

(21) 申請案號：105113269

(22) 申請日：中華民國 105 (2016) 年 04 月 28 日

(51) Int. Cl. : H01M4/04 (2006.01)

(71) 申請人：國立交通大學 (中華民國) NATIONAL CHIAO TUNG UNIVERSITY (TW)

新竹市大學路 1001 號

(72) 發明人：曾俊元 TSENG, TSEUNG-YUEN (TW)；楊智傑 YANG, CHIEH-CHIH (TW)

(74) 代理人：葉璟宗；卓俊傑

申請實體審查：有 申請專利範圍項數：20 項 圖式數：6 共 23 頁

(54) 名稱

複合電極材料及其製造方法

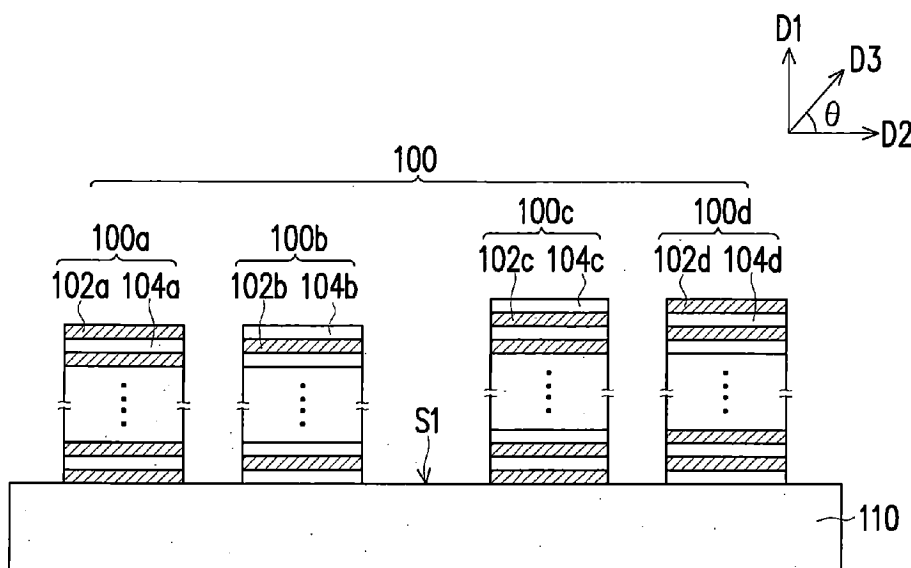
COMPOSITE ELECTRODE MATERIALS AND MANUFACTURING METHOD THEREOF

(57) 摘要

本發明提供一種複合電極材料及其製造方法。複合電極材料用以配置在電極的表面上。複合電極材料包括多個導電材料層以及多個活性材料層。導電材料層與活性材料層沿著非平行於電極的表面的方向相互堆疊，並沿著平行於電極的表面的方向無序排列。

Provided are a composite electrode material and a manufacturing method thereof. The composite electrode material is used for disposing on a surface of an electrode. The composite electrode material includes a plurality of conductive material layers and a plurality of active material layers. The conductive material layers and the active material layers are alternately stacked along a direction non-parallel to the surface of the electrode, and are arranged disorderly along a direction parallel to the surface of the electrode.

指定代表圖：



【圖1】

符號簡單說明：

100 . . . 複合電極材料

100a、100b、100c、100d . . . 堆疊結構

102a、102b、102c、102d . . . 導電材料層

104a、104b、104c、104d . . . 活性材料層

110 . . . 電極

D1、D2、D3 . . . 方向

S1 . . . 表面

201739087

TW 201739087 A

Θ . . . 夾角



申請日: 105.4.28

201739087

## 【發明摘要】

IPC分類: H01M 4/04(2006.01)

【中文發明名稱】複合電極材料及其製造方法

【英文發明名稱】COMPOSITE ELECTRODE MATERIALS AND  
MANUFACTURING METHOD THEREOF

【中文】本發明提供一種複合電極材料及其製造方法。複合電極材料用以配置在電極的表面上。複合電極材料包括多個導電材料層以及多個活性材料層。導電材料層與活性材料層沿著非平行於電極的表面的方向相互堆疊，並沿著平行於電極的表面的方向無序排列。

【英文】 Provided are a composite electrode material and a manufacturing method thereof. The composite electrode material is used for disposing on a surface of an electrode. The composite electrode material includes a plurality of conductive material layers and a plurality of active material layers. The conductive material layers and the active material layers are alternately stacked along a direction non-parallel to the surface of the electrode, and are arranged disorderly along a direction parallel to the surface of the electrode.

【指定代表圖】圖1。

【代表圖之符號簡單說明】

100：複合電極材料

100a、100b、100c、100d：堆疊結構

102a、102b、102c、102d：導電材料層

104a、104b、104c、104d：活性材料層

110：電極

D1、D2、D3：方向

S1：表面

$\Theta$ ：夾角

【特徵化學式】

無

## 【發明說明書】

【中文發明名稱】複合電極材料及其製造方法

【英文發明名稱】COMPOSITE ELECTRODE MATERIALS AND  
MANUFACTURING METHOD THEREOF

### 【技術領域】

【0001】本發明是有關於一種電極材料及其製造方法，且特別是有關於一種複合電極材料及其製造方法。

### 【先前技術】

【0002】儲能技術主要是指電能的儲存，其主要方式有物理性電荷儲能（例如是電容器）、電化學儲能（例如是電池）或其組合（例如是超級電容器）。

【0003】一般而言，常使用漿料塗佈、化學氣相沈積法、直流電鍍、直流電泳方法來製造儲能裝置的電極材料。然而，上述方法需以混摻方式或階段式方式來製造電極材料，其不僅耗費時間，所製造的電極材料也無法充分混合。因此，電極材料之間的接觸不佳，進而導致儲能裝置的電化學性質下降，例如比電容值低、在高速充放電流下，比電容值急速下降等問題。

### 【發明內容】

【0004】本發明提供一種電極材料及其製造方法，其具有高的比

電容值，且在高速充放電流下仍能維持高的比電容值。

【0005】本發明提供一種複合電極材料，用以配置在電極的表面上。複合電極材料包括多個導電材料層以及多個活性材料層。導電材料層與活性材料層沿著非平行於電極的表面的方向相互堆疊，並沿著平行於電極的表面的方向無序排列。

【0006】本發明提供一種複合電極材料，用以配置在電極的表面上。複合電極材料包括多個第一堆疊結構以及多個第二堆疊結構。第一堆疊結構以及第二堆疊結構皆配置在電極的表面上。各第一堆疊結構具有至少一第一導電材料層與至少一第一活性材料層。第一導電材料層與電極的表面接觸。各第二堆疊結構具有至少一第二導電材料層與至少一第二活性材料層。第二活性材料層與電極的表面接觸。第一堆疊結構與第二堆疊結構沿著平行於電極的表面的方向無序排列。

【0007】本發明提供一種複合電極材料的製造方法，其步驟如下。提供電沈積裝置。電沈積裝置包括混合溶液與置入混合溶液中的工作電極與輔助電極。混合溶液包括導電材料前驅物與活性材料前驅物。對電沈積裝置施加交替電壓，以於輔助電極的表面上交替進行多次電化學反應，而形成複合電極材料。

【0008】基於上述，本實施例可藉由對電沈積裝置施加交替電壓，以於輔助電極的表面上形成複合電極材料。所述複合電極材料之導電材料層與活性材料層不僅沿著非平行於電極的表面的方向相互堆疊，還沿著平行於電極的表面的方向無序排列。因此，本實施

例不僅可提升導電材料層與活性材料層之間的接合性，亦可充分混合導電材料層與活性材料層。如此一來，本實施例之複合電極材料所形成的儲能裝置在高電流密度的充放電狀況下，仍可維持高的比電容值。也就是說，本實施例之複合電極材料所形成的儲能裝置可大幅降低充電時間，以更符合使用者的需求。

【0009】此外，本實施例之複合電極材料的製造方法僅利用一步法製程即可形成堆疊式的複合電極材料，因此，本實施例之製造方法具有簡化製程並降低成本的功效。

【0010】為讓本發明的上述特徵和優點能更明顯易懂，下文特舉實施例，並配合所附圖式作詳細說明如下。

#### 【圖式簡單說明】

#### 【0011】

圖 1 是依照本發明之實施例的一種複合電極材料的剖面示意圖。

圖 2 是依照本發明之實施例的一種電沈積裝置的示意圖。

圖 3 是實例 1 之複合電極材料的循環伏安圖。

圖 4 是實例 1 之複合電極材料的充放電測試的結果曲線圖。

圖 5 是實例 1 之複合電極材料的交流阻抗的結果曲線圖。

圖 6A 是習知電極材料的電流密度對比電容值的關係圖。

圖 6B 是實例 1 之複合電極材料的電流密度對比電容值的關係圖。

**【實施方式】**

**【0012】** 下文中參照隨附圖式來更充分地描述本發明。然而，本發明可以多種不同的形式來實踐，並不限於文中所述之實施例。以下實施例中所提到的方向用語，例如「上」、「下」等，僅是參考附加圖式的方向，因此使用的方向用語是用來詳細說明，而非用來限制本發明。此外，圖式中的層與區域的厚度會為了清楚起見而放大。相同或相似之參考號碼表示相同或相似之元件，以下段落將不再一一贅述。

**【0013】** 圖 1 是依照本發明之實施例的一種複合電極材料的剖面示意圖。

**【0014】** 請參照圖 1，本實施例提供一種複合電極材料 100 用以配置在電極 110 的表面 S1 上。在一實施例中，電極 110 包括導電材料，其可例如是鉑或其他金屬材料，但本發明不以此為限。另外，本發明也不限制電極 110 的型態，舉例來說，電極 110 可例如是電極板、製備於多孔性/泡棉 (porous/foam) 或其他形態的電極。

**【0015】** 詳細地說，複合電極材料 100 包括多個堆疊結構 100a、100b、100c、100d。舉例來說，堆疊結構 100a 具有 N+1 個導電材料層 102a 與 N 個活性材料層 104a，其中 N 為大於等於 1 的整數。如圖 1 所示，活性材料層 104a 位於相鄰兩個導電材料層 102a 之間，且最下方的第一導電材料層 102a 與電極 110 的表面 S1 接觸。

**【0016】** 堆疊結構 100b 具有 i+1 個活性材料層 104b 與 i 個導電材



料層 102b，其中  $i$  為大於等於 1 的整數。如圖 1 所示，導電材料層 102b 位於相鄰兩個活性材料層 104b 之間，且最下方的活性材料層 104b 與電極 110 的表面 S1 接觸。

【0017】堆疊結構 100c 具有  $N$  個導電材料層 102c 與  $N$  個活性材料層 104c，其中  $N$  為大於等於 1 的整數。如圖 1 所示，導電材料層 102c 與活性材料層 104c 沿著垂直於電極 110 的表面 S1 的方向 D1 相互堆疊，且最下方的第一導電材料層 102c 與電極 110 的表面 S1 接觸。

【0018】而堆疊結構 100d 具有  $i$  個導電材料層 102d 與  $i$  個活性材料層 104d，其中  $i$  為大於等於 1 的整數。如圖 1 所示，導電材料層 102d 與活性材料層 104d 沿著垂直於電極 110 的表面 S1 的方向 D1 相互堆疊，且最下方的活性材料層 104d 與電極 110 的表面 S1 接觸。

【0019】需注意的是，雖然圖 1 所繪示的堆疊結構的數量僅為 4 個且所述導電材料層與所述活性材料層沿著垂直於電極的表面的方向相互堆疊，但本發明不以此為限。在其他實施例中，堆疊結構的數量可大於等於 1 個或是多個。只要所述導電材料層與所述活性材料層可沿著非平行於電極 110 的表面 S1 的方向 D1、D3 相互堆疊，而且所形成的堆疊結構可沿著平行於電極 110 的表面 S1 的方向 D2 無序排列，皆為本發明的範疇。在本文中，所謂非平行於電極的表面的方向 D1、D3，其可以是垂直於電極的表面的方向 D1 或是與平行於電極 110 的表面 S1 的方向 D2 之間具有一夾角  $\Theta$  的

方向 D3，其中夾角  $\Theta$  不為 0 度。換言之，只要不是平行於電極 110 的表面 S1 的方向 D2 的各種方向皆為本發明的範疇。所謂無序排列則是指多個堆疊結構可任意交錯排列。換言之，本實施例之導電材料層與活性材料層可被充分混合，以增加導電材料層與活性材料層之間的接觸面積。因此，在充放電的過程中，導電材料層可快速地將活性材料層所產生的電子導出，以提升充放電的效率。另一方面，相較於習知技術之單一個活性材料層，本實施例之多個活性材料層可具有較大的有效反應面積。也就是說，本實施例之活性材料層與儲能裝置中的電解液之間的有效反應面積較大，其可增加充放電效能，提升儲能裝置的比電容值。

【0020】此外，雖然圖 1 所繪示的堆疊結構 100a、100b、100c、100d 之間具有一定的間距而不互相接觸，但本發明不以此為限。在其他實施例中，堆疊結構 100a、100b、100c、100d 的側壁亦可互相接觸，或是僅部分堆疊結構 100a、100b、100c、100d 的側壁互相接觸。

【0021】在一實施例中，導電材料層 102a-102d 的材料可例如是石墨烯、石墨烯衍生物、奈米碳管、導電高分子單體等具有導電性之物質或上述其組合。所述石墨烯衍生物可以是摻雜石墨烯、非摻雜石墨烯、摻雜氧化石墨烯、非摻雜氧化石墨烯或上述其組合。所述導電高分子單體可以是苯胺。導電材料層 102a-102d 的厚度可例如是 0.3 奈米至 10 微米。

【0022】在一實施例中，活性材料層 104a-104d 的材料可例如是正

極活性材料或負極活性材料。也就是說，本實施例之複合電極材料 100 可應用在正極，亦可應用在負極，端看所述活性材料層的材料與種類。舉例來說，活性材料層 104a-104d 的材料可例如是金屬氧化物、金屬氫氧化物、金屬硫氧化物、金屬硫化物、金屬氟化物、金屬或其組合。活性材料層 104a-104d 的厚度可例如是 0.3 奈米至 10 微米。

【0023】 以下，將繼續說明上述實施例之複合電極材料 100 的製造方法。接下來，以電沈積裝置圖搭配複合電極材料 100 的剖面圖的方式來說明本發明之複合電極材料的製造方法。

【0024】 圖 2 是依照本發明之實施例的一種電沈積裝置的示意圖。

【0025】 請參照圖 2，本實施例提供一種藉由電沈積裝置以形成複合電極材料的製造方法，其步驟如下。首先，提供電沈積裝置 200。具體來說，電沈積裝置 200 包括反應裝置 210、工作電極 204、輔助電極 206 以及電源供應器 208。

【0026】 之後，於反應裝置 210 中置入混合溶液 202。在一實施例中，反應裝置 210 可例如是燒杯、培養皿或是其他適合用以容置混合溶液 202，且不會與混合溶液 202 發生化學反應的各種容器。

【0027】 詳細地說，混合溶液 202 包括導電材料前驅物與活性材料前驅物。在一實施例中，導電材料前驅物可例如是石墨烯、石墨烯衍生物、奈米碳管、導電高分子單體等具有導電性之物質或上述組合。所述石墨烯衍生物可以是摻雜石墨烯、非摻雜石墨烯、摻雜氧化石墨烯、非摻雜氧化石墨烯或上述其組合。所述導電高分子單

體可以是苯胺。活性材料前驅物可以是金屬鹽類，該金屬鹽類包括金屬硝酸鹽、金屬硫酸鹽、金屬硫酸鹽或其組合。

【0028】 接著，將工作電極 204、輔助電極 206 浸入混合溶液 202 中，並將電源供應器 208 的一端電性連接至工作電極 204，而另一端則電性連接至輔助電極 206。在一實施例中，工作電極 204、輔助電極 206 可例如是鉑電極，其不容易與混合溶液 202 進行化學反應而被腐蝕或耗損。在其他實施例中，電沈積裝置 200 更可包括參考電極。

【0029】 然後，對藉由電源供應器 208 對輔助電極 206 施加交替電壓，以於輔助電極 206 的表面上交替進行多次電化學反應，而形成如圖 1 所示的複合電極材料 100。在一實施例中，複合電極材料 100 的比電容值可為 2000 至 3000 法拉/克。在高電流密度（可例如是 10 安培/克）的充放電狀況下，仍可維持比電容值為 2000 至 3000 法拉/克。在一實施例中，所述電化學反應可例如是氧化還原反應、電泳沈積方式或其組合。

【0030】 具體來說，本實施例之電沈積裝置 200 利用不斷切換高電壓與低電壓的方式，其可在切換至高電壓時，將混合溶液 202 中的導電材料前驅物轉變為導電材料層。另一方面，又可在切換至低電壓時，將混合溶液 202 中的活性材料前驅物轉變為活性材料層。由於上述製造方法為原子尺度的沈積技術，在多次切換高電壓與低電壓的方式下，可以均勻地堆疊導電材料層與活性材料層。因此，本實施例可解決習知技術，如沉澱法、漿料法等，因材料本身

團聚而無法接觸到電極，進而損失儲能裝置效能的問題。

【0031】 在一實施例中，交替電壓可例如是脈衝電壓、交流電壓（例如是正弦交流電壓）或循環電壓等。但本發明不以此為限，在其他實施例中，只要藉由不斷切換高電壓與低電壓施加在輔助電極 206 的方式皆為本發明的範疇。在另一實施例中，高電壓可例如是正電壓；低電壓則可例如是負電壓。

【0032】 另外，本實施例可藉由改變脈衝週期，以改變各導電材料層與各活性材料層的厚度。也就是說，當脈衝週期縮短，則進行氧化反應或還原反應的時間較短，則導致各導電材料層與各活性材料層的厚度較薄。此外，本實施例亦可藉由改變總電沈積時間，以控制堆疊層數。也就是說，當總電沈積時間增加，導電材料層與活性材料層的總層數也會隨之增加。

【0033】 順帶一提的是，除了上述電沈積裝置 200 之外，本發明亦可藉由對捲對捲電鍍裝置施加交替電壓，以形成複合電極材料。所述捲對捲電鍍裝置可大面積地生產且可降低成本，因此，其可提高本發明的商業競爭性。

【0034】 為了證明本發明的可實現性，以下列舉多個實例來對本發明之複合電極材料做更進一步地說明。雖然描述了以下實驗，但是在不逾越本發明範疇的情況下，可適當改變所用材料、其量及比率、處理細節以及處理流程等等。因此，不應根據下文所述的實驗對本發明作出限制性的解釋。

### 【0035】 實例 1

【0036】 首先，利用 Hummer 法製備氧化石墨烯。詳細地說，加入硫酸 720 毫升及磷酸 80 毫升，混合均勻之後，加入 3 克石墨及 12 克過錳酸鉀，加熱至攝氏 60 度，反應 18 小時之後，加入 600 毫升冰塊（由去離子水所製備），以及 5-10 毫升的雙氧水以中止反應。接著，經由去離子水、鹽酸、乙醇清洗，經過濾塞、玻璃纖維過濾、離心分離。最後，加入乙醚，並以孔徑 0.2 微米的聚四氟乙烯（PTFE）過濾膜抽氣過濾後，取得固體產物，再放入攝氏 40 度真空烘箱烘烤 12 小時之後，以得到氧化石墨烯。

【0037】 接著，調配 2 mM 硝酸鎳以及 4mM 硝酸鈷之 0.01 M 磷酸鹽緩衝生理鹽水（PBS，pH=7.4）水溶液，並加入與硝酸鎳以及硝酸鈷等重的氧化石墨烯 PBS 水溶液，充分攪拌。使用恆電位儀（CH Instruments，CHI 608），以泡沫鎳為工作電極，標準甘汞電極為參考電極，白金電極為輔助電極，並以 200 個脈衝訊號製備石墨烯/鎳鈷氫氧化物複合電極材料（以下簡稱為實例 1 之複合電極材料）。在此實例 1 中，石墨烯層的厚度可例如是 10 奈米至 100 奈米。鎳鈷氫氧化物層厚度可例如是 10 奈米至 100 奈米。

【0038】 接著，將實例 1 之複合電極材料放在真空烘箱去除水分後，於恆電位儀（CHI 608）量測電化學特性，其結果如圖 3、圖 4 以及圖 5 所示。

【0039】 圖 3 是實例 1 之複合電極材料的循環伏安圖。圖 4 是實例 1 之複合電極材料的充放電測試的結果曲線圖。圖 5 是實例 1 之複合電極材料的交流阻抗的結果曲線圖。

【0040】由圖 3 可知，實例 1 之複合電極材料具有可逆氧化與還原特性。在 5 毫伏特 (mV) /每秒 (s) 的掃瞄速度下，其氧化峰電位約為 0.25 V，其還原峰電位約為 0.075 V。也就是說，實例 1 之複合電極材料具有充放電特性。

【0041】接著，在定電流下，對實例 1 之複合電極材料進行充放電的測試，其結果如圖 4 所示。在 1 安培/克的電流密度下，實例 1 之複合電極材料的充電時間約為 2200 秒；而在 10 安培/克的電流密度下，實例 1 之複合電極材料的充電時間則可縮短為 250 秒。也就是說，在高電流密度下，實例 1 之複合電極材料的充電時間可快速地縮短。將此複合電極材料應用在儲能裝置時，在定電流或者是儲存相同的電容量下，此儲能裝置可具有較快的充電時間。

【0042】如圖 5 所示，將實例 1 之複合電極材料應用在儲能裝置時，實例 1 之複合電極材料具有較小的內電阻（約為 0 歐姆）。亦即實例 1 之複合電極材料不會產生過多的阻抗，而降低充放電的效能。

【0043】另外，藉由上述圖 3-5 所得到的數據以及下式(1)可計算實例 1 之複合電極材料的比電容值。

$$C = \frac{I \times \Delta t}{\Delta V \times m} \quad (1)$$

其中 I 為電流密度， $\Delta t$  為充放電時間，m 為樣品質量， $\Delta V$  為電壓工作範圍。

【0044】藉由上述式(1)所計算的實例 1 之複合電極材料的電流密度對比電容值的關係圖，如圖 6B 所示。圖 6A 則是習知電極材料

的電流密度對比電容值的關係圖。所謂習知電極材料則是將單一層的鎳鈷氫氧化物塗佈在電極上。

【0045】請參照圖 6A 與圖 6B，在不同電流密度（即 1、3、5、10 安培/克）下，實例 1 之複合電極材料的比電容值（約為 2800-3000 法拉/克）皆高於習知電極材料的比電容值（約為 1000-2300 法拉/克）。另一方面，在高電流密度（即 10 安培/克）下，實例 1 之複合電極材料仍具有高的比電容值（約為 2800-3000 法拉/克）。反觀，在高電流密度（即 10 安培/克）下，習知電極材料的比電容值已下降至 1000 法拉/克。也就是說，本發明之複合電極材料可有效解決習知技術在高電流密度下，比電容值急速下降的問題。

【0046】如此一來，本發明可解決儲能裝置儲電時間過久的問題。對於商業性產品而言，本發明之複合電極材料所構成的儲能裝置可縮短充電時間，以吸引消費者使用所述儲能裝置。舉例來說，像是用於電動車的儲能裝置，其可減少石化能源的消耗，減緩碳排放以及溫室效應，以對綠色能源助益甚大。

【0047】綜上所述，本發明可藉由對電沈積裝置施加交替電壓，以於輔助電極的表面上形成複合電極材料。所述複合電極材料之導電材料層與活性材料層不僅沿著非平行於電極的表面的方向相互堆疊，還沿著平行於電極的表面的方向無序排列。因此，本實施例不僅可提升導電材料層與活性材料層之間的接合性，亦可充分混合導電材料層與活性材料層。如此一來，本實施例之複合電極材料所形成的儲能裝置在高電流密度的充放電狀況下，仍可維持高的



比電容值。也就是說，本實施例之複合電極材料所形成的儲能裝置可大幅降低充電時間，以更符合使用者的需求。

【0048】此外，本實施例之複合電極材料的製造方法僅利用一步法製程即可形成堆疊式的複合電極材料，因此，本實施例之製造方法具有簡化製程並降低成本的功效。

【0049】雖然本發明已以實施例揭露如上，然其並非用以限定本發明，任何所屬技術領域中具有通常知識者，在不脫離本發明的精神和範圍內，當可作些許的更動與潤飾，故本發明的保護範圍當視後附的申請專利範圍所界定者為準。

#### 【符號說明】

#### 【0050】

100：複合電極材料

100a、100b、100c、100d：堆疊結構

102a、102b、102c、102d：導電材料層

104a、104b、104c、104d：活性材料層

110：電極

200：電沈積裝置

202：混合溶液

204：工作電極

206：輔助電極

208：電源供應器

210：反應裝置

D1、D2、D3：方向

S1：表面

$\Theta$ ：夾角

## 【發明申請專利範圍】

【第1項】 一種複合電極材料，用以配置在一電極的一表面上，該複合電極材料包括：

多個導電材料層；以及

多個活性材料層，其中該些導電材料層與該些活性材料層沿著非平行於該電極的該表面的方向相互堆疊，並沿著平行於該電極的該表面的方向無序排列。

【第2項】 如申請專利範圍第1項所述的複合電極材料，其中該些導電材料層的材料包括石墨烯、石墨烯衍生物、奈米碳管、導電高分子單體或其組合。

【第3項】 如申請專利範圍第1項所述的複合電極材料，其中各該些導電材料層的厚度為0.3奈米至10微米。

【第4項】 如申請專利範圍第1項所述的複合電極材料，其中該些活性材料層的材料包括正極活性材料或負極活性材料。

【第5項】 如申請專利範圍第1項所述的複合電極材料，其中該些活性材料層的材料包括金屬氧化物、金屬氫氧化物、金屬硫氧化物、金屬硫化物、金屬氟化物、金屬或其組合。

【第6項】 如申請專利範圍第1項所述的複合電極材料，其中各該些活性材料層的厚度為0.3奈米至10微米。

【第7項】 一種複合電極材料，用以配置在一電極的一表面上，該複合電極材料包括：

多個第一堆疊結構，配置在該電極的該表面上，各該些第一堆疊結構具有至少一第一導電材料層與至少一第一活性材料層，其中該第一導電材料層與該電極的該表面接觸；以及

多個第二堆疊結構，配置在該電極的該表面上，各該些第二堆疊結構具有至少一第二導電材料層與至少一第二活性材料層，其中該第二活性材料層與該電極的該表面接觸，

其中該些第一堆疊結構與該些第二堆疊結構沿著平行於該電極的該表面的方向無序排列。

【第8項】 如申請專利範圍第7項所述的複合電極材料，其中該第一導電材料層的數量為 $N$ 個或 $N+1$ 個，該第一活性材料層的數量為 $N$ 個， $N$ 為大於等於1的整數，其中該些第一導電材料層與該些第一活性材料層沿著非平行於該電極的該表面的方向相互堆疊。

【第9項】 如申請專利範圍第7項所述的複合電極材料，其中該第二活性材料層的數量為 $i$ 個或 $i+1$ 個，該第二導電材料層的數量為 $i$ 個， $i$ 為大於等於1的整數，其中該些第二導電材料層與該些第二活性材料層沿著非平行於該電極的該表面的方向相互堆疊。

【第10項】 如申請專利範圍第7項所述的複合電極材料，其中該第一導電材料層與該第二導電材料層的材料包括石墨烯、石墨烯衍生物、奈米碳管、導電高分子單體或其組合。

【第11項】 如申請專利範圍第7項所述的複合電極材料，其中該第一活性材料層與該第二活性材料層的材料包括正極活性材料或負極活性材料。

【第12項】 如申請專利範圍第7項所述的複合電極材料，其中該第一活性材料層與該第二活性材料層的材料包括金屬氧化物、金屬氫氧化物、金屬硫氧化物、金屬硫化物、金屬氟化物、金屬或其組合。

【第13項】 一種複合電極材料的製造方法，包括：

提供一電沈積裝置，該電沈積裝置包括：

一混合溶液，具有一導電材料前驅物與一活性材料前驅物；以及

一工作電極與一輔助電極置入該混合溶液中；以及

對該電沈積裝置施加一交替電壓，以於該輔助電極的一表面上交替進行多次電化學反應，而形成一複合電極材料。

【第14項】如申請專利範圍第13項所述的複合電極材料的製造方法，其中該交替電壓包括一脈衝電壓、一交流電壓或一循環電壓。

【第15項】如申請專利範圍第13項所述的複合電極材料的製造方法，其中該導電材料前驅物包括石墨烯、石墨烯衍生物、奈米碳管、導電高分子單體或其組合。

【第16項】如申請專利範圍第13項所述的複合電極材料的製造方法，其中該活性材料前驅物包括一金屬鹽類，該金屬鹽類包括金屬硝酸鹽、金屬醋酸鹽、金屬硫酸鹽或其組合。

【第17項】如申請專利範圍第13項所述的複合電極材料的製造方法，其中該些電化學反應包括氧化還原反應、電泳沈積方式或其組合。

【第18項】如申請專利範圍第13項所述的複合電極材料的製造方法，其中該電沈積裝置包括捲對捲電鍍裝置。

【第19項】如申請專利範圍第13項所述的複合電極材料的製造方法，其中該複合電極材料包括：

多個導電材料層；以及

多個活性材料層，其中該些導電材料層與該些活性材料層沿著非平行於該輔助電極的該表面的方向相互堆疊，並沿著平行於該輔助電極的該表面的方向無序排列。

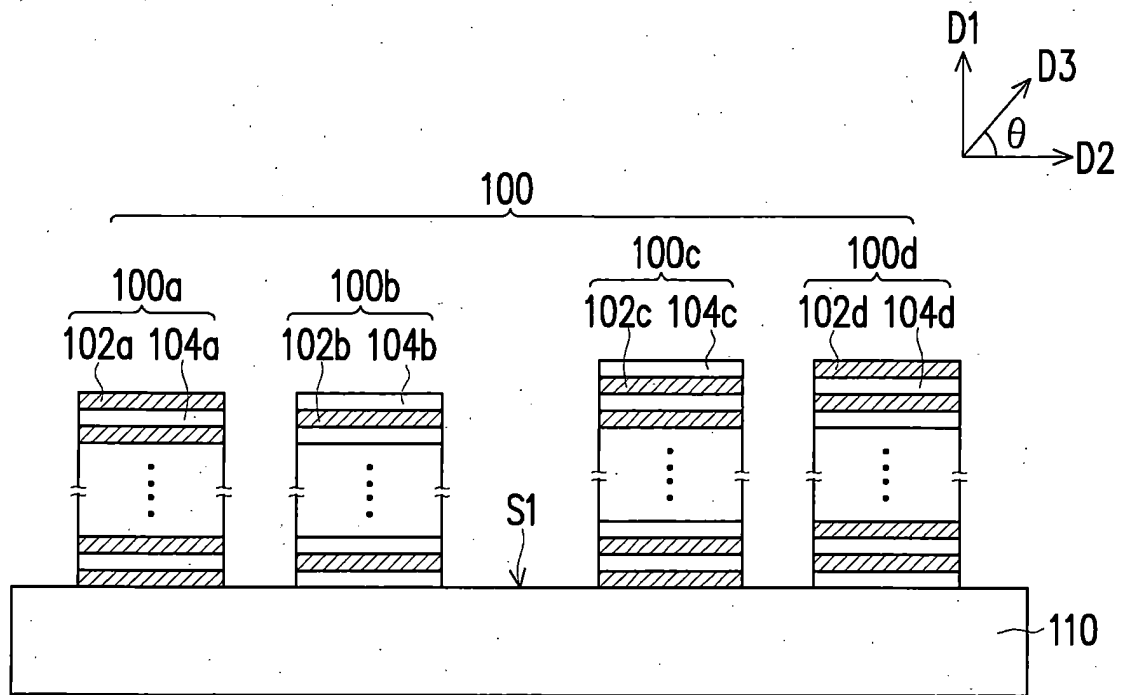
【第20項】如申請專利範圍第13項所述的複合電極材料的製造方法，其中該複合電極材料包括：

多個第一堆疊結構，配置在該輔助電極的該表面上，各該些第一堆疊結構具有至少一第一導電材料層與至少一第一活性材料層，其中該第一導電材料層與該輔助電極的該表面接觸；以及

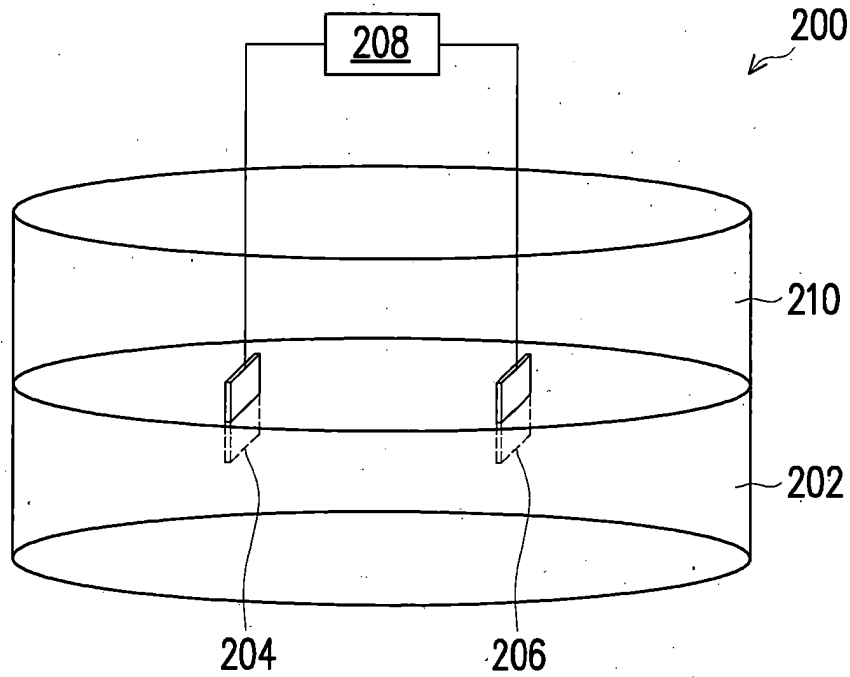
多個第二堆疊結構，配置在該輔助電極的該表面上，各該些第二堆疊結構具有至少一第二導電材料層與至少一第二活性材料層，其中該第二活性材料層與該輔助電極的該表面接觸，

其中該些第一堆疊結構與該些第二堆疊結構沿著平行於該輔助電極的該表面的方向無序排列。

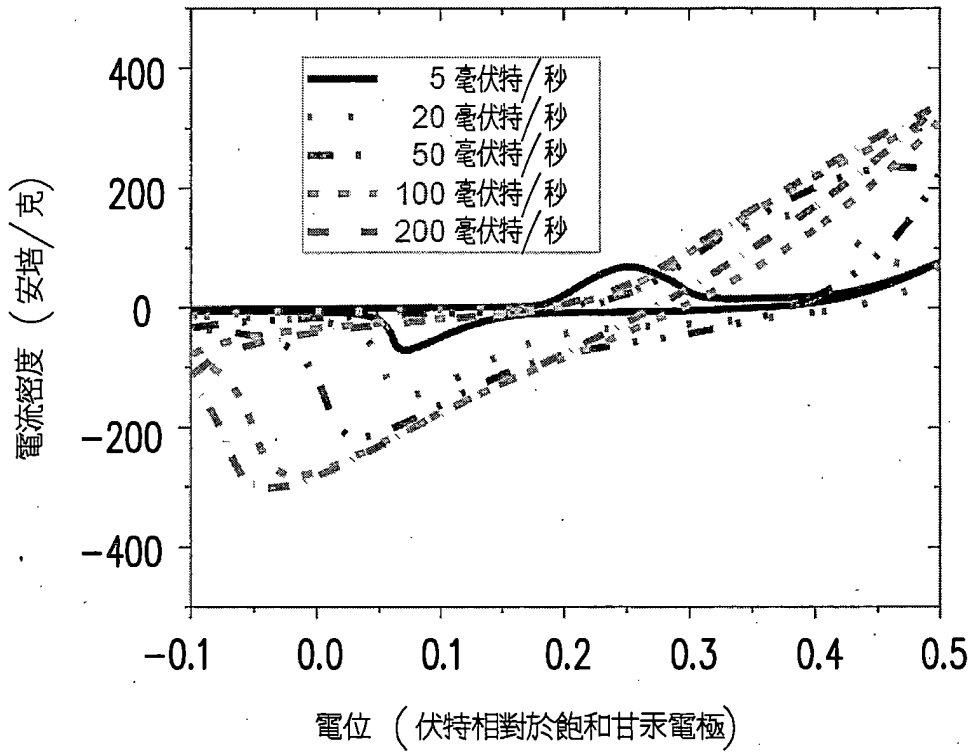
【發明圖式】



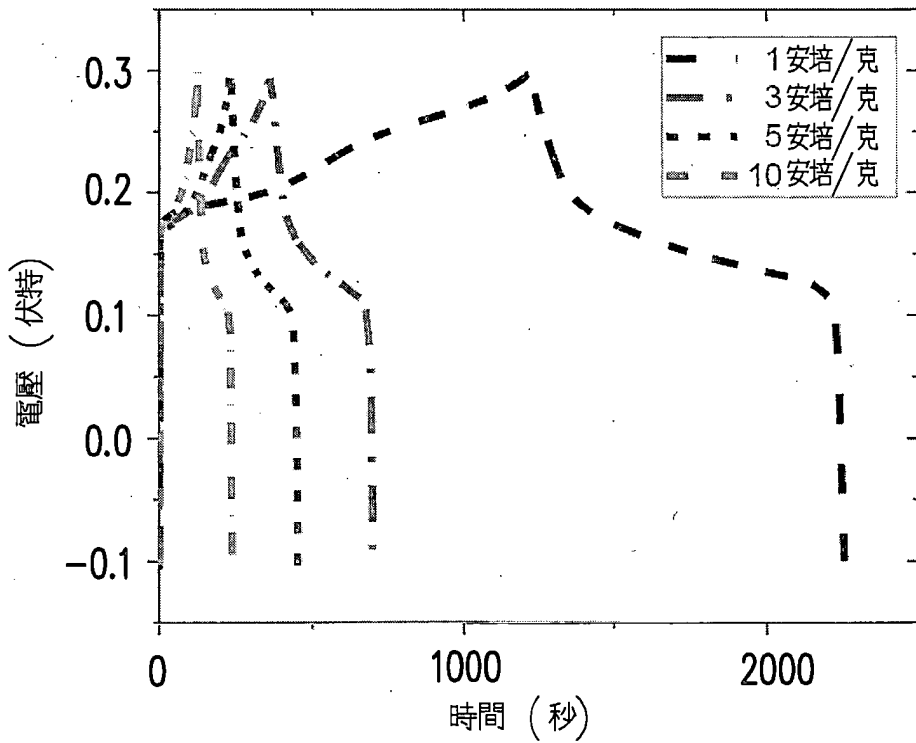
【圖1】



【圖2】

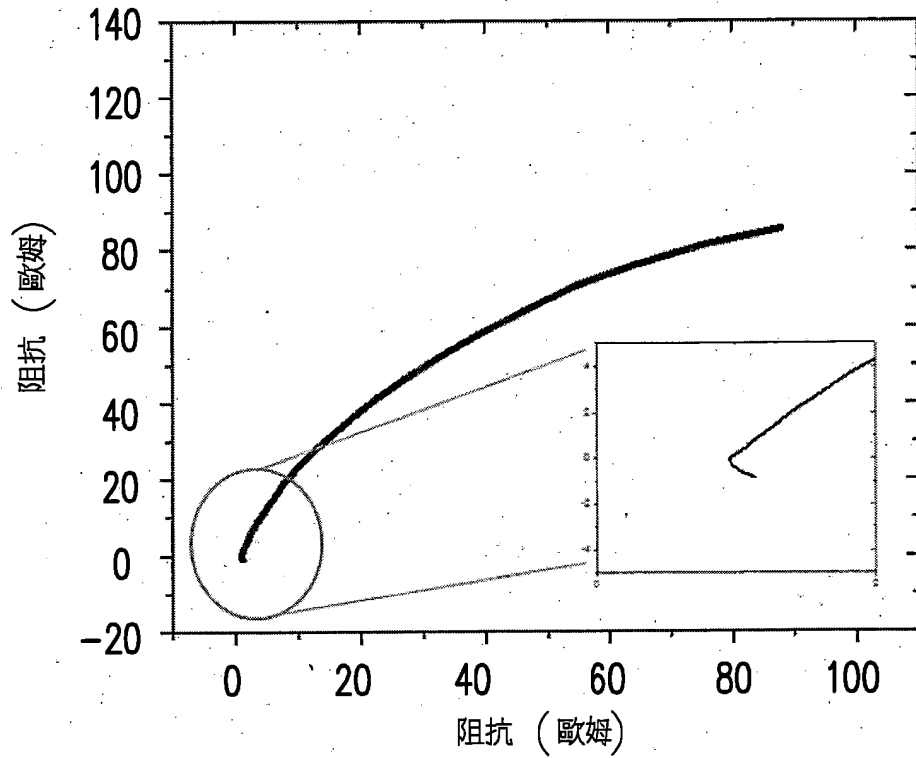


【圖3】

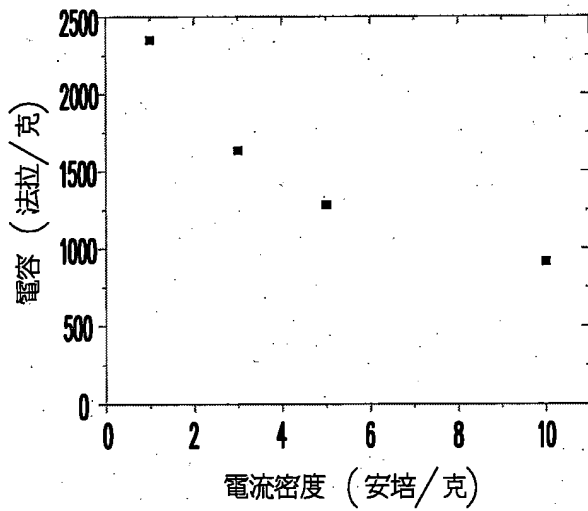


【圖4】

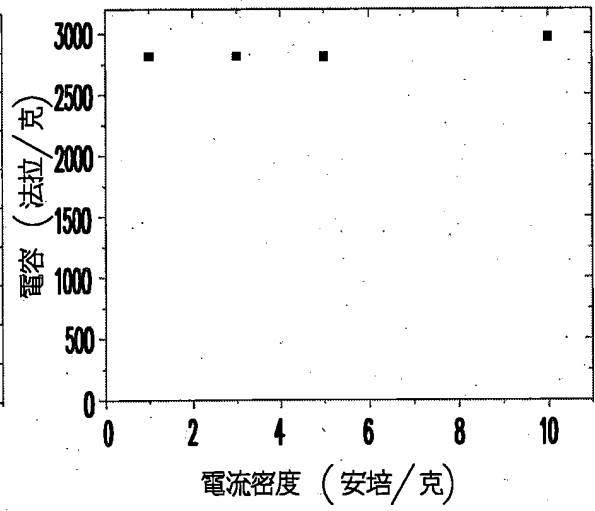




【圖5】



【圖6A】



【圖6B】