_4$ 。示範的非鋰化合物是 $\text{Na}_5\text{V}_2(\text{PO}_4)_2\text{F}_3$ 。

位在鋰離子電池單元 100、120 的陽極側或負極上的含電解質多孔材料可由上述的材料 (例如被分散在聚合物母體中的石墨微粒，與/或各種細微粉末 (例如微尺度或奈米尺度尺寸的粉末)) 製成。此外，矽、錫或鈦酸鋰 ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$) 的微珠可併同石墨微珠來使用或用於取代石墨微珠，以提供導電核心陽極材料。示範的陰極材料、陽極材料與應用方法進一步地被描述在共同受讓的美國專利申請案第 12/839,051 號 (代理人卷號 APPM/014080/EES/AEP/ESONG) 與共同受讓的美國專利申請案第 12/953,134 號 (代理人卷號 APPM/014493/LES/AEP/ESONG) 中，該美國專利申請案第 12/839,051 號是在西元 2010 年 7 月 19 日提出申請且具有「COMPRESSED POWDER 3D BATTERY ELECTRODE MANUFACTURING」的發明名稱且現已被公開為 US 2011/0129732，該美國專利申請案第 12/953,134 號是在西元 2010 年 1 月 13 日提出申請且具有「GRADED ELECTRODE TECHNOLOGIES FOR HIGH

ENERGY LITHIUM-ION BATTERIES」的發明名稱且現已被公開為 US 2011/0168550，此兩美國專利申請案整體以引用之方式在此被併入本文。應瞭解，儘管第 1 圖圖示一鋰離子電池單元雙層 100，在此所述的實施例不局限在鋰離子電池單元雙層結構。亦應瞭解，陽極與陰極結構可以串聯或並聯的方式連接。

第 2 圖是陰極堆疊 202 與陽極堆疊 222 的一實施例的剖視圖，陰極堆疊 202 與陽極堆疊 222 具有根據在此所述的實施例而形成的電紡絲聚合物隔離件。第 3 圖是製程流程圖，該製程流程圖概述用於根據在此所述的實施例而形成第 2 圖的陰極堆疊 202 與陽極堆疊 222 的方法 300 的一實施例，陰極堆疊 202 與陽極堆疊 222 具有位在陰極堆疊 202 與陽極堆疊 222 之間的電紡絲隔離件 115。在一實施例中，陰極堆疊 202 包含雙層陰極結構 206、隔離件層 104b 與電紡絲隔離件 115。

在方塊 302，形成雙層陰極結構 206。在一實施例中，雙層陰極結構 206 包含一第一陰極結構 103a、一陰極電流收集器 113 與一第二陰極結構 103b，如第 2 圖所示。在一實施例中，陰極堆疊 202 包含單一層陰極結構，如第 1B 圖所示。

陰極結構 103a、103b 可包含用於保留住鋰離子的任何結構。在特定實施例中，陰極結構 103a、103b 在整個陰極電極結構中具有級化微粒尺寸。在特定實施例中，陰極結構 103a、103b 包含多層結構，其中該等層包含具有

不同尺寸與/或性質的陰極活性材料。示範的陰極結構被描述在共同受讓的美國專利申請案第 12/953,134 號(代理人卷號 APPM/014493/LES/AEP/ESONG)中，該美國專利申請案第 12/953,134 號是在西元 2010 年 1 月 13 日提出申請且具有「GRADED ELECTRODE TECHNOLOGIES FOR HIGH ENERGY LITHIUM-ION BATTERIES」的發明名稱且現已被公開為 US 2011/0168550。

在一實施例中，陰極結構 103a、103b 包含多孔結構，該多孔結構包含陰極活性材料。在一實施例中，陰極活性材料選自包含下述化合物的群組：二氧化鈷鋰 (LiCoO_2)、二氧化錳鋰 (LiMnO_2)、二硫化鈦 (TiS_2)、 $\text{LiNi}_x\text{Co}_{1-2x}\text{MnO}_2$ 、 LiMn_2O_4 、 LiFePO_4 、 $\text{LiFe}_{1-x}\text{MgPO}_4$ 、 LiMoPO_4 、 LiCoPO_4 、 $\text{Li}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_3$ 、 LiVOPO_4 、 LiMP_2O_7 、 $\text{LiFe}_{1.5}\text{P}_2\text{O}_7$ 、 LiVPO_4F 、 LiAlPO_4F 、 $\text{Li}_5\text{V}(\text{PO}_4)_2\text{F}_2$ 、 $\text{Li}_5\text{Cr}(\text{PO}_4)_2\text{F}_2$ 、 $\text{Li}_2\text{CoPO}_4\text{F}$ 、 $\text{Li}_2\text{NiPO}_4\text{F}$ 、 $\text{Na}_5\text{V}_2(\text{PO}_4)_2\text{F}_3$ 、 $\text{Li}_2\text{FeSiO}_4$ 、 $\text{Li}_2\text{MnSiO}_4$ 、 $\text{Li}_2\text{VOSiO}_4$ 、 LiNiO_2 與上述的組合。在一實施例中，陰極結構還包含黏結劑，該黏結劑選自包含下述化合物的群組：聚偏二氟乙烯(PVDF)、羧甲基纖維素(CMC)與水溶性黏結劑，諸如苯乙烯-丁二烯橡膠(SBR)、導電黏結劑、與其他低或非溶劑型黏結劑。

在一實施例中，可使用粉末施加技術來施加陰極結構，粉末施加技術包括但不限於篩選技術、靜電噴灑技術、熱或火焰噴灑技術、電漿噴灑技術、流體化床塗覆技術、狹縫塗覆技術、筒塗覆技術與上述的組合，所有

的該些技術對於熟習此技術領域的人士是已知的。在特定實施例中，陰極電極具有級化孔隙度，以致孔隙度在整個陰極電極結構中會改變。在形成有雙側雙層電極(如第 2 圖所示的雙層陰極結構 206)的特定實施例中，可使用雙側沉積製程將陰極結構 103a 與陰極結構 103b 同時地沉積在陰極電流收集器 113 的相對側上。舉例而言，雙側靜電噴灑製程是使用相對噴灑施加器，以沉積陰極活性材料在基材的相對側上。雙側靜電噴灑腔室的示範的實施例被揭示在共同受讓的美國專利申請案第 12/880,564 號中，該美國專利申請案第 12/880,564 號具有「SPRAY DEPOSITION MODULE FOR AN IN-LINE PROCESSING SYSTEM」的發明名稱且是在西元 2010 年 9 月 13 日提出申請而授予給 Bachrach 等人。

在方塊 304 中，一多孔電紡絲隔離件 115 可被沉積在陰極結構 206 的表面上。可使用第 4 至 8 圖中所描述的任何方法來沉積電紡絲隔離件 115。多孔電紡絲隔離件 115 包含一或更多種聚合物。

多孔電紡絲隔離件還可包含無機填料或陶瓷微粒。示範的陶瓷微粒包括 $\text{Pb}(\text{Zr},\text{Ti})\text{O}_3$ (PZT)、 $\text{PB}(\text{Mg}_3\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ -- PbTiO_3 (PMN-PT)、 BaTiO_3 、 HfO_2 (二氧化鈦)、 SrTiO_3 、 TiO_2 (二氧化鈦)、 SiO_2 (二氧化矽)、 Al_2O_3 (氧化鋁)、 ZrO_2 (二氧化鋯)、 SnO_2 、 CeO_2 、 MgO 、 CaO 、 Y_2O_3 、 CaCO_3 與上述的組合。在一實施例中，陶瓷微粒選自包含下述化合物的群組： SiO_2 、 Al_2O_3 、 MgO

與上述的組合。在特定實施例中，陶瓷微粒可具有約 50 nm 至約 0.5 μm

的微粒尺寸。陶瓷微粒的小微粒尺寸使得在循環過程期間所形成的鋰樹突更難以生長通過隔離件且造成短路。在特定實施例中，陶瓷微粒漿還可包含黏結劑，黏結劑選自 PVDF、羧甲基纖維素(CMC)與苯乙烯-丁二烯橡膠(SBR)。在一實施例中，整合電紡絲隔離件 115 包含約 10-60 wt.%的黏結劑，而剩餘部分是陶瓷微粒。

電紡絲隔離件可包含奈米纖維，該等奈米纖維的直徑為約 50 nm 至 1000 nm，例如 100 nm 至 200 nm。電紡絲隔離件的厚度可為約 1 μm 至約 100 μm ，例如約 1 μm 至約 20 μm 。電紡絲隔離件的孔隙度可為約 40%至約 90%(相較於由相同材料所形成的實心膜而言)。

在方塊 306 中，形成陽極堆疊 222。在一實施例中，陽極堆疊 222 包含一雙層陽極結構 226 與一隔離件 104。在一實施例中，雙層陽極結構 226 包含一第一陽極結構 102a、一陽極電流收集器 111 與一第二陽極結構 102b，如第 2 圖所示。在一實施例中，陽極堆疊 222 包含單一層陽極結構，如第 1B 圖所示。

在一實施例中，陽極結構 102a、102b 可以是碳系多孔結構(石墨或硬碳)而具有約 5-15 μm 的微粒尺寸。在一實施例中，鋰嵌入型碳陽極被分散在聚合黏結劑的母體中。可添加碳黑，以提升功率效能。用於黏結劑母體的聚合物是由熱塑型聚合物或其他聚合物(包括具有橡膠

彈性的聚合物)製成。聚合黏結劑用於將活性材料粉末黏結在一起，以避免裂縫形成且促進對收集器箔的黏附。聚合黏結劑的量可位在 1 wt.%至 40 wt.%。陽極結構 102a、102b 的含電解質多孔材料可由上述的材料(例如被分散在聚合物母體中的石墨微粒，與/或各種細微粉末(例如微尺度或奈米尺度尺寸的粉末))製成。此外，矽、錫或鈦酸鋰($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$)的微珠可併同石墨微珠來使用或用於取代石墨微珠，以提供導電核心陽極材料。

在一實施例中，陽極結構包含導電微結構，導電微結構是藉由使用在高於限制電流(i_L)的電流密度下的高鍍覆速率電鍍製程所進行的三維柱狀材料生長而形成。導電微結構是藉由擴散受限的電化學鍍覆製程來形成，其中電鍍限制電流被符合或被超過，藉此產生低密度的金屬中等多孔/柱狀結構，而不是產生傳統的高密度的共形膜。藉由在此所述的實施例可設想出不同組態的導電微結構。導電微結構可包含材料，該等材料選自包含下述元素的群組：銅、錫、矽、鈷、鈦、上述的合金與上述的組合。用於形成導電微結構的示範的鍍覆溶液與製程條件被描述在共同受讓的美國專利申請案第 12/696,422 號中，該美國專利申請案第 12/696,422 號是在西元 2010 年 1 月 29 日提出申請而授予給 Lopatin 等人且具有「POROUS THREE DIMENSIONAL COPPER, TIN, COPPER-TIN, COPPER-TIN-COBALT, AND COPPER-TIN-COBALT-TITANIUM ELECTRODES FOR

BATTERIES AND ULTRA CAPACITORS」的發明名稱，該美國專利申請案第 12/696,422 號整體以引用之方式在此被併入本文。

在一實施例中，電流收集器 111 與 113 可包含材料，該材料個別地選自包含下述元素的群組：鋁(Al)、銅(Zn)、鎳(Ni)、鈷(Co)、錫(Sn)、矽(Si)、錳(Mn)、鎂(Mg)、上述的合金與上述的組合。在一實施例中，陰極電流收集器 113 是鋁，並且陽極電流收集器 111 是銅。用於正電流收集器 113(陰極)的材料的實例包括鋁、不銹鋼與鎳。用於負電流收集器 111(陽極)的材料的實例包括銅(Cu)、不銹鋼與鎳(Ni)。此種收集器可具有箔、膜或薄板的外形。在特定實施例中，該等收集器的厚度大體上為約 5 μm 至約 50 μm 。

在方塊 308 中，一多孔電紡絲隔離件 115 可被沉積在陽極結構 226 的表面上。可使用第 4 至 8 圖中所述的任何方法來沉積電紡絲隔離件 115。在方塊 308 中，於將陽極堆疊 222 與陰極堆疊 202 接合在一起之前，電紡絲隔離件可被沉積在陰極堆疊 202、陽極堆疊 222 或此兩者上。

在方塊 310 中，陰極堆疊 202 與陽極堆疊 222 被接合在一起，而陰極堆疊 202 與陽極堆疊 222 之間形成有電紡絲隔離件。在一實施例中，可使用壓疊製程以一封裝膜-箔(諸如 Al/Al₂O₃ 箔)來將陰極堆疊 202 與陽極堆疊 222 予以封裝。

第 4 圖是製程流程圖，該製程流程圖概述用於根據在此所述的實施例而形成電紡絲整合隔離件的另一方法 400 的一實施例。在方塊 402 中，將一包含第一聚合物材料的聚合物骨幹結構電紡絲在陽極結構或陰極結構的表面上。在方塊 404 中，使用電紡絲或電噴灑製程將一第二聚合物材料形成在聚合物骨幹結構的上方，以形成整合聚合物隔離件 115。第二聚合物材料可用以增強或強化該包含第一聚合物材料的聚合物骨幹結構。

第 5 圖是製程流程圖，該製程流程圖概述用於根據在此所述的實施例而形成電紡絲整合隔離件的另一方法 500 的一實施例。在方塊 502 中，將一第一聚合物材料與一第二聚合物材料同時地電紡絲在陽極結構的表面上或在陰極結構的表面上。

在使用多種聚合物材料的特定實施例中，第一聚合物材料層可包含具有高熔點溫度(T_m)(例如大於 200°C)的聚合物材料，並且第二聚合物材料層可包含具有低熔點溫度(T_m)(例如小於 140°C)的聚合物材料。在一實施例中，第一聚合物材料層包含具有高熔點溫度的聚合物材料，該具有高熔點溫度的聚合物材料選自包含聚醯胺 6,6 的群組。在一實施例中，第二聚合物材料層包含較低熔點溫度的聚合物(諸如 T_m 為約 150°C 的 SBR)。因此，在熱迅速飛漲的期間，較低熔點溫度的聚合物線會被熔化且被熔融在一起，降低了層中的孔隙度且因而減緩了鋰離子傳送和相關的電化學反應。

第 6 圖是製程流程圖，該製程流程圖概述用於根據在此所述的實施例而形成電紡絲整合隔離件的另一方法 600 的一實施例。在方塊 602 中，將一包含第一聚合物材料的聚合物骨幹結構電紡絲在陽極結構的表面上或在陰極結構的表面上。在方塊 604 中，使用例如電噴灑製程將陶瓷材料沉積在聚合物骨幹結構上方，以形成整合聚合物隔離件 115。

第 7 圖是製程流程圖，該製程流程圖概述用於根據在此所述的實施例而形成電紡絲整合隔離件的另一方法 700 的一實施例。在方塊 702 中，將摻雜有陶瓷微粒的一聚合物材料同時地電紡絲在陽極結構或陰極結構的表面上。在電紡絲製程之前，可將陶瓷微粒與聚合物溶液混合。

在隔離件 115 包含陶瓷微粒的實施例中，可藉由直接地電紡絲、直接地噴灑或塗覆一陶瓷微粒漿到陰極結構 103a、103b 或陽極結構 102a、102b 的表面上來沉積陶瓷微粒。

在一實施例中，使用粉末施加技術來將陶瓷微粒施加成粉末，粉末施加技術包括但不限於篩選技術、靜電噴灑技術、熱或火焰噴灑技術、電漿噴灑技術、流體化床塗覆技術、狹縫塗覆技術、筒塗覆技術與上述的組合，所有的該些技術對於熟習此技術領域的人士是已知的。在一實施例中，噴灑製程是一半乾噴灑製程，其中基材在噴灑製程之前被加熱以促進所沉積的各個層的乾燥。

第 8 圖是製程流程圖，該製程流程圖概述用於根據在此所述的實施例而形成電紡絲整合隔離件的另一方法 800 的一實施例。在方塊 802 中，一含聚合物液體混合物被沉積在陽極結構與/或陰極結構上。含聚合物液體混合物可以是如在此所述的聚合物溶液或聚合物熔融體。在方塊 804 中，以超聲波或超音波將含聚合物液體混合物攪拌，以在含聚合物液體混合物內產生駐波。在方塊 806 中，施加電壓到經超聲波攪拌的含聚合物液體混合物，以將聚合物材料電紡絲在陰極結構與/或陽極結構的表面上。咸信，超聲波攪拌的使用會從含聚合物液體混合物產生多個噴流，因而導致電紡絲製程的沉積速率的增加。

第 9 圖是製程流程圖，該製程流程圖概述用於根據在此所述的實施例而形成電紡絲整合隔離件的另一方法 900 的一實施例。在方塊 902 中，一含聚合物液體混合物被沉積在平行於陽極表面或陰極表面的一表面上。在方塊 904 中，以超聲波或超音波將含聚合物液體混合物攪拌，以在含聚合物液體混合物內產生駐波。在方塊 906 中，施加電壓到經超聲波攪拌的含聚合物液體混合物，以將此聚合物材料電紡絲在陰極結構的表面與/或陽極結構的表面上。

第 10 圖是製程流程圖，該製程流程圖概述用於根據在此所述的實施例而形成電紡絲整合隔離件的另一方法 1000 的一實施例。在方塊 1002 中，一含聚合物液體混

合物被沉積在平行於陽極結構表面或陰極結構表面的一表面上。在方塊 1004 中，施加電壓到含聚合物液體混合物，以將此聚合物材料電紡絲在陽極結構或陰極結構的表面上。

第 11 圖示意地圖示設備 1100 的一實施例，設備 1100 用於根據在此所述的實施例而將一整合隔離件電紡絲在電極表面上。設備 1100 可位在真空環境中。在注射器 1104 中的含聚合物液體混合物 1102 被推擠通過金屬針 1106，金屬針 1106 與電壓供應器 1110 耦接。電壓供應器可設以供應約 5 kV 至 120 kV 到金屬針 1106 的尖端。電壓供應器可設以供應約 30 kV 至 120 kV 到金屬針 1106 的尖端。電壓供應器可取決於諸如所使用的聚合物的類型、希望的細孔尺寸與生產速率的因素。

從金屬針 1106 的尖端朝向電極結構 1116 的接地表面 1114 放射出一聚合物噴流 1112。噴流被一攪打製程伸長，其中該攪打製程是由纖維中的小彎曲處所開始的靜電排斥而造成，直到噴流最後被沉積在電極結構 1116 的接地表面 1114 上。可藉由調整聚合物溶液中的溶劑濃度、調整金屬針 1106 的尖端與電極結構的接地表面 1114 之間間隙距離 1120 來控制纖維的直徑。金屬針 1106 的尖端與電極結構的接地表面 1114 之間間隙距離 1120 可為約 1 mm 至約 1000 mm。聚合物纖維的直徑可為約 80 nm 至約 300 nm。

第 12 圖示意地圖示設備 1200 的一實施例，設備 1200

用於根據在此所述的實施例而將一整合隔離件電紡絲在電極結構 1216 的接地表面 1214 上。第 12 圖所示的設備 1200 是用於無針電紡絲。設備 1200 可位在真空環境中。一含聚合物液體混合物 1202 可被配置在容器 1204 中，容器 1204 經由電極和電壓供應器 1210 耦接。電壓供應器可設以供應約 5 kV 至 120 kV 到含聚合物液體混合物 1202。電壓供應器可設以供應約 30 kV 至 120 kV 到含聚合物液體混合物 1202。電壓供應器可取決於諸如所使用的聚合物的類型、希望的細孔尺寸與生產速率的因素。

從含聚合物液體混合物 1202 朝向電極結構 1216 的接地表面 1214 放射出聚合物噴流 1212a、1212b。噴流被一攪打製程伸長，其中該攪打製程是由纖維中的小彎曲處所開始的靜電排斥而造成，直到噴流最後被沉積在電極結構 1216 的接地表面 1214 上。可藉由調整含聚合物液體混合物 1202 中的溶劑濃度、調整含聚合物液體混合物 1202 與電極結構 1216 的接地表面 1214 之間的間隙距離 1220 來控制纖維的直徑。含聚合物液體混合物 1202 與電極結構 1216 的接地表面 1214 之間的間隙距離 1220 可為約 1 mm 至約 1000 mm。聚合物纖維的直徑可為約 80 nm 至約 300 nm。

實例：

提供以下假設的非限制實例，以進一步說明在此所述的實施例。然而，沒有意圖將該些實例全部涵蓋在內，並且沒有意圖使該些實例限制在此所述的實施例的範

疇。

實例 1：

使用聚丙烯酸(PAA)佔 5 wt.%的水溶液。將少量的氯化鈉添加到溶液，以增加溶液的離子導電率。將溶液裝載到注射器內，注射器具有 0.4 mm 內徑的平坦毛細管尖端。使用直流-直流轉換器以供應 5-30 kV 到毛細管的尖端而形成液體噴流的泰勒錐，並且使用接地的金屬可移動樣品平台而使該接地的金屬可移動樣品平台作為收集器。尖端與收集器之間的距離從 50 mm 改變至 200 mm。紡絲各個樣品長達數分鐘，並且手動地調整液體流速以維持溶液的小液滴在毛細管的尖端上。使用通用序列匯流排(USB)攝像顯微鏡以在紡絲製程期間觀察來自尖端的液體放射。

實例 2：

使用耐綸-6(甲酸)佔 10 wt.%、二氧化矽佔 5 wt.%的溶液。將溶液裝載到注射器內，注射器具有 0.4 mm 內徑的平坦毛細管尖端。使用直流-直流轉換器以供應 5-30 kV 到毛細管的尖端而形成由液體噴流建構的泰勒錐，並且使用接地的金屬可移動樣品平台而使該接地的金屬可移動樣品平台作為收集器。尖端與收集器之間的距離從 50 mm 改變至 200 mm。紡絲各個樣品長達數分鐘，並且手動地調整液體流速以維持溶液的小液滴在毛細管的尖端上。使用通用序列匯流排(USB)攝像顯微鏡以在紡絲製程期間觀察來自尖端的液體放射。

第 13A 和 13B 圖是所產生的電紡絲不織聚合物纖維的掃描式電子顯微鏡 (SEM) 圖像。如第 13A 和 13B 圖所示，獲得一電紡絲層，該電紡絲層具有高均勻尺寸分佈的隨機定向纖維，平均的纖維尺寸為約 100-200 nm。咸信，所獲得的電紡絲層的孔隙度大於 90%。對於第 9A 和 9B 圖中所示的電紡絲纖維，以針尖端與收集器表面之間的間隔為 20 cm 且尖端電壓為 20 kV，而執行此製程。聚合物溶液為 PAA 佔 8 wt.% 的水，並且水中添加有 0.65 wt.% NaCl 以增加導電率。

第 14A 和 14B 圖是根據在此所述的實施例而沉積的電紡絲纖維的 SEM 圖像的示意圖。第 14A 和 14B 圖中所示的電紡絲纖維證明了可藉由調整聚合物溶液濃度以及噴流與收集器表面之間的距離變化來控制電紡絲纖維的直徑。對於第 14A 和 14B 圖中所示的電紡絲纖維，以針尖端與收集器表面之間的間隔為 20 cm 且尖端電壓為 20 kV，而執行此製程。

第 15A 和 15B 圖是根據在此所述的實施例而沉積的裝載有陶瓷的電紡絲纖維的 SEM 圖像的示意圖。第 15A 和 15B 圖證明了一種可進一步操控隔離件性質的方式，該方式是藉由將聚合物溶液裝載有陶瓷粉末以提升電紡絲聚合物層的機械強度。第 15A 和 15B 圖中所產生的氈顯示有多個結塊的 SiO_2 區域，該等結塊的 SiO_2 區域由電紡絲聚合物纖維來連接。

第 16 圖示意地圖示垂直處理系統 1600 的一實施例，

垂直處理系統 1600 用於根據在此所述的實施例形成多孔電紡絲隔離件。處理系統 1600 可包含複數個處理腔室 1612-1636，處理腔室 1612-1636 被配置在一線中，各個處理腔室設以對撓性導電基材 1610 執行處理步驟。在一實施例中，處理腔室 1612-1636 是獨立的模組處理腔室，其中各個模組處理腔室在結構上和其他模組處理腔室分離。所以，可獨立地配置、再配置、取代或維持各個獨立的模組處理腔室，而不會彼此影響。處理腔室 1612-1636 可設以執行同時的雙側製程，以同時地處理撓性導電基材 1610 的各側。

處理系統 1600 可包含一微結構形成腔室 1612，微結構形成腔室 1612 用於在撓性導電基材上方形成多孔陽極結構的一部分或多孔陰極結構的一部分。在一實施例中，微結構形成腔室是選自鍍覆腔室、壓印腔室、浮雕化腔室與電化學蝕刻腔室。

處理系統 1600 還可包含一第一清洗腔室 1614，第一清洗腔室 1614 設以在壓印製程之後使用清洗流體(例如去離子水)來清洗且移除垂直定向的撓性導電基材 1610 的部分上的任何殘餘微粒與處理溶液。

處理系統 1600 還可包含一第二微結構形成腔室 1616，第二微結構形成腔室 1616 設置在第一清洗腔室 1614 的旁邊，第二微結構形成腔室 1616 用於在撓性導電基材上方形成多孔陽極結構的一部分或多孔陰極結構的一部分。在一實施例中，第二微結構形成腔室 1616 設

以在撓性導電基材 1610 的至少一部分上執行蝕刻製程，以形成陰極結構或陽極結構。腔室 1612 與腔室 1616 可各自包含選自壓印腔室、濕式蝕刻腔室、電化學蝕刻腔室、圖案穿孔腔室與上述的腔室的腔室。

處理系統 1600 還可包含一第二清洗腔室 1618，第二清洗腔室 1618 設以在已經執行濕式蝕刻製程之後使用清洗流體(例如去離子水)來清洗且移除撓性導電基材 1610 的部分上的任何殘餘微粒蝕刻溶液。在一實施例中，包含空氣刀的腔室 1620 設置成鄰近於第二清洗腔室 1618。

處理系統 1600 還可包含一預熱腔室 1622，預熱腔室 1622 設以使撓性導電基材 1610 暴露於乾燥製程，以從所沉積的多孔結構移除過量濕氣。在一實施例中，預熱腔室 1622 含有設以執行乾燥製程(諸如空氣乾燥製程、紅外線乾燥製程、電磁乾燥製程或馬蘭哥尼乾燥製程(marangoni drying process))的源。

處理系統 1600 還可包含一第一噴灑塗覆腔室 1624，第一噴灑塗覆腔室 1624 設以在形成於撓性導電基材 1610 上方的多孔陽極或陰極結構之上與/或之內沉積電致活性微粒(諸如陰極活性或陽極活性微粒)。儘管第一噴灑塗覆腔室 1624 是以作為噴灑塗覆腔室來討論，第一噴灑塗覆腔室 1624 可設以執行任何上述的沉積製程。

處理系統 1600 還可包含一後乾燥腔室 1626，後乾燥腔室 1626 設置成鄰近於第一噴灑塗覆腔室 1624，後乾

燥腔室 1626 設以使撓性導電基材 1610 暴露於乾燥製程。在一實施例中，後乾燥腔室 1626 設以執行諸如空氣乾燥製程(例如將導電基材 1610 暴露於加熱的氮)、紅外線乾燥製程、馬蘭哥尼乾燥製程或退火製程(例如快速熱退火製程)的乾燥製程。

處理系統 1600 還可包含一第二噴灑塗覆腔室 1628，第二噴灑塗覆腔室 1628 設置成鄰近於後乾燥腔室 1626。儘管第二噴灑塗覆腔室 1628 是以作為噴灑塗覆腔室來討論，第二噴灑塗覆腔室 1628 可設以執行任何上述的沉積製程。在一實施例中，第二噴灑塗覆腔室設以在形成於撓性導電基材 1610 上的多孔導電結構上方沉積陽極或陰極活性微粒。在一實施例中，第二噴灑塗覆腔室 1628 設以在垂直定向的導電基材 1610 上方沉積添加物材料(諸如黏結劑)。

處理系統 1600 還可包含一壓縮腔室 1630，壓縮腔室 1630 設置成鄰近於第二噴灑塗覆腔室 1628，壓縮腔室 1630 設以使撓性導電基材 1610 暴露於排程製程(calendaring process)，以將所沉積的電致活性微粒壓縮成導電微結構。

在一實施例中，處理系統 1600 還包含一第三乾燥腔室 1632，第三乾燥腔室 1632 設置成鄰近於電紡絲腔室 1634，第三乾燥腔室 1632 設以使撓性導電基材 1610 暴露於諸如空氣乾燥製程(例如將撓性導電基材 1610 暴露於加熱的氮)、紅外線乾燥製程、馬蘭哥尼乾燥製程或退

火製程(例如快速熱退火製程)的乾燥製程。

在一實施例中，處理系統 1600 還包含電紡絲腔室 1634，電紡絲腔室 1634 設置成鄰近於第三乾燥腔室 1632，電紡絲腔室 1634 用於根據在此所述的實施例在撓性導電基材 1610 上方形成多孔電紡絲聚合物隔離件的至少一部分。

在一實施例中，處理系統 1600 還包含一第三噴灑塗覆腔室 1636，第三噴灑塗覆腔室 1636 用於在撓性導電基材 1610 上方形成多孔電紡絲聚合物隔離件的至少一部分，第三噴灑塗覆腔室 1636 設置成鄰近於第三噴灑塗覆腔室 1636。儘管第三噴灑塗覆腔室 1636 是以作為噴灑塗覆腔室來討論，第三噴灑塗覆腔室 1636 可設以執行任何上述的沉積製程。

在特定實施例中，處理系統 1600 還包含額外的處理腔室。額外的模組處理腔室可包含一或更多個處理腔室，該一或更多個處理腔室選自從電化學鍍覆腔室、無電沉積腔室、化學氣相沉積腔室、電漿增強化學氣相沉積腔室、原子層沉積腔室、清洗腔室、退火腔室、乾燥腔室、噴灑塗覆腔室、額外的噴灑腔室、聚合物沉積腔室與上述的組合所構成的處理腔室的群組。亦應瞭解，線上處理系統(in-line processing system)可包括額外的腔室或更少的腔室。

處理腔室 1612-1636 大體上沿著一線來配置，因而垂直定向的導電基材 1610 的部分可經由饋送筒 1640 與接

取筒 1642 而被流線型化通過各個腔室。在一實施例中，隨著垂直定向的基材 1610 離開接取筒 1642，基材 1610 進一步被處理以形成稜柱組件(prismatic assembly)。

亦應瞭解，儘管製程是以用於處理垂直定向的基材來討論，可在具有不同定向(例如水平定向)的基材上執行相同的製程。可併同在此所述的實施例來使用的水平處理系統的細節被揭示在共同受讓的美國專利申請案第 12/620,788 號，該美國專利申請案第 12/620,788 號是在西元 2009 年 11 月 18 日提出申請而具有「APPARATUS AND METHOD FOR FORMING 3D NANOSTRUCTURE ELECTRODE FOR ELECTROCHEMICAL BATTERY AND CAPACITOR」的發明名稱且授予給 Lopatin 等人且現已被公開為 US2010-0126849，該美國專利申請案第 12/620,788 號的第 5A-5C 圖、第 6A-6E 圖、第 7A-7C 圖與第 8A-8D 圖以及相應於該等圖的敘述以引用之方式在此被併入本文。在特定實施例中，垂直定向的基材可相對於垂直平面而傾斜。舉例而言，在特定實施例中，基材可相對於垂直平面而傾斜約 1° 至約 20° 。

在此所述的特定實施例已經說明一種形成高度多孔的奈米纖維的薄膜的技術，該高度多孔的奈米纖維的薄膜可原位地(in-situ)被施加且被用作為用於鋰離子電池製造的整合隔離件。此整合隔離件沉積技術可容許目前電池製造過程的顯著成本降低以及簡化。

儘管上述說明是導向本發明的實施例，可在不悖離本

發明的基本範疇下設想出本發明的其他與進一步實施例，並且本發明的範疇是由隨附的申請專利範圍來決定。

【圖式簡單說明】

因此，可詳細理解本發明之上述特徵結構之方式，即上文簡要概述之本發明之更特定描述可參照實施例進行，其中一些實施例在附圖中圖示。然而，應注意的是，附圖僅圖示本發明之典型實施例，且因此不欲視為會對本發明範疇構成限制，因為本發明可允許其他等效實施例。

第 1A 圖是根據在此所述的實施例的部分的鋰離子電池單元雙層的示意圖，鋰離子電池單元雙層具有電紡絲聚合物隔離件；

第 1B 圖是根據在此所述的實施例的部分的鋰離子電池單元的示意圖，鋰離子電池單元具有電紡絲聚合物隔離件；

第 2 圖是陰極堆疊與陽極堆疊的一實施例的剖視圖，陰極堆疊與陽極堆疊具有根據在此所述的實施例而形成的電紡絲聚合物隔離件；

第 3 圖是製程流程圖，該製程流程圖概述用於根據在此所述的實施例而形成第 2 圖的陰極堆疊與陽極堆疊的方法的一實施例；

第 4 圖是製程流程圖，該製程流程圖概述用於根據在

此所述的實施例而形成電紡絲整合隔離件的方法的一實施例；

第 5 圖是製程流程圖，該製程流程圖概述用於根據在此所述的實施例而形成電紡絲整合隔離件的另一方法的一實施例；

第 6 圖是製程流程圖，該製程流程圖概述用於根據在此所述的實施例而形成電紡絲整合隔離件的另一方法的一實施例；

第 7 圖是製程流程圖，該製程流程圖概述用於根據在此所述的實施例而形成電紡絲整合隔離件的另一方法的一實施例；

第 8 圖是製程流程圖，該製程流程圖概述用於根據在此所述的實施例而形成電紡絲整合隔離件的另一方法的一實施例；

第 9 圖是製程流程圖，該製程流程圖概述用於根據在此所述的實施例而形成電紡絲整合隔離件的另一方法的一實施例；

第 10 圖是製程流程圖，該製程流程圖概述用於根據在此所述的實施例而形成電紡絲整合隔離件的另一方法的一實施例；

第 11 圖示意地圖示設備的一實施例，該設備用於根據在此所述的實施例而將一整合隔離件電紡絲在電極表面上；

第 12 圖示意地圖示設備的另一實施例，該設備用於根

據在此所述的實施例而將一整合隔離件電紡絲在電極表面上；

第 13A 和 13B 圖是根據在此所述的實施例而沉積的電紡絲不織聚合物纖維的掃描式電子顯微鏡(SEM)圖像的示意圖；

第 14A 和 14B 圖是根據在此所述的實施例而沉積的電紡絲纖維的 SEM 圖像的示意圖；

第 15A 和 15B 圖是根據在此所述的實施例而沉積的裝載有陶瓷的電紡絲纖維的 SEM 圖像；以及

第 16 圖示意地圖示根據在此所述的實施例的處理系統的一實施例。

為促進理解，在可能時使用相同的元件符號來指定該等圖式共有的相同元件。預期，一個實施例中揭示的元件與特徵結構可有利地用於其他實施例而不需特別詳述。

【主要元件符號說明】

100	鋰離子電池單元	101	負載
102a	第一陽極結構	102b	第二陽極結構
103a	第一陰極結構	103b	第二陰極結構
104	隔離件	104a	隔離件層
104b	隔離件層	111	電流收集器
113	電流收集器	115	電紡絲隔離件

120	鋰離子電池單元	202	陰極堆疊
206	陰極結構	222	陽極堆疊
226	陽極結構	300	方法
302-310	方塊	400	方法
402-404	方塊	500	方法
502	方塊	600	方法
602-604	方塊	700	方法
702	方塊	800	方法
802-806	方塊	900	方法
902-906	方塊	1000	方法
1002-1004	方塊	1100	設備
1102	液體混合物	1104	注射器
1106	金屬針	1110	電壓供應器
1112	聚合物噴流	1114	接地表面
1116	電極結構	1120	間隙距離
1200	設備	1202	液體混合物
1204	容器	1210	電壓供應器
1212a	聚合物噴流	1212b	聚合物噴流
1214	接地表面	1216	電極結構
1220	間隙距離	1600	處理系統
1610	導電基材	1612	處理腔室
1614	第一清洗腔室		
1616	第二微結構形成腔室		
1618	第二清洗腔室	1620	腔室

1622	預熱腔室	1624	第一噴灑塗覆腔室
1626	後乾燥腔室	1628	第二噴灑塗覆腔室
1630	壓縮腔室	1632	第三乾燥腔室
1634	電紡絲腔室	1636	第三噴灑塗覆腔室
1640	饋送筒	1642	接取筒

發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫；惟已有申請案號者請填寫)

※申請案號：100132248

※申請日期：2011年9月7日

※IPC 分類：

H01M 2/14 (2006.01)
H01M 10/052 (2010.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

電紡絲鋰離子電池的整合隔離件

ELECTROSPINNING FOR INTEGRATED SEPARATOR FOR
LITHIUM-ION BATTERIES

二、中文發明摘要：

本發明的實施例大體上關於鋰離子電池，並且更特別地關於具有整合隔離件的電池與製造此種電池的方法。在一實施例中，提供一種鋰離子電池，鋰離子電池具有電極結構。鋰離子電池包含：陽極堆疊；陰極堆疊；及多孔電紡絲聚合物隔離件，多孔電紡絲聚合物隔離件包含奈米纖維骨幹結構。陽極堆疊包含：陽極電流收集器；及陽極結構，陽極結構被形成在陽極電流收集器的第一表面上方。陰極堆疊包含：陰極電流收集器；及陰極結構，陰極結構被形成在陰極電流收集器的第一表面上方。多孔電紡絲聚合物隔離件位在陽極結構與陰極結構之間。

三、英文發明摘要：

Embodiments of the present invention relate generally to lithium-ion batteries, and more specifically, to batteries having integrated separators and methods of fabricating such batteries. In one embodiment, a lithium-ion battery having an electrode structure is provided. The lithium-ion battery comprises an anode stack, a cathode stack, and a

porous electrospun polymer separator comprising a nano-fiber backbone structure. The anode stack comprises an anodic current collector and an anode structure formed over a first surface of the anodic current collector. The cathode stack comprises a cathodic current collector and a cathode structure formed over a first surface of the cathodic current collector. The porous electrospun polymer separator is positioned between the anode structure and the cathode structure.

七、申請專利範圍：

1. 一種鋰離子電池，該鋰離子電池具有一電極結構，該鋰離子電池包含：
 - 一陽極堆疊，該陽極堆疊包含：
 - 一陽極電流收集器；及
 - 一陽極結構，該陽極結構被形成在該陽極電流收集器的一第一表面上方；
 - 一陰極堆疊，該陰極堆疊包含：
 - 一陰極電流收集器；及
 - 一陰極結構，該陰極結構被形成在該陰極電流收集器的一第一表面上方；及
 - 一多孔電紡絲聚合物隔離件，該多孔電紡絲聚合物隔離件包含一奈米纖維骨幹結構，該多孔電紡絲聚合物隔離件位在該陽極結構與該陰極結構之間。
2. 如請求項 1 的鋰離子電池，其中該奈米纖維骨幹結構還包含陶瓷微粒，該等陶瓷微粒被鑲嵌在該奈米纖維骨幹結構的奈米纖維中。
3. 如請求項 2 的鋰離子電池，其中該等陶瓷微粒選自包含下述化合物的群組： $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$ (PZT)、 $\text{Pb}(\text{Mg}_{2/3}\text{Nb}_{1/3})\text{O}_3$ -- PbTiO_3 (PMN-PT)、 BaTiO_3 、 HfO_2 (二氧化鈦)、 SrTiO_3 、 TiO_2 (二氧化鈦)、 SiO_2 (二氧化矽)、

Al_2O_3 (氧化鋁)、 ZrO_2 (二氧化鋯)、 SnO_2 、 CeO_2 、 MgO 、 CaO 、 Y_2O_3 與上述的組合。

4. 如請求項 3 的鋰離子電池，其中該奈米纖維骨幹結構包含一第一聚合物材料，該第一聚合物材料選自聚醯胺、聚丙烯酸(PAA)、聚偏二氟乙烯(PVDF)、羧甲基纖維素(CMC)與苯乙烯-丁二烯橡膠(SBR)。
5. 如請求項 4 的鋰離子電池，其中該多孔電紡絲聚合物隔離件還包含一第二聚合物材料，該第二聚合物材料被沉積在該奈米纖維骨幹結構上方，其中該第二聚合物材料不同於該第一聚合物材料。
6. 如請求項 4 的鋰離子電池，其中該第二聚合物材料選自聚醯胺、聚丙烯酸(PAA)、聚偏二氟乙烯(PVDF)、羧甲基纖維素(CMC)與苯乙烯-丁二烯橡膠(SBR)。
7. 如請求項 1 的鋰離子電池，其中該陰極結構是一多孔結構，該多孔結構包含一陰極活性材料，該陰極活性材料選自包含下述的群組：二氧化鈷鋰(LiCoO_2)、二氧化錳鋰(LiMnO_2)、二硫化鈦(TiS_2)、 $\text{LiNi}_x\text{Co}_{1-2x}\text{MnO}_2$ 、 LiMn_2O_4 、 LiFePO_4 、 $\text{LiFe}_{1-x}\text{MgPO}_4$ 、 LiMoPO_4 、 LiCoPO_4 、 $\text{Li}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_3$ 、 LiVOPO_4 、 LiMP_2O_7 、 $\text{LiFe}_{1.5}\text{P}_2\text{O}_7$ 、 LiVPO_4F 、 LiAlPO_4F 、

$\text{Li}_5\text{V}(\text{PO}_4)_2\text{F}_2$ 、 $\text{Li}_5\text{Cr}(\text{PO}_4)_2\text{F}_2$ 、 $\text{Li}_2\text{CoPO}_4\text{F}$ 、
 $\text{Li}_2\text{NiPO}_4\text{F}$ 、 $\text{Na}_5\text{V}_2(\text{PO}_4)_2\text{F}_3$ 、 $\text{Li}_2\text{FeSiO}_4$ 、 $\text{Li}_2\text{MnSiO}_4$ 、
 $\text{Li}_2\text{VOSiO}_4$ 、 LiNiO_2 與上述的組合。

8. 如請求項 3 的鋰離子電池，其中該奈米纖維骨幹結構的奈米纖維具有約 100 nm 至約 200 nm 的一直徑。
9. 如請求項 3 的鋰離子電池，其中相較於由相同材料所形成的一實心膜而言，該奈米纖維骨幹結構具有約 40%至約 90%的一孔隙度。
10. 如請求項 5 的鋰離子電池，其中該第一聚合物材料具有大於 200°C 的一熔點溫度，並且該第二聚合物材料具有小於 140°C 的一熔點溫度，以致在熱迅速飛漲的期間，該第二聚合物材料會被熔化且被熔融在一起，降低了層中的孔隙度且因而減緩了鋰離子傳送和相關的電化學反應。
11. 一種形成一電極結構的方法，該方法包含下列步驟：
提供一第一電極結構；及
將一奈米纖維骨幹結構直接地電紡絲在該第一電極結構的一表面上，以形成一多孔電紡絲聚合物隔離件。

12. 如請求項 11 的方法，其中該奈米纖維骨幹結構包含一第一聚合物材料，該第一聚合物材料選自聚丙烯酸(PAA)、聚偏二氟乙烯(PVDF)、羧甲基纖維素(CMC)與苯乙烯-丁二烯橡膠(SBR)。

13. 如請求項 12 的方法，其中將該奈米纖維骨幹結構直接地電紡絲的步驟還包含下列步驟：

將一第二聚合物材料電紡絲，該第二聚合物材料不同於該第一聚合物材料，該第二聚合物材料選自聚丙烯酸(PAA)、聚偏二氟乙烯(PVDF)、羧甲基纖維素(CMC)與苯乙烯-丁二烯橡膠(SBR)。

14. 如請求項 12 的方法，該方法還包含下列步驟：

將一第二聚合物材料電紡絲在該奈米纖維骨幹結構上方，其中該第二聚合物材料選自聚偏二氟乙烯(PVDF)、羧甲基纖維素(CMC)與苯乙烯-丁二烯橡膠(SBR)。

15. 如請求項 12 的方法，其中該奈米纖維骨幹結構還包含陶瓷微粒，該等陶瓷微粒被鑲嵌在該奈米纖維骨幹結構的奈米纖維中。

16. 如請求項 15 的方法，其中該等陶瓷微粒選自包含下述化合物的群組： $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$ (PZT)、

$\text{Pb}_{1-x}\text{La}_x\text{Zr}_{1-y}\text{Ti}_y\text{O}_3$ (PLZT, x 和 y 是獨立地介於 0 與 1 之間)、 $\text{Pb}(\text{Mg}_{2/3}\text{Nb}_{1/3})\text{O}_3$ -- PbTiO_3 (PMN-PT)、 BaTiO_3 、 HfO_2 (二氧化鈦)、 SrTiO_3 、 TiO_2 (二氧化鈦)、 SiO_2 (二氧化矽)、 Al_2O_3 (氧化鋁)、 ZrO_2 (二氧化鋯)、 SnO_2 、 CeO_2 、 MgO 、 CaO 、 Y_2O_3 與上述的組合。

17. 如請求項 15 的方法，其中將一奈米纖維骨幹結構電紡絲的步驟包含下列步驟：

沉積一含聚合物液體混合物在一表面上，該表面平行於該第一電極結構的一表面，其中該含聚合物液體混合物包含該等陶瓷微粒；及

施加一電壓到該含聚合物液體混合物，以將鑲嵌有該等陶瓷微粒的該奈米纖維骨幹結構電紡絲在該第一電極結構的該表面上。

18. 如請求項 12 的方法，其中將一奈米纖維骨幹結構直接地電紡絲在該第一電極結構的一表面上的步驟包含下列步驟：

將一第一聚合物材料電紡絲，該第一聚合物材料具有大於 200°C 的一高熔點溫度(T_m)；及

將一第二聚合物材料電紡絲，該第二聚合物材料具有小於 140°C 的一低熔點溫度，以致在熱迅速飛漲的期間，低熔點溫度聚合物線會被熔化且被熔融在一起，降低了層中的孔隙度且因而減緩了鋰離子傳送和

相關的電化學反應。

19. 一種用於在一撓性導電基材上方形成一整合隔離件的線上基材處理系統，該線上基材處理系統包含：

一微結構形成腔室，該微結構形成腔室用於在該撓性導電基材上方形成一電極結構的至少一部分；

一電紡絲腔室，該電紡絲腔室用於直接地在該電極結構上形成一多孔電紡絲聚合物隔離件的至少一部分；及

一基材傳送機構，該基材傳送機構設以在該等腔室之間傳送該撓性導電基材，該基材傳送機構包含：

一饋送筒，該饋送筒設置在各個腔室的一處理容積的外面，並且該饋送筒設以將該撓性導電基材的一部分保持在各個腔室的該處理容積內；及

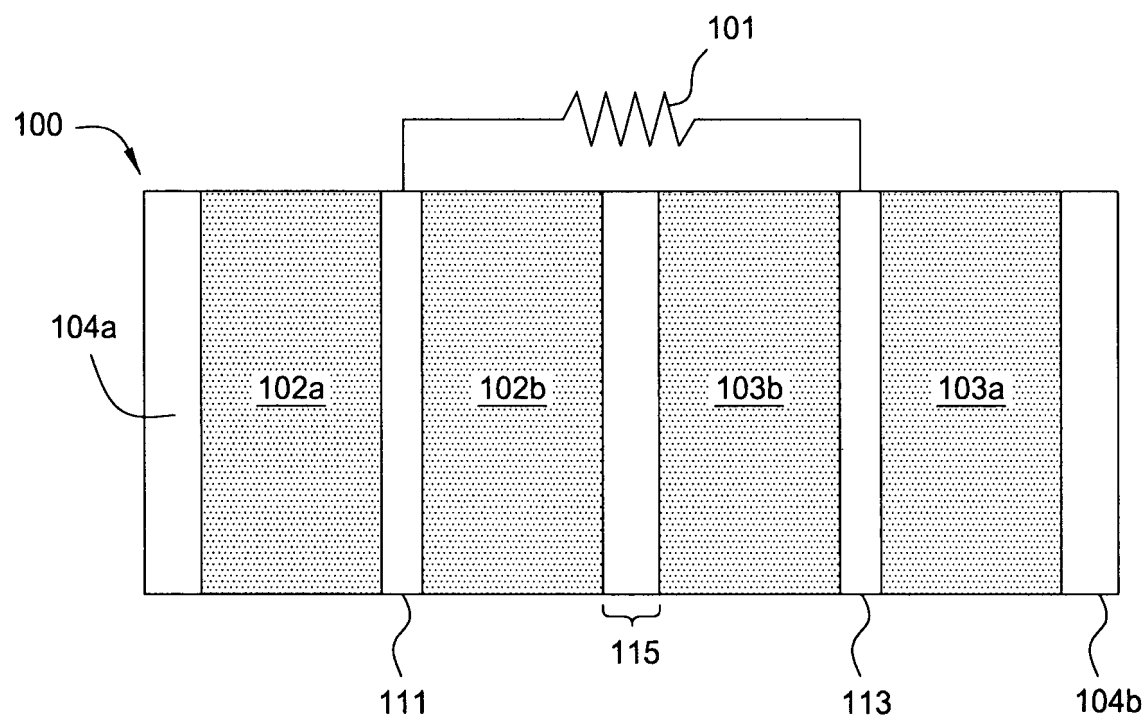
一接取筒，該接取筒設置在該處理容積的外面，並且該接取筒設以將該撓性導電基材的一部分保持住，其中該基材傳送機構設以致動該等饋送筒與該等接取筒以將該撓性導電基材移動進與出各個腔室，並且該基材傳送機構將該撓性導電基材保持在各個腔室的該處理容積中。

20. 如請求項 19 的線上基材處理系統，其中該線上基材處理系統還包含：

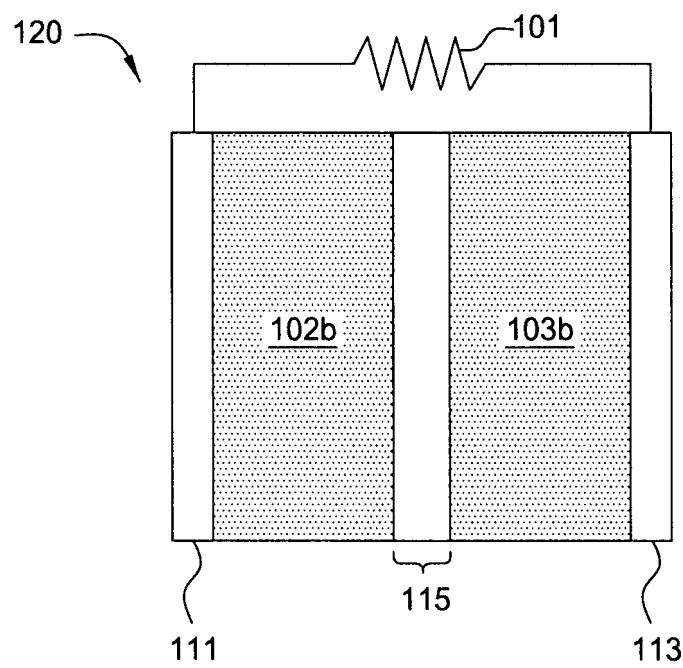
一電噴灑腔室，該電噴灑腔室用於在該撓性導電

基 材 上 方 形 成 該 多 孔 電 紡 絲 聚 合 物 隔 離 件 的 至 少 一
部 分 。

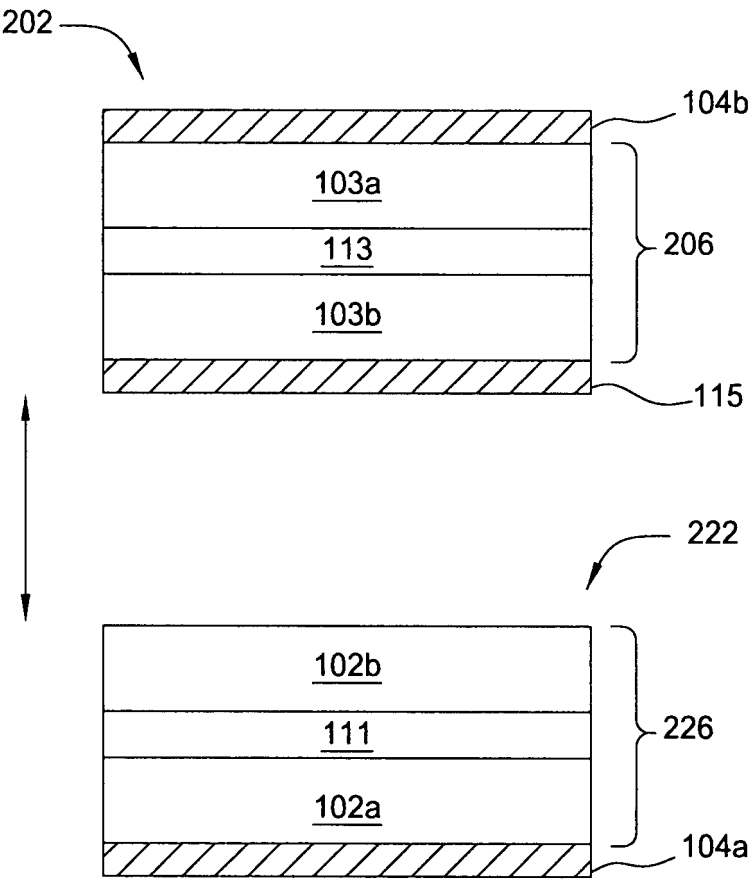
八、圖式：



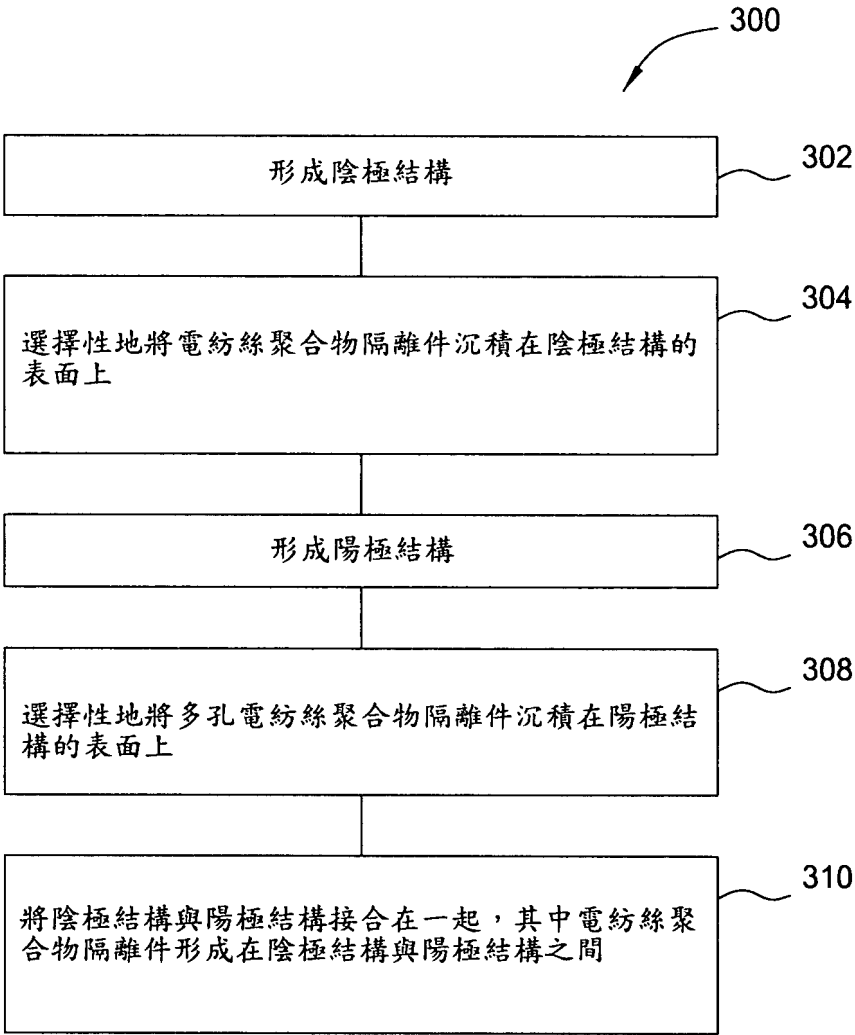
第1A圖



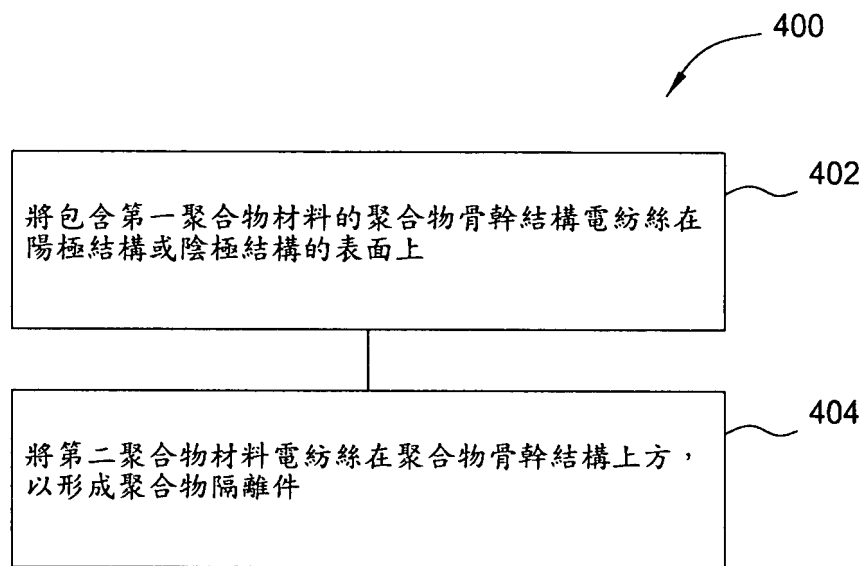
第1B圖



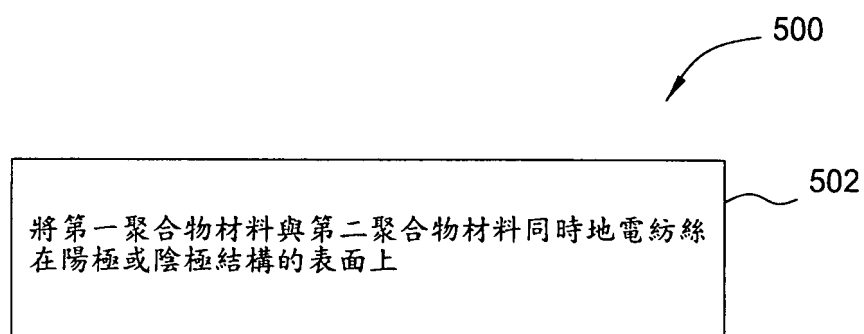
第2圖



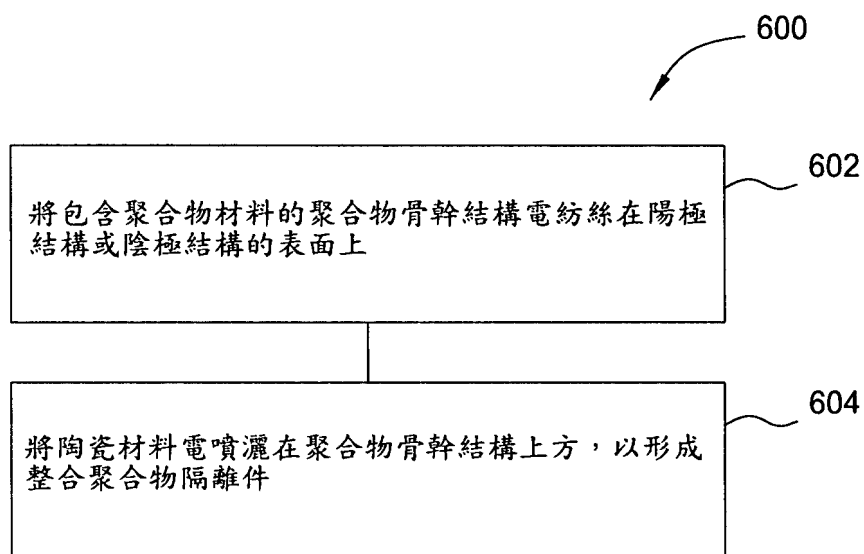
第3圖



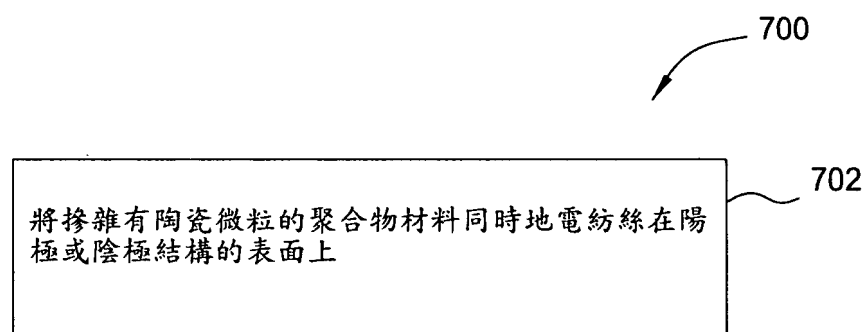
第4圖



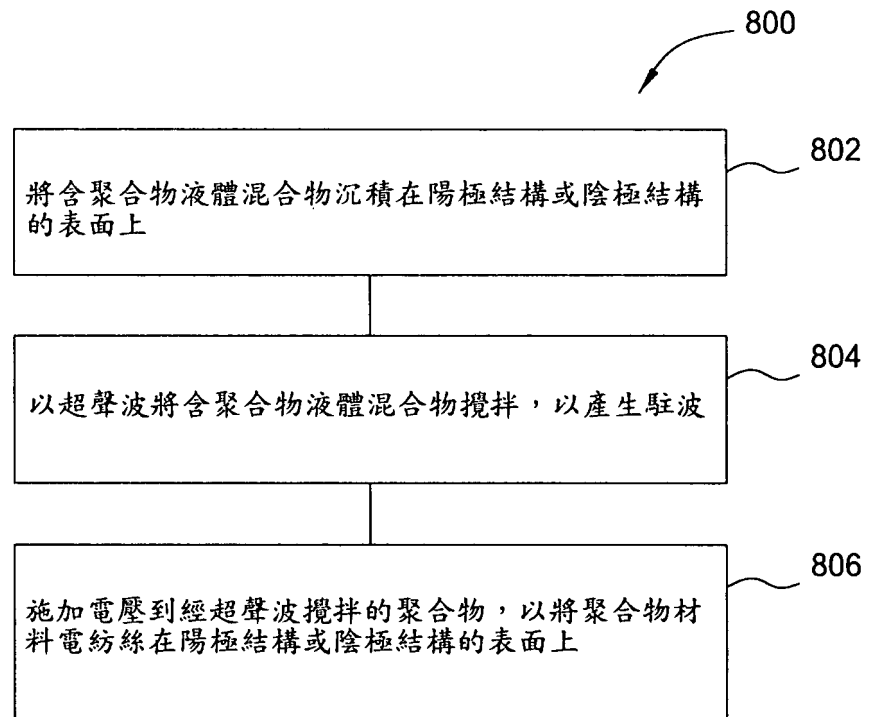
第5圖



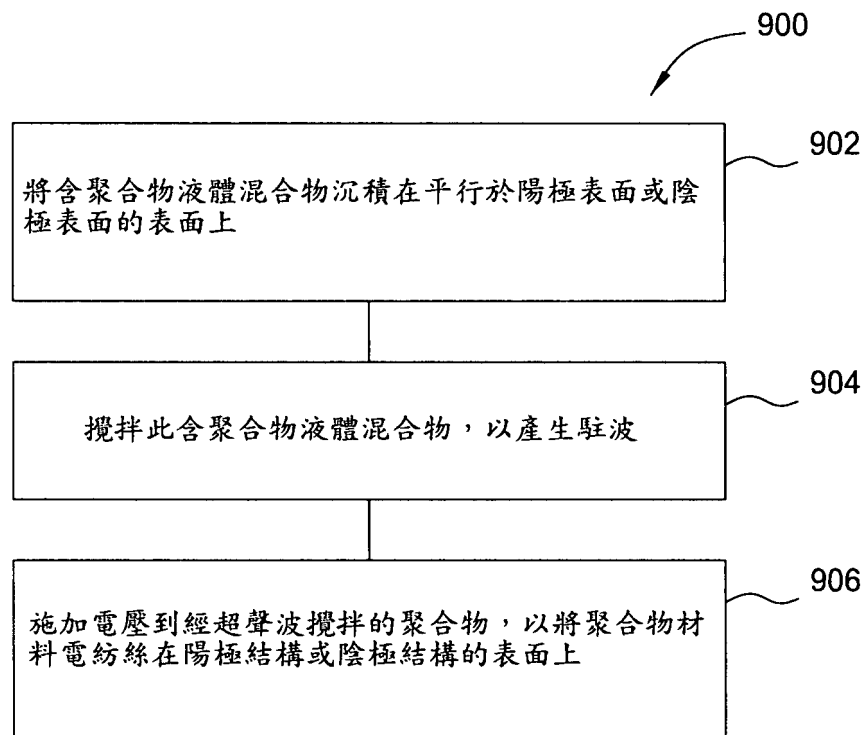
第6圖



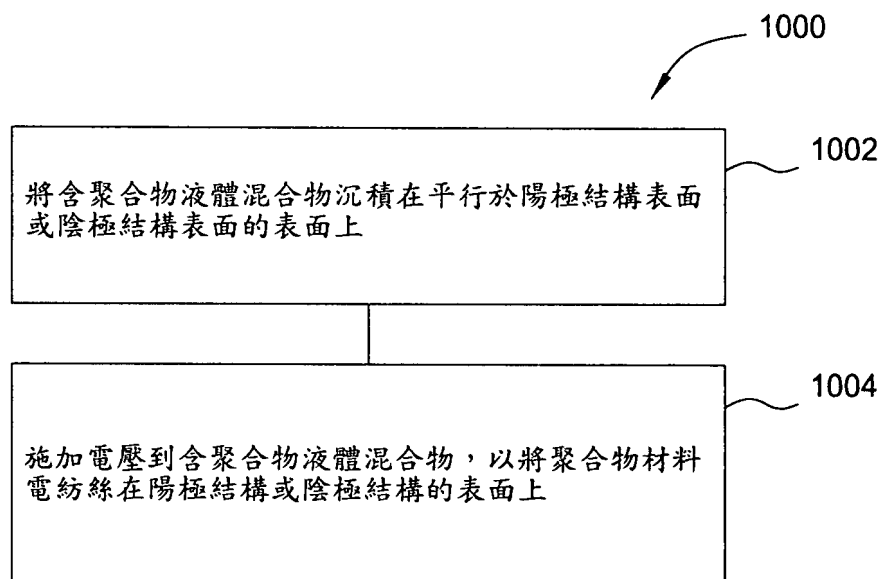
第7圖



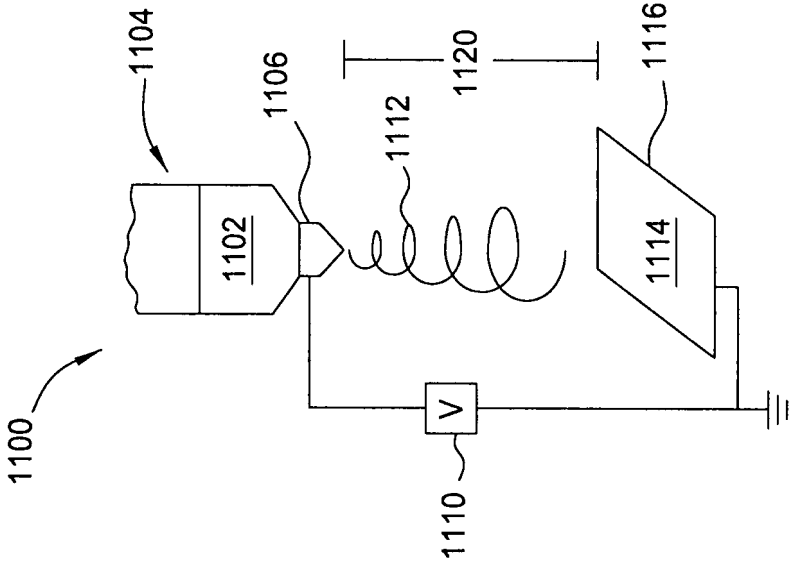
第8圖



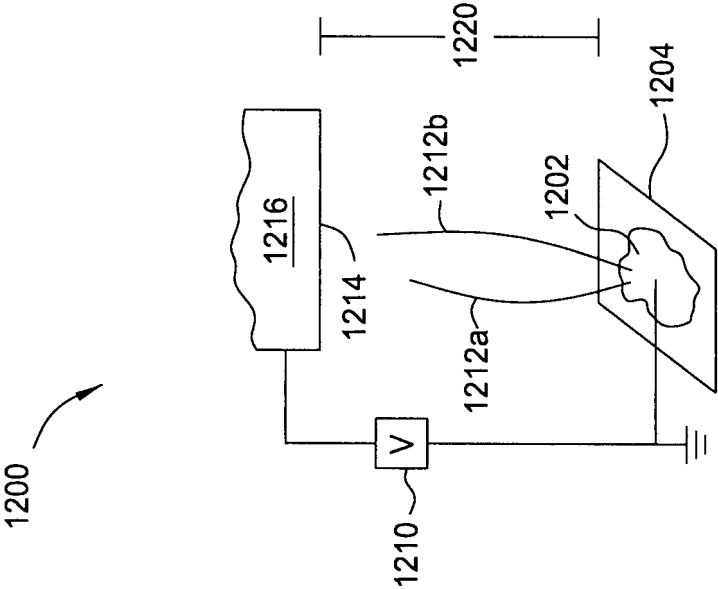
第9圖



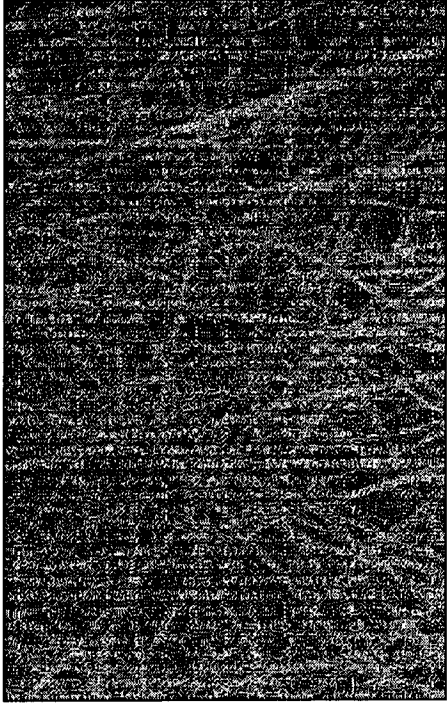
第10圖



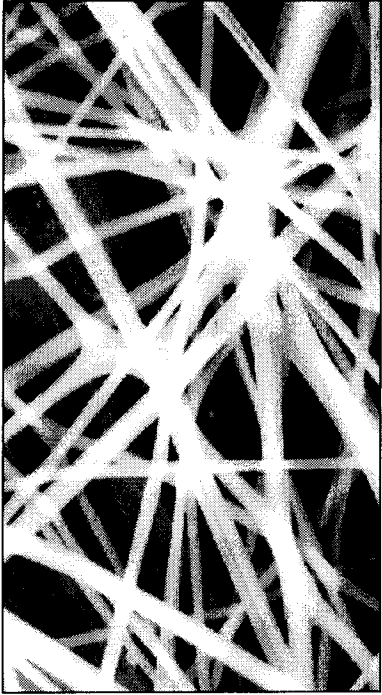
第11圖



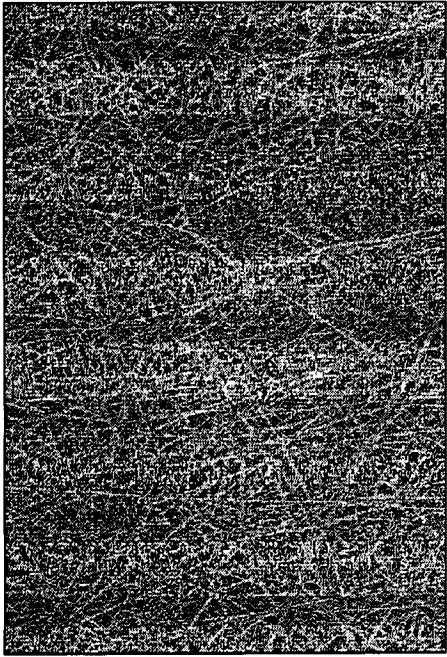
第12圖



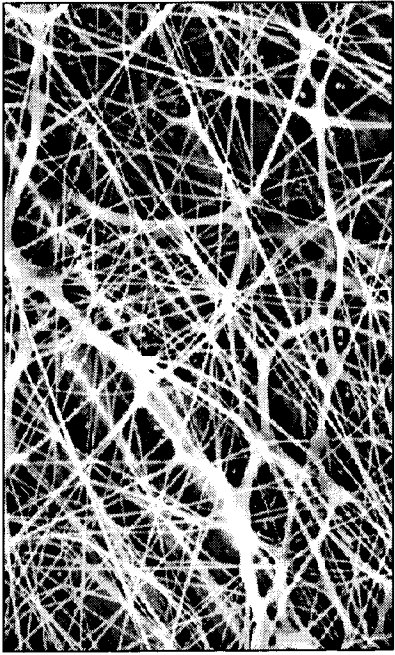
第13B圖



第14B圖



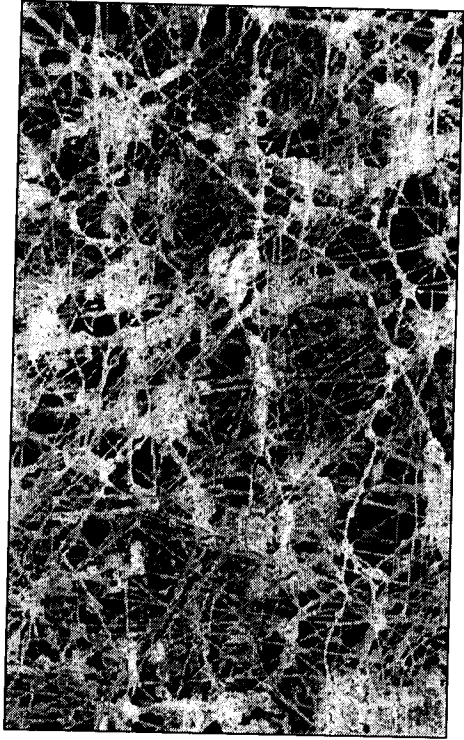
第13A圖



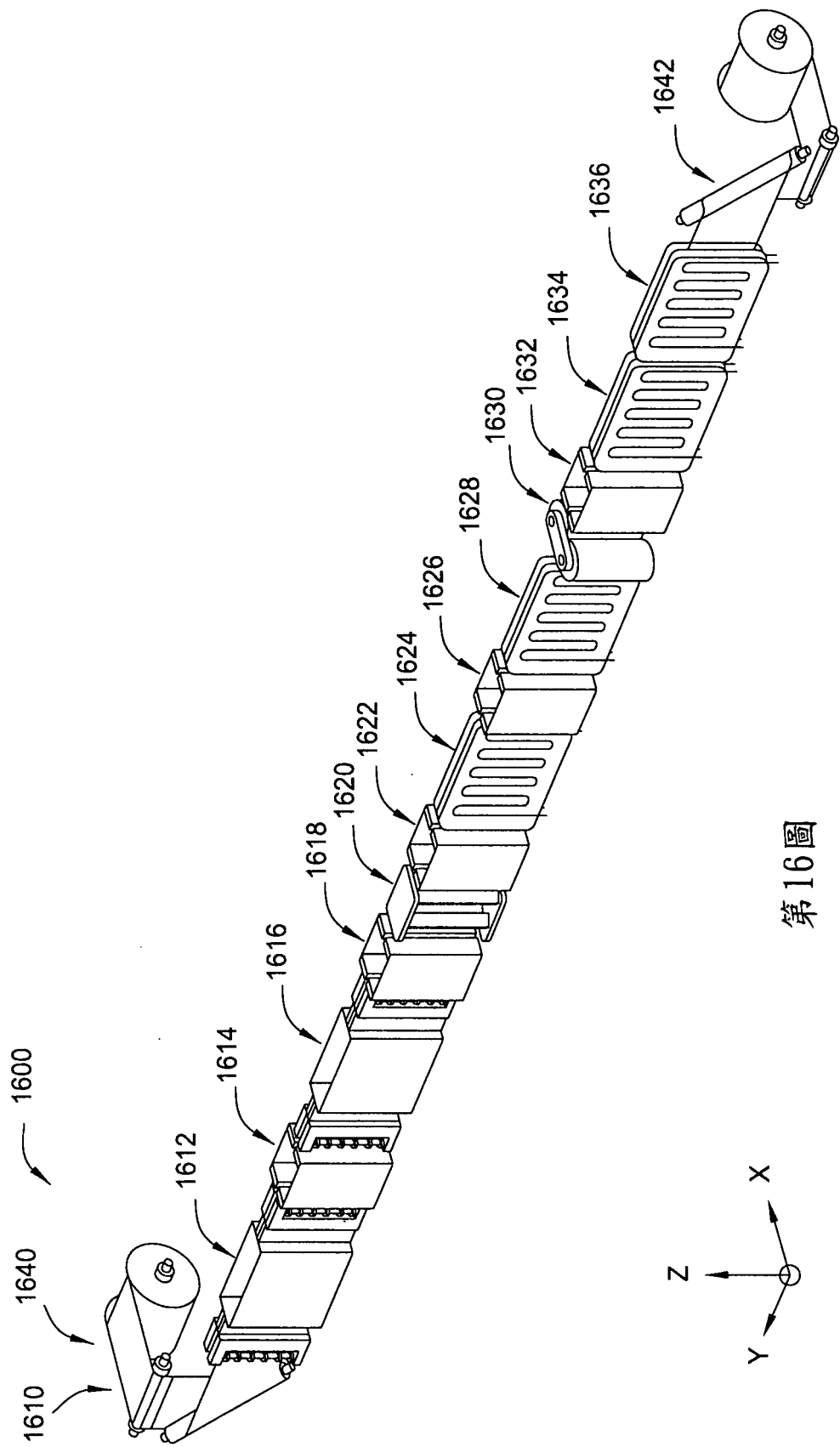
第14A圖



第15A圖



第15B圖



第16圖

四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第(2)圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

102a	第一陽極結構	102b	第二陽極結構
103a	第一陰極結構	103b	第二陰極結構
104a	隔離件層	104b	隔離件層
111	電流收集器	113	電流收集器
115	電紡絲隔離件	202	陰極堆疊
206	陰極結構	222	陽極堆疊
226	陽極結構		

五、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

無

第 13A 和 13B 圖是所產生的電紡絲不織聚合物纖維的掃描式電子顯微鏡(SEM)圖像。如第 13A 和 13B 圖所示，獲得一電紡絲層，該電紡絲層具有高均勻尺寸分佈的隨機定向纖維，平均的纖維尺寸為約 100-200 nm。咸信，所獲得的電紡絲層的孔隙度大於 90%。對於第 13A 和 13B 圖中所示的電紡絲纖維，以針尖端與收集器表面之間的時間隔為 20 cm 且尖端電壓為 20 kV，而執行此製程。聚合物溶液為 PAA 佔 8 wt.% 的水，並且水中添加有 0.65 wt.% NaCl 以增加導電率。

第 14A 和 14B 圖是根據在此所述的實施例而沉積的電紡絲纖維的 SEM 圖像的示意圖。第 14A 和 14B 圖中所示的電紡絲纖維證明了可藉由調整聚合物溶液濃度以及噴流與收集器表面之間的距離變化來控制電紡絲纖維的直徑。對於第 14A 和 14B 圖中所示的電紡絲纖維，以針尖端與收集器表面之間的時間隔為 20 cm 且尖端電壓為 20 kV，而執行此製程。

第 15A 和 15B 圖是根據在此所述的實施例而沉積的裝載有陶瓷的電紡絲纖維的 SEM 圖像的示意圖。第 15A 和 15B 圖證明了一種可進一步操控隔離件性質的方式，該方式是藉由將聚合物溶液裝載有陶瓷粉末以提升電紡絲聚合物層的機械強度。第 15A 和 15B 圖中所產生的氈顯示有多個結塊的 SiO_2 區域，該等結塊的 SiO_2 區域由電紡絲聚合物纖維來連接。

第 16 圖示意地圖示垂直處理系統 1600 的一實施例，

火製程(例如快速熱退火製程)的乾燥製程。

在一實施例中，處理系統 1600 還包含電紡絲腔室 1634，電紡絲腔室 1634 設置成鄰近於第三乾燥腔室 1632，電紡絲腔室 1634 用於根據在此所述的實施例在撓性導電基材 1610 上方形成多孔電紡絲聚合物隔離件的至少一部分。

在一實施例中，處理系統 1600 還包含一第三噴灑塗覆腔室 1636，第三噴灑塗覆腔室 1636 用於在撓性導電基材 1610 上方形成多孔電紡絲聚合物隔離件的至少一部分，第三噴灑塗覆腔室 1636 設置成鄰近於電紡絲腔室 1634。儘管第三噴灑塗覆腔室 1636 是以作為噴灑塗覆腔室來討論，第三噴灑塗覆腔室 1636 可設以執行任何上述的沉積製程。

在特定實施例中，處理系統 1600 還包含額外的處理腔室。額外的模組處理腔室可包含一或更多個處理腔室，該一或更多個處理腔室選自從電化學鍍覆腔室、無電沉積腔室、化學氣相沉積腔室、電漿增強化學氣相沉積腔室、原子層沉積腔室、清洗腔室、退火腔室、乾燥腔室、噴灑塗覆腔室、額外的噴灑腔室、聚合物沉積腔室與上述的組合所構成的處理腔室的群組。亦應瞭解，線上處理系統(in-line processing system)可包括額外的腔室或更少的腔室。

處理腔室 1612-1636 大體上沿著一線來配置，因而垂直定向的導電基材 1610 的部分可經由饋送筒 1640 與接