I759278

(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 I759278 B**

(45)公告日： 中華民國 111 (2022) 年 04 月 01 日

(21)申請案號：106103010 (22)申請日： 中華民國 106 (2017) 年 01 月 25 日

(51)Int. Cl.： ***H01G11/24 (2013.01)*** ***H01G11/28 (2013.01)***
H01G11/32 (2013.01) ***H01G11/46 (2013.01)***
H01G11/58 (2013.01) ***H01G11/66 (2013.01)***
H01G11/86 (2013.01)

(30)優先權：2016/01/26 美國 62/287,402
2016/01/26 美國 62/287,403

(71)申請人：加州大學董事會 (美國) THE REGENTS OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA (US)
美國

(72)發明人：段鑲鋒 DUAN, XIANGFENG (CN) ；黃 昱 HUANG, YU (US) ；帕龐德里亞 班傑明 PAPANDREA, BENJAMIN (US) ；徐旭 XU, XU (CN)

(74)代理人：惲軼群；劉法正

審查人員：陳文傑

申請專利範圍項數：36 項 圖式數：18 共 192 頁

(54)名稱

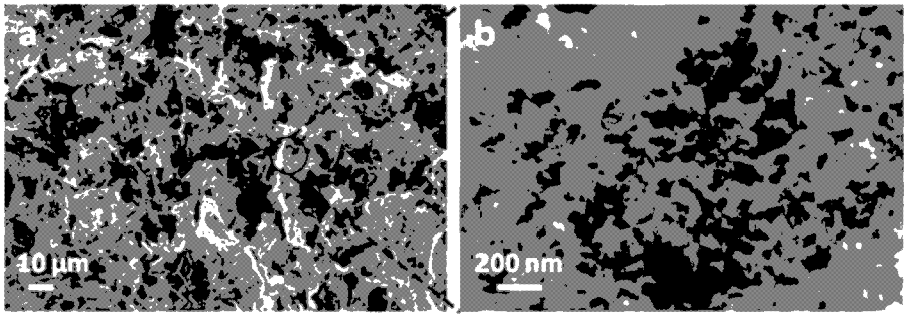
用於超級電容器的石墨烯架構

(57)摘要

本案揭露內容提供可避免當今能量儲存技術之缺點的超級電容器。被提供於此的是該等超級電容器的材料以及製造方法。在某些具體例中，一電化學系統包含有一第一電極、一第二電極，其中該第一電極和該第二電極之至少一者包含有一個三維多孔狀還原態氧化石墨烯架構。

The present disclosure provides supercapacitors that may avoid shortcomings of current energy storage technology. Provided herein are materials and fabrication processes of such supercapacitors. In some embodiments, an electrochemical system comprising a first electrode, a second electrode, wherein at least one of the first electrode and the second electrode comprises a three dimensional porous reduced graphene oxide framework.

指定代表圖：



【圖10】

專利案號：106103010

申請日：106年1月25日

I759278 申請案號：106103010

IPC分類：*H01G 11/24* (2013.01)
H01G 11/28 (2013.01)
H01G 11/32 (2013.01)
H01G 11/46 (2013.01)
H01G 11/58 (2013.01)
H01G 11/66 (2013.01)
H01G 11/86 (2013.01)

公告本

【發明摘要】

【中文發明名稱】

用於超級電容器的石墨烯架構

【英文發明名稱】

GRAPHENE FRAMEWORKS FOR SUPERCAPACITORS

【中文】

本案揭露內容提供可避免當今能量儲存技術之缺點的超級電容器。被提供於此的是該等超級電容器的材料以及製造方法。在某些具體例中，一電化學系統包含有一第一電極、一第二電極，其中該第一電極和該第二電極之至少一者包含有一個三維多孔狀還原態氧化石墨烯架構。

【英文】

The present disclosure provides supercapacitors that may avoid shortcomings of current energy storage technology. Provided herein are materials and fabrication processes of such supercapacitors. In some embodiments, an electrochemical system comprising a first electrode, a second electrode, wherein at least one of the first electrode and the second electrode comprises a three dimensional porous reduced graphene oxide framework.

【指定代表圖】　圖10

【代表圖之符號簡單說明】

(無)

【特徵化學式】

(無)

【發明說明書】

【中文發明名稱】

用於超級電容器的石墨烯架構

【英文發明名稱】

GRAPHENE FRAMEWORKS FOR SUPERCAPACITORS

【技術領域】

【0001】相關案件的交叉引述

本申請案主張於2016年1月26日提申的美國臨時專利申請案號62/287,402以及於2016年1月26日提申的美國臨時專利申請案號62/287,403的利益，該等案件於此被併入以作為參考。

【0002】本案揭露內容係有關用於超級電容器的石墨烯架構。

【先前技術】

【0003】發明背景

由於現代生活之快速增長的能源需求，高性能電能儲存裝置(high performance electrical energy storage devices)的發展已獲得重大關注。超級電容器(supercapacitors)是有希望的電能儲存裝置，它所具性質介於那些為電池(batteries)和傳統電容器(traditional capacitors)所具者之間，但它要比任何一者都更快地得到改進。在過去的幾十年，超級電容器已藉由替代越來越多的應用中的電池和電容器而成為日常生活用品(everyday products)的關鍵組件(key components)。這個技術的未來

成長端視能量密度(energy density)、功率密度(power density)、循環壽命(cycle life)和生產成本(production cost)的進一步改進而定。

【發明內容】

【0004】發明概要

本案發明人已認知到對於更高性能的電能儲存裝置(EESDs)之需求並提供一個解決方策。被提供於此的是石墨烯材料(graphene materials)、物質組成(compositions of matter)、製造方法(fabrication processes)以及具有改善性能的裝置。被描述於此的標的物(subject matter)之特徵提供高功率密度以及優異的低溫性能(low temperature performance)給包含但不限於備用電源(back-up power)、冷俥起動(cold starting)、閃燈相機(flash cameras)、再生制動(regenerative braking)以及油電混合車(hybrid electric vehicles)的應用。

【0005】被描述於此的應用在電子設備的領域(the areas of electronics)以及具有高功率密度的能量儲存系統上提供了改進。許多傳統的超級電容器展現出低能量和功率密度以及低循環和電容能力。雖然一般的電子裝置(normal electronic devices)已遵循摩爾定律(Moore's law)而看到非常快速的進展，電能儲存裝置因為缺乏具有高電荷儲存容量(charge storage capacity)的新材料而僅有些微地進步。

【0006】本案揭露內容提供可避免當今能量儲存技

術之缺點的超級電容器。被提供於此的是該等超級電容器的材料以及製造方法。在某些具體例中，一電化學系統(electrochemical system)包含有一第一電極、一第二電極，其中該第一電極和該第二電極之至少一者包含有一個三維多孔狀還原態氧化石墨烯架構(three dimensional porous reduced graphene oxide framework)。在某些具體例中，該能量儲存裝置(energy storage device)進一步包含有一電解質(electrolyte)被配置在該第一電極和該第二電極之間。在某些具體例中，該電解質是一水性電解質(aqueous electrolyte)。在某些具體例中，該電化學系統進一步包含有一分離器(separator)被配置在該第一電極和該第二電極之間。在某些具體例中，該電化學系統進一步包含有一電流收集器(current collector)。

【0007】被提供於此的一個方面是一種包含有一個3D石墨烯架構(3D graphene framework)的電極，其包括：一由具有一多孔結構[例如，一階層式多孔結構(hierarchical porous structure)]的石墨烯薄片(graphene sheets)所構成的互連傳導網狀結構(interconnected conductive network)，以及一包含有一電容或擬電容材料(capacitive or pseudo-capacitive material)的複合材料(composite material)。

【0008】在某些具體例中，該3D石墨烯架構包含有一個多孔洞3D石墨烯架構(holey 3D graphene framework)。

【0009】在某些具體例中，該電極具有一比表面積(specific surface area)為大約450 m^2/g至大約3,000 m^2/g。在某些具體例中，該電極具有一比表面積為至少大約450 m^2/g。在某些具體例中，該電極具有一比表面積為至多大約3,000 m^2/g。在某些具體例中，該電極具有一比表面積為大約450 m^2/g至大約600 m^2/g、大約450 m^2/g至大約750 m^2/g、大約450 m^2/g至大約900 m^2/g、大約450 m^2/g至大約1,050 m^2/g、大約450 m^2/g至大約1,200 m^2/g、大約450 m^2/g至大約1,800 m^2/g、大約450 m^2/g至大約2,200 m^2/g、大約450 m^2/g至大約2,600 m^2/g、大約450 m^2/g至大約3,000 m^2/g、大約600 m^2/g至大約750 m^2/g、大約600 m^2/g至大約900 m^2/g、大約600 m^2/g至大約1,050 m^2/g、大約600 m^2/g至大約1,200 m^2/g、大約600 m^2/g至大約1,800 m^2/g、大約600 m^2/g至大約2,200 m^2/g、大約600 m^2/g至大約2,600 m^2/g、大約600 m^2/g至大約3,000 m^2/g、大約750 m^2/g至大約900 m^2/g、大約750 m^2/g至大約1,050 m^2/g、大約750 m^2/g至大約1,200 m^2/g、大約750 m^2/g至大約1,800 m^2/g、大約750 m^2/g至大約2,200 m^2/g、大約750 m^2/g至大約2,600 m^2/g、大約750 m^2/g至大約3,000 m^2/g、大約900 m^2/g至大約1,050 m^2/g、大約900 m^2/g至大約1,200 m^2/g、大約900 m^2/g至大約1,800 m^2/g、大約900 m^2/g至大約2,200 m^2/g、大約900 m^2/g至大約2,600 m^2/g、大約900 m^2/g至大約3,000 m^2/g、大約1,050 m^2/g至大約1,200 m^2/g、大約1,050 m^2/g

至大約1,800 m²/g、大約1,050 m²/g至大約2,200 m²/g、大約1,050 m²/g至大約2,600 m²/g、大約1,050 m²/g至大約3,000 m²/g、大約1,200 m²/g至大約1,800 m²/g、大約1,200 m²/g至大約2,200 m²/g、大約1,200 m²/g至大約2,600 m²/g、大約1,200 m²/g至大約3,000 m²/g、大約1,800 m²/g至大約2,200 m²/g、大約1,800 m²/g至大約2,600 m²/g、大約1,800 m²/g至大約3,000 m²/g、大約2,200 m²/g至大約2,600 m²/g、大約2,200 m²/g至大約3,000 m²/g，或大約2,600 m²/g至大約3,000 m²/g。

【0010】在某些具體例中，該電極具有一負載比(loading ratio)為大約30%至大約99%。在某些具體例中，該電極具有一負載比為至少大約30%。在某些具體例中，該電極具有一負載比為大約99%。在某些具體例中，該電極具有一負載比為大約30%至大約40%、大約30%至大約50%、大約30%至大約60%、大約30%至大約70%、大約30%至大約80%、大約30%至大約90%、大約30%至大約99%、大約40%至大約50%、大約40%至大約60%、大約40%至大約70%、大約40%至大約80%、大約40%至大約90%、大約40%至大約99%、大約50%至大約60%、大約50%至大約70%、大約50%至大約80%、大約50%至大約90%、大約50%至大約99%、大約60%至大約70%、大約60%至大約80%、大約60%至大約90%、大約60%至大約99%、大約70%至大約80%、大約70%至大約90%、大約70%至大約99%、大約80%至大約90%、大約80%至

大約99%，或大約90%至大約99%。

【0011】在某些具體例中，該電極具有一循環壽命(cycle lifetime)為大約500次循環至大約2,000,000次循環。在某些具體例中，該電極具有一循環壽命為至少大約500次循環。在某些具體例中，該電極具有一循環壽命為至多大約2,000,000次循環。在某些具體例中，該電極具有一循環壽命為大約500次循環至大約1,000次循環、大約500次循環至大約5,000次循環、大約500次循環至大約10,000次循環、大約500次循環至大約50,000次循環、大約500次循環至大約100,000次循環、大約500次循環至大約500,000次循環、大約500次循環至大約1,000,000次循環、大約500次循環至大約2,000,000次循環、大約1,000次循環至大約5,000次循環、大約1,000次循環至大約10,000次循環、大約1,000次循環至大約50,000次循環、大約1,000次循環至大約100,000次循環、大約1,000次循環至大約500,000次循環、大約1,000次循環至大約1,000,000次循環、大約1,000次循環至大約2,000,000次循環、大約5,000次循環至大約10,000次循環、大約5,000次循環至大約50,000次循環、大約5,000次循環至大約100,000次循環、大約5,000次循環至大約500,000次循環、大約5,000次循環至大約1,000,000次循環、大約5,000次循環至大約2,000,000次循環、大約10,000次循環至大約50,000次循環、大約10,000次循環至大約100,000次循環、大約10,000次循環至大約500,000次循環、大約10,000

次循環至大約1,000,000次循環、大約10,000次循環至大約2,000,000次循環、大約50,000次循環至大約100,000次循環、大約50,000次循環至大約500,000次循環、大約50,000次循環至大約1,000,000次循環、大約50,000次循環至大約2,000,000次循環、大約100,000次循環至大約500,000次循環、大約100,000次循環至大約1,000,000次循環、大約100,000次循環至大約2,000,000次循環、大約500,000次循環至大約1,000,000次循環、大約500,000次循環至大約2,000,000次循環，或大約1,000,000次循環至大約2,000,000次循環。

【0012】在某些具體例中，該電極在一為大約0.1的充放電速率(C-rate)之下具有一比電容量(specific capacity)是大約至少250 mAh/g至大約2,600 mAh/g。在某些具體例中，該電極在一為大約0.1的充放電速率之下具有一比電容量是至少大約250 mAh/g。在某些具體例中，該電極在一為大約0.1的充放電速率之下具有一比電容量是至多大約4,000 mAh/g。在某些具體例中，該電極在一為大約0.1的充放電速率之下具有一比電容量是大約250 mAh/g至大約500 mAh/g、大約250 mAh/g至大約750 mAh/g、大約250 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約250 mAh/g至大約2,000 mAh/g、大約250 mAh/g至大約3,000 mAh/g、大約250 mAh/g至大約4,000 mAh/g、大約500 mAh/g至大約750 mAh/g、大約500 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約500 mAh/g至大約2,000 mAh/g、大約500

mAh/g至大約3,000 mAh/g、大約500 mAh/g至大約4,000 mAh/g、大約750 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約750 mAh/g至大約2,000 mAh/g、大約750 mAh/g至大約3,000 mAh/g、大約750 mAh/g至大約4,000 mAh/g、大約1,000 mAh/g至大約2,000 mAh/g、大約1,000 mAh/g至大約3,000 mAh/g、大約1,000 mAh/g至大約4,000 mAh/g、大約2,000 mAh/g至大約3,000 mAh/g、大約2,000 mAh/g至大約4,000 mAh/g，或大約3,000 mAh/g至大約4,000 mAh/g。

【0013】在某些具體例中，該電極具有一孔隙度(porosity)是大約90%至大約99%。在某些具體例中，該電極具有一孔隙度是至少大約90%。在某些具體例中，該電極具有一孔隙度是至多大約99%。在某些具體例中，該電極具有一孔隙度是大約90%至大約92%、大約90%至大約94%、大約90%至大約96%、大約90%至大約98%、大約90%至大約99%、大約92%至大約94%、大約92%至大約96%、大約92%至大約98%、大約92%至大約99%、大約94%至大約96%、大約94%至大約98%、大約94%至大約99%、大約96%至大約98%、大約96%至大約99%，或大約98%至大約99%。

【0014】在某些具體例中，該電極具有一孔徑(pore diameter)為大約0.002 μm至大約100,000 μm。在某些具體例中，該電極具有一孔徑為至少大約0.002 μm。在某些具體例中，該電極具有一孔徑為至多大約100,000 μm。在

某些具體例中，該電極具有一孔徑為至多大約100 μm。在某些具體例中，該電極具有一孔徑為大約0.002 μm至大約0.01 μm、大約0.002 μm至大約0.1 μm、大約0.002 μm至大約1 μm、大約0.002 μm至大約10 μm、大約0.002 μm至大約100 μm、大約0.002 μm至大約1,000 μm、大約0.002 μm至大約10,000 μm、大約0.002 μm至大約100,000 μm、大約0.01 μm至大約0.1 μm、大約0.01 μm至大約1 μm、大約0.01 μm至大約10 μm、大約0.01 μm至大約100 μm、大約0.01 μm至大約1,000 μm、大約0.01 μm至大約10,000 μm、大約0.01 μm至大約100,000 μm、大約0.1 μm至大約1 μm、大約0.1 μm至大約10 μm、大約0.1 μm至大約100 μm、大約0.1 μm至大約1,000 μm、大約0.1 μm至大約10,000 μm、大約0.1 μm至大約100,000 μm、大約1 μm至大約10 μm、大約1 μm至大約100 μm、大約1 μm至大約1,000 μm、大約1 μm至大約10,000 μm、大約1 μm至大約100,000 μm、大約10 μm至大約100 μm、大約10 μm至大約1,000 μm、大約10 μm至大約10,000 μm、大約10 μm至大約100,000 μm、大約100 μm至大約1,000 μm、大約100 μm至大約10,000 μm、大約100 μm至大約100,000 μm、大約1,000 μm至大約10,000 μm、大約1,000 μm至大約100,000 μm、大約10,000 μm至大約100,000 μm、大約0.002 μm至大約0.005 μm、大約0.002 μm至大約0.02 μm、大約0.002 μm至大約0.05 μm、大約0.002 μm至大約0.2 μm、大約0.002 μm至大約

0.5 μm、大約0.002 μm至大約2 μm、大約0.002 μm至大約5 μm、大約0.002 μm至大約20 μm、大約0.002 μm至大約50 μm、大約0.002 μm至大約100 μm、大約0.005 μm至大約0.02 μm、大約0.005 μm至大約0.05 μm、大約0.005 μm至大約0.2 μm、大約0.005 μm至大約0.5 μm、大約0.005 μm至大約2 μm、大約0.005 μm至大約5 μm、大約0.005 μm至大約20 μm、大約0.005 μm至大約50 μm、大約0.005 μm至大約100 μm、大約0.02 μm至大約0.05 μm、大約0.02 μm至大約0.2 μm、大約0.02 μm至大約0.5 μm、大約0.02 μm至大約2 μm、大約0.02 μm至大約5 μm、大約0.02 μm至大約20 μm、大約0.02 μm至大約50 μm、大約0.02 μm至大約100 μm、大約0.05 μm至大約0.2 μm、大約0.05 μm至大約0.5 μm、大約0.05 μm至大約2 μm、大約0.05 μm至大約5 μm、大約0.05 μm至大約20 μm、大約0.05 μm至大約50 μm、大約0.05 μm至大約100 μm、大約0.2 μm至大約0.5 μm、大約0.2 μm至大約2 μm、大約0.2 μm至大約5 μm、大約0.2 μm至大約20 μm、大約0.2 μm至大約50 μm、大約0.2 μm至大約100 μm、大約0.5 μm至大約2 μm、大約0.5 μm至大約5 μm、大約0.5 μm至大約20 μm、大約0.5 μm至大約50 μm、大約0.5 μm至大約100 μm、大約2 μm至大約5 μm、大約2 μm至大約20 μm、大約2 μm至大約50 μm、大約2 μm至大約100 μm、大約5 μm至大約20 μm、大約5 μm至大約50 μm、大約5 μm至大約100 μm、大約20 μm至大約50 μm、大約

20 μm至大約100 μm，或大約50 μm至大約100 μm。

【0015】在某些具體例中，該電極不包含有一黏合劑(binder)。在某些具體例中，該電極不包含有一導電性添加劑(conductive additive)。在某些具體例中，該電極不包含有一導電性添加劑或一黏合劑。

【0016】在某些具體例中，該電極是自立的(freestanding)。

【0017】在其中該電極包括一包含有一由具有一多孔結構的石墨烯薄片所構成的互連傳導網狀結構之3D石墨烯架構的某些具體例中，該電極具有一厚度(thickness)為至多大約280 μm。在其中該電極包括一包含有一由具有一多孔結構的石墨烯薄片所構成的互連傳導網狀結構之3D石墨烯架構的某些具體例中，該電極具有一厚度為大約70 μm至大約280 μm。在其中該電極包括一包含有一由具有一多孔結構的石墨烯薄片所構成的互連傳導網狀結構之3D石墨烯架構的某些具體例中，該電極具有一厚度為至少大約70 μm。在其中該電極包括一包含有一由具有一多孔結構的石墨烯薄片所構成的互連傳導網狀結構之3D石墨烯架構的某些具體例中，該電極具有一厚度為大約70 μm至大約100 μm、大約70 μm至大約130 μm、大約70 μm至大約160 μm、大約70 μm至大約190 μm、大約70 μm至大約220 μm、大約70 μm至大約250 μm、大約70 μm至大約280 μm、大約100 μm至大約130 μm、大約100 μm至大約160 μm、大約100 μm至大約190 μm、大約100 μm

至大約220 μm、大約100 μm至大約250 μm、大約100 μm至大約280 μm、大約130 μm至大約160 μm、大約130 μm至大約190 μm、大約130 μm至大約220 μm、大約130 μm至大約250 μm、大約130 μm至大約280 μm、大約160 μm至大約190 μm、大約160 μm至大約220 μm、大約160 μm至大約250 μm、大約160 μm至大約280 μm、大約190 μm至大約220 μm、大約190 μm至大約250 μm、大約190 μm至大約280 μm、大約220 μm至大約250 μm、大約220 μm至大約280 μm，或大約250 μm至大約280 μm。

【0018】在其中該電極包括一包含有一由具有一多孔結構的石墨烯薄片所構成的互連傳導網狀結構之3D石墨烯架構的某些具體例中，該電極具有一區域負載質量(areal loading mass)為大約1 mg/cm²至大約15 mg/cm²。在其中該電極包括一包含有一由具有一多孔結構的石墨烯薄片所構成的互連傳導網狀結構之3D石墨烯架構的某些具體例中，該電極具有一區域負載質量為至少大約1 mg/cm²。在其中該電極包括一包含有一由具有一多孔結構的石墨烯薄片所構成的互連傳導網狀結構之3D石墨烯架構的某些具體例中，該電極具有一區域負載質量為至多大約15 mg/cm²。在其中該電極包括一包含有一由具有一多孔結構的石墨烯薄片所構成的互連傳導網狀結構之3D石墨烯架構的某些具體例中，該電極具有一區域負載質量為大約1 mg/cm²至大約2 mg/cm²、大約1 mg/cm²至大約3 mg/cm²、大約1 mg/cm²至大約5 mg/cm²、大約1 mg/cm²

至大約8 mg/cm²、大約1 mg/cm²至大約12 mg/cm²、大約1 mg/cm²至大約15 mg/cm²、大約2 mg/cm²至大約3 mg/cm²、大約2 mg/cm²至大約5 mg/cm²、大約2 mg/cm²至大約8 mg/cm²、大約2 mg/cm²至大約12 mg/cm²、大約2 mg/cm²至大約15 mg/cm²、大約3 mg/cm²至大約5 mg/cm²、大約3 mg/cm²至大約8 mg/cm²、大約3 mg/cm²至大約12 mg/cm²、大約3 mg/cm²至大約15 mg/cm²、大約5 mg/cm²至大約8 mg/cm²、大約5 mg/cm²至大約12 mg/cm²、大約5 mg/cm²至大約15 mg/cm²、大約8 mg/cm²至大約12 mg/cm²、大約8 mg/cm²至大約15 mg/cm²，或大約12 mg/cm²至大約15 mg/cm²。

【0019】在其中該電極包括一包含有一由具有一多孔結構的石墨烯薄片所構成的互連傳導網狀結構之3D石墨烯架構的某些具體例中，該電極具有一比表面積為大約500 m²/g至大約3,000 m²/g。在其中該電極包括一包含有一由具有一多孔結構的石墨烯薄片所構成的互連傳導網狀結構之3D石墨烯架構的某些具體例中，該電極具有一比表面積為至少大約500 m²/g。在其中該電極包括一包含有一由具有一多孔結構的石墨烯薄片所構成的互連傳導網狀結構之3D石墨烯架構的某些具體例中，該電極具有一比表面積為至多大約3,000 m²/g。在其中該電極包括一包含有一由具有一多孔結構的石墨烯薄片所構成的互連傳導網狀結構之3D石墨烯架構的某些具體例中，該電極具有一比表面積為大約500 m²/g至大約750 m²/g、大約500 m²/g至大約

1,000 m²/g、大約500 m²/g至大約1,500 m²/g、大約500 m²/g至大約2,000 m²/g、大約500 m²/g至大約2,500 m²/g、大約500 m²/g至大約3,000 m²/g、大約750 m²/g至大約1,000 m²/g、大約750 m²/g至大約1,500 m²/g、大約750 m²/g至大約2,000 m²/g、大約750 m²/g至大約2,500 m²/g、大約750 m²/g至大約3,000 m²/g、大約1,000 m²/g至大約1,500 m²/g、大約1,000 m²/g至大約2,000 m²/g、大約1,000 m²/g至大約2,500 m²/g、大約1,000 m²/g至大約3,000 m²/g、大約1,500 m²/g至大約2,000 m²/g、大約1,500 m²/g至大約2,500 m²/g、大約1,500 m²/g至大約3,000 m²/g、大約2,000 m²/g至大約2,500 m²/g、大約2,000 m²/g至大約3,000 m²/g，或大約2,500 m²/g至大約3,000 m²/g。

【0020】在其中該電極包括一包含有一由具有一多孔結構的石墨烯薄片所構成的互連傳導網狀結構之3D石墨烯架構的某些具體例中，該電極具有一孔隙度為大約90%至大約99%。在其中該電極包括一包含有一由具有一多孔結構的石墨烯薄片所構成的互連傳導網狀結構之3D石墨烯架構的某些具體例中，該電極具有一孔隙度為至少大約90%。在其中該電極包括一包含有一由具有一多孔結構的石墨烯薄片所構成的互連傳導網狀結構之3D石墨烯架構的某些具體例中，該電極具有一孔隙度為至多大約99%。在其中該電極包括一包含有一由具有一多孔結構的石墨烯薄片所構成的互連傳導網狀結構之3D石墨烯架構

的某些具體例中，該電極具有一孔隙度為大約90%至大約92%、大約90%至大約94%、大約90%至大約96%、大約90%至大約98%、大約90%至大約99%、大約92%至大約94%、大約92%至大約96%、大約92%至大約98%、大約92%至大約99%、大約94%至大約96%、大約94%至大約98%、大約94%至大約99%、大約96%至大約98%、大約96%至大約99%，或大約98%至大約99%。

【0021】在其中該電極包括一包含有一由具有一多孔結構的石墨烯薄片所構成的互連傳導網狀結構之3D石墨烯架構的某些具體例中，該電極具有一傳導率(conductivity)為大約500 S/m至大約2,000 S/m。在其中該電極包括一包含有一由具有一多孔結構的石墨烯薄片所構成的互連傳導網狀結構之3D石墨烯架構的某些具體例中，該電極具有一傳導率為至少大約500 S/m。在其中該電極包括一包含有一由具有一多孔結構的石墨烯薄片所構成的互連傳導網狀結構之3D石墨烯架構的某些具體例中，該電極具有一傳導率為至多大約2,000 S/m。在其中該電極包括一包含有一由具有一多孔結構的石墨烯薄片所構成的互連傳導網狀結構之3D石墨烯架構的某些具體例中，該電極具有一傳導率為大約500 S/m至大約750 S/m、大約500 S/m至大約1,000 S/m、大約500 S/m至大約1,250 S/m、大約500 S/m至大約1,500 S/m、大約500 S/m至大約1,750 S/m、大約500 S/m至大約2,000 S/m、大約750 S/m至大約1,000 S/m、大約750 S/m至大約1,250 S/m、

大約750 S/m至大約1,500 S/m、大約750 S/m至大約1,750 S/m、大約750 S/m至大約2,000 S/m、大約1,000 S/m至大約1,250 S/m、大約1,000 S/m至大約1,500 S/m、大約1,000 S/m至大約1,750 S/m、大約1,000 S/m至大約2,000 S/m、大約1,250 S/m至大約1,500 S/m、大約1,250 S/m至大約1,750 S/m、大約1,250 S/m至大約2,000 S/m、大約1,500 S/m至大約1,750 S/m、大約1,500 S/m至大約2,000 S/m，或大約1,750 S/m至大約2,000 S/m。

【0022】在其中該電極包括一包含有一由具有一多孔結構的石墨烯薄片所構成的互連傳導網狀結構之3D石墨烯架構的某些具體例中，該電極具有一電極-比重量電容(electrode-specific gravimetric capacitance)為大約125 F/g至大約800 F/g。在其中該電極包括一包含有一由具有一多孔結構的石墨烯薄片所構成的互連傳導網狀結構之3D石墨烯架構的某些具體例中，該電極具有一電極-比重量電容為至少大約125 F/g。在其中該電極包括一包含有一由具有一多孔結構的石墨烯薄片所構成的互連傳導網狀結構之3D石墨烯架構的某些具體例中，該電極具有一電極-比重量電容為至多大約800 F/g。在其中該電極包括一包含有一由具有一多孔結構的石墨烯薄片所構成的互連傳導網狀結構之3D石墨烯架構的某些具體例中，該電極具有一電極-比重量電容為大約125 F/g至大約200 F/g、大約125 F/g至大約300 F/g、大約125 F/g至大約400 F/g、大約125 F/g至大約500 F/g、大約125 F/g至大約600 F/g、大約125

F/g至大約700 F/g、大約125 F/g至大約800 F/g、大約200 F/g至大約300 F/g、大約200 F/g至大約400 F/g、大約200 F/g至大約500 F/g、大約200 F/g至大約600 F/g、大約200 F/g至大約700 F/g、大約200 F/g至大約800 F/g、大約300 F/g至大約400 F/g、大約300 F/g至大約500 F/g、大約300 F/g至大約600 F/g、大約300 F/g至大約700 F/g、大約300 F/g至大約800 F/g、大約400 F/g至大約500 F/g、大約400 F/g至大約600 F/g、大約400 F/g至大約700 F/g、大約400 F/g至大約800 F/g、大約500 F/g至大約600 F/g、大約500 F/g至大約700 F/g、大約500 F/g至大約800 F/g、大約600 F/g至大約700 F/g、大約600 F/g至大約800 F/g，或大約700 F/g至大約800 F/g。

【0023】在某些具體例中，該電極是一複合電極(composite electrode)，其中該複合材料包含有一電容或擬電容材料。在某些具體例中，該電容或擬電容材料包含有矽(silicon)、硫(sulfur)、五氧化二鈮(Nb_2O_5)、三氧化二鋁(Al_2O_3)、五氧化二釩(V_2O_5)、七氧化二錸(Re_2O_7)、三氧化鉻(CrO_3)、二氧化鈰(CeO_2)、二氧化釕(RuO_2)、二氧化鋯(ZrO_2)、三氧化鉬(MoO_3)、三氧化鎢(WO_3)、二氧化鈦(TiO_2)或此等的任一組合。

【0024】在某些具體例中，該電極是一複合電極，其中該複合材料包含有矽。

【0025】在其中該電極是一複合電極以及其中該複合材料包含有矽的某些具體例中，該電極具有一比表面積

為大約450 m²/g至大約1,800 m²/g。在其中該電極是一複合電極以及其中該複合材料包含有矽的某些具體例中，該電極具有一比表面積為至少大約450 m²/g。在其中該電極是一複合電極以及其中該複合材料包含有矽的某些具體例中，該電極具有一比表面積為至多大約1,800 m²/g。在其中該電極是一複合電極以及其中該複合材料包含有矽的某些具體例中，該電極具有一比表面積為大約450 m²/g至大約750 m²/g、大約450 m²/g至大約1,000 m²/g、大約450 m²/g至大約1,500 m²/g、大約450 m²/g至大約2,000 m²/g、大約450 m²/g至大約2,500 m²/g、大約450 m²/g至大約3,000 m²/g、大約750 m²/g至大約1,000 m²/g、大約750 m²/g至大約1,500 m²/g、大約750 m²/g至大約2,000 m²/g、大約750 m²/g至大約2,500 m²/g、大約750 m²/g至大約3,000 m²/g、大約1,000 m²/g至大約1,500 m²/g、大約1,000 m²/g至大約2,000 m²/g、大約1,000 m²/g至大約2,500 m²/g、大約1,000 m²/g至大約3,000 m²/g，或大約1,500 m²/g至大約1,800 m²/g。

【0026】在其中該電極是一複合電極以及其中該複合材料包含有矽的某些具體例中，該電極具有一負載比為大約35%至大約95%。在其中該電極是一複合電極以及其中該複合材料包含有矽的某些具體例中，該電極具有一負載比為至少大約35%。在其中該電極是一複合電極以及其中該複合材料包含有矽的某些具體例中，該電極具有一負載比為至多約95%。在其中該電極是一複合電極以及其中

該複合材料包含有矽的某些具體例中，該電極具有一負載比為大約35%至大約40%、大約35%至大約45%、大約35%至大約50%、大約35%至大約55%、大約35%至大約60%、大約35%至大約65%、大約35%至大約70%、大約35%至大約85%、大約35%至大約90%、大約35%至大約95%、大約40%至大約45%、大約40%至大約50%、大約40%至大約55%、大約40%至大約60%、大約40%至大約65%、大約40%至大約70%、大約40%至大約85%、大約40%至大約90%、大約40%至大約95%、大約45%至大約50%、大約45%至大約55%、大約45%至大約60%、大約45%至大約65%、大約45%至大約70%、大約45%至大約85%、大約45%至大約90%、大約45%至大約95%、大約50%至大約55%、大約50%至大約60%、大約50%至大約65%、大約50%至大約70%、大約50%至大約85%、大約50%至大約90%、大約50%至大約95%、大約55%至大約60%、大約55%至大約65%、大約55%至大約70%、大約55%至大約85%、大約55%至大約90%、大約55%至大約95%、大約60%至大約65%、大約60%至大約70%、大約60%至大約85%、大約60%至大約90%、大約60%至大約95%、大約65%至大約70%、大約65%至大約85%、大約65%至大約90%、大約65%至大約95%、大約70%至大約85%、大約70%至大約90%、大約70%至大約95%、大約85%至大約90%、大約85%至大約95%，或大約90%至大約95%。

【0027】在其中該電極是一複合電極以及其中該複

合材料包含有矽的某些具體例中，該電極具有一傳導率為大約700 S/m至大約2,800 S/m。在其中該電極是一複合電極以及其中該複合材料包含有矽的某些具體例中，該電極具有一傳導率為至少大約700 S/m。在其中該電極是一複合電極以及其中該複合材料包含有矽的某些具體例中，該電極具有一傳導率為至多大約2,800 S/m。在其中該電極是一複合電極以及其中該複合材料包含有矽的某些具體例中，該電極具有一傳導率為大約700 S/m至大約800 S/m、大約700 S/m至大約1,000 S/m、大約700 S/m至大約1,200 S/m、大約700 S/m至大約1,400 S/m、大約700 S/m至大約1,800 S/m、大約700 S/m至大約2,200 S/m、大約700 S/m至大約2,800 S/m、大約800 S/m至大約1,000 S/m、大約800 S/m至大約1,200 S/m、大約800 S/m至大約1,400 S/m、大約800 S/m至大約1,800 S/m、大約800 S/m至大約2,200 S/m、大約800 S/m至大約2,800 S/m、大約1,000 S/m至大約1,200 S/m、大約1,000 S/m至大約1,400 S/m、大約1,000 S/m至大約1,800 S/m、大約1,000 S/m至大約2,200 S/m、大約1,000 S/m至大約2,800 S/m、大約1,200 S/m至大約1,400 S/m、大約1,200 S/m至大約1,800 S/m、大約1,200 S/m至大約2,200 S/m、大約1,200 S/m至大約2,800 S/m、大約1,400 S/m至大約1,800 S/m、大約1,400 S/m至大約2,200 S/m、大約1,400 S/m至大約2,800 S/m、大約1,800 S/m至大約2,200 S/m、大約1,800 S/m至大約2,800 S/m，或大約2,200 S/m至大約2,800 S/m。

【0028】在其中該電極是一複合電極以及其中該複合材料包含有矽的某些具體例中，該電極具有一操作電壓電位(operation voltage potential)為大約0.25 V至大約1 V。在其中該電極是一複合電極以及其中該複合材料包含有矽的某些具體例中，該電極具有一操作電壓電位為至少大約0.25 V。在其中該電極是一複合電極以及其中該複合材料包含有矽的某些具體例中，該電極具有一操作電壓電位為至多大約1 V。在其中該電極是一複合電極以及其中該複合材料包含有矽的某些具體例中，該電極具有一操作電壓電位為大約0.25 V至大約0.375 V、大約0.25 V至大約0.5 V、大約0.25 V至大約0.625 V、大約0.25 V至大約1 V、大約0.375 V至大約0.5 V、大約0.375 V至大約0.625 V、大約0.375 V至大約1 V、大約0.5 V至大約0.625 V、大約0.5 V至大約1 V，或大約0.625 V至大約1 V。

【0029】在其中該電極是一複合電極以及其中該複合材料包含有矽的某些具體例中，該電極在0.1 C之下具有一比電容量是大約250 mAh/g至大約4,000 mAh/g。在其中該電極是一複合電極以及其中該複合材料包含有矽的某些具體例中，該電極在0.1 C之下具有一比電容量是至少大約250 mAh/g。在其中該電極是一複合電極以及其中該複合材料包含有矽的某些具體例中，該電極在0.1 C之下具有一比電容量是至多大約4,000 mAh/g。在其中該電極是一複合電極以及其中該複合材料包含有矽的某些具體例中，該電極在0.1 C之下具有一比電容量是大約250 mAh/g至

大約500 mAh/g、大約250 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約250 mAh/g至大約1,500 mAh/g、大約250 mAh/g至大約2,000 mAh/g、大約250 mAh/g至大約2,500 mAh/g、大約250 mAh/g至大約3,000 mAh/g、大約250 mAh/g至大約3,500 mAh/g、大約250 mAh/g至大約4,000 mAh/g、大約500 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約500 mAh/g至大約1,500 mAh/g、大約500 mAh/g至大約2,000 mAh/g、大約500 mAh/g至大約2,500 mAh/g、大約500 mAh/g至大約3,000 mAh/g、大約500 mAh/g至大約3,500 mAh/g、大約500 mAh/g至大約4,000 mAh/g、大約1,000 mAh/g至大約1,500 mAh/g、大約1,000 mAh/g至大約2,000 mAh/g、大約1,000 mAh/g至大約2,500 mAh/g、大約1,000 mAh/g至大約3,000 mAh/g、大約1,000 mAh/g至大約3,500 mAh/g、大約1,000 mAh/g至大約4,000 mAh/g、大約1,500 mAh/g至大約2,000 mAh/g、大約1,500 mAh/g至大約2,500 mAh/g、大約1,500 mAh/g至大約3,000 mAh/g、大約1,500 mAh/g至大約3,500 mAh/g、大約1,500 mAh/g至大約4,000 mAh/g、大約2,000 mAh/g至大約2,500 mAh/g、大約2,000 mAh/g至大約3,000 mAh/g、大約2,000 mAh/g至大約3,500 mAh/g、大約2,000 mAh/g至大約4,000 mAh/g、大約2,500 mAh/g至大約3,000 mAh/g、大約2,500 mAh/g至大約3,500 mAh/g、大約2,500 mAh/g至大約4,000 mAh/g、大約3,000 mAh/g至大約3,500 mAh/g、大約

3,000 mAh/g至大約4,000 mAh/g，或大約3,500 mAh/g至大約4,000 mAh/g。

【0030】在某些具體例中，該電極是一複合電極，其中該複合材料包含有硫。

【0031】在其中該電極是一複合電極以及其中該複合材料包含有硫的某些具體例中，該電極具有一區域負載質量為大約2 mg/cm²至大約9 mg/cm²。在其中該電極是一複合電極以及其中該複合材料包含有硫的某些具體例中，該電極具有一區域負載質量為至少大約2 mg/cm²。在其中該電極是一複合電極以及其中該複合材料包含有硫的某些具體例中，該電極具有一區域負載質量為至多大約9 mg/cm²。在其中該電極是一複合電極以及其中該複合材料包含有硫的某些具體例中，該電極具有一區域負載質量為大約2 mg/cm²至大約3 mg/cm²、大約2 mg/cm²至大約4 mg/cm²、大約2 mg/cm²至大約5 mg/cm²、大約2 mg/cm²至大約6 mg/cm²、大約2 mg/cm²至大約7 mg/cm²、大約2 mg/cm²至大約8 mg/cm²、大約2 mg/cm²至大約9 mg/cm²、大約3 mg/cm²至大約4 mg/cm²、大約3 mg/cm²至大約5 mg/cm²、大約3 mg/cm²至大約6 mg/cm²、大約3 mg/cm²至大約7 mg/cm²、大約3 mg/cm²至大約8 mg/cm²、大約3 mg/cm²至大約9 mg/cm²、大約4 mg/cm²至大約5 mg/cm²、大約4 mg/cm²至大約6 mg/cm²、大約4 mg/cm²至大約7 mg/cm²、大約4 mg/cm²至大約8 mg/cm²、大約4 mg/cm²至大約9 mg/cm²、大約5 mg/cm²

至大約6 mg/cm²、大約5 mg/cm²至大約7 mg/cm²、大約5 mg/cm²至大約8 mg/cm²、大約5 mg/cm²至大約9 mg/cm²、大約6 mg/cm²至大約7 mg/cm²、大約6 mg/cm²至大約8 mg/cm²、大約6 mg/cm²至大約9 mg/cm²、大約7 mg/cm²至大約8 mg/cm²、大約7 mg/cm²至大約9 mg/cm²，或大約8 mg/cm²至大約9 mg/cm²。

【0032】在其中該電極是一複合電極以及其中該複合材料包含有硫的某些具體例中，該電極具有一比表面積為大約450 m²/g至大約1,800 m²/g。在其中該電極是一複合電極以及其中該複合材料包含有硫的某些具體例中，該電極具有一比表面積為至少大約450 m²/g。在其中該電極是一複合電極以及其中該複合材料包含有硫的某些具體例中，該電極具有一比表面積為至多大約1,800 m²/g。在其中該電極是一複合電極以及其中該複合材料包含有硫的某些具體例中，該電極具有一比表面積為大約450 m²/g至大約650 m²/g、大約450 m²/g至大約850 m²/g、大約450 m²/g至大約1,050 m²/g、大約450 m²/g至大約1,200 m²/g、大約450 m²/g至大約1,400 m²/g、大約450 m²/g至大約1,600 m²/g、大約450 m²/g至大約1,800 m²/g、大約650 m²/g至大約850 m²/g、大約650 m²/g至大約1,050 m²/g、大約650 m²/g至大約1,200 m²/g、大約650 m²/g至大約1,400 m²/g、大約650 m²/g至大約1,600 m²/g、大約650 m²/g至大約1,800 m²/g、大約850 m²/g至大約1,050 m²/g、大約850 m²/g至大約1,200 m²/g、大約850 m²/g至大約1,400

m^2/g、大約850 m^2/g至大約1,600 m^2/g、大約850 m^2/g至大約1,800 m^2/g、大約1,050 m^2/g至大約1,200 m^2/g、大約1,050 m^2/g至大約1,400 m^2/g、大約1,050 m^2/g至大約1,600 m^2/g、大約1,050 m^2/g至大約1,800 m^2/g、大約1,200 m^2/g至大約1,400 m^2/g、大約1,200 m^2/g至大約1,600 m^2/g、大約1,200 m^2/g至大約1,800 m^2/g、大約1,400 m^2/g至大約1,600 m^2/g、大約1,400 m^2/g至大約1,800 m^2/g，或大約1,600 m^2/g至大約1,800 m^2/g。

【0033】在其中該電極是一複合電極以及其中該複合材料包含有硫的某些具體例中，該電極具有一硫粒徑(sulfur particle size)為大約0.01 μm至大約100 μm。在其中該電極是一複合電極以及其中該複合材料包含有硫的某些具體例中，該電極具有一硫粒徑為至少大約0.01 μm。在其中該電極是一複合電極以及其中該複合材料包含有硫的某些具體例中，該電極具有一硫粒徑為至多大約100 μm。在其中該電極是一複合電極以及其中該複合材料包含有硫的某些具體例中，該電極具有一硫粒徑為大約0.01 μm至大約0.05 μm、大約0.01 μm至大約0.1 μm、大約0.01 μm至大約0.5 μm、大約0.01 μm至大約1 μm、大約0.01 μm至大約5 μm、大約0.01 μm至大約10 μm、大約0.01 μm至大約25 μm、大約0.01 μm至大約50 μm、大約0.01 μm至大約100 μm、大約0.05 μm至大約0.1 μm、大約0.05 μm至大約0.5 μm、大約0.05 μm至大約1 μm、大約0.05 μm至大約5 μm、大約0.05 μm至大約10 μm、

大約0.05 μm至大約25 μm、大約0.05 μm至大約50 μm、大約0.05 μm至大約100 μm、大約0.1 μm至大約0.5 μm、大約0.1 μm至大約1 μm、大約0.1 μm至大約5 μm、大約0.1 μm至大約10 μm、大約0.1 μm至大約25 μm、大約0.1 μm至大約50 μm、大約0.1 μm至大約100 μm、大約0.5 μm至大約1 μm、大約0.5 μm至大約5 μm、大約0.5 μm至大約10 μm、大約0.5 μm至大約25 μm、大約0.5 μm至大約50 μm、大約0.5 μm至大約100 μm、大約1 μm至大約5 μm、大約1 μm至大約10 μm、大約1 μm至大約25 μm、大約1 μm至大約50 μm、大約1 μm至大約100 μm、大約5 μm至大約10 μm、大約5 μm至大約25 μm、大約5 μm至大約50 μm、大約5 μm至大約100 μm、大約10 μm至大約25 μm、大約10 μm至大約50 μm、大約10 μm至大約100 μm、大約25 μm至大約50 μm、大約25 μm至大約100 μm，或大約50 μm至大約100 μm。

【0034】在其中該電極是一複合電極以及其中該複合材料包含有硫的某些具體例中，該電極具有一負載比為大約30%至大約99%。在其中該電極是一複合電極以及其中該複合材料包含有硫的某些具體例中，該電極具有一負載比為至少大約30%。在其中該電極是一複合電極以及其中該複合材料包含有硫的某些具體例中，該電極具有一負載比為至多大約99%。在其中該電極是一複合電極以及其中該複合材料包含有硫的某些具體例中，該電極具有一負載比為大約30%至大約40%、大約30%至大約50%、大約

30%至大約60%、大約30%至大約70%、大約30%至大約80%、大約30%至大約90%、大約30%至大約99%、大約40%至大約50%、大約40%至大約60%、大約40%至大約70%、大約40%至大約80%、大約40%至大約90%、大約40%至大約99%、大約50%至大約60%、大約50%至大約70%、大約50%至大約80%、大約50%至大約90%、大約50%至大約99%、大約60%至大約70%、大約60%至大約80%、大約60%至大約90%、大約60%至大約99%、大約70%至大約80%、大約70%至大約90%、大約70%至大約99%、大約80%至大約90%、大約80%至大約99%，或大約90%至大約99%。

【0035】在其中該電極是一複合電極以及其中該複合材料包含有硫的某些具體例中，該電極具有一硫負載比(sulfur loading ratio)為大約30%至大約95%。在其中該電極是一複合電極以及其中該複合材料包含有硫的某些具體例中，該電極具有一硫負載比為至少大約35%。在其中該電極是一複合電極以及其中該複合材料包含有硫的某些具體例中，該電極具有一硫負載比為至多大約95%。在其中該電極是一複合電極以及其中該複合材料包含有硫的某些具體例中，該電極具有一硫負載比為大約30%至大約40%、大約30%至大約45%、大約30%至大約50%、大約30%至大約55%、大約30%至大約60%、大約30%至大約65%、大約30%至大約70%、大約30%至大約85%、大約30%至大約90%、大約30%至大約95%、大約40%至大約

45%、大約40%至大約50%、大約40%至大約55%、大約40%至大約60%、大約40%至大約65%、大約40%至大約70%、大約40%至大約85%、大約40%至大約90%、大約40%至大約95%、大約45%至大約50%、大約45%至大約55%、大約45%至大約60%、大約45%至大約65%、大約45%至大約70%、大約45%至大約85%、大約45%至大約90%、大約45%至大約95%、大約50%至大約55%、大約50%至大約60%、大約50%至大約65%、大約50%至大約70%、大約50%至大約85%、大約50%至大約90%、大約50%至大約95%、大約55%至大約60%、大約55%至大約65%、大約55%至大約70%、大約55%至大約85%、大約55%至大約90%、大約55%至大約95%、大約60%至大約65%、大約60%至大約70%、大約60%至大約85%、大約60%至大約90%、大約60%至大約95%、大約65%至大約70%、大約65%至大約85%、大約65%至大約90%、大約65%至大約95%、大約70%至大約85%、大約70%至大約90%、大約70%至大約95%、大約85%至大約90%、大約85%至大約95%，或大約90%至大約95%。

【0036】在其中該電極是一複合電極以及其中該複合材料包含有硫的某些具體例中，該電極在一為大約0.1的充放電速率之下具有一比電容量是大約400 mAh/g至大約2,600 mAh/g。在其中該電極是一複合電極以及其中該複合材料包含有硫的某些具體例中，該電極在一為大約0.1的充放電速率之下具有一比電容量是至少大約400

mAh/g。在其中該電極是一複合電極以及其中該複合材料包含有硫的某些具體例中，該電極在一為大約0.1的充放電速率之下具有一比電容量是至多大約2,600 mAh/g。在其中該電極是一複合電極以及其中該複合材料包含有硫的某些具體例中，該電極在一為大約0.1的充放電速率之下具有一比電容量是大約400 mAh/g至大約600 mAh/g、大約400 mAh/g至大約800 mAh/g、大約400 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約400 mAh/g至大約1,400 mAh/g、大約400 mAh/g至大約1,800 mAh/g、大約400 mAh/g至大約2,200 mAh/g、大約400 mAh/g至大約2,600 mAh/g、大約600 mAh/g至大約800 mAh/g、大約600 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約600 mAh/g至大約1,400 mAh/g、大約600 mAh/g至大約1,800 mAh/g、大約600 mAh/g至大約2,200 mAh/g、大約600 mAh/g至大約2,600 mAh/g、大約800 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約800 mAh/g至大約1,400 mAh/g、大約800 mAh/g至大約1,800 mAh/g、大約800 mAh/g至大約2,200 mAh/g、大約800 mAh/g至大約2,600 mAh/g、大約1,000 mAh/g至大約1,400 mAh/g、大約1,000 mAh/g至大約1,800 mAh/g、大約1,000 mAh/g至大約2,200 mAh/g、大約1,000 mAh/g至大約2,600 mAh/g、大約1,400 mAh/g至大約1,800 mAh/g、大約1,400 mAh/g至大約2,200 mAh/g、大約1,400 mAh/g至大約2,600 mAh/g、大約1,800 mAh/g至大約2,200 mAh/g、大約1,800 mAh/g至大約2,600 mAh/g，或大約

2,200 mAh/g至大約2,600 mAh/g。

【0037】在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約70%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極在一為大約0.1的充放電速率之下具有一硫-比電容量(sulfur-specific capacity)是大約640 mAh/g至大約2,600 mAh/g。在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約70%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極在一為大約0.1的充放電速率之下具有一硫-比電容量是至少大約640 mAh/g。在這些具體例中，該電極在一為大約0.1的充放電速率之下具有一硫-比電容量是至多大約2,600 mAh/g。在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約70%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極在一為大約0.1的充放電速率之下具有一硫-比電容量是大約640 mAh/g至大約700 mAh/g、大約640 mAh/g至大約800 mAh/g、大約640 mAh/g至大約900 mAh/g、大約640 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約640 mAh/g至大約1,400 mAh/g、大約640 mAh/g至大約1,800 mAh/g、大約640 mAh/g至大約2,200 mAh/g、大約640 mAh/g至大約2,600 mAh/g、大約700 mAh/g至大約800 mAh/g、大約700 mAh/g至大約900 mAh/g、大約700 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約700 mAh/g至大約1,400 mAh/g、大約700 mAh/g至大約1,800 mAh/g、大約700 mAh/g至大約2,200 mAh/g、大約700

mAh/g至大約2,600 mAh/g、大約800 mAh/g至大約900 mAh/g、大約800 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約800 mAh/g至大約1,400 mAh/g、大約800 mAh/g至大約1,800 mAh/g、大約800 mAh/g至大約2,200 mAh/g、大約800 mAh/g至大約2,600 mAh/g、大約900 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約900 mAh/g至大約1,400 mAh/g、大約900 mAh/g至大約1,800 mAh/g、大約900 mAh/g至大約2,200 mAh/g、大約900 mAh/g至大約2,600 mAh/g、大約1,000 mAh/g至大約1,400 mAh/g、大約1,000 mAh/g至大約1,800 mAh/g、大約1,000 mAh/g至大約2,200 mAh/g、大約1,000 mAh/g至大約2,600 mAh/g、大約1,400 mAh/g至大約1,800 mAh/g、大約1,400 mAh/g至大約2,200 mAh/g、大約1,400 mAh/g至大約2,600 mAh/g、大約1,800 mAh/g至大約2,200 mAh/g、大約1,800 mAh/g至大約2,600 mAh/g，或大約2,200 mAh/g至大約2,600 mAh/g。

【0038】在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約70%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極於大約50次的使用循環之後在一為大約0.1的充放電速率之下具有一硫-比電容量是大約420 mAh/g至大約1,700 mAh/g。在其中該電極是一複合電極以及其中該複合材料包含有硫的某些具體例中，該電極於大約50次的使用循環之後在一為大約0.1的充放電速率之下具有一硫-比電容量是至少大約420 mAh/g。在其

中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約70%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極於大約50次的使用循環之後在一為大約0.1的充放電速率之下具有一硫-比電容量是至多大約1,700 mAh/g。在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約70%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極於大約50次的使用循環之後在一為大約0.1的充放電速率之下具有一硫-比電容量是大約420 mAh/g至大約450 mAh/g、大約420 mAh/g至大約500 mAh/g、大約420 mAh/g至大約600 mAh/g、大約420 mAh/g至大約800 mAh/g、大約420 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約420 mAh/g至大約1,200 mAh/g、大約420 mAh/g至大約1,400 mAh/g、大約420 mAh/g至大約1,700 mAh/g、大約450 mAh/g至大約500 mAh/g、大約450 mAh/g至大約600 mAh/g、大約450 mAh/g至大約800 mAh/g、大約450 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約450 mAh/g至大約1,200 mAh/g、大約450 mAh/g至大約1,400 mAh/g、大約450 mAh/g至大約1,700 mAh/g、大約500 mAh/g至大約600 mAh/g、大約500 mAh/g至大約800 mAh/g、大約500 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約500 mAh/g至大約1,200 mAh/g、大約500 mAh/g至大約1,400 mAh/g、大約500 mAh/g至大約1,700 mAh/g、大約600 mAh/g至大約800 mAh/g、大約600 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約600 mAh/g至大約1,200 mAh/g、大約600

mAh/g至大約1,400 mAh/g、大約600 mAh/g至大約1,700 mAh/g、大約800 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約800 mAh/g至大約1,200 mAh/g、大約800 mAh/g至大約1,400 mAh/g、大約800 mAh/g至大約1,700 mAh/g、大約1,000 mAh/g至大約1,200 mAh/g、大約1,000 mAh/g至大約1,400 mAh/g、大約1,000 mAh/g至大約1,700 mAh/g、大約1,200 mAh/g至大約1,400 mAh/g、大約1,200 mAh/g至大約1,700 mAh/g，或大約1,400 mAh/g至大約1,700 mAh/g。

【0039】在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約80%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極在一為大約0.1的充放電速率之下具有一硫-比電容量是大約600 mAh/g至大約2,400 mAh/g。在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約80%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極在一為大約0.1的充放電速率之下具有一硫-比電容量是至少大約600 mAh/g。在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約80%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極在一為大約0.1的充放電速率之下具有一硫-比電容量是至多2,400 mAh/g。在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約80%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極在一為大約0.1的充放電速率之下具有一硫-比電容量是大約600 mAh/g至大

約800 mAh/g、大約600 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約600 mAh/g至大約1,200 mAh/g、大約600 mAh/g至大約1,400 mAh/g、大約600 mAh/g至大約1,800 mAh/g、大約600 mAh/g至大約2,000 mAh/g、大約600 mAh/g至大約2,200 mAh/g、大約600 mAh/g至大約2,400 mAh/g、大約800 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約800 mAh/g至大約1,200 mAh/g、大約800 mAh/g至大約1,400 mAh/g、大約800 mAh/g至大約1,800 mAh/g、大約800 mAh/g至大約2,000 mAh/g、大約800 mAh/g至大約2,200 mAh/g、大約800 mAh/g至大約2,400 mAh/g、大約1,000 mAh/g至大約1,200 mAh/g、大約1,000 mAh/g至大約1,400 mAh/g、大約1,000 mAh/g至大約1,800 mAh/g、大約1,000 mAh/g至大約2,000 mAh/g、大約1,000 mAh/g至大約2,200 mAh/g、大約1,000 mAh/g至大約2,400 mAh/g、大約1,200 mAh/g至大約1,400 mAh/g、大約1,200 mAh/g至大約1,800 mAh/g、大約1,200 mAh/g至大約2,000 mAh/g、大約1,200 mAh/g至大約2,200 mAh/g、大約1,200 mAh/g至大約2,400 mAh/g、大約1,400 mAh/g至大約1,800 mAh/g、大約1,400 mAh/g至大約2,000 mAh/g、大約1,400 mAh/g至大約2,200 mAh/g、大約1,400 mAh/g至大約2,400 mAh/g、大約1,800 mAh/g至大約2,000 mAh/g、大約1,800 mAh/g至大約2,200 mAh/g、大約1,800 mAh/g至大約2,400 mAh/g、大約2,000 mAh/g至大約2,200 mAh/g、大約

2,000 mAh/g至大約2,400 mAh/g，或大約2,200 mAh/g至大約2,400 mAh/g。

【0040】在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約80%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極於大約50次的使用循環之後在一為大約0.1的充放電速率之下具有一硫-比電容量是大約380 mAh/g至大約1,550 mAh/g。在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約80%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極於大約50次的使用循環之後在一為大約0.1的充放電速率之下具有一硫-比電容量是至少大約380 mAh/g。在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約80%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極於大約50次的使用循環之後在一為大約0.1的充放電速率之下具有一硫-比電容量是至多大約1,550 mAh/g。在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約80%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極於大約50次的使用循環之後在一為大約0.1的充放電速率之下具有一硫-比電容量是大約380 mAh/g至大約400 mAh/g、大約380 mAh/g至大約500 mAh/g、大約380 mAh/g至大約600 mAh/g、大約380 mAh/g至大約800 mAh/g、大約380 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約380 mAh/g至大約1,200 mAh/g、大約380 mAh/g至大約1,550 mAh/g、大約400 mAh/g至大約500 mAh/g、大約

400 mAh/g至大約600 mAh/g、大約400 mAh/g至大約800 mAh/g、大約400 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約400 mAh/g至大約1,200 mAh/g、大約400 mAh/g至大約1,550 mAh/g、大約500 mAh/g至大約600 mAh/g、大約500 mAh/g至大約800 mAh/g、大約500 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約500 mAh/g至大約1,200 mAh/g、大約500 mAh/g至大約1,550 mAh/g、大約600 mAh/g至大約800 mAh/g、大約600 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約600 mAh/g至大約1,200 mAh/g、大約600 mAh/g至大約1,550 mAh/g、大約800 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約800 mAh/g至大約1,200 mAh/g、大約800 mAh/g至大約1,550 mAh/g、大約1,000 mAh/g至大約1,200 mAh/g、大約1,000 mAh/g至大約1,550 mAh/g，或大約1,200 mAh/g至大約1,550 mAh/g。

【0041】在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約90%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極在一為大約0.1的充放電速率之下具有一硫-比電容量是大約500 mAh/g至大約2,200 mAh/g。在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約90%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極在一為大約0.1的充放電速率之下具有一硫-比電容量是至少大約500 mAh/g。在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約90%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電

極在一為大約0.1的充放電速率之下具有一硫-比電容量是至多大約2,200 mAh/g。在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約90%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極在一為大約0.1的充放電速率之下具有一硫-比電容量是大約500 mAh/g至大約700 mAh/g、大約500 mAh/g至大約900 mAh/g、大約500 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約500 mAh/g至大約1,400 mAh/g、大約500 mAh/g至大約1,800 mAh/g、大約500 mAh/g至大約2,200 mAh/g、大約700 mAh/g至大約900 mAh/g、大約700 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約700 mAh/g至大約1,400 mAh/g、大約700 mAh/g至大約1,800 mAh/g、大約700 mAh/g至大約2,200 mAh/g、大約900 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約900 mAh/g至大約1,400 mAh/g、大約900 mAh/g至大約1,800 mAh/g、大約900 mAh/g至大約2,200 mAh/g、大約1,000 mAh/g至大約1,400 mAh/g、大約1,000 mAh/g至大約1,800 mAh/g、大約1,000 mAh/g至大約2,200 mAh/g、大約1,400 mAh/g至大約1,800 mAh/g、大約1,400 mAh/g至大約2,200 mAh/g，或大約1,800 mAh/g至大約2,200 mAh/g。

【0042】在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約90%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極於大約10次的使用循環之後在一為大約0.1的充放電速率之下具有一硫-比電容量是大

約410 mAh/g至大約1,650 mAh/g。在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約90%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極於大約10次的使用循環之後在一為大約0.1的充放電速率之下具有一硫-比電容量是至少大約410 mAh/g。在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約90%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極於大約10次的使用循環之後在一為大約0.1的充放電速率之下具有一硫-比電容量是至多大約1,650 mAh/g。在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約90%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極於大約10次的使用循環之後在一為大約0.1的充放電速率之下具有一硫-比電容量是大約410 mAh/g至大約450 mAh/g、大約410 mAh/g至大約500 mAh/g、大約410 mAh/g至大約600 mAh/g、大約410 mAh/g至大約800 mAh/g、大約410 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約410 mAh/g至大約1,200 mAh/g、大約410 mAh/g至大約1,400 mAh/g、大約410 mAh/g至大約1,650 mAh/g、大約450 mAh/g至大約500 mAh/g、大約450 mAh/g至大約600 mAh/g、大約450 mAh/g至大約800 mAh/g、大約450 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約450 mAh/g至大約1,200 mAh/g、大約450 mAh/g至大約1,400 mAh/g、大約450 mAh/g至大約1,650 mAh/g、大約500 mAh/g至大約600 mAh/g、大約500 mAh/g至大約800 mAh/g、大約500

mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約500 mAh/g至大約1,200 mAh/g、大約500 mAh/g至大約1,400 mAh/g、大約500 mAh/g至大約1,650 mAh/g、大約600 mAh/g至大約800 mAh/g、大約600 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約600 mAh/g至大約1,200 mAh/g、大約600 mAh/g至大約1,400 mAh/g、大約600 mAh/g至大約1,650 mAh/g、大約800 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約800 mAh/g至大約1,200 mAh/g、大約800 mAh/g至大約1,400 mAh/g、大約800 mAh/g至大約1,650 mAh/g、大約1,000 mAh/g至大約1,200 mAh/g、大約1,000 mAh/g至大約1,400 mAh/g、大約1,000 mAh/g至大約1,650 mAh/g、大約1,200 mAh/g至大約1,400 mAh/g、大約1,200 mAh/g至大約1,650 mAh/g，或大約1,400 mAh/g至大約1,650 mAh/g。

【0043】在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約90%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極於大約20次的使用循環之後在一為大約0.1的充放電速率之下具有一硫-比電容量是大約400 mAh/g至大約1,600 mAh/g。在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約90%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極於大約20次的使用循環之後在一為大約0.1的充放電速率之下具有一硫-比電容量是至少大約400 mAh/g。在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約90%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電

極於大約20次的使用循環之後在一為大約0.1的充放電速率之下具有一硫-比電容量是至多大約1,600 mAh/g。在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約90%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極於大約20次的使用循環之後在一為大約0.1的充放電速率之下具有一硫-比電容量是大約400 mAh/g至大約600 mAh/g、大約400 mAh/g至大約800 mAh/g、大約400 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約400 mAh/g至大約1,200 mAh/g、大約400 mAh/g至大約1,400 mAh/g、大約400 mAh/g至大約1,600 mAh/g、大約600 mAh/g至大約800 mAh/g、大約600 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約600 mAh/g至大約1,200 mAh/g、大約600 mAh/g至大約1,400 mAh/g、大約600 mAh/g至大約1,600 mAh/g、大約800 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約800 mAh/g至大約1,200 mAh/g、大約800 mAh/g至大約1,400 mAh/g、大約800 mAh/g至大約1,600 mAh/g、大約1,000 mAh/g至大約1,200 mAh/g、大約1,000 mAh/g至大約1,400 mAh/g、大約1,000 mAh/g至大約1,600 mAh/g、大約1,200 mAh/g至大約1,400 mAh/g、大約1,200 mAh/g至大約1,600 mAh/g，或大約1,400 mAh/g至大約1,600 mAh/g。

【0044】在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約90%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極於大約50次的使用循環之後

在一為大約0.1的充放電速率之下具有一硫-比電容量是大約330 mAh/g至大約1,500 mAh/g。在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約90%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極於大約50次的使用循環之後在一為大約0.1的充放電速率之下具有一硫-比電容量是至少大約330 mAh/g。在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約90%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極於大約50次的使用循環之後在一為大約0.1的充放電速率之下具有一硫-比電容量是至多大約1,400 mAh/g。在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約90%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極於大約50次的使用循環之後在一為大約0.1的充放電速率之下具有一硫-比電容量是大約330 mAh/g至大約450 mAh/g、大約330 mAh/g至大約500 mAh/g、大約330 mAh/g至大約600 mAh/g、大約330 mAh/g至大約800 mAh/g、大約330 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約330 mAh/g至大約1,200 mAh/g、大約330 mAh/g至大約1,400 mAh/g、大約450 mAh/g至大約500 mAh/g、大約450 mAh/g至大約600 mAh/g、大約450 mAh/g至大約800 mAh/g、大約450 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約450 mAh/g至大約1,200 mAh/g、大約450 mAh/g至大約1,400 mAh/g、大約500 mAh/g至大約600 mAh/g、大約500 mAh/g至大約800 mAh/g、大約500 mAh/g至大約1,000

mAh/g、大約500 mAh/g至大約1,200 mAh/g、大約500 mAh/g至大約1,400 mAh/g、大約600 mAh/g至大約800 mAh/g、大約600 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約600 mAh/g至大約1,200 mAh/g、大約600 mAh/g至大約1,400 mAh/g、大約800 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約800 mAh/g至大約1,200 mAh/g、大約800 mAh/g至大約1,400 mAh/g、大約1,000 mAh/g至大約1,200 mAh/g、大約1,000 mAh/g至大約1,400 mAh/g、大約1,000 mAh/g至大約1,500 mAh/g，或大約1,200 mAh/g至大約1,400 mAh/g。

【0045】在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約90%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極在一為大約0.1的充放電速率之下具有一電極-比電容量(electrode-specific capacity)是大約480 mAh/g至大約1,940 mAh/g。在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約90%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極在一為大約0.1的充放電速率之下具有一電極-比電容量是至少大約480 mAh/g。在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約90%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極在一為大約0.1的充放電速率之下具有一電極-比電容量是至多大約1,940 mAh/g。在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約90%硫(以重量計)所構成

的某些具體例中，該電極在一為大約0.1的充放電速率之下具有一電極-比電容量是大約480 mAh/g至大約500 mAh/g、大約480 mAh/g至大約600 mAh/g、大約480 mAh/g至大約800 mAh/g、大約480 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約480 mAh/g至大約1,200 mAh/g、大約480 mAh/g至大約1,400 mAh/g、大約480 mAh/g至大約1,600 mAh/g、大約480 mAh/g至大約1,800 mAh/g、大約480 mAh/g至大約1,940 mAh/g、大約500 mAh/g至大約600 mAh/g、大約500 mAh/g至大約800 mAh/g、大約500 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約500 mAh/g至大約1,200 mAh/g、大約500 mAh/g至大約1,400 mAh/g、大約500 mAh/g至大約1,600 mAh/g、大約500 mAh/g至大約1,800 mAh/g、大約500 mAh/g至大約1,940 mAh/g、大約600 mAh/g至大約800 mAh/g、大約600 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約600 mAh/g至大約1,200 mAh/g、大約600 mAh/g至大約1,400 mAh/g、大約600 mAh/g至大約1,600 mAh/g、大約600 mAh/g至大約1,800 mAh/g、大約600 mAh/g至大約1,940 mAh/g、大約800 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約800 mAh/g至大約1,200 mAh/g、大約800 mAh/g至大約1,400 mAh/g、大約800 mAh/g至大約1,600 mAh/g、大約800 mAh/g至大約1,800 mAh/g、大約800 mAh/g至大約1,940 mAh/g、大約1,000 mAh/g至大約1,200 mAh/g、大約1,000 mAh/g至大約1,400 mAh/g、大約1,000 mAh/g至大約1,600 mAh/g、大約1,000 mAh/g

至大約1,800 mAh/g、大約1,000 mAh/g至大約1,940 mAh/g、大約1,200 mAh/g至大約1,400 mAh/g、大約1,200 mAh/g至大約1,600 mAh/g、大約1,200 mAh/g至大約1,800 mAh/g、大約1,200 mAh/g至大約1,940 mAh/g、大約1,400 mAh/g至大約1,600 mAh/g、大約1,400 mAh/g至大約1,800 mAh/g、大約1,400 mAh/g至大約1,940 mAh/g、大約1,600 mAh/g至大約1,800 mAh/g、大約1,600 mAh/g至大約1,940 mAh/g，或大約1,800 mAh/g至大約1,940 mAh/g。

【0046】在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約90%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極在一為大約0.2的充放電速率之下具有一電極-比電容量是大約380 mAh/g至大約1,550 mAh/g。在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約90%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極在一為大約0.2的充放電速率之下具有一電極-比電容量是至少大約380 mAh/g。在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約90%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極在一為大約0.2的充放電速率之下具有一電極-比電容量是至多大約1,550 mAh/g。在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約90%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極在一為大約0.2的充放電速率之下具有一電極-比電容量是大約

380 mAh/g至大約400 mAh/g、大約380 mAh/g至大約500 mAh/g、大約380 mAh/g至大約600 mAh/g、大約380 mAh/g至大約800 mAh/g、大約380 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約380 mAh/g至大約1,200 mAh/g、大約380 mAh/g至大約1,400 mAh/g、大約380 mAh/g至大約1,550 mAh/g、大約400 mAh/g至大約500 mAh/g、大約400 mAh/g至大約600 mAh/g、大約400 mAh/g至大約800 mAh/g、大約400 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約400 mAh/g至大約1,200 mAh/g、大約400 mAh/g至大約1,400 mAh/g、大約400 mAh/g至大約1,550 mAh/g、大約500 mAh/g至大約600 mAh/g、大約500 mAh/g至大約800 mAh/g、大約500 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約500 mAh/g至大約1,200 mAh/g、大約500 mAh/g至大約1,400 mAh/g、大約500 mAh/g至大約1,550 mAh/g、大約600 mAh/g至大約800 mAh/g、大約600 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約600 mAh/g至大約1,200 mAh/g、大約600 mAh/g至大約1,400 mAh/g、大約600 mAh/g至大約1,550 mAh/g、大約800 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約800 mAh/g至大約1,200 mAh/g、大約800 mAh/g至大約1,400 mAh/g、大約800 mAh/g至大約1,550 mAh/g、大約1,000 mAh/g至大約1,200 mAh/g、大約1,000 mAh/g至大約1,400 mAh/g、大約1,000 mAh/g至大約1,550 mAh/g、大約1,200 mAh/g至大約1,400 mAh/g、大約1,200 mAh/g至大約1,550 mAh/g，或大約1,400 mAh/g至大約1,550

mAh/g。

【0047】在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約90%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極在一為大約0.5的充放電速率之下具有一電極-比電容量是大約300 mAh/g至大約1,230 mAh/g。在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約90%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極在一為大約0.5的充放電速率之下具有一電極-比電容量是至少大約300 mAh/g。在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約90%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極在一為大約0.5的充放電速率之下具有一電極-比電容量是至多大約1,230 mAh/g。在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約90%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極在一為大約0.5的充放電速率之下具有一電極-比電容量是大約300 mAh/g至大約400 mAh/g、大約300 mAh/g至大約500 mAh/g、大約300 mAh/g至大約600 mAh/g、大約300 mAh/g至大約800 mAh/g、大約300 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約300 mAh/g至大約1,230 mAh/g、大約400 mAh/g至大約500 mAh/g、大約400 mAh/g至大約600 mAh/g、大約400 mAh/g至大約800 mAh/g、大約400 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約400 mAh/g至大約1,230 mAh/g、大約500 mAh/g至大約600 mAh/g、大約500

mAh/g至大約800 mAh/g、大約500 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約500 mAh/g至大約1,230 mAh/g、大約600 mAh/g至大約800 mAh/g、大約600 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約600 mAh/g至大約1,230 mAh/g、大約800 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約800 mAh/g至大約1,230 mAh/g，或大約1,000 mAh/g至大約1,230 mAh/g。

【0048】在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約90%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極在一為大約1.0的充放電速率之下具有一電極-比電容量是大約250 mAh/g至大約1,000 mAh/g。在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約90%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極在一為大約1.0的充放電速率之下具有一電極-比電容量是至少大約250 mAh/g。在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約90%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極在一為大約1.0的充放電速率之下具有一電極-比電容量是至多大約1,000 mAh/g。在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約90%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極在一為大約1.0的充放電速率之下具有一電極-比電容量是大約250 mAh/g至大約300 mAh/g、大約250 mAh/g至大約400 mAh/g、大約250 mAh/g至大約500 mAh/g、大約250 mAh/g至大約600 mAh/g、大約250 mAh/g至大約700

mAh/g、大約250 mAh/g至大約800 mAh/g、大約250 mAh/g至大約900 mAh/g、大約250 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約300 mAh/g至大約400 mAh/g、大約300 mAh/g至大約500 mAh/g、大約300 mAh/g至大約600 mAh/g、大約300 mAh/g至大約700 mAh/g、大約300 mAh/g至大約800 mAh/g、大約300 mAh/g至大約900 mAh/g、大約300 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約400 mAh/g至大約500 mAh/g、大約400 mAh/g至大約600 mAh/g、大約400 mAh/g至大約700 mAh/g、大約400 mAh/g至大約800 mAh/g、大約400 mAh/g至大約900 mAh/g、大約400 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約500 mAh/g至大約600 mAh/g、大約500 mAh/g至大約700 mAh/g、大約500 mAh/g至大約800 mAh/g、大約500 mAh/g至大約900 mAh/g、大約500 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約600 mAh/g至大約700 mAh/g、大約600 mAh/g至大約800 mAh/g、大約600 mAh/g至大約900 mAh/g、大約600 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約700 mAh/g至大約800 mAh/g、大約700 mAh/g至大約900 mAh/g、大約700 mAh/g至大約1,000 mAh/g、大約800 mAh/g至大約900 mAh/g、大約800 mAh/g至大約1,000 mAh/g，或大約900 mAh/g至大約1,000 mAh/g。

【0049】在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約90%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極在一為大約2.0的充放電速率

之下具有一電極-比電容量是大約190 mAh/g至大約770 mAh/g。在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約90%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極在一為大約2.0的充放電速率之下具有一電極-比電容量是至少大約190 mAh/g。在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約90%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極在一為大約2.0的充放電速率之下具有一電極-比電容量是至多770 mAh/g。在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約90%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極在一為大約2.0的充放電速率之下具有一電極-比電容量是大約190 mAh/g至大約300 mAh/g、大約190 mAh/g至大約400 mAh/g、大約190 mAh/g至大約500 mAh/g、大約190 mAh/g至大約600 mAh/g、大約190 mAh/g至大約700 mAh/g、大約190 mAh/g至大約770 mAh/g、大約300 mAh/g至大約400 mAh/g、大約300 mAh/g至大約500 mAh/g、大約300 mAh/g至大約600 mAh/g、大約300 mAh/g至大約700 mAh/g、大約300 mAh/g至大約770 mAh/g、大約400 mAh/g至大約500 mAh/g、大約400 mAh/g至大約600 mAh/g、大約400 mAh/g至大約700 mAh/g、大約400 mAh/g至大約770 mAh/g、大約500 mAh/g至大約600 mAh/g、大約500 mAh/g至大約700 mAh/g、大約500 mAh/g至大約770 mAh/g、大約600 mAh/g至大約700

mAh/g、大約600 mAh/g至大約770 mAh/g，或大約700 mAh/g至大約770 mAh/g。

【0050】在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約90%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極在一為大約1.0的充放電速率之下具有一電極-比放電容量(electrode-specific discharge capacity)是大約220 mAh/g至大約880 mAh/g。在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約90%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極在一為大約1.0的充放電速率之下具有一電極-比放電容量是至少大約220 mAh/g。在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約90%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極在一為大約1.0的充放電速率之下具有一電極-比放電容量是至多大約880 mAh/g。在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約90%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極在一為大約1.0的充放電速率之下具有一電極-比放電容量是大約220 mAh/g至大約250 mAh/g、大約220 mAh/g至大約300 mAh/g、大約220 mAh/g至大約350 mAh/g、大約220 mAh/g至大約400 mAh/g、大約220 mAh/g至大約450 mAh/g、大約220 mAh/g至大約500 mAh/g、大約220 mAh/g至大約600 mAh/g、大約220 mAh/g至大約700 mAh/g、大約220 mAh/g至大約800 mAh/g、大約220

mAh/g至大約880 mAh/g、大約250 mAh/g至大約300 mAh/g、大約250 mAh/g至大約350 mAh/g、大約250 mAh/g至大約400 mAh/g、大約250 mAh/g至大約450 mAh/g、大約250 mAh/g至大約500 mAh/g、大約250 mAh/g至大約600 mAh/g、大約250 mAh/g至大約700 mAh/g、大約250 mAh/g至大約800 mAh/g、大約250 mAh/g至大約880 mAh/g、大約300 mAh/g至大約350 mAh/g、大約300 mAh/g至大約400 mAh/g、大約300 mAh/g至大約450 mAh/g、大約300 mAh/g至大約500 mAh/g、大約300 mAh/g至大約600 mAh/g、大約300 mAh/g至大約700 mAh/g、大約300 mAh/g至大約800 mAh/g、大約300 mAh/g至大約880 mAh/g、大約350 mAh/g至大約400 mAh/g、大約350 mAh/g至大約450 mAh/g、大約350 mAh/g至大約500 mAh/g、大約350 mAh/g至大約600 mAh/g、大約350 mAh/g至大約700 mAh/g、大約350 mAh/g至大約800 mAh/g、大約350 mAh/g至大約880 mAh/g、大約400 mAh/g至大約450 mAh/g、大約400 mAh/g至大約500 mAh/g、大約400 mAh/g至大約600 mAh/g、大約400 mAh/g至大約700 mAh/g、大約400 mAh/g至大約800 mAh/g、大約400 mAh/g至大約880 mAh/g、大約450 mAh/g至大約500 mAh/g、大約450 mAh/g至大約600 mAh/g、大約450 mAh/g至大約700 mAh/g、大約450 mAh/g至大約800 mAh/g、大約450 mAh/g至大約880 mAh/g、大約500

mAh/g至大約600 mAh/g、大約500 mAh/g至大約700 mAh/g、大約500 mAh/g至大約800 mAh/g、大約500 mAh/g至大約880 mAh/g、大約600 mAh/g至大約700 mAh/g、大約600 mAh/g至大約800 mAh/g、大約600 mAh/g至大約880 mAh/g、大約700 mAh/g至大約800 mAh/g、大約700 mAh/g至大約880 mAh/g，或大約800 mAh/g至大約880 mAh/g。

【0051】在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約90%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極在一為大約1.0的充放電速率之下以及大約30次循環之後具有一電極-比放電容量是大約445 mAh/g至大約950 mAh/g。在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約90%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極在一為大約1.0的充放電速率之下以及大約30次的使用循環之後具有一電極-比放電容量是至少大約445 mAh/g。在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約90%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極在一為大約1.0的充放電速率之下以及大約30次的使用循環之後具有一電極-比放電容量是至多大約950 mAh/g。在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約90%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極在一為大約1.0的充放電速率之下以及大約30次的使用循環之後具有一電極-比放電容量是

大約445 mAh/g至大約500 mAh/g、大約445 mAh/g至大約600 mAh/g、大約445 mAh/g至大約700 mAh/g、大約445 mAh/g至大約800 mAh/g、大約445 mAh/g至大約900 mAh/g、大約445 mAh/g至大約950 mAh/g、大約500 mAh/g至大約600 mAh/g、大約500 mAh/g至大約700 mAh/g、大約500 mAh/g至大約800 mAh/g、大約500 mAh/g至大約900 mAh/g、大約500 mAh/g至大約950 mAh/g、大約600 mAh/g至大約700 mAh/g、大約600 mAh/g至大約800 mAh/g、大約600 mAh/g至大約900 mAh/g、大約600 mAh/g至大約950 mAh/g、大約700 mAh/g至大約800 mAh/g、大約700 mAh/g至大約900 mAh/g、大約700 mAh/g至大約950 mAh/g、大約800 mAh/g至大約900 mAh/g、大約800 mAh/g至大約950 mAh/g，或大約900 mAh/g至大約950 mAh/g。

【0052】在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約90%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極在一為大約1.0的充放電速率之下以及大約500次的使用循環之後具有一電極-比放電容量是大約170 mAh/g至大約680 mAh/g。在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約90%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極在一為大約1.0的充放電速率之下以及大約500次的使用循環之後具有一電極-比放電容量是至少大約170 mAh/g。在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包

含有硫以及其中該電極係由大約90%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極在一為大約1.0的充放電速率之下以及大約500次的使用循環之後具有一電極-比放電容量是至多大約680 mAh/g。在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約90%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極在一為大約1.0的充放電速率之下以及大約500次的使用循環之後具有一電極-比放電容量是大約170 mAh/g至大約200 mAh/g、大約170 mAh/g至大約300 mAh/g、大約170 mAh/g至大約400 mAh/g、大約170 mAh/g至大約500 mAh/g、大約170 mAh/g至大約600 mAh/g、大約170 mAh/g至大約680 mAh/g、大約200 mAh/g至大約300 mAh/g、大約200 mAh/g至大約400 mAh/g、大約200 mAh/g至大約500 mAh/g、大約200 mAh/g至大約600 mAh/g、大約200 mAh/g至大約680 mAh/g、大約300 mAh/g至大約400 mAh/g、大約300 mAh/g至大約500 mAh/g、大約300 mAh/g至大約600 mAh/g、大約300 mAh/g至大約680 mAh/g、大約400 mAh/g至大約500 mAh/g、大約400 mAh/g至大約600 mAh/g、大約400 mAh/g至大約680 mAh/g、大約500 mAh/g至大約600 mAh/g、大約500 mAh/g至大約680 mAh/g，或大約600 mAh/g至大約680 mAh/g。

【0053】在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約90%硫(以重量計)所

構成的某些具體例中，該電極在一為大約1.0的充放電速率之下具有一電極-比電容量衰減(electrode-specific capacity fading)是大約0.025%至大約1%。在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約90%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極在一為大約1.0的充放電速率之下具有一電極-比電容量衰減是至少大約0.025%。在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約90%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極在一為大約1.0的充放電速率之下具有一電極-比電容量衰減是至多大約1%。在其中該電極是一複合電極、其中該複合材料包含有硫以及其中該電極係由大約90%硫(以重量計)所構成的某些具體例中，該電極在一為大約1.0的充放電速率之下具有一電極-比電容量衰減是大約0.025%至大約0.05%、大約0.025%至大約0.1%、大約0.025%至大約0.25%、大約0.025%至大約0.5%、大約0.025%至大約0.75%、大約0.025%至大約1%、大約0.05%至大約0.1%、大約0.05%至大約0.25%、大約0.05%至大約0.5%、大約0.05%至大約0.75%、大約0.05%至大約1%、大約0.1%至大約0.25%、大約0.1%至大約0.5%、大約0.1%至大約0.75%、大約0.1%至大約1%、大約0.25%至大約0.5%、大約0.25%至大約0.75%、大約0.25%至大約1%、大約0.5%至大約0.75%、大約0.5%至大約1%，或大約0.75%至大約1%。

【0054】在某些具體例中，該電極是一複合電極，其

中該複合材料包含有一過渡金屬氧化物(transition metal oxide)。

【0055】在某些具體例中，一過渡金屬氧化物包含有Nb_2O_5、Al_2O_3、V_2O_5、Re_2O_7、CrO_3、CeO_2、RuO_2、ZrO_2、MoO_3、WO_3、TiO_2或此等的任一組合。

【0056】在其中該電極是一複合電極以及其中該複合材料包含有一過渡金屬氧化物的某些具體例中，該電極具有一負載比為大約40%至大約95%。在其中該電極是一複合電極以及其中該複合材料包含有一過渡金屬氧化物的某些具體例中，該電極具有一負載比為至少大約40%。在其中該電極是一複合電極以及其中該複合材料包含有一過渡金屬氧化物的某些具體例中，該電極具有一負載比為至多大約95%。在其中該電極是一複合電極以及其中該複合材料包含有一過渡金屬氧化物的某些具體例中，該電極具有一負載比為大約40%至大約50%、大約40%至大約60%、大約40%至大約70%、大約40%至大約80%、大約40%至大約90%、大約40%至大約95%、大約50%至大約60%、大約50%至大約70%、大約50%至大約80%、大約50%至大約90%、大約50%至大約95%、大約60%至大約70%、大約60%至大約80%、大約60%至大約90%、大約60%至大約95%、大約70%至大約80%、大約70%至大約90%、大約70%至大約95%、大約80%至大約90%、大約80%至大約95%，或大約90%至大約95%。

【0057】在其中該電極是一複合電極以及其中該複

合材料包含有一過渡金屬氧化物的某些具體例中，該電極具有一電極-比重量電容為大約250 F/g至大約2,000 F/g。在其中該電極是一複合電極以及其中該複合材料包含有一過渡金屬氧化物的某些具體例中，該電極具有一電極-比重量電容為至少大約250 F/g。在其中該電極是一複合電極以及其中該複合材料包含有一過渡金屬氧化物的某些具體例中，該電極具有一電極-比重量電容為至多大約2,000 F/g。在其中該電極是一複合電極以及其中該複合材料包含有一過渡金屬氧化物的某些具體例中，該電極具有一電極-比重量電容為大約250 F/g至大約500 F/g、大約250 F/g至大約750 F/g、大約250 F/g至大約1,000 F/g、大約250 F/g至大約1,250 F/g、大約250 F/g至大約1,500 F/g、大約250 F/g至大約1,750 F/g、大約250 F/g至大約2,000 F/g、大約500 F/g至大約750 F/g、大約500 F/g至大約1,000 F/g、大約500 F/g至大約1,250 F/g、大約500 F/g至大約1,500 F/g、大約500 F/g至大約1,750 F/g、大約500 F/g至大約2,000 F/g、大約750 F/g至大約1,000 F/g、大約750 F/g至大約1,250 F/g、大約750 F/g至大約1,500 F/g、大約750 F/g至大約1,750 F/g、大約750 F/g至大約2,000 F/g、大約1,000 F/g至大約1,250 F/g、大約1,000 F/g至大約1,500 F/g、大約1,000 F/g至大約1,750 F/g、大約1,000 F/g至大約2,000 F/g、大約1,250 F/g至大約1,500 F/g、大約1,250 F/g至大約1,750 F/g、大約1,250 F/g至大約2,000 F/g、大約1,500 F/g至大約1,750

F/g、大約1,500 F/g至大約2,000 F/g，或大約1,750 F/g至大約2,000 F/g。

【0058】在其中該電極是一複合電極以及其中該複合材料包含有一過渡金屬氧化物的某些具體例中，該電極具有一操作電壓電位為大約0.5 V至大約4 V。在其中該電極是一複合電極以及其中該複合材料包含有一過渡金屬氧化物的某些具體例中，該電極具有一操作電壓電位為至少大約0.5 V。在其中該電極是一複合電極以及其中該複合材料包含有一過渡金屬氧化物的某些具體例中，該電極具有一操作電壓電位為至多大約4 V。在其中該電極是一複合電極以及其中該複合材料包含有一過渡金屬氧化物的某些具體例中，該電極具有一操作電壓電位為大約0.5 V至大約0.75 V、大約0.5 V至大約1 V、大約0.5 V至大約2 V、大約0.5 V至大約3 V、大約0.5 V至大約4 V、大約0.75 V至大約1 V、大約0.75 V至大約2 V、大約0.75 V至大約3 V、大約0.75 V至大約4 V、大約1 V至大約2 V、大約1 V至大約3 V、大約1 V至大約4 V、大約2 V至大約3 V、大約2 V至大約4 V，或大約3 V至大約4 V。

【0059】被提供於此的一個第二具體例是一包括一第一電極、一第二電極以及一電解質能的能量儲存裝置，其中該第一電極和該第二電極之至少一者包括一個3D石墨烯架構，其中該3D石墨烯架構包含有一由具有一多孔結構的石墨烯薄片所構成的互連傳導網狀結構以及其中該第一電極和該第二電極之至少一者進一步包括一包含有一電

容或擬電容材料的複合材料。

【0060】在某些具體例中，該3D石墨烯架構包含有一個多孔洞3D石墨烯架構。

【0061】在某些具體例中，該電解質是一非水性電解質(non-aqueous electrolyte)，其包含有：六氟磷酸鋰(lithium hexafluorophosphate)、碘甲烷(iodomethane)、硫酸二甲酯(dimethyl sulfate)、碳酸二甲酯(dimethyl carbonate)、氯化四甲銨(tetramethylammonium chloride)、三氟甲磺酸甲酯(methyl triflate)、重氮甲烷(diazomethane)、氟磺酸甲酯(methyl fluorosulfonate)、乙酸乙酯(ethyl acetate)、丙酮(acetone)、二甲基甲醯胺(dimethylformamide)、乙腈(acetonitrile)、二甲亞碸(dimethyl sulfoxide)、硝基甲烷(nitromethane)、碳酸丙烯酯(propylene carbonate)、碳酸伸乙酯(ethylene carbonate)、雙(三氟甲磺醯基)亞胺鋰[lithium bis(trifluoromethanesulphonyl)imide]、1,2-二甲氧乙烷(1-2 dimethoxyethane)、1,3-二噁戊烷(1,3-dioxolane)、硝酸鋰(lithium nitrate)，或此等的任一組合。

【0062】在某些具體例中，該能量儲存裝置具有一堆疊-比能量密度(stack-specific energy density)為大約16 Wh/kg至大約750 Wh/kg。在某些具體例中，該能量儲存裝置具有一堆疊-比能量密度為至少大約16 Wh/kg。在某些具體例中，該能量儲存裝置具有一堆疊-比能量密度為至多大約750 Wh/kg。在某些具體例中，該能量儲存裝置具

有一堆疊-比能量密度為大約16 Wh/kg至大約25 Wh/kg、大約16 Wh/kg至大約50 Wh/kg、大約16 Wh/kg至大約100 Wh/kg、大約16 Wh/kg至大約200 Wh/kg、大約16 Wh/kg至大約400 Wh/kg、大約16 Wh/kg至大約600 Wh/kg、大約16 Wh/kg至大約750 Wh/kg、大約25 Wh/kg至大約50 Wh/kg、大約25 Wh/kg至大約100 Wh/kg、大約25 Wh/kg至大約200 Wh/kg、大約25 Wh/kg至大約400 Wh/kg、大約25 Wh/kg至大約600 Wh/kg、大約25 Wh/kg至大約750 Wh/kg、大約50 Wh/kg至大約100 Wh/kg、大約50 Wh/kg至大約200 Wh/kg、大約50 Wh/kg至大約400 Wh/kg、大約50 Wh/kg至大約600 Wh/kg、大約50 Wh/kg至大約750 Wh/kg、大約100 Wh/kg至大約200 Wh/kg、大約100 Wh/kg至大約400 Wh/kg、大約100 Wh/kg至大約600 Wh/kg、大約100 Wh/kg至大約750 Wh/kg、大約200 Wh/kg至大約400 Wh/kg、大約200 Wh/kg至大約600 Wh/kg、大約200 Wh/kg至大約750 Wh/kg、大約400 Wh/kg至大約600 Wh/kg、大約400 Wh/kg至大約750 Wh/kg，或大約600 Wh/kg至大約750 Wh/kg。

【0063】在某些具體例中，該能量儲存裝置具有一堆疊-比功率密度(stack-specific power density)為大約0.5 kW/kg至大約20 kW/kg。在某些具體例中，該能量儲存裝置具有一堆疊-比功率密度為至少大約0.5 kW/kg。在某些具體例中，該能量儲存裝置具有一堆疊-比功率密度為至多大約20 kW/kg。在某些具體例中，該能量儲存裝置具有一

堆疊-比功率密度為大約0.5 kW/kg至大約1 kW/kg、大約0.5 kW/kg至大約2 kW/kg、大約0.5 kW/kg至大約5 kW/kg、大約0.5 kW/kg至大約10 kW/kg、大約0.5 kW/kg至大約15 kW/kg、大約0.5 kW/kg至大約20 kW/kg、大約1 kW/kg至大約2 kW/kg、大約1 kW/kg至大約5 kW/kg、大約1 kW/kg至大約10 kW/kg、大約1 kW/kg至大約15 kW/kg、大約1 kW/kg至大約20 kW/kg、大約2 kW/kg至大約5 kW/kg、大約2 kW/kg至大約10 kW/kg、大約2 kW/kg至大約15 kW/kg、大約2 kW/kg至大約20 kW/kg、大約5 kW/kg至大約10 kW/kg、大約5 kW/kg至大約15 kW/kg、大約5 kW/kg至大約20 kW/kg、大約10 kW/kg至大約15 kW/kg、大約10 kW/kg至大約20 kW/kg，或大約15 kW/kg至大約20 kW/kg。

【0064】在某些具體例中，該能量儲存裝置具有一電極-比重量能量密度(electrode-specific gravimetric energy density)為大約16 Wh/kg至大約900 Wh/kg。在某些具體例中，該能量儲存裝置具有一電極-比重量能量密度為至少大約16 Wh/kg。在某些具體例中，該能量儲存裝置具有一電極-比重量能量密度為至多大約900 Wh/kg。在某些具體例中，該能量儲存裝置具有一電極-比重量能量密度為大約16 Wh/kg至大約25 Wh/kg、大約16 Wh/kg至大約50 Wh/kg、大約16 Wh/kg至大約100 Wh/kg、大約16 Wh/kg至大約200 Wh/kg、大約16 Wh/kg至大約400 Wh/kg、大約16 Wh/kg至大約600 Wh/kg、大約16 Wh/kg

至大約800 Wh/kg、大約16 Wh/kg至大約900 Wh/kg、大約25 Wh/kg至大約50 Wh/kg、大約25 Wh/kg至大約100 Wh/kg、大約25 Wh/kg至大約200 Wh/kg、大約25 Wh/kg至大約400 Wh/kg、大約25 Wh/kg至大約600 Wh/kg、大約25 Wh/kg至大約800 Wh/kg、大約25 Wh/kg至大約900 Wh/kg、大約50 Wh/kg至大約100 Wh/kg、大約50 Wh/kg至大約200 Wh/kg、大約50 Wh/kg至大約400 Wh/kg、大約50 Wh/kg至大約600 Wh/kg、大約50 Wh/kg至大約800 Wh/kg、大約50 Wh/kg至大約900 Wh/kg、大約100 Wh/kg至大約200 Wh/kg、大約100 Wh/kg至大約400 Wh/kg、大約100 Wh/kg至大約600 Wh/kg、大約100 Wh/kg至大約800 Wh/kg、大約100 Wh/kg至大約900 Wh/kg、大約200 Wh/kg至大約400 Wh/kg、大約200 Wh/kg至大約600 Wh/kg、大約200 Wh/kg至大約800 Wh/kg、大約200 Wh/kg至大約900 Wh/kg、大約400 Wh/kg至大約600 Wh/kg、大約400 Wh/kg至大約800 Wh/kg、大約400 Wh/kg至大約900 Wh/kg、大約600 Wh/kg至大約800 Wh/kg、大約600 Wh/kg至大約900 Wh/kg，或大約800 Wh/kg至大約900 Wh/kg。

【0065】在某些具體例中，該能量儲存裝置具有一電極-比重量功率密度(electrode-specific gravimetric power density)為大約0.5 kW/kg至大約40 kW/kg。在某些具體例中，該能量儲存裝置具有一電極-比重量功率密度為至少大約0.5 kW/kg。在某些具體例中，該能量儲存裝

置具有一電極-比重量功率密度為至多大約40 kW/kg。在某些具體例中，該能量儲存裝置具有一電極-比重量功率密度為大約0.5 kW/kg至大約1 kW/kg、大約0.5 kW/kg至大約2 kW/kg、大約0.5 kW/kg至大約5 kW/kg、大約0.5 kW/kg至大約10 kW/kg、大約0.5 kW/kg至大約20 kW/kg、大約0.5 kW/kg至大約30 kW/kg、大約0.5 kW/kg至大約40 kW/kg、大約1 kW/kg至大約2 kW/kg、大約1 kW/kg至大約5 kW/kg、大約1 kW/kg至大約10 kW/kg、大約1 kW/kg至大約20 kW/kg、大約1 kW/kg至大約30 kW/kg、大約1 kW/kg至大約40 kW/kg、大約2 kW/kg至大約5 kW/kg、大約2 kW/kg至大約10 kW/kg、大約2 kW/kg至大約20 kW/kg、大約2 kW/kg至大約30 kW/kg、大約2 kW/kg至大約40 kW/kg、大約5 kW/kg至大約10 kW/kg、大約5 kW/kg至大約20 kW/kg、大約5 kW/kg至大約30 kW/kg、大約5 kW/kg至大約40 kW/kg、大約10 kW/kg至大約20 kW/kg、大約10 kW/kg至大約30 kW/kg、大約10 kW/kg至大約40 kW/kg、大約20 kW/kg至大約30 kW/kg、大約20 kW/kg至大約40 kW/kg，或大約30 kW/kg至大約40 kW/kg。

【0066】在某些具體例中，該能量儲存裝置具有一總電容(total capacitance)為大約0.001 F至大約10 F。在某些具體例中，該能量儲存裝置具有一總電容為至少大約0.001 F。在某些具體例中，該能量儲存裝置具有一總電容為至多大約10 F。在某些具體例中，該能量儲存裝置具有

一總電容為大約0.001 F至大約0.005 F、大約0.001 F至大約0.01 F、大約0.001 F至大約0.05 F、大約0.001 F至大約0.1 F、大約0.001 F至大約0.5 F、大約0.001 F至大約1 F、大約0.001 F至大約5 F、大約0.001 F至大約10 F、大約0.005 F至大約0.01 F、大約0.005 F至大約0.05 F、大約0.005 F至大約0.1 F、大約0.005 F至大約0.5 F、大約0.005 F至大約1 F、大約0.005 F至大約5 F、大約0.005 F至大約10 F、大約0.01 F至大約0.05 F、大約0.01 F至大約0.1 F、大約0.01 F至大約0.5 F、大約0.01 F至大約1 F、大約0.01 F至大約5 F、大約0.01 F至大約10 F、大約0.05 F至大約0.1 F、大約0.05 F至大約0.5 F、大約0.05 F至大約1 F、大約0.05 F至大約5 F、大約0.05 F至大約10 F、大約0.1 F至大約0.5 F、大約0.1 F至大約1 F、大約0.1 F至大約5 F、大約0.1 F至大約10 F、大約0.5 F至大約1 F、大約0.5 F至大約5 F、大約0.5 F至大約10 F、大約1 F至大約5 F、大約1 F至大約10 F，或大約5 F至大約10 F。

【0067】在某些具體例中，該能量儲存裝置是一軟包電池(pouch cell)。在某些具體例中，該能量儲存裝置是一硬幣型電池(coin cell)。在某些具體例中，該第一電極是陰極(cathode)而該第二電極是陽極(anode)。在某些具體例中，該第一電極是陽極而該第二電極是陰極，其中該電解質是一非水性電極。

【0068】在某些具體例中，該陽極包含有一複合電極，其中該複合材料包含有矽，以及其中該陰極包含有一

複合電極，其中該複合材料包含有硫。

【0069】在某些具體例中，該能量儲存裝置具有一區域能量密度(areal energy density)為大約11 Wh/m²至大約45 Wh/m²。在某些具體例中，該能量儲存裝置具有一區域能量密度為至少大約11 Wh/m²。在某些具體例中，該能量儲存裝置具有一區域能量密度為至多大約45 Wh/m²。在某些具體例中，該能量儲存裝置具有一區域能量密度為大約11 Wh/m²至大約15 Wh/m²、大約11 Wh/m²至大約20 Wh/m²、大約11 Wh/m²至大約25 Wh/m²、大約11 Wh/m²至大約30 Wh/m²、大約11 Wh/m²至大約35 Wh/m²、大約11 Wh/m²至大約45 Wh/m²、大約15 Wh/m²至大約20 Wh/m²、大約15 Wh/m²至大約25 Wh/m²、大約15 Wh/m²至大約30 Wh/m²、大約15 Wh/m²至大約35 Wh/m²、大約15 Wh/m²至大約45 Wh/m²、大約20 Wh/m²至大約25 Wh/m²、大約20 Wh/m²至大約30 Wh/m²、大約20 Wh/m²至大約35 Wh/m²、大約20 Wh/m²至大約45 Wh/m²、大約25 Wh/m²至大約30 Wh/m²、大約25 Wh/m²至大約35 Wh/m²、大約25 Wh/m²至大約45 Wh/m²、大約30 Wh/m²至大約35 Wh/m²、大約30 Wh/m²至大約45 Wh/m²，或大約35 Wh/m²至大約45 Wh/m²。

【0070】在某些具體例中，該能量儲存裝置具有一區域功率密度(areal power density)為大約85 kW/m²至大約360 kW/m²。在某些具體例中，該能量儲存裝置具有一區域功率密度為至少大約85 kW/m²。在某些具體例中，該能

量儲存裝置具有一區域功率密度為至多大約360 kW/m²。在某些具體例中，該能量儲存裝置具有一區域功率密度為大約85 kW/m²至大約100 kW/m²、大約85 kW/m²至大約150 kW/m²、大約85 kW/m²至大約200 kW/m²、大約85 kW/m²至大約250 kW/m²、大約85 kW/m²至大約300 kW/m²、大約85 kW/m²至大約360 kW/m²、大約100 kW/m²至大約150 kW/m²、大約100 kW/m²至大約200 kW/m²、大約100 kW/m²至大約250 kW/m²、大約100 kW/m²至大約300 kW/m²、大約100 kW/m²至大約360 kW/m²、大約150 kW/m²至大約200 kW/m²、大約150 kW/m²至大約250 kW/m²、大約150 kW/m²至大約300 kW/m²、大約150 kW/m²至大約360 kW/m²、大約200 kW/m²至大約250 kW/m²、大約200 kW/m²至大約300 kW/m²、大約200 kW/m²至大約360 kW/m²、大約250 kW/m²至大約300 kW/m²、大約250 kW/m²至大約360 kW/m²，或大約300 kW/m²至大約360 kW/m²。

【0071】在某些具體例中，該能量儲存裝置具有一堆疊-比能量密度為大約6 Wh/kg至大約70 Wh/kg。在某些具體例中，該能量儲存裝置具有一堆疊-比能量密度為至少大約6 Wh/kg。在某些具體例中，該能量儲存裝置具有一堆疊-比能量密度為至多大約70 Wh/kg。在某些具體例中，該能量儲存裝置具有一堆疊-比能量密度為大約6 Wh/kg至大約10 Wh/kg、大約6 Wh/kg至大約20 Wh/kg、大約6 Wh/kg至大約30 Wh/kg、大約6 Wh/kg至大約40

Wh/kg、大約6 Wh/kg至大約50 Wh/kg、大約6 Wh/kg至大約60 Wh/kg、大約6 Wh/kg至大約70 Wh/kg、大約10 Wh/kg至大約20 Wh/kg、大約10 Wh/kg至大約30 Wh/kg、大約10 Wh/kg至大約40 Wh/kg、大約10 Wh/kg至大約50 Wh/kg、大約10 Wh/kg至大約60 Wh/kg、大約10 Wh/kg至大約70 Wh/kg、大約20 Wh/kg至大約30 Wh/kg、大約20 Wh/kg至大約40 Wh/kg、大約20 Wh/kg至大約50 Wh/kg、大約20 Wh/kg至大約60 Wh/kg、大約20 Wh/kg至大約70 Wh/kg、大約30 Wh/kg至大約40 Wh/kg、大約30 Wh/kg至大約50 Wh/kg、大約30 Wh/kg至大約60 Wh/kg、大約30 Wh/kg至大約70 Wh/kg、大約40 Wh/kg至大約50 Wh/kg、大約40 Wh/kg至大約60 Wh/kg、大約40 Wh/kg至大約70 Wh/kg、大約50 Wh/kg至大約60 Wh/kg、大約50 Wh/kg至大約70 Wh/kg，或大約60 Wh/kg至大約70 Wh/kg。

【0072】在某些具體例中，該能量儲存裝置具有一堆疊-比容積能量密度(stack-specific volumetric energy density)為大約25 Wh/L至大約100 Wh/L。在某些具體例中，該能量儲存裝置具有一堆疊-比容積能量密度為至少大約25 Wh/L。在某些具體例中，該能量儲存裝置具有一堆疊-比容積能量密度為至多大約100 Wh/L。在某些具體例中，該能量儲存裝置具有一堆疊-比容積能量密度為大約25 Wh/L至大約30 Wh/L、大約25 Wh/L至大約40 Wh/L、大約25 Wh/L至大約50 Wh/L、大約25 Wh/L至大約60

Wh/L、大約25 Wh/L至大約70 Wh/L、大約25 Wh/L至大約80 Wh/L、大約25 Wh/L至大約90 Wh/L、大約25 Wh/L至大約100 Wh/L、大約30 Wh/L至大約40 Wh/L、大約30 Wh/L至大約50 Wh/L、大約30 Wh/L至大約60 Wh/L、大約30 Wh/L至大約70 Wh/L、大約30 Wh/L至大約80 Wh/L、大約30 Wh/L至大約90 Wh/L、大約30 Wh/L至大約100 Wh/L、大約40 Wh/L至大約50 Wh/L、大約40 Wh/L至大約60 Wh/L、大約40 Wh/L至大約70 Wh/L、大約40 Wh/L至大約80 Wh/L、大約40 Wh/L至大約90 Wh/L、大約40 Wh/L至大約100 Wh/L、大約50 Wh/L至大約60 Wh/L、大約50 Wh/L至大約70 Wh/L、大約50 Wh/L至大約80 Wh/L、大約50 Wh/L至大約90 Wh/L、大約50 Wh/L至大約100 Wh/L、大約60 Wh/L至大約70 Wh/L、大約60 Wh/L至大約80 Wh/L、大約60 Wh/L至大約90 Wh/L、大約60 Wh/L至大約100 Wh/L、大約70 Wh/L至大約80 Wh/L、大約70 Wh/L至大約90 Wh/L、大約70 Wh/L至大約100 Wh/L、大約80 Wh/L至大約90 Wh/L、大約80 Wh/L至大約100 Wh/L，或大約90 Wh/L至大約100 Wh/L。

【0073】在某些具體例中，該能量儲存裝置具有一電極-比重量能量密度為大約1.5 Wh/kg至大約240 Wh/kg。在某些具體例中，該能量儲存裝置具有一電極-比重量能量密度為至少大約1.5 Wh/kg。在某些具體例中，該能量儲存裝置具有一電極-比重量能量密度為至多大約240 Wh/kg。在某些具體例中，該能量儲存裝置具有一電極-

比重量能量密度為大約1.5 Wh/kg至大約5 Wh/kg、大約1.5 Wh/kg至大約10 Wh/kg、大約1.5 Wh/kg至大約20 Wh/kg、大約1.5 Wh/kg至大約50 Wh/kg、大約1.5 Wh/kg至大約100 Wh/kg、大約1.5 Wh/kg至大約150 Wh/kg、大約1.5 Wh/kg至大約200 Wh/kg、大約1.5 Wh/kg至大約240 Wh/kg、大約5 Wh/kg至大約10 Wh/kg、大約5 Wh/kg至大約20 Wh/kg、大約5 Wh/kg至大約50 Wh/kg、大約5 Wh/kg至大約100 Wh/kg、大約5 Wh/kg至大約150 Wh/kg、大約5 Wh/kg至大約200 Wh/kg、大約5 Wh/kg至大約240 Wh/kg、大約10 Wh/kg至大約20 Wh/kg、大約10 Wh/kg至大約50 Wh/kg、大約10 Wh/kg至大約100 Wh/kg、大約10 Wh/kg至大約150 Wh/kg、大約10 Wh/kg至大約200 Wh/kg、大約10 Wh/kg至大約240 Wh/kg、大約20 Wh/kg至大約50 Wh/kg、大約20 Wh/kg至大約100 Wh/kg、大約20 Wh/kg至大約150 Wh/kg、大約20 Wh/kg至大約200 Wh/kg、大約20 Wh/kg至大約240 Wh/kg、大約50 Wh/kg至大約100 Wh/kg、大約50 Wh/kg至大約150 Wh/kg、大約50 Wh/kg至大約200 Wh/kg、大約50 Wh/kg至大約240 Wh/kg、大約100 Wh/kg至大約150 Wh/kg、大約100 Wh/kg至大約200 Wh/kg、大約100 Wh/kg至大約240 Wh/kg、大約150 Wh/kg至大約200 Wh/kg、大約150 Wh/kg至大約240 Wh/kg，或大約200 Wh/kg至大約240 Wh/kg。

【0074】在某些具體例中，該能量儲存裝置具有一電

極-比重量功率密度為大約1.5 kW/kg至大約40 kW/kg。在某些具體例中，該能量儲存裝置具有一電極-比重量功率密度為至少大約1.5 kW/kg。在某些具體例中，該能量儲存裝置具有一電極-比重量功率密度為至多大約40 kW/kg。在某些具體例中，該能量儲存裝置具有一電極-比重量功率密度為大約1.5 kW/kg至大約5 kW/kg、大約1.5 kW/kg至大約10 kW/kg、大約1.5 kW/kg至大約20 kW/kg、大約1.5 kW/kg至大約30 kW/kg、大約1.5 kW/kg至大約40 kW/kg、大約5 kW/kg至大約10 kW/kg、大約5 kW/kg至大約20 kW/kg、大約5 kW/kg至大約30 kW/kg、大約5 kW/kg至大約40 kW/kg、大約10 kW/kg至大約20 kW/kg、大約10 kW/kg至大約30 kW/kg、大約10 kW/kg至大約40 kW/kg、大約20 kW/kg至大約30 kW/kg、大約20 kW/kg至大約40 kW/kg，或大約30 kW/kg至大約40 kW/kg。

【0075】在某些具體例中，該能量儲存裝置具有一總電容為大約100 F至大約1,000 F。在某些具體例中，該能量儲存裝置具有一總電容為至少大約100 F。在某些具體例中，該能量儲存裝置具有一總電容為至多大約1,000 F。在某些具體例中，該能量儲存裝置具有一總電容為大約500 F至大約100 F、大約500 F至大約200 F、大約500 F至大約300 F、大約500 F至大約400 F、大約500 F至大約500 F、大約500 F至大約750 F、大約500 F至大約1,000 F、大約100 F至大約200 F、大約100 F至大約300 F、大

約100 F至大約400 F、大約100 F至大約500 F、大約100 F至大約750 F、大約100 F至大約1,000 F、大約200 F至大約300 F、大約200 F至大約400 F、大約200 F至大約500 F、大約200 F至大約750 F、大約200 F至大約1,000 F、大約300 F至大約400 F、大約300 F至大約500 F、大約300 F至大約750 F、大約300 F至大約1,000 F、大約400 F至大約500 F、大約400 F至大約750 F、大約400 F至大約1,000 F、大約500 F至大約750 F、大約500 F至大約1,000 F，或大約750 F至大約1,000 F。

【0076】在某些具體例中，一電極包括一包含有一複合材料的複合電極，其中該複合材料包含有矽。

【0077】在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極、其中該複合材料包含有矽的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一堆疊-比能量密度為大約20 Wh/kg至大約200 Wh/kg。在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極、其中該複合材料包含有矽的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一堆疊-比能量密度為至少大約20 Wh/kg。在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極、其中該複合材料包含有矽的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一堆疊-比能量密度為至多大約200 Wh/kg。在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極、其中該複合材料包含有矽的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一堆疊-比能量密度為大約20 Wh/kg至大約40 Wh/kg、大約20 Wh/kg至大約60 Wh/kg、大約20 Wh/kg至大約80

Wh/kg、大約20 Wh/kg至大約100 Wh/kg、大約20 Wh/kg至大約120 Wh/kg、大約20 Wh/kg至大約160 Wh/kg、大約20 Wh/kg至大約180 Wh/kg、大約20 Wh/kg至大約200 Wh/kg、大約40 Wh/kg至大約60 Wh/kg、大約40 Wh/kg至大約80 Wh/kg、大約40 Wh/kg至大約100 Wh/kg、大約40 Wh/kg至大約120 Wh/kg、大約40 Wh/kg至大約160 Wh/kg、大約40 Wh/kg至大約180 Wh/kg、大約40 Wh/kg至大約200 Wh/kg、大約60 Wh/kg至大約80 Wh/kg、大約60 Wh/kg至大約100 Wh/kg、大約60 Wh/kg至大約120 Wh/kg、大約60 Wh/kg至大約160 Wh/kg、大約60 Wh/kg至大約180 Wh/kg、大約60 Wh/kg至大約200 Wh/kg、大約80 Wh/kg至大約100 Wh/kg、大約80 Wh/kg至大約120 Wh/kg、大約80 Wh/kg至大約160 Wh/kg、大約80 Wh/kg至大約180 Wh/kg、大約80 Wh/kg至大約200 Wh/kg、大約100 Wh/kg至大約120 Wh/kg、大約100 Wh/kg至大約160 Wh/kg、大約100 Wh/kg至大約180 Wh/kg、大約100 Wh/kg至大約200 Wh/kg、大約120 Wh/kg至大約160 Wh/kg、大約120 Wh/kg至大約180 Wh/kg、大約120 Wh/kg至大約200 Wh/kg、大約160 Wh/kg至大約180 Wh/kg、大約160 Wh/kg至大約200 Wh/kg，或大約180 Wh/kg至大約200 Wh/kg。

【0078】在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極、其中該複合材料包含有矽的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一堆疊-比功率密度為大約0.5 kW/kg

至大約20 kW/kg。在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極、其中該複合材料包含有矽的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一堆疊-比功率密度為至少大約0.5 kW/kg。在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極、其中該複合材料包含有矽的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一堆疊-比功率密度為至多大約20 kW/kg。在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極、其中該複合材料包含有矽的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一堆疊-比功率密度為大約0.5 kW/kg至大約1 kW/kg、大約0.5 kW/kg至大約2 kW/kg、大約0.5 kW/kg至大約5 kW/kg、大約0.5 kW/kg至大約10 kW/kg、大約0.5 kW/kg至大約15 kW/kg、大約0.5 kW/kg至大約20 kW/kg、大約1 kW/kg至大約2 kW/kg、大約1 kW/kg至大約5 kW/kg、大約1 kW/kg至大約10 kW/kg、大約1 kW/kg至大約15 kW/kg、大約1 kW/kg至大約20 kW/kg、大約2 kW/kg至大約5 kW/kg、大約2 kW/kg至大約10 kW/kg、大約2 kW/kg至大約15 kW/kg、大約2 kW/kg至大約20 kW/kg、大約5 kW/kg至大約10 kW/kg、大約5 kW/kg至大約15 kW/kg、大約5 kW/kg至大約20 kW/kg、大約10 kW/kg至大約15 kW/kg、大約10 kW/kg至大約20 kW/kg，或大約15 kW/kg至大約20 kW/kg。

【0079】在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極、其中該複合材料包含有矽的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一電極-比重量能量密度為大約60

Wh/kg至大約500 Wh/kg。在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極、其中該複合材料包含有矽的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一電極-比重量能量密度為至少大約60 Wh/kg。在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極、其中該複合材料包含有矽的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一電極-比重量能量密度為至多大約500 Wh/kg。在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極、其中該複合材料包含有矽的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一電極-比重量能量密度為大約60 Wh/kg至大約80 Wh/kg、大約60 Wh/kg至大約100 Wh/kg、大約60 Wh/kg至大約150 Wh/kg、大約60 Wh/kg至大約200 Wh/kg、大約60 Wh/kg至大約250 Wh/kg、大約60 Wh/kg至大約300 Wh/kg、大約60 Wh/kg至大約350 Wh/kg、大約60 Wh/kg至大約400 Wh/kg、大約60 Wh/kg至大約500 Wh/kg、大約80 Wh/kg至大約100 Wh/kg、大約80 Wh/kg至大約150 Wh/kg、大約80 Wh/kg至大約200 Wh/kg、大約80 Wh/kg至大約250 Wh/kg、大約80 Wh/kg至大約300 Wh/kg、大約80 Wh/kg至大約350 Wh/kg、大約80 Wh/kg至大約400 Wh/kg、大約80 Wh/kg至大約500 Wh/kg、大約100 Wh/kg至大約150 Wh/kg、大約100 Wh/kg至大約200 Wh/kg、大約100 Wh/kg至大約250 Wh/kg、大約100 Wh/kg至大約300 Wh/kg、大約100 Wh/kg至大約350 Wh/kg、大約100 Wh/kg至大約400 Wh/kg、大約100 Wh/kg至大約500 Wh/kg、大約150 Wh/kg至大約200

Wh/kg、大約150 Wh/kg至大約250 Wh/kg、大約150 Wh/kg至大約300 Wh/kg、大約150 Wh/kg至大約350 Wh/kg、大約150 Wh/kg至大約400 Wh/kg、大約150 Wh/kg至大約500 Wh/kg、大約200 Wh/kg至大約250 Wh/kg、大約200 Wh/kg至大約300 Wh/kg、大約200 Wh/kg至大約350 Wh/kg、大約200 Wh/kg至大約400 Wh/kg、大約200 Wh/kg至大約500 Wh/kg、大約250 Wh/kg至大約300 Wh/kg、大約250 Wh/kg至大約350 Wh/kg、大約250 Wh/kg至大約400 Wh/kg、大約250 Wh/kg至大約500 Wh/kg、大約300 Wh/kg至大約350 Wh/kg、大約300 Wh/kg至大約400 Wh/kg、大約300 Wh/kg至大約500 Wh/kg、大約350 Wh/kg至大約400 Wh/kg、大約350 Wh/kg至大約500 Wh/kg，或大約400 Wh/kg至大約500 Wh/kg。

【0080】在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極、其中該複合材料包含有矽的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一電極-比重量功率密度為大約1.5 kW/kg至大約20 kW/kg。在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極、其中該複合材料包含有矽的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一電極-比重量功率密度為至少大約1.5 kW/kg。在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極、其中該複合材料包含有矽的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一電極-比重量功率密度為至多大約20 kW/kg。在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合

電極、其中該複合材料包含有矽的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一電極-比重量功率密度為大約1.5 kW/kg至大約2 kW/kg、大約1.5 kW/kg至大約3 kW/kg、大約1.5 kW/kg至大約5 kW/kg、大約1.5 kW/kg至大約10 kW/kg、大約1.5 kW/kg至大約15 kW/kg、大約1.5 kW/kg至大約20 kW/kg、大約2 kW/kg至大約3 kW/kg、大約2 kW/kg至大約5 kW/kg、大約2 kW/kg至大約10 kW/kg、大約2 kW/kg至大約15 kW/kg、大約2 kW/kg至大約20 kW/kg、大約3 kW/kg至大約5 kW/kg、大約3 kW/kg至大約10 kW/kg、大約3 kW/kg至大約15 kW/kg、大約3 kW/kg至大約20 kW/kg、大約5 kW/kg至大約10 kW/kg、大約5 kW/kg至大約15 kW/kg、大約5 kW/kg至大約20 kW/kg、大約10 kW/kg至大約15 kW/kg、大約10 kW/kg至大約20 kW/kg，或大約15 kW/kg至大約20 kW/kg。

【0081】在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極、其中該複合材料包含有矽的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一總電容為大約50 F至大約1,000 F。在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極、其中該複合材料包含有矽的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一總電容為至少大約50 F。在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極、其中該複合材料包含有矽的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一總電容為至多大約1,000 F。在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極、其中該複合材料包含有矽的某些具體例中，該能量儲

存裝置具有一總電容為大約50 F至大約100 F、大約50 F至大約200 F、大約50 F至大約300 F、大約50 F至大約400 F、大約50 F至大約500 F、大約50 F至大約750 F、大約50 F至大約1,000 F、大約100 F至大約200 F、大約100 F至大約300 F、大約100 F至大約400 F、大約100 F至大約500 F、大約100 F至大約750 F、大約100 F至大約1,000 F、大約200 F至大約300 F、大約200 F至大約400 F、大約200 F至大約500 F、大約200 F至大約750 F、大約200 F至大約1,000 F、大約300 F至大約400 F、大約300 F至大約500 F、大約300 F至大約750 F、大約300 F至大約1,000 F、大約400 F至大約500 F、大約400 F至大約750 F、大約400 F至大約1,000 F、大約500 F至大約750 F、大約500 F至大約1,000 F，或大約750 F至大約1,000 F。

【0082】在某些具體例中，一電極包括一包含有一複合材料的複合電極，其中該複合材料包含有硫。

【0083】在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極、其中該複合材料包含有硫的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一堆疊-比能量密度為大約16 Wh/kg至大約750 Wh/kg。在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極、其中該複合材料包含有硫的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一堆疊-比能量密度為至少大約16 Wh/kg。在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極、其中該複合材料包含有硫的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一堆疊-比能量密度為至多大約750 Wh/kg。在

其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極、其中該複合材料包含有硫的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一堆疊-比能量密度為大約16 Wh/kg至大約25 Wh/kg、大約16 Wh/kg至大約50 Wh/kg、大約16 Wh/kg至大約100 Wh/kg、大約16 Wh/kg至大約200 Wh/kg、大約16 Wh/kg至大約300 Wh/kg、大約16 Wh/kg至大約400 Wh/kg、大約16 Wh/kg至大約500 Wh/kg、大約16 Wh/kg至大約600 Wh/kg、大約16 Wh/kg至大約750 Wh/kg、大約25 Wh/kg至大約50 Wh/kg、大約25 Wh/kg至大約100 Wh/kg、大約25 Wh/kg至大約200 Wh/kg、大約25 Wh/kg至大約300 Wh/kg、大約25 Wh/kg至大約400 Wh/kg、大約25 Wh/kg至大約500 Wh/kg、大約25 Wh/kg至大約600 Wh/kg、大約25 Wh/kg至大約750 Wh/kg、大約50 Wh/kg至大約100 Wh/kg、大約50 Wh/kg至大約200 Wh/kg、大約50 Wh/kg至大約300 Wh/kg、大約50 Wh/kg至大約400 Wh/kg、大約50 Wh/kg至大約500 Wh/kg、大約50 Wh/kg至大約600 Wh/kg、大約50 Wh/kg至大約750 Wh/kg、大約100 Wh/kg至大約200 Wh/kg、大約100 Wh/kg至大約300 Wh/kg、大約100 Wh/kg至大約400 Wh/kg、大約100 Wh/kg至大約500 Wh/kg、大約100 Wh/kg至大約600 Wh/kg、大約100 Wh/kg至大約750 Wh/kg、大約200 Wh/kg至大約300 Wh/kg、大約200 Wh/kg至大約400 Wh/kg、大約200 Wh/kg至大約500 Wh/kg、大約200 Wh/kg至大約600 Wh/kg、大約200 Wh/kg至大約750 Wh/kg、大約300

Wh/kg至大約400 Wh/kg、大約300 Wh/kg至大約500 Wh/kg、大約300 Wh/kg至大約600 Wh/kg、大約300 Wh/kg至大約750 Wh/kg、大約400 Wh/kg至大約500 Wh/kg、大約400 Wh/kg至大約600 Wh/kg、大約400 Wh/kg至大約750 Wh/kg、大約500 Wh/kg至大約600 Wh/kg、大約500 Wh/kg至大約750 Wh/kg，或大約600 Wh/kg至大約750 Wh/kg。

【0084】在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極、其中該複合材料包含有硫的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一堆疊-比功率密度為大約0.5 kW/kg至大約8 kW/kg。在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極、其中該複合材料包含有硫的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一堆疊-比功率密度為至少大約0.5 kW/kg。在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極、其中該複合材料包含有硫的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一堆疊-比功率密度為至多大約8 kW/kg。在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極、其中該複合材料包含有硫的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一堆疊-比功率密度為大約0.5 kW/kg至大約1 kW/kg、大約0.5 kW/kg至大約2 kW/kg、大約0.5 kW/kg至大約3 kW/kg、大約0.5 kW/kg至大約4 kW/kg、大約0.5 kW/kg至大約5 kW/kg、大約0.5 kW/kg至大約6 kW/kg、大約0.5 kW/kg至大約7 kW/kg、大約0.5 kW/kg至大約8 kW/kg、大約1 kW/kg至大約2 kW/kg、大約1 kW/kg至大約3

kW/kg、大約1 kW/kg至大約4 kW/kg、大約1 kW/kg至大約5 kW/kg、大約1 kW/kg至大約6 kW/kg、大約1 kW/kg至大約7 kW/kg、大約1 kW/kg至大約8 kW/kg、大約2 kW/kg至大約3 kW/kg、大約2 kW/kg至大約4 kW/kg、大約2 kW/kg至大約5 kW/kg、大約2 kW/kg至大約6 kW/kg、大約2 kW/kg至大約7 kW/kg、大約2 kW/kg至大約8 kW/kg、大約3 kW/kg至大約4 kW/kg、大約3 kW/kg至大約5 kW/kg、大約3 kW/kg至大約6 kW/kg、大約3 kW/kg至大約7 kW/kg、大約3 kW/kg至大約8 kW/kg、大約4 kW/kg至大約5 kW/kg、大約4 kW/kg至大約6 kW/kg、大約4 kW/kg至大約7 kW/kg、大約4 kW/kg至大約8 kW/kg、大約5 kW/kg至大約6 kW/kg、大約5 kW/kg至大約7 kW/kg、大約5 kW/kg至大約8 kW/kg、大約6 kW/kg至大約7 kW/kg、大約6 kW/kg至大約8 kW/kg，或大約7 kW/kg至大約8 kW/kg。

【0085】在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極、其中該複合材料包含有硫的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一電極-比重量能量密度為大約250 Wh/kg至大約750 Wh/kg。在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極、其中該複合材料包含有硫的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一電極-比重量能量密度為至少大約250 Wh/kg。在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極、其中該複合材料包含有硫的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一電極-比重量能量密度為至多大

約750 Wh/kg。在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極、其中該複合材料包含有硫的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一電極-比重量能量密度為大約250 Wh/kg至大約300 Wh/kg、大約250 Wh/kg至大約400 Wh/kg、大約250 Wh/kg至大約500 Wh/kg、大約250 Wh/kg至大約600 Wh/kg、大約250 Wh/kg至大約750 Wh/kg、大約300 Wh/kg至大約400 Wh/kg、大約300 Wh/kg至大約500 Wh/kg、大約300 Wh/kg至大約600 Wh/kg、大約300 Wh/kg至大約750 Wh/kg、大約400 Wh/kg至大約500 Wh/kg、大約400 Wh/kg至大約600 Wh/kg、大約400 Wh/kg至大約750 Wh/kg、大約500 Wh/kg至大約600 Wh/kg、大約500 Wh/kg至大約750 Wh/kg，或大約600 Wh/kg至大約750 Wh/kg。

【0086】在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極、其中該複合材料包含有硫的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一電極-比重量功率密度為大約0.5 kW/kg至大約18 kW/kg。在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極、其中該複合材料包含有硫的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一電極-比重量功率密度為至少大約0.5 kW/kg。在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極、其中該複合材料包含有硫的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一電極-比重量功率密度為至多大約18 kW/kg。在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極、其中該複合材料包含有硫的某些具體例中，該能量

儲存裝置具有一電極-比重量功率密度為大約0.5 kW/kg至大約1 kW/kg、大約0.5 kW/kg至大約2 kW/kg、大約0.5 kW/kg至大約4 kW/kg、大約0.5 kW/kg至大約6 kW/kg、大約0.5 kW/kg至大約8 kW/kg、大約0.5 kW/kg至大約12 kW/kg、大約0.5 kW/kg至大約14 kW/kg、大約0.5 kW/kg至大約16 kW/kg、大約0.5 kW/kg至大約18 kW/kg、大約1 kW/kg至大約2 kW/kg、大約1 kW/kg至大約4 kW/kg、大約1 kW/kg至大約6 kW/kg、大約1 kW/kg至大約8 kW/kg、大約1 kW/kg至大約12 kW/kg、大約1 kW/kg至大約14 kW/kg、大約1 kW/kg至大約16 kW/kg、大約1 kW/kg至大約18 kW/kg、大約2 kW/kg至大約4 kW/kg、大約2 kW/kg至大約6 kW/kg、大約2 kW/kg至大約8 kW/kg、大約2 kW/kg至大約12 kW/kg、大約2 kW/kg至大約14 kW/kg、大約2 kW/kg至大約16 kW/kg、大約2 kW/kg至大約18 kW/kg、大約4 kW/kg至大約6 kW/kg、大約4 kW/kg至大約8 kW/kg、大約4 kW/kg至大約12 kW/kg、大約4 kW/kg至大約14 kW/kg、大約4 kW/kg至大約16 kW/kg、大約4 kW/kg至大約18 kW/kg、大約6 kW/kg至大約8 kW/kg、大約6 kW/kg至大約12 kW/kg、大約6 kW/kg至大約14 kW/kg、大約6 kW/kg至大約16 kW/kg、大約6 kW/kg至大約18 kW/kg、大約8 kW/kg至大約12 kW/kg、大約8 kW/kg至大約14 kW/kg、大約8 kW/kg至大約16 kW/kg、大約8 kW/kg至大約18 kW/kg、大約12 kW/kg至大約14 kW/kg、大約12 kW/kg至大約16

kW/kg、大約12 kW/kg至大約18 kW/kg、大約14 kW/kg至大約16 kW/kg、大約14 kW/kg至大約18 kW/kg，或大約16 kW/kg至大約18 kW/kg。

【0087】在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極、其中該複合材料包含有硫的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一總電容為大約50 F至大約1,000 F。在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極、其中該複合材料包含有硫的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一總電容為至少大約50 F。在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極、其中該複合材料包含有硫的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一總電容為至多大約1,000 F。在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極、其中該複合材料包含有硫的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一總電容為大約50 F至大約100 F、大約50 F至大約200 F、大約50 F至大約300 F、大約50 F至大約400 F、大約50 F至大約500 F、大約50 F至大約750 F、大約50 F至大約1,000 F、大約100 F至大約200 F、大約100 F至大約300 F、大約100 F至大約400 F、大約100 F至大約500 F、大約100 F至大約750 F、大約100 F至大約1,000 F、大約200 F至大約300 F、大約200 F至大約400 F、大約200 F至大約500 F、大約200 F至大約750 F、大約200 F至大約1,000 F、大約300 F至大約400 F、大約300 F至大約500 F、大約300 F至大約750 F、大約300 F至大約1,000 F、大約400 F至大約500 F、大約400 F至大約750

F、大約400 F至大約1,000 F、大約500 F至大約750 F、大約500 F至大約1,000 F，或大約750 F至大約1,000 F。

【0088】在某些具體例中，一電極包括一包含有一複合材料的複合電極，其中該複合材料包含有硫過渡金屬氧化物(sulfur transition metal oxide)。

【0089】在某些具體例中，一過渡金屬氧化物包括：氧化鉿(IV) [hafnium(IV) oxide]、二氧化鋨(osmium dioxide)、氧化鈀(II) [palladium(II) oxide]、氧化錸(IV) [rhenium(IV) oxide]、釕酸鍶(strontium ruthenate)、鈦酸鍶(strontium Titanate)、五氧化二鎢(tungsten pentoxide)、三氧化鎢(tungsten trioxide)、釔鋇銅氧化物(yttrium barium copper oxide)、五氧化二鈮(niobium pentoxide)或此等的任一組合。

【0090】在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極以及其中該複合材料包含有一過渡金屬氧化物的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一堆疊-比能量密度為大約8 Wh/kg至大約90 Wh/kg。在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極以及其中該複合材料包含有一過渡金屬氧化物的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一堆疊-比能量密度為至少大約8 Wh/kg。在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極以及其中該複合材料包含有一過渡金屬氧化物的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一堆疊-比能量密度為至多大約90 Wh/kg。在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極以及其中該複合材料

包含有一過渡金屬氧化物的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一堆疊-比能量密度為大約8 Wh/kg至大約10 Wh/kg、大約8 Wh/kg至大約20 Wh/kg、大約8 Wh/kg至大約30 Wh/kg、大約8 Wh/kg至大約40 Wh/kg、大約8 Wh/kg至大約50 Wh/kg、大約8 Wh/kg至大約60 Wh/kg、大約8 Wh/kg至大約70 Wh/kg、大約8 Wh/kg至大約80 Wh/kg、大約8 Wh/kg至大約90 Wh/kg、大約10 Wh/kg至大約20 Wh/kg、大約10 Wh/kg至大約30 Wh/kg、大約10 Wh/kg至大約40 Wh/kg、大約10 Wh/kg至大約50 Wh/kg、大約10 Wh/kg至大約60 Wh/kg、大約10 Wh/kg至大約70 Wh/kg、大約10 Wh/kg至大約80 Wh/kg、大約10 Wh/kg至大約90 Wh/kg、大約20 Wh/kg至大約30 Wh/kg、大約20 Wh/kg至大約40 Wh/kg、大約20 Wh/kg至大約50 Wh/kg、大約20 Wh/kg至大約60 Wh/kg、大約20 Wh/kg至大約70 Wh/kg、大約20 Wh/kg至大約80 Wh/kg、大約20 Wh/kg至大約90 Wh/kg、大約30 Wh/kg至大約40 Wh/kg、大約30 Wh/kg至大約50 Wh/kg、大約30 Wh/kg至大約60 Wh/kg、大約30 Wh/kg至大約70 Wh/kg、大約30 Wh/kg至大約80 Wh/kg、大約30 Wh/kg至大約90 Wh/kg、大約40 Wh/kg至大約50 Wh/kg、大約40 Wh/kg至大約60 Wh/kg、大約40 Wh/kg至大約70 Wh/kg、大約40 Wh/kg至大約80 Wh/kg、大約40 Wh/kg至大約90 Wh/kg、大約50 Wh/kg至大約60 Wh/kg、大約50 Wh/kg至大約70 Wh/kg、大約50 Wh/kg至大約80

Wh/kg、大約50 Wh/kg至大約90 Wh/kg、大約60 Wh/kg至大約70 Wh/kg、大約60 Wh/kg至大約80 Wh/kg、大約60 Wh/kg至大約90 Wh/kg、大約70 Wh/kg至大約80 Wh/kg、大約70 Wh/kg至大約90 Wh/kg，或大約80 Wh/kg至大約90 Wh/kg。

【0091】在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極以及其中該複合材料包含有一過渡金屬氧化物的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一電極-比重量功率密度為大約0.5 kW/kg至大約20 kW/kg。在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極以及其中該複合材料包含有一過渡金屬氧化物的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一電極-比重量功率密度為至少大約0.5 kW/kg。在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極以及其中該複合材料包含有一過渡金屬氧化物的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一電極-比重量功率密度為至多大約20 kW/kg。在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極以及其中該複合材料包含有一過渡金屬氧化物的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一電極-比重量功率密度為大約0.5 kW/kg至大約1 kW/kg、大約0.5 kW/kg至大約5 kW/kg、大約0.5 kW/kg至大約10 kW/kg、大約0.5 kW/kg至大約15 kW/kg、大約0.5 kW/kg至大約20 kW/kg、大約1 kW/kg至大約5 kW/kg、大約1 kW/kg至大約10 kW/kg、大約1 kW/kg至大約15 kW/kg、大約1 kW/kg至大約20 kW/kg、大約5 kW/kg至大約10 kW/kg、大約5

kW/kg至大約15 kW/kg、大約5 kW/kg至大約20 kW/kg、大約10 kW/kg至大約15 kW/kg、大約10 kW/kg至大約20 kW/kg，或大約15 kW/kg至大約20 kW/kg。

【0092】在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極、其中該複合材料包含有一過渡金屬氧化物的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一堆疊-比能量密度為大約20 Wh/kg至大約280 Wh/kg。在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極、其中該複合材料包含有一過渡金屬氧化物的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一堆疊-比能量密度為至少大約20 Wh/kg。在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極、其中該複合材料包含有一過渡金屬氧化物的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一堆疊-比能量密度為至多大約280 Wh/kg。在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極、其中該複合材料包含有一過渡金屬氧化物的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一堆疊-比能量密度為大約20 Wh/kg至大約40 Wh/kg、大約20 Wh/kg至大約60 Wh/kg、大約20 Wh/kg至大約80 Wh/kg、大約20 Wh/kg至大約100 Wh/kg、大約20 Wh/kg至大約140 Wh/kg、大約20 Wh/kg至大約180 Wh/kg、大約20 Wh/kg至大約220 Wh/kg、大約20 Wh/kg至大約280 Wh/kg、大約40 Wh/kg至大約60 Wh/kg、大約40 Wh/kg至大約80 Wh/kg、大約40 Wh/kg至大約100 Wh/kg、大約40 Wh/kg至大約140 Wh/kg、大約40 Wh/kg至大約180 Wh/kg、大約40 Wh/kg至大約220 Wh/kg、大約40 Wh/kg

至大約280 Wh/kg、大約60 Wh/kg至大約80 Wh/kg、大約60 Wh/kg至大約100 Wh/kg、大約60 Wh/kg至大約140 Wh/kg、大約60 Wh/kg至大約180 Wh/kg、大約60 Wh/kg至大約220 Wh/kg、大約60 Wh/kg至大約280 Wh/kg、大約80 Wh/kg至大約100 Wh/kg、大約80 Wh/kg至大約140 Wh/kg、大約80 Wh/kg至大約180 Wh/kg、大約80 Wh/kg至大約220 Wh/kg、大約80 Wh/kg至大約280 Wh/kg、大約100 Wh/kg至大約140 Wh/kg、大約100 Wh/kg至大約180 Wh/kg、大約100 Wh/kg至大約220 Wh/kg、大約100 Wh/kg至大約280 Wh/kg、大約140 Wh/kg至大約180 Wh/kg、大約140 Wh/kg至大約220 Wh/kg、大約140 Wh/kg至大約280 Wh/kg、大約180 Wh/kg至大約220 Wh/kg、大約180 Wh/kg至大約280 Wh/kg，或大約220 Wh/kg至大約280 Wh/kg。

【0093】在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極、其中該複合材料包含有一過渡金屬氧化物的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一電極-比重量功率密度為大約1.5 kW/kg至大約40 kW/kg。在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極、其中該複合材料包含有一過渡金屬氧化物的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一電極-比重量功率密度為至少大約1.5 kW/kg。在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極、其中該複合材料包含有一過渡金屬氧化物的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一電極-比重量功率密度為至多大約40 kW/kg。在

其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極、其中該複合材料包含有一過渡金屬氧化物的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一電極-比重量功率密度為大約1.5 kW/kg至大約3 kW/kg、大約1.5 kW/kg至大約5 kW/kg、大約1.5 kW/kg至大約10 kW/kg、大約1.5 kW/kg至大約20 kW/kg、大約1.5 kW/kg至大約30 kW/kg、大約1.5 kW/kg至大約40 kW/kg、大約3 kW/kg至大約5 kW/kg、大約3 kW/kg至大約10 kW/kg、大約3 kW/kg至大約20 kW/kg、大約3 kW/kg至大約30 kW/kg、大約3 kW/kg至大約40 kW/kg、大約5 kW/kg至大約10 kW/kg、大約5 kW/kg至大約20 kW/kg、大約5 kW/kg至大約30 kW/kg、大約5 kW/kg至大約40 kW/kg、大約10 kW/kg至大約20 kW/kg、大約10 kW/kg至大約30 kW/kg、大約10 kW/kg至大約40 kW/kg、大約20 kW/kg至大約30 kW/kg、大約20 kW/kg至大約40 kW/kg，或大約30 kW/kg至大約40 kW/kg。

【0094】在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極、其中該複合材料包含有一過渡金屬氧化物的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一總電容為大約50 F至大約1,000 F。在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極、其中該複合材料包含有一過渡金屬氧化物的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一總電容為至少大約50 F。在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極、其中該複合材料包含有一過渡金屬氧化物的某些具體例

中，該能量儲存裝置具有一總電容為至多大約1,000 F。在其中一電極包括一包含有一複合材料的複合電極、其中該複合材料包含有一過渡金屬氧化物的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一總電容為大約50 F至大約100 F、大約50 F至大約200 F、大約50 F至大約300 F、大約50 F至大約400 F、大約50 F至大約500 F、大約50 F至大約750 F、大約50 F至大約1,000 F、大約100 F至大約200 F、大約100 F至大約300 F、大約100 F至大約400 F、大約100 F至大約500 F、大約100 F至大約750 F、大約100 F至大約1,000 F、大約200 F至大約300 F、大約200 F至大約400 F、大約200 F至大約500 F、大約200 F至大約750 F、大約200 F至大約1,000 F、大約300 F至大約400 F、大約300 F至大約500 F、大約300 F至大約750 F、大約300 F至大約1,000 F、大約400 F至大約500 F、大約400 F至大約750 F、大約400 F至大約1,000 F、大約500 F至大約750 F、大約500 F至大約1,000 F，或大約750 F至大約1,000 F。

【0095】在某些具體例中，該第一電極和該第二電極包含有複合電極，其中該第一電極的複合材料包含有矽，以及其中該第二電極的複合材料包含有硫。

【0096】在其中該第一電極和該第二電極包含有複合電極、其中該第一電極的複合材料包含有矽以及其中該第二電極的複合材料包含有硫的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一堆疊-比能量密度為大約75 Wh/kg至大約900 Wh/kg。在其中該第一電極和該第二電極包含有複合

電極、其中該第一電極的複合材料包含有矽以及其中該第二電極的複合材料包含有硫的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一堆疊-比能量密度為至少大約75 Wh/kg。在其中該第一電極和該第二電極包含有複合電極、其中該第一電極的複合材料包含有矽以及其中該第二電極的複合材料包含有硫的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一堆疊-比能量密度為至多大約900 Wh/kg。在其中該第一電極和該第二電極包含有複合電極、其中該第一電極的複合材料包含有矽以及其中該第二電極的複合材料包含有硫的某些具體例中，該能量儲存裝置具有一堆疊-比能量密度為大約75 Wh/kg至大約100 Wh/kg、大約75 Wh/kg至大約200 Wh/kg、大約75 Wh/kg至大約300 Wh/kg、大約75 Wh/kg至大約400 Wh/kg、大約75 Wh/kg至大約500 Wh/kg、大約75 Wh/kg至大約600 Wh/kg、大約75 Wh/kg至大約700 Wh/kg、大約75 Wh/kg至大約800 Wh/kg、大約75 Wh/kg至大約900 Wh/kg、大約100 Wh/kg至大約200 Wh/kg、大約100 Wh/kg至大約300 Wh/kg、大約100 Wh/kg至大約400 Wh/kg、大約100 Wh/kg至大約500 Wh/kg、大約100 Wh/kg至大約600 Wh/kg、大約100 Wh/kg至大約700 Wh/kg、大約100 Wh/kg至大約800 Wh/kg、大約100 Wh/kg至大約900 Wh/kg、大約200 Wh/kg至大約300 Wh/kg、大約200 Wh/kg至大約400 Wh/kg、大約200 Wh/kg至大約500 Wh/kg、大約200 Wh/kg至大約600 Wh/kg、大約200 Wh/kg至大約700 Wh/kg、大約200

Wh/kg至大約800 Wh/kg、大約200 Wh/kg至大約900 Wh/kg、大約300 Wh/kg至大約400 Wh/kg、大約300 Wh/kg至大約500 Wh/kg、大約300 Wh/kg至大約600 Wh/kg、大約300 Wh/kg至大約700 Wh/kg、大約300 Wh/kg至大約800 Wh/kg、大約300 Wh/kg至大約900 Wh/kg、大約400 Wh/kg至大約500 Wh/kg、大約400 Wh/kg至大約600 Wh/kg、大約400 Wh/kg至大約700 Wh/kg、大約400 Wh/kg至大約800 Wh/kg、大約400 Wh/kg至大約900 Wh/kg、大約500 Wh/kg至大約600 Wh/kg、大約500 Wh/kg至大約700 Wh/kg、大約500 Wh/kg至大約800 Wh/kg、大約500 Wh/kg至大約900 Wh/kg、大約600 Wh/kg至大約700 Wh/kg、大約600 Wh/kg至大約800 Wh/kg、大約600 Wh/kg至大約900 Wh/kg、大約700 Wh/kg至大約800 Wh/kg、大約700 Wh/kg至大約900 Wh/kg，或大約800 Wh/kg至大約900 Wh/kg。

【0097】被呈現於此的一個第三具體例是一種用以構成一電極的方法，其包括：形成一含有氧化石墨烯與一第一溶劑的溶液；加熱該溶液以形成一多孔洞氧化石墨烯(holey graphene oxide)；離心(centrifuging)該溶液內的多孔洞氧化石墨烯；於一第二溶劑內清洗該多孔洞氧化石墨烯；於一第三溶劑內形成該多孔洞氧化石墨烯之一分散體(dispersion)；以及添加一酸入至該分散體俾以形成一多孔洞氧化石墨烯架構。

【0098】在某些具體例中，該方法能夠於一卷對卷製程(roll-to-roll process)中形成一電極。在某些具體例中，該方法能夠於一卷對卷製程中連續地形成一電極。

【0099】在某些具體例中，該溶液中的氧化石墨烯濃度是大約1.2 g/L至大約5 g/L。在某些具體例中，該溶液中的氧化石墨烯濃度是至少大約1.2 g/L。在某些具體例中，該溶液中的氧化石墨烯濃度是至多大約5 g/L。在某些具體例中，該溶液中的氧化石墨烯濃度是大約1.2 g/L至大約1.5 g/L、大約1.2 g/L至大約1.75 g/L、大約1.2 g/L至大約2 g/L、大約1.2 g/L至大約2.5 g/L、大約1.2 g/L至大約3 g/L、大約1.2 g/L至大約3.5 g/L、大約1.2 g/L至大約4 g/L、大約1.2 g/L至大約5 g/L、大約1.5 g/L至大約1.75 g/L、大約1.5 g/L至大約2 g/L、大約1.5 g/L至大約2.5 g/L、大約1.5 g/L至大約3 g/L、大約1.5 g/L至大約3.5 g/L、大約1.5 g/L至大約4 g/L、大約1.5 g/L至大約5 g/L、大約1.75 g/L至大約2 g/L、大約1.75 g/L至大約2.5 g/L、大約1.75 g/L至大約3 g/L、大約1.75 g/L至大約3.5 g/L、大約1.75 g/L至大約4 g/L、大約1.75 g/L至大約5 g/L、大約2 g/L至大約2.5 g/L、大約2 g/L至大約3 g/L、大約2 g/L至大約3.5 g/L、大約2 g/L至大約4 g/L、大約2 g/L至大約5 g/L、大約2.5 g/L至大約3 g/L、大約2.5 g/L至大約3.5 g/L、大約2.5 g/L至大約4 g/L、大約2.5 g/L至大約5 g/L、大約3 g/L至大約3.5 g/L、大約3 g/L至大約4 g/L、大約3 g/L至大約5 g/L、大約3.5 g/L至大約4 g/L、大約

3.5 g/L至大約5 g/L，或大約4 g/L至大約5 g/L。

【0100】在某些具體例中，該第一溶劑包括一氧化劑(oxidizing agent)，該氧化劑包含有氧、臭氧(ozone)、過氧化氫(hydrogen peroxide)、螢石二氧化物(fluorite dioxide)、過氧化鋰(lithium peroxide)、過氧化鋇(barium peroxide)、氟(fluorine)、氯(chlorine)、硝酸(nitric acid)、硝酸鹽化合物(nitrate compounds)、硫酸(sulfuric acid)、過氧二硫酸(peroxydisulfuric acid)、過氧單硫酸(peroxymonosulfuric acid)、亞氯酸鹽(chlorite)、氯酸鹽(chlorate)、過氯酸鹽(perchlorate)、鹵素化合物(halogen compounds)、次氯酸鹽(hypochlorite)、次鹵酸鹽化合物(hypohalite compounds)、家用漂白劑(household bleach)、六價鉻化合物(hexavalent chromium compounds)、鉻酸(chromic acids)、二鉻酸(dichromic acids)、三氧化鉻(chromium trioxide)、吡啶陽離子氯鉻酸鹽(pyridinium chlorochromate)、鉻酸鹽化合物(chromate compounds)、二鉻酸鹽化合物(dichromate compounds)、過錳酸鹽化合物(permanganate compounds)、過錳酸鉀(potassium permanganate)、過硼酸鈉(sodium perborate)、氧化亞氮(nitrous oxide)、硝酸鉀(potassium nitrate)、鉍酸鈉(sodium bismuthate)或此等的任一組合。

【0101】在某些具體例中，該溶液被加熱至一溫度為大約50℃至大約200℃。在某些具體例中，該溶液被加熱

至一溫度為至少大約50℃。在某些具體例中，該溶液被加熱至一溫度為至多大約200℃。在某些具體例中，該溶液被加熱至一溫度為大約50℃至大約75℃、大約50℃至大約100℃、大約50℃至大約125℃、大約50℃至大約150℃、大約50℃至大約175℃、大約50℃至大約200℃、大約75℃至大約100℃、大約75℃至大約125℃、大約75℃至大約150℃、大約75℃至大約175℃、大約75℃至大約200℃、大約100℃至大約125℃、大約100℃至大約150℃、大約100℃至大約175℃、大約100℃至大約200℃、大約125℃至大約150℃、大約125℃至大約175℃、大約125℃至大約200℃、大約150℃至大約175℃、大約150℃至大約200℃，或大約175℃至大約200℃。

【0102】在某些具體例中，該溶液被加熱的那段時間是大約12小時至大約48小時。在某些具體例中，該溶液被加熱的那段時間是至少大約12小時。在某些具體例中，該溶液被加熱的那段時間是至多大約48小時。在某些具體例中，該溶液被加熱的那段時間是大約12小時至大約18小時、大約12小時至大約24小時、大約12小時至大約30小時、大約12小時至大約36小時、大約12小時至大約42小時、大約12小時至大約48小時、大約18小時至大約24小時、大約18小時至大約30小時、大約18小時至大約36小時、大約18小時至大約42小時、大約18小時至大約48小時、大約24小時至大約30小時、大約24小時至大約36小時、大約24小時至大約42小時、大約24小時至大約48小

時、大約30小時至大約36小時、大約30小時至大約42小時、大約30小時至大約48小時、大約36小時至大約42小時、大約36小時至大約48小時，或大約42小時至大約48小時。

【0103】在某些具體例中，該第二溶劑和該第三溶劑的至少一者包含有甲酸(formic acid)、正丁醇(n-Butanol)、異丙醇(isopropanol)、正丙醇(n-propanol)、乙醇(ethanol)、甲醇(methanol)、乙酸(acetic acid)、水(water)或此等的任一組合。

【0104】在某些具體例中，該酸包括一弱酸(weak acid)。在某些具體例中，一弱酸包括甲酸、乙酸、三氯乙酸(trichloroacetic acid)、氫氟酸(hydrofluoric acid)、氫氰酸(hydrocyanic)、硫化氫(hydrogen sulfide)或此等的任一組合。

【0105】某些具體例進一步包括將該多孔洞氧化石墨烯架構壓製(pressing)到一金屬泡棉(metallic foam)上，該金屬泡棉包含有鋼(steel)、不鏽鎳(stainless nickel)、鋁(aluminum)、銅(copper)、鉍(bismuth)、鉻(chromium)、鈷(cobalt)、鎵(gallium)、金(gold)、鐵(iron)、銦(indium)、鉛(lead)、鎂(magnesium)、汞(mercury)、銀(silver)、鈉(sodium)、錫(tin)、鈦(titanium)、鋅(zinc)、鋯(zirconium)、青銅(bronze)或此等的任一組合。

【0106】某些具體例進一步包括將該多孔洞氧化石

墨烯架構沉積(depositing)在一電流收集器之上，該電流收集器包含有：一金屬薄膜(metal film)，其包含有銀、銅、金、鋁、鈣(calcium)、鎢(tungsten)、鋅、鎢、黃銅(brass)、青銅、鎳(nickel)、鋰(lithium)、鐵、鉑(platinum)、錫、碳鋼(carbon steel)、鉛、鈦、不鏽鋼、汞、鉻、砷化鎵(gallium arsenide)或此等的任一組合；或一聚合物薄膜(polymeric film)，其包含有聚芴(polyfluorene)、聚伸苯(polyphenylene)、聚芘(polypyrene)、聚薁(polyazulene)、聚萘(polynaphthalene)、聚乙炔(polyacetylene)、聚對苯乙烯(poly p-phenylene vinylene)、聚吡咯(polypyrrole)、聚咔唑(polycarbazole)、聚吲哚(polyindole)、聚吖呯(polyazepinem)、聚苯胺(polyaniline)、聚噻吩(polythiophene)、聚3,4-乙烯基二氧噻吩(poly 3,4-ethylenedioxythiophene)、聚對苯硫醚(poly p-phenylene sulfide)、聚乙炔(polyacetylene)、聚對苯乙烯(poly p-phenylene vinylene)或此等的任一組合。

【0107】在某些具體例中，該第一溶劑包括一氧化劑(oxidizing agent)，其中該氧化劑包含有氧、臭氧、過氧化氫、螢石二氧化物、過氧化鋰、過氧化鋇、氟、氯、硝酸、硝酸鹽化合物、硫酸、過氧二硫酸、過氧單硫酸、亞氯酸鹽、氯酸鹽、過氯酸鹽、鹵素化合物、次氯酸鹽、次鹵酸鹽化合物、家用漂白劑、六價鉻化合物、鉻酸、二鉻酸、三氧化鉻、吡啶陽離子氯鉻酸鹽、鉻酸鹽化合物、二

鉻酸鹽化合物、過錳酸鹽化合物、過錳酸鉀、過硼酸鈉、氧化亞氮、硝酸鉀、鉍酸鈉或此等的任一組合。

【0108】在某些具體例中，該第二溶劑包含有甲酸、正丁醇、異丙醇、正丙醇、乙醇、甲醇、乙酸、水或此等的任一組合。

【0109】在某些具體例中，該第三溶劑包含有甲酸、正丁醇、異丙醇、正丙醇、乙醇、甲醇、乙酸、水或此等的任一組合。

【0110】在某些具體例中，該酸包括一弱酸。在某些具體例中，一弱酸包括甲酸、乙酸、三氯乙酸、氫氟酸、氫氰酸、硫化氫或此等的任一組合

【0111】某些具體例進一步包括將該分散體放入一容器內。

【0112】某些具體例進一步包括將該多孔洞氧化石墨烯架構壓製到一泡棉上，其中該泡綿是一金屬泡棉包含有鋼、不鏽鎳、鋁、銅、鉍、鉻、鈷、鎵、金、鐵、銦、鉛、鎂、汞、銀、鈉、錫、鈦、鋅、鋯、青銅或此等的任一組合。

【0113】某些具體例進一步包括將該多孔洞氧化石墨烯架構沉積在一電流收集器之上。

【0114】在某些具體例中，該電流收集器包括一金屬薄膜或一聚合物薄膜或此等的任一組合，其中該金屬薄膜包含有銀、銅、金、鋁、鈣(calcium)、鎢、鋅、鎢、黃銅、青銅、鎳、鋰、鐵、鉑、錫、碳鋼、鉛、鈦、不鏽鋼、汞、

鉻、砷化鎵或此等的任一組合。

【0115】在某些具體例中，該電流收集器包括一聚合物薄膜，其中該聚合物薄膜包含有聚芴、聚伸苯、聚茚、聚薁、聚萘、聚乙炔、聚對苯乙烯、聚吡咯、聚咔唑、聚吲哚、聚吖呯、聚苯胺、聚噻吩、聚3,4-乙烯基二氧噻吩、聚對苯硫醚、聚乙炔、聚對苯乙烯或此等的任一組合。

【0116】被提供於此的一個第四方面是一種用以構成一具有一個含一超高硫含量(ultra-high sulfur content)之三維石墨烯架構的電極的方法，該方法包括：合成氧化石墨烯，包括形成一氧化石墨烯懸浮液(graphene oxide suspension)以及乾燥該懸浮液；以及從該氧化石墨烯來合成一複合硫-氧化石墨烯(composite sulfur-graphene oxide)，包括：添加一硫前驅物(sulfur precursor)至該氧化石墨烯懸浮液與一第一溶劑，添加一第一酸以形成一第一溶液，添加一第二酸至該第一溶液以形成一第二溶液，加熱該第二溶液，在一第二溶劑內清洗該第二溶液，以及冷凍乾燥該第二溶液。

【0117】在某些具體例中，該硫前驅物包括：硫代硫酸鈉(sodium thiosulfate)、鹼性硫代硫酸鈉(alkaline sodium thiosulfate)、硫代硫酸銨(ammonium thiosulfate)、硫代硫酸鋇(barium thiosulfate)、硫代硫酸鈣(calcium thiosulfate)、硫代硫酸鈉金(I)脫水物[gold(I) sodium thiosulfate dehydrate]、硫代硫酸鉀(potassium thiosulfate)、一硫酸鹽(sulfate)或此等的任

一組合。

【0118】在某些具體例中，一硫酸鹽包括：硫酸鋁銨氫氧化物(ammonium aluminum sulfate hydroxide)、硫酸鐵銨氫氧化物(ammonium iron sulfate hydroxide)、硫酸鋁鋇氧化物氫氧化物(barium aluminum sulfate oxide hydroxide)、鉻酸鋇硫酸鹽(barium chromate sulfate)、硫酸鋇(barium sulfate)、砷鉛鐵礬砷酸鐵鉛硫酸鹽氫氧化物(beudantite lead iron arsenate sulfate hydroxide)、砷酸鋁鈣硫酸鹽氫氧化物(calcium aluminum arsenate sulfate hydroxide)、硫酸鋁鈣氧化物氫氧化物(calcium aluminum sulfate oxide hydroxide)、硫酸鈣(calcium sulfate)、硫酸鋁鐵銅氫氧化物(copper iron aluminum sulfate hydroxide)、碳酸鉛銅硫酸鹽氫氧化物(copper lead carbonate sulfate hydroxide)、硫酸銅氫氧化物(copper sulfate hydroxide)、水合硫酸鋁氫氧化物(hydrated aluminum sulfate hydroxide)、水合氫硼化矽鋁鈣硫酸鹽氫氧化物(hydrated calcium aluminum silicon hydroborate sulfate hydroxide)、水合硫酸鋁鈣氟化物氫氧化物(hydrated calcium aluminum sulfate fluroide hydroxide)、水合硫酸鋁鈣氫氧化物(hydrated calcium aluminum sulfate hydroxide)、水合碳酸鈣硫酸鹽(hydrated calcium carbonate sulfate)、水合硫酸銅鈣氫氧化物(hydrated calcium copper sulfate hydroxide)、水合硫酸鋅銅鈣氫氧化物(hydrated calcium copper zinc

sulfate hydroxide)、水合硫酸錳鋁鐵鈣四羥基硼酸鹽氫氧化物(hydrated calcium iron aluminum manganese sulfate tetrahydroxoborate hydroxide)、水合碳酸鎂鈣硫酸鹽氯化物氫氧化物(hydrated calcium magnesium carbonate sulfate chloride hydroxide)、水合碳酸錳鈣硫酸鹽氫氧化物(hydrated calcium manganese carbonate sulfate hydroxide)、水合硫酸錳鈣氫氧化物(hydrated calcium manganese sulfate hydroxide)、水合碳酸矽鈣硫酸鹽氫氧化物(hydrated calcium silicon carbonate sulfate hydroxide)、水合硫酸鈣(hydrated calcium sulfate)、水合硫酸鋁鎳鎂鈷(hydrated cobalt magnesium nickel aluminum sulfate)、水合硫酸鎳錳鈷(hydrated cobalt manganese nickel sulfate)、水合硫酸鈷(hydrated cobalt sulfate)、水合硫酸鋁銅氫氧化物氯化物(hydrated copper aluminum sulfate hydroxide chloride)、水合硫酸鋁銅氫氧化物(hydrated copper aluminum sulfate hydroxide)、水合硫酸鋁銅氫氧化物(hydrated copper aluminum sulfate hydroxide)、水合碳酸銅硫酸鹽氫氧化物(hydrated copper carbonate sulfate hydroxide)、水合硫酸鋅鐵銅(hydrated copper iron zinc sulfate)、水合硫酸銅氫氧化物氯化物(hydrated copper sulfate hydroxide chloride)、水合硫酸銅氫氧化物(hydrated copper sulfate hydroxide)、水合硫酸銅(hydrated copper sulfate)、水合硫酸銅(hydrated copper sulfate)、水合硫酸氧鈾銅氫

氧化物(hydrated copper uranyl sulfate hydroxide)、水合硫酸鋅銅氫氧化物(hydrated copper zinc sulfate hydroxide)、水合砷酸鋁氫鈣硫酸鹽氫氧化物(hydrated hydrogen calcium aluminum arsenate sulfate hydroxide)、水合硫酸鋁鐵(hydrated iron aluminum sulfate)、水合硫酸鋁鉻鎳鎂鐵(hydrated iron magnesium nickel chromium aluminum sulfate)、水合硫酸鎂鐵氫氧化物(hydrated iron magnesium sulfate hydroxide)、水合硫酸鐵氫氧化物(hydrated iron sulfate hydroxide)、水合硫酸鐵氫氧化物(hydrated iron sulfate hydroxide)、水合硫酸鐵(hydrated iron sulfate)、水合硫酸鐵(hydrated iron sulfate)、水合硫酸鐵(hydrated iron sulfate)、水合硫酸鐵(hydrated iron sulfate)、水合硫酸鐵(hydrated iron sulfate)、水合硫酸鋁鎂(hydrated magnesium aluminum sulfate)、水合硫酸鐵鎂氫氧化物(hydrated magnesium iron sulfate hydroxide)、水合硫酸鋅錳鎂氫氧化物(hydrated magnesium manganese zinc sulfate hydroxide)、水合碳酸鋁鉻鐵鎳鎂硫酸鹽氫氧化物(hydrated magnesium nickel iron chromium aluminum carbonate sulfate hydroxide)、水合硫酸鎂(hydrated magnesium sulfate)、水合硫酸鎂(hydrated magnesium sulfate)、水合硫酸鎂(hydrated magnesium sulfate)、水合硫酸鎂(hydrated magnesium sulfate)、水合硫酸鎂(hydrated magnesium sulfate)、水合硫酸錳鋅鎂氫氧化

物(hydrated magnesium zinc manganese sulfate hydroxide)、水合硫酸鋁錳(hydrated manganese aluminum sulfate)、水合硫酸錳(hydrated manganese sulfate)、水合硫酸錳(hydrated manganese sulfate)、水合硫酸錳(hydrated manganese sulfate)、水合硫酸錳(hydrated manganese sulfate)、水合硫酸鐵鋅錳(hydrated manganese zinc iron sulfate)、水合硫酸鐵鎳(hydrated nickel iron sulfate)、水合硫酸鎳(hydrated nickel sulfate)、水合硫酸鎳(hydrated nickel sulfate)、水合硫酸鋁鉀(hydrated potassium aluminum sulfate)、水合硫酸鎂鈣鉀(hydrated potassium calcium magnesium sulfate)、水合硫酸鐵鉀(hydrated potassium iron sulfate)、水合硫酸鎂鉀(hydrated potassium magnesium sulfate)、水合硝酸鐵鈉硫酸鹽(hydrated potassium sodium iron nitrate sulfate)、水合硝酸鎂鈉鉀硫酸鹽(hydrated potassium sodium magnesium nitrate sulfate)、水合硫酸氧鈾鉀氫氧化物(hydrated potassium uranyl sulfate hydroxide)、水合矽酸鋁鋅鎂鈣鈉硫酸鹽氫氧化物(hydrated sodium calcium magnesium zinc aluminum silicate sulfate hydroxide)、水合硫酸鎂鈉(hydrated sodium magnesium sulfate)、水合硫酸鈉(hydrated sodium sulfate)、水合硫酸氧鈾氫氧化物(hydrated uranyl sulfate hydroxide)、水合硫酸鐵銅鋅(hydrated zinc copper iron sulfate)、水合硫酸鋁錳鐵鋅(hydrated zinc iron manganese aluminum sulfate)、

水合硫酸鎂鋅(hydrated zinc magnesium sulfate)、水合硫酸錳鋅(hydrated zinc manganese sulfate)、水合硫酸鋅(hydrated zinc sulfate)、硫酸鋞鐵氫氧化物(hydronium iron sulfate hydroxide)、砷酸鋁鉛硫酸鹽氫氧化物(lead aluminum arsenate sulfate hydroxide)、磷酸鋁鉛硫酸鹽氫氧化物(lead aluminum phosphate sulfate hydroxide)、硫酸鋁銅鉛氫氧化物(lead copper aluminum sulfate hydroxide)、硫酸鋁鐵銅鉛氫氧化物(lead copper iron aluminum sulfate hydroxide)、硫酸銅鉛氫氧化物(lead copper sulfate hydroxide)、硫酸銅鉛氫氧化物矽酸鹽(lead copper sulfate silicate hydroxide)、砷酸鎵鉛硫酸鹽氫氧化物(lead gallium arsenate sulfate hydroxide)、磷酸鐵鉛硫酸鹽氫氧化物(lead iron phosphate sulfate hydroxide)、硫酸鐵鉛氫氧化物(lead iron sulfate hydroxide)、硫酸鐵鉛氫氧化物(lead iron sulfate hydroxide)、磷酸鋁鍶鉛硫酸鹽氫氧化物(lead strontium aluminum phosphate sulfate hydroxide)、硫酸鉛(lead sulfate)、硫酸鉛(lead sulfate)、碳酸鐵鋅錳鎂硫酸鹽氫氧化物(magnesium manganese zinc iron carbonate sulfate hydroxide)、硫酸鋁鉀氫氧化物(potassium aluminum sulfate hydroxide)、硫酸鐵鉀氫氧化物(potassium iron sulfate hydroxide)、硫酸鈉鉀(potassium sodium sulfate)、硫酸鐵銀氫氧化物(silver iron sulfate hydroxide)、硫酸鐵銀氫氧化物(silver iron

sulfate hydroxide)、硫酸鋁鈉氫氧化物(sodium aluminum sulfate hydroxide)、硼酸鈣鈉硫酸鹽氯化物氫氧化物(sodium calcium borate sulfate chloride hydroxide)、硫酸鋁鉀鈣鈉氫氧化物(sodium calcium potassium aluminum sulfate hydroxide)、硫酸鈣鈉(sodium calcium sulfate)、碳酸鈉硫酸鹽(sodium carbonate sulfate)、碘酸鈉硫酸鹽(sodium iolate sulfate)、硫酸鐵鈉氫氧化物(sodium iron sulfate hydroxide)、硫酸鎂鈉(sodium magnesium sulfate)、碳酸鉀鈉硫酸鹽氯化物(sodium potassium carbonate sulfate chloride)、硫酸鈉(sodium sulfate)、磷酸鋁鍶硫酸鹽氫氧化物(strontium aluminum phosphate sulfate hydroxide)、砷酸鋁鈰鍶硫酸鹽氫氧化物(strontium cerium aluminum arsenate sulfate hydroxide)、硫酸鍶(strontium sulfate)、硫酸鐵鉀鉈(thallium potassium iron sulfate hydroxide)，或此等的任一組合。

【0119】在某些具體例中，該第一溶劑和該第二溶劑的至少一者包括甲酸、正丁醇、異丙醇、正丙醇、乙醇、甲醇、乙酸、水、去離子水(deionized water)或此等的任一組合。

【0120】在某些具體例中，該第一酸包括過氯酸(perchloric acid)、氫碘酸(hydroiodic acid)、氫溴酸(hydrobromic acid)、氫氯酸(hydrochloric acid)、硫酸、對甲苯磺酸(p-toluenesulfonic acid)、甲磺酸

(methanesulfonic acid)，或此等的任一組合。

【0121】在某些具體例中，該第二酸包括甲酸、抗壞血酸(ascorbic acid)、乙酸、三氯乙酸、氫氟酸、氫氰酸(hydrocyanic)、硫化氫，或此等的任一組合。

【0122】在某些具體例中，該硫前驅物的濃度是大約0.5 M至大約2 M。在某些具體例中，該硫前驅物的濃度是至少大約0.5 M。在某些具體例中，該硫前驅物的濃度是至多大約2 M。在某些具體例中，該硫前驅物的濃度是大約0.5 M至大約0.75 M、大約0.5 M至大約1 M、大約0.5 M至大約1.25 M、大約0.5 M至大約1.5 M、大約0.5 M至大約1.75 M、大約0.5 M至大約2 M、大約0.75 M至大約1 M、大約0.75 M至大約1.25 M、大約0.75 M至大約1.5 M、大約0.75 M至大約1.75 M、大約0.75 M至大約2 M、大約1 M至大約1.25 M、大約1 M至大約1.5 M、大約1 M至大約1.75 M、大約1 M至大約2 M、大約1.25 M至大約1.5 M、大約1.25 M至大約1.75 M、大約1.25 M至大約2 M、大約1.5 M至大約1.75 M、大約1.5 M至大約2 M，或大約1.75 M至大約2 M。

【0123】在某些具體例中，該GO懸浮液的濃度是大約1.1 g/L至大約4.6 g/L。在某些具體例中，該GO懸浮液的濃度是指少大約1.1 g/L。在某些具體例中，該GO懸浮液的濃度是至多大約4.6 g/L。在某些具體例中，該GO懸浮液的濃度是大約1.1 g/L至大約1.25 g/L、大約1.1 g/L至大約1.5 g/L、大約1.1 g/L至大約1.75 g/L、大約1.1 g/L

至大約2 g/L、大約1.1 g/L至大約2.5 g/L、大約1.1 g/L至大約3 g/L、大約1.1 g/L至大約3.5 g/L、大約1.1 g/L至大約4 g/L、大約1.1 g/L至大約4.6 g/L、大約1.25 g/L至大約1.5 g/L、大約1.25 g/L至大約1.75 g/L、大約1.25 g/L至大約2 g/L、大約1.25 g/L至大約2.5 g/L、大約1.25 g/L至大約3 g/L、大約1.25 g/L至大約3.5 g/L、大約1.25 g/L至大約4 g/L、大約1.25 g/L至大約4.6 g/L、大約1.5 g/L至大約1.75 g/L、大約1.5 g/L至大約2 g/L、大約1.5 g/L至大約2.5 g/L、大約1.5 g/L至大約3 g/L、大約1.5 g/L至大約3.5 g/L、大約1.5 g/L至大約4 g/L、大約1.5 g/L至大約4.6 g/L、大約1.75 g/L至大約2 g/L、大約1.75 g/L至大約2.5 g/L、大約1.75 g/L至大約3 g/L、大約1.75 g/L至大約3.5 g/L、大約1.75 g/L至大約4 g/L、大約1.75 g/L至大約4.6 g/L、大約2 g/L至大約2.5 g/L、大約2 g/L至大約3 g/L、大約2 g/L至大約3.5 g/L、大約2 g/L至大約4 g/L、大約2 g/L至大約4.6 g/L、大約2.5 g/L至大約3 g/L、大約2.5 g/L至大約3.5 g/L、大約2.5 g/L至大約4 g/L、大約2.5 g/L至大約4.6 g/L、大約3 g/L至大約3.5 g/L、大約3 g/L至大約4 g/L、大約3 g/L至大約4.6 g/L、大約3.5 g/L至大約4 g/L、大約3.5 g/L至大約4.6 g/L，或大約4 g/L至大約4.6 g/L。

【0124】在某些具體例中，該第一酸和該第二酸的至少一者的濃度是至少大約0.5 M。在某些具體例中，該第一酸和該第二酸的至少一者的濃度是至多大約4 M。在某

些具體例中，該第一酸和該第二酸的至少一者的濃度是從大約0.5 M至大約4 M。在某些具體例中，該第一酸和該第二酸的至少一者的濃度是大約0.5 M至大約1 M、大約0.5 M至大約1.5 M、大約0.5 M至大約2 M、大約0.5 M至大約2.5 M、大約0.5 M至大約3 M、大約0.5 M至大約3.5 M、大約0.5 M至大約4 M、大約1 M至大約1.5 M、大約1 M至大約2 M、大約1 M至大約2.5 M、大約1 M至大約3 M、大約1 M至大約3.5 M、大約1 M至大約4 M、大約1.5 M至大約2 M、大約1.5 M至大約2.5 M、大約1.5 M至大約3 M、大約1.5 M至大約3.5 M、大約1.5 M至大約4 M、大約2 M至大約2.5 M、大約2 M至大約3 M、大約2 M至大約3.5 M、大約2 M至大約4 M、大約2.5 M至大約3 M、大約2.5 M至大約3.5 M、大約2.5 M至大約4 M、大約3 M至大約3.5 M、大約3 M至大約4 M，或大約3.5 M至大約4 M。

【0125】在某些具體例中，該第二溶液被加熱的溫度是大約48℃至大約190℃。在某些具體例中，該第二溶液被加熱的溫度是至少大約48℃。在某些具體例中，該第二溶液被加熱的溫度是至多大約190℃。在某些具體例中，該第二溶液被加熱的溫度是大約48℃至大約60℃、大約48℃至大約80℃、大約48℃至大約100℃、大約48℃至大約120℃、大約48℃至大約140℃、大約48℃至大約160℃、大約48℃至大約190℃、大約60℃至大約80℃、大約60℃至大約100℃、大約60℃至大約120℃、大約60℃

至大約140℃、大約60℃至大約160℃、大約60℃至大約190℃、大約80℃至大約100℃、大約80℃至大約120℃、大約80℃至大約140℃、大約80℃至大約160℃、大約80℃至大約190℃、大約100℃至大約120℃、大約100℃至大約140℃、大約100℃至大約160℃、大約100℃至大約190℃、大約120℃至大約140℃、大約120℃至大約160℃、大約120℃至大約190℃、大約140℃至大約160℃、大約140℃至大約190℃，或大約160℃至大約190℃。

【0126】在某些具體例中，一氧化石墨烯懸浮液的形成是藉由一漢默法(Hummers' method)來進行的。

【0127】在某些具體例中，該方法在一卷對卷製程中連續地形成一電極。

【0128】在某些具體例中，該懸浮液被乾燥歷時一段時間為大約12小時至大約24小時。在某些具體例中，該懸浮液被乾燥歷時一段時間為至少大約12小時。在某些具體例中，該懸浮液被乾燥歷時一段時間為至多大約24小時。在某些具體例中，該懸浮液被乾燥歷時一段時間為大約12小時至大約14小時、大約12小時至大約16小時、大約12小時至大約18小時、大約12小時至大約20小時、大約12小時至大約22小時、大約12小時至大約24小時、大約14小時至大約16小時、大約14小時至大約18小時、大約14小時至大約20小時、大約14小時至大約22小時、大約14小時至大約24小時、大約16小時至大約18小時、大約16

小時至大約20小時、大約16小時至大約22小時、大約16小時至大約24小時、大約18小時至大約20小時、大約18小時至大約22小時、大約18小時至大約24小時、大約20小時至大約22小時、大約20小時至大約24小時，或大約22小時至大約24小時。

【0129】在某些具體例中，該懸浮液被乾燥的溫度是大約50℃至大約150℃。在某些具體例中，該懸浮液被乾燥的溫度是至少大約50℃。在某些具體例中，該懸浮液被乾燥的溫度是至多大約150℃。在某些具體例中，該懸浮液被乾燥的溫度是大約50℃至大約75℃、大約50℃至大約100℃、大約50℃至大約125℃、大約50℃至大約150℃、大約75℃至大約100℃、大約75℃至大約125℃、大約75℃至大約150℃、大約100℃至大約125℃、大約100℃至大約150℃，或大約125℃至大約150℃。

【0130】某些具體例進一步包括：添加一部分之一硫前驅物至該氧化石墨烯懸浮液與一第一溶劑；添加一第一酸以形成一第一溶液；攪拌(stirring)該第一溶液；添加一第二酸至該第一溶液以形成一第二溶液；加熱該第二溶液；於一第二溶劑內清洗該第二溶液；以及冷凍乾燥該第二溶液。

【0131】在某些具體例中，一硫前驅物的容積是大約0.05 ml至大約2 ml。在某些具體例中，一硫前驅物的容積是至少大約0.05 ml。在某些具體例中，一硫前驅物的容積是至多大約2 ml。在某些具體例中，一硫前驅物的容積

是大約0.05 ml至大約0.1 ml、大約0.05 ml至大約0.25 ml、大約0.05 ml至大約0.5 ml、大約0.05 ml至大約0.75 ml、大約0.05 ml至大約1 ml、大約0.05 ml至大約1.25 ml、大約0.05 ml至大約1.5 ml、大約0.05 ml至大約1.75 ml、大約0.05 ml至大約2 ml、大約0.1 ml至大約0.25 ml、大約0.1 ml至大約0.5 ml、大約0.1 ml至大約0.75 ml、大約0.1 ml至大約1 ml、大約0.1 ml至大約1.25 ml、大約0.1 ml至大約1.5 ml、大約0.1 ml至大約1.75 ml、大約0.1 ml至大約2 ml、大約0.25 ml至大約0.5 ml、大約0.25 ml至大約0.75 ml、大約0.25 ml至大約1 ml、大約0.25 ml至大約1.25 ml、大約0.25 ml至大約1.5 ml、大約0.25 ml至大約1.75 ml、大約0.25 ml至大約2 ml、大約0.5 ml至大約0.75 ml、大約0.5 ml至大約1 ml、大約0.5 ml至大約1.25 ml、大約0.5 ml至大約1.5 ml、大約0.5 ml至大約1.75 ml、大約0.5 ml至大約2 ml、大約0.75 ml至大約1 ml、大約0.75 ml至大約1.25 ml、大約0.75 ml至大約1.5 ml、大約0.75 ml至大約1.75 ml、大約0.75 ml至大約2 ml、大約1 ml至大約1.25 ml、大約1 ml至大約1.5 ml、大約1 ml至大約1.75 ml、大約1 ml至大約2 ml、大約1.25 ml至大約1.5 ml、大約1.25 ml至大約1.75 ml、大約1.25 ml至大約2 ml、大約1.5 ml至大約1.75 ml、大約1.5 ml至大約2 ml，或大約1.75 ml至大約2 ml。

【0132】在某些具體例中，該GO懸浮液的容積是大約0.1 ml至大約0.5 ml。在某些具體例中，該GO懸浮液的

容積是至少大約0.1 ml。在某些具體例中，該GO懸浮液的容積是至多大約0.5 ml。在某些具體例中，該GO懸浮液的容積是大約0.1 ml至大約0.2 ml、大約0.1 ml至大約0.3 ml、大約0.1 ml至大約0.4 ml、大約0.1 ml至大約0.5 ml、大約0.2 ml至大約0.3 ml、大約0.2 ml至大約0.4 ml、大約0.2 ml至大約0.5 ml、大約0.3 ml至大約0.4 ml、大約0.3 ml至大約0.5 ml，或大約0.4 ml至大約0.5 ml。

【0133】在某些具體例中，該第一溶劑的容積是大約0.3 ml至大約1.2 ml。在某些具體例中，該第一溶劑的容積是至少大約0.3 ml。在某些具體例中，該第一溶劑的容積是至多大約1.2 ml。在某些具體例中，該第一溶劑的容積是大約0.3 ml至大約0.4 ml、大約0.3 ml至大約0.5 ml、大約0.3 ml至大約0.6 ml、大約0.3 ml至大約0.7 ml、大約0.3 ml至大約0.8 ml、大約0.3 ml至大約0.9 ml、大約0.3 ml至大約1 ml、大約0.3 ml至大約1.1 ml、大約0.3 ml至大約1.2 ml、大約0.4 ml至大約0.5 ml、大約0.4 ml至大約0.6 ml、大約0.4 ml至大約0.7 ml、大約0.4 ml至大約0.8 ml、大約0.4 ml至大約0.9 ml、大約0.4 ml至大約1 ml、大約0.4 ml至大約1.1 ml、大約0.4 ml至大約1.2 ml、大約0.5 ml至大約0.6 ml、大約0.5 ml至大約0.7 ml、大約0.5 ml至大約0.8 ml、大約0.5 ml至大約0.9 ml、大約0.5 ml至大約1 ml、大約0.5 ml至大約1.1 ml、大約0.5 ml至大約1.2 ml、大約0.6 ml至大約0.7 ml、大約0.6 ml至大約0.8 ml、大約0.6 ml至大約0.9 ml、大約0.6 ml至大

約1 ml、大約0.6 ml至大約1.1 ml、大約0.6 ml至大約1.2 ml、大約0.7 ml至大約0.8 ml、大約0.7 ml至大約0.9 ml、大約0.7 ml至大約1 ml、大約0.7 ml至大約1.1 ml、大約0.7 ml至大約1.2 ml、大約0.8 ml至大約0.9 ml、大約0.8 ml至大約1 ml、大約0.8 ml至大約1.1 ml、大約0.8 ml至大約1.2 ml、大約0.9 ml至大約1 ml、大約0.9 ml至大約1.1 ml、大約0.9 ml至大約1.2 ml、大約1 ml至大約1.1 ml、大約1 ml至大約1.2 ml，或大約1.1 ml至大約1.2 ml。

【0134】在某些具體例中，該第一溶劑包括甲酸、正丁醇、異丙醇、正丙醇、乙醇、甲醇、乙酸、水、去離子水或此等的任一組合。

【0135】在某些具體例中，該第一酸的容積是大約0.05 ml至大約0.2 ml。在某些具體例中，該第一酸的容積是至少大約0.05 ml。在某些具體例中，該第一酸的容積是至多大約0.2 ml。在某些具體例中，該第一酸的容積是大約0.05 ml至大約0.075 ml、大約0.05 ml至大約0.1 ml、大約0.05 ml至大約0.125 ml、大約0.05 ml至大約0.15 ml、大約0.05 ml至大約0.175 ml、大約0.05 ml至大約0.2 ml、大約0.075 ml至大約0.1 ml、大約0.075 ml至大約0.125 ml、大約0.075 ml至大約0.15 ml、大約0.075 ml至大約0.175 ml、大約0.075 ml至大約0.2 ml、大約0.1 ml至大約0.125 ml、大約0.1 ml至大約0.15 ml、大約0.1 ml至大約0.175 ml、大約0.1 ml至大約0.2 ml、大約0.125 ml至大約0.15 ml、大約0.125 ml至大約0.175 ml、大約0.125

ml至大約0.2 ml、大約0.15 ml至大約0.175 ml、大約0.15 ml至大約0.2 ml，或大約0.175 ml至大約0.2 ml。

【0136】在某些具體例中，該第一酸是一強酸(strong acid)。在某些具體例中，一強酸包括：過氯酸、氫碘酸、氫溴酸、氫氯酸、硫酸、對甲苯磺酸、甲磺酸，或此等的任一組合。在某些具體例中，該第一酸被逐滴地添加(added drop-wise)。

【0137】在某些具體例中，該第一溶液被攪拌歷時一段時間為大約1小時至大約4小時。在某些具體例中，該第一溶液被攪拌歷時一段時間為至少大約1小時。在某些具體例中，該第一溶液被攪拌歷時一段時間為至多大約4小時。在某些具體例中，該第一溶液被攪拌歷時一段時間為大約1小時至大約1.5小時、大約1小時至大約2小時、大約1小時至大約2.5小時、大約1小時至大約3小時、大約1小時至大約3.5小時、大約1小時至大約4小時、大約1.5小時至大約2小時、大約1.5小時至大約2.5小時、大約1.5小時至大約3小時、大約1.5小時至大約3.5小時、大約1.5小時至大約4小時、大約2小時至大約2.5小時、大約2小時至大約3小時、大約2小時至大約3.5小時、大約2小時至大約4小時、大約2.5小時至大約3小時、大約2.5小時至大約3.5小時、大約2.5小時至大約4小時、大約3小時至大約3.5小時、大約3小時至大約4小時，或大約3.5小時至大約4小時。

【0138】在某些具體例中，該第二酸的容積是大約10 μL至大約40 μL。在某些具體例中，該第二酸的容積是至

少大約10 μL。在某些具體例中，該第二酸的容積是至多大約40 μL。在某些具體例中，該第二酸的容積是大約10 μL至大約15 μL、大約10 μL至大約20 μL、大約10 μL至大約25 μL、大約10 μL至大約30 μL、大約10 μL至大約35 μL、大約10 μL至大約40 μL、大約15 μL至大約20 μL、大約15 μL至大約25 μL、大約15 μL至大約30 μL、大約15 μL至大約35 μL、大約15 μL至大約40 μL、大約20 μL至大約25 μL、大約20 μL至大約30 μL、大約20 μL至大約35 μL、大約20 μL至大約40 μL、大約25 μL至大約30 μL、大約25 μL至大約35 μL、大約25 μL至大約40 μL、大約30 μL至大約35 μL、大約30 μL至大約40 μL，或大約35 μL至大約40 μL。

【0139】在某些具體例中，該第二酸的濃度是大約0.5 M至大約2 M。在某些具體例中，該第二酸的濃度是至少大約0.5 M。在某些具體例中，該第二酸的濃度是至多大約2 M。在某些具體例中，該第二酸的濃度是大約0.5 M至大約0.75 M、大約0.5 M至大約1 M、大約0.5 M至大約1.25 M、大約0.5 M至大約1.5 M、大約0.5 M至大約1.75 M、大約0.5 M至大約2 M、大約0.75 M至大約1 M、大約0.75 M至大約1.25 M、大約0.75 M至大約1.5 M、大約0.75 M至大約1.75 M、大約0.75 M至大約2 M、大約1 M至大約1.25 M、大約1 M至大約1.5 M、大約1 M至大約1.75 M、大約1 M至大約2 M、大約1.25 M至大約1.5 M、大約1.25 M至大約1.75 M、大約1.25 M至大約2 M、大約1.5 M至

大約1.75 M、大約1.5 M至大約2 M，或大約1.75 M至大約2 M。

【0140】在某些具體例中，該第二酸包括一弱酸。在某些具體例中，一弱酸包括甲酸、抗壞血酸、乙酸、三氯乙酸、氫氟酸、氫氰酸(hydrocyanic)、硫化氫或此等的任一組合。

【0141】在某些具體例中，該第二溶液被加熱的那段時間是大約1小時至大約4小時。在某些具體例中，該第二溶液被加熱的那段時間是至少大約1小時。在某些具體例中，該第二溶液被加熱的那段時間是至多大約4小時。在某些具體例中，該第二溶液被加熱的那段時間是大約1小時至大約1.5小時、大約1小時至大約2小時、大約1小時至大約2.5小時、大約1小時至大約3小時、大約1小時至大約3.5小時、大約1小時至大約4小時、大約1.5小時至大約2小時、大約1.5小時至大約2.5小時、大約1.5小時至大約3小時、大約1.5小時至大約3.5小時、大約1.5小時至大約4小時、大約2小時至大約2.5小時、大約2小時至大約3小時、大約2小時至大約3.5小時、大約2小時至大約4小時、大約2.5小時至大約3小時、大約2.5小時至大約3.5小時、大約2.5小時至大約4小時、大約3小時至大約3.5小時、大約3小時至大約4小時，或大約3.5小時至大約4小時。

【0142】在某些具體例中，該第二溶劑包括甲酸、正丁醇、異丙醇、正丙醇、乙醇、甲醇、乙酸、水、去離子水或此等的任一組合。

【0143】在某些具體例中，被描述於此的石墨烯架構可被使用於各式各樣的其它蓄電裝置(electrical storage means)或非蓄電裝置(non-electrical storage means)。

【0144】當結合下面的描述和附圖來予考慮時，被描述於此的該等具體例的其它目的和優點將會被進一步地體會和瞭解。雖然下面的描述可包含描述被載述於此的特定具體例的具體細節，這不應被解釋為被載述於此的該等具體例的範圍的限制，而是作為該等較佳具體例之一範例。就被載述於此的每個具體例而言，那些具有本領域的通常技術者咸知被建議於此的許多變化是可能的。在不脫離本發明的精神之下，各式各樣的改變和修改可以在被描述於此的該等具體例的範圍之內被做出來。

【圖式簡單說明】

【0145】本案揭露內容的新穎特徵被特別地闡述於檢附的申請專利範圍內。本案揭露內容的特徵和優點之一較佳的瞭解將可藉由參照下面闡述例示性具體例的詳細說明而被獲得，其中該等具體例的原理被使用，還有檢附的圖表或圖片(以及此處的“圖(FIG.)”和“圖(FIGs.)”)，在這些圖之中：

【0146】圖1A-C顯示三維石墨烯架構與電化電容器(electrochemical capacitors)的裝置級重量/容積能量密度相比於功率密度(device-level gravimetric/volumetric energy density verus power density)的拉格尼圖(Ragone plots)，和當今能量儲存技術與績效目標(performance

targets)做比較。

【0147】圖2A-B顯示一被壓縮的(compressed)與一未壓縮的(uncompressed)多孔洞三維石墨烯架構的示意圖解圖(schematic illustrations)以及石墨烯架構的溶劑化三維巨孔結構(solvated three dimensional macroporous structures)。

【0148】圖3顯示一正在被沉積在一電流收集器之上的多孔洞石墨烯墨水(graphene ink)的示意圖解圖。

【0149】圖4顯示一具有奈米孔洞(nanopores)的多孔洞三維石墨烯架構的示意圖解圖，奈米孔洞的尺寸容許鋰離子(lithium ions)的通過同時防止較大的鋰多硫化物(lithium polysulfides)的轉移(transfer)。

【0150】圖5顯示一個由一個三維石墨烯架構與硫所構成之自立的複合物(freestanding composite)之結構以及被囊封(encapsulated)於內的硫粒子(sulfur particles)之一示意圖解圖。

【0151】圖6顯示一氧化石墨烯、一多孔洞氧化石墨烯與一共軛化多孔洞石墨烯水凝膠(conjugated holey graphene hydrogel)的水性分散體之例示性相片。

【0152】圖7顯示含有氧化石墨烯的溶液、含有氧化石墨烯與硫代硫酸鈉($Na_2S_2O_3$)以及氫氯酸(HCl)的溶液以及含有一配於抗壞血酸之內的還原態氧化石墨烯的溶液之例示性相片。

【0153】圖8顯示例證一硬幣型電池和一軟包電池之

間的尺寸差異的例示性相片。

【0154】圖9顯示一未壓縮的與一被壓縮的多孔洞三維石墨烯架構(H3DGF)之內部微觀構造(interior microstructures)的例示性掃描式電子顯微鏡影像(SEM images)，以及一H3DGF在機械壓縮(mechanical compression)之前與之後的例示性相片，以及該被壓縮的H3DGF之可撓性(flexibility)。

【0155】圖10顯示一H3DGF-Nb_2O_5複合物的例示性SEM影像。

【0156】圖11顯示一具有高質量負載(mass loading)的H3DGF-Si複合物的例示性SEM影像。

【0157】圖12A-B顯示一3DGF-S複合物的多孔互連架構以及位於之中的1-μm硫粒子之例示性橫斷面SEM影像。

【0158】圖13顯示被囊封在一3DGF-S複合電極內的硫粒子之例示性低-放大率(low-magnification)穿透式電子顯微鏡影像(TEM images)，以及被包含在石墨烯囊(graphene pockets)之內的熔化的硫(melted sulfur)之移動的多個影格(multiple frames)。

【0159】圖14顯示一例示性3DGF-S的低與高放大率SEM影像。

【0160】圖15顯示一H3DGF-S複合物的例示性恆電流測試結果(galvanostatic testing results)。

【0161】圖16顯示純硫、氧化石墨烯/硫以及具有一

硫含量為大約90%的3DGF-S (3DGF-S)之例示性X射線繞射結果(X-ray diffraction results)。

【0162】圖17顯示具有不同的硫負載百分比之H3DGF-S複合物的例示性熱圖形試驗結果(thermographic test results)。

【0163】圖18顯示3DGF-S90的第1次、第20次和第50次循環的例示性充電與放電頗面圖(charge and discharge profiles)、3DGF-S70、80、90與95在0.1 C之下的循環性能(cycling performance)、3DGF-S90在0.2 C、0.5 C、1 C和2 C之下的速率表現(rate performance)、以及3DGF-S90在1 C之下進行500次的循環。

【實施方式】

【0164】較佳實施例之詳細說明

被提供於此的是石墨烯材料、製造方法以及具有改善的性能的裝置。在某些具體例中，本案揭露內容提供包含有一石墨烯材料的超級電容器(SCs)以及它們的製造方法。該等SCs避免當了今能量儲存技術之缺點。本案揭露內容之一SC可包含有一或更多的超級電容器電池(supercapacitor cells)。一個SC可包括一個正電極(positive electrode)以及一個負電極(negative electrode)。該正電極與一個SC之一負電極可被一分離器隔開。該分離器可包含有一電解質。該正電極在放電期間當中可為一陰極。該負電極在放電期間當中可為一陽極。在某些具體例中，數個超級電容器電池可被配置(例如，被

互連)於一包裝(pack)內。

【0165】被描述於此的本案揭露內容之各種不同方面可被應用於被闡述於下面的特定應用之任一者或任何其它形式的製造、合成或處理設置(processing setting)。材料的其它製造、合成或加工可同等地從被描述於此的特徵而獲益。舉例而言，此處的方法、裝置與系統可被有利地應用於各種不同形式的石墨烯或氧化石墨烯的製造(或合成)。被描述於此的具體例可被應用作為一獨立的(standalone)方法、裝置或系統，或作為一整合製造(integrated manufacturing)或材料(例如，化學品)加工系統(processing system)之一部分。應予瞭解的是，本案揭露內容的不同方面可被單獨地、共同地或彼此組合地理解。

【0166】本案揭露內容的一個方面提供包含有兩個或更多個電極的超級電容器裝置，其中各個電極係由一個三維多孔架構所構成，並有電解質被配置在該等電極之間。

【0167】本案揭露內容的一個方面提供包含有一活性材料(active material)的電極，其中該活性材料包含有一個三維石墨烯架構(3DGF)或一個多孔洞三維石墨烯架構(H3DGF)。本案揭露內容的另一個方面提供一種包含有一電容或擬電容複合材料的複合電極。

【0168】現在來參考圖式。將會理解到的是，之中的附圖和特徵不必然按比例來繪製。被引述於此的示意圖解圖、影像、化學式(formulas)、圖表(charts)和圖形(graphs)係代表被製造的例示性裝置，它們用來作為藉由被描述於

此的例示性方法所製造的裝置之外觀(appearance)、特性(characteristics)和功能性(functionality)的表示。

【0169】技術用語以及定義

除非另有界定，所有被使用於此的技術用語具有相同於一具有本領域的通常技術者所普遍瞭解的意義。如被使用於本案說明書以及檢附的申請專利範圍之中的，單數形式“一 (a)”、“一 (an)”和“該(the)”包含複數指定事項(plural references)，除非上下文另有明確說明。除非另有載述，此處對“或(or)”的任何引述係意欲要涵蓋“和/或(and/or)”。

【0170】如此處所用的，而且除非另有界定，術語“大約”意指一包含指定數值(specified value)的正和/或負10%之內數值的範圍。

【0171】如此處所用的，而且除非另有界定，術語GO意指氧化石墨烯。

【0172】如此處所用的，而且除非另有界定，術語RGO意指還原態氧化石墨烯。

【0173】如此處所用的，而且除非另有界定，術語3D意指三維。

【0174】如此處所用的，而且除非另有界定，術語3DGF或3DG意指一個三維石墨烯架構。

【0175】如此處所用的，而且除非另有界定，術語H3DGF意指一個多孔洞三維石墨烯架構。

【0176】如此處所用的，而且除非另有界定，術語

SEM意指一掃描電子顯微鏡(scanning electron microscope)。

【0177】如此處所用的，而且除非另有界定，術語TEM意指一穿透電子顯微鏡(transmission electron microscope)。

【0178】如此處所用的，而且除非另有界定，XRD意指X射線粉末繞射(X-Ray Power Diffraction)。

【0179】如此處所用的，而且除非另有界定，充放電速率(C-rate)是一能量存儲裝置相對於它的最大電容量而被充電或放電的速率之量度(measure of the rate)。

【0180】如此處所用的，而且除非另有界定，活化(activation)意指為一隨後的反應來製備或激發一樣品的過程。

【0181】如此處所用的，而且除非另有界定，鋰化作用(lithiation)係指與鋰或一有機鋰化合物(organolithium compound)的反應。

【0182】如此處所用的，而且除非另有界定，前驅物是一參與一生成另一種化合物的化學反應之化合物。

【0183】如此處所用的，而且除非另有界定，庫倫效率(coulombic efficiency)[亦被稱為法拉第效率(faradaic efficiency)、法拉第產率(faradaic yield)、庫倫效率(coulombic efficiency)或電流效率(current efficiency)]描述電荷(電子)在一促進一電化學反應(electrochemical reaction)的系統中被轉移的效率。

【0184】如此處所用的，而且除非另有界定，電極-比(electrode-specific)係指一透過電極的重量或容積而被標準化(normalized)的測量(measurement)。

【0185】如此處所用的，而且除非另有界定，硫-比(sulfur-specific)係指一透過硫的重量或容積而被標準化的測量。

【0186】如此處所用的，而且除非另有界定，奈米孔洞(nanopore)係指一所具直徑是從大約1 nm至大約1,000 nm的孔洞。

【0187】如此處所用的，而且除非另有界定，微孔(micropore)係指一所具直徑是從大約1 μm至大約1,000 μm的孔洞。

【0188】如此處所用的，而且除非另有界定，mF係指一毫法拉(millifarad)。

【0189】雖然較佳具體例已被顯示以及描述於此，對於那些熟習本領域技術者明顯可知的是：該等具體例僅係作為示範例而被提供的。那些熟習本領域技術者現在將會想到許多變化(variations)、改變(changes)以及取代(substitutions)。應予瞭解的是，被描述於此的該等具體例之各式各樣的替代可被使用。

【0190】電能儲存裝置

參照圖1A-C，電池和SCs代表兩種互補的能量儲存技術，雖然電池可提供一高能量密度與低功率密度，而SCs則可提供一優異的功率密度與一低能量密度。一理想的能

量儲存裝置也許可以傳送一高能量密度與一高功率密度這兩者。除了超高功率密度之外，SCs也可由於它們的長循環壽命(cyclic lifetime)和低維護成本(maintenance costs)而具有吸引力。

【0191】電能儲存裝置(EESDs)對於移動式電子裝置(mobile electronics)、油電混合車、可再生能源收集(renewable energy harvesting)與能量轉換(energy conversion)之中的應用而言越來越重要。雖然鋰離子電池目前代表能量儲存技術之一主要來源，鋰離子電池電容量可能大大地受限於陰極材料(cathodic materials)的理論電容量(theoretical capacities)，諸如$LiCoO_2$ (大約272 mAh/g)以及$LiFePO_4$ (大約170 mAh/g)，它們可能不能滿足針對能量存儲之日益增高的消費者需求(increasing consumer demand)。

【0192】市面有售的SCs可能不適合於廣泛採用(wide spread adoption)，因為它們的能量密度典型地比市面有售的鋰離子(Li-ion)電池所具者要低1-2個數量級(orders of magnitude)。正是在這種背景下，出現了要開發被描述於本案揭露內容中的具體例的需要。

【0193】SCs可包含有一EESD具有一比正常電容器要高得多的電容量並且被再充電時比正常電容器要快一百倍至一千倍。某些超級電容器可含有一功率密度超過10 kW/k；比當今的鋰離子電池要高10倍以上。不像電池(它們的充電和放電速度可能會被化學反應所限制)，超級電容

器經由高度可逆的離子吸收(highly reversible ion absorption)和/或氧化還原反應(redox reactions)來儲存電荷，這可以實現快速的能量捕獲和遞送(energy capture and delivery)。

【0194】超級電容器可展現一高功率密度以及優異的低溫性能，而因此之故，已被漸增地使用作為諸如可攜式電子裝置(portable electronic devices)，醫療裝置(medical devices)、備用電源裝置、閃燈相機、工廠(factories)、再生制動系統以及油電混合車的應用中的能量儲存資源(energy storage resources)。高功率密度可能繼續吸引漸增的的關注，特別是對於要在一有限的時間內儲存或發射大量能量的情況，諸如負載平衡(load-leveling)新興的智慧電網(smart electrical grid)進行、閃充電子裝置(flash charging electronics)和電動車輛的快速加速(quick acceleration for electric vehicles)。

【0195】SCs可代表電動車輛(electronic vehicles, EVs)、油電混合車(hybrid EVs, HEVs)以及插電式油電混合車(plug-in hybrid-EVs, PHEVs)之一理想的能量儲存技術。雖然有些當今的超級電容器已在能量密度上顯示顯著的增益，這些裝置可能隨著時間展現出功率和/或循環能力(cycling capability)之一損失。此外，當今以電池為基礎的EVs (battery-based EVs)之顯著缺點可能是它們的電池組(battery packs)需要大約1小時或更久來完全地再充電，這超過充填一氣罐(gas tank)所需要的時間(大約5

分鐘)，以及一用於在路上重新充電(on-the-road re-charge)之可接受的時間期間。照此，SCs的產生可大大地增高功率密度並呈數量級來縮短再充電時間(re-charge time)，因而提高EVs的實用性。此外，具有高更多的功率密度之SCs在制動能量再收穫(energy re-harvest)或快速加速(rapid acceleration)期間可能也有效地吸收峰值功率(peak power)。該等SCs，結合傳統電池，可大大地減少對傳統電池的高功率應力(high-power stress)並因此增加它們的壽命、穩定性(robustness)和安全性。照此，具有一能量密度的SCs的產生可為EVs提供一理想的能量儲存解決方案。

【0196】在某些具體例中，一超級電容器(SC)，或一電化電容器，是一典型地由兩個或更多個電極所構成的能量儲存裝置，其中各個電極被一離子-可透膜(ion-permeable membrane)(分離器)分隔開，以及其中一電解質離子連接(ionically connects)該等電極，而使得當該等電極藉由一施加的電壓而被極化時，該電解質中的離子形成與該等電極的極性相反的雙電極性層(double electric polarity layers)。一電化學電池之一電極，其中電子離開電池中的活性材料並且氧化反應(oxidation)發生，可被稱之為一陽極。一電化學電池之一電極，其中電子進入電池中的活性材料並且還原反應(reduction)發生，可被稱之為一陰極。端視通經該電池的電流之方向而定，各個電極可變成一陽極或者一陰極。

【0197】電極材料可強烈地影響一超級電容器的能量儲存效能(energy storage performance)。因為SCs內的能量儲存係依賴表面電荷吸收(surface charge absorption)，一高性能SC電極可能需要一高離子-可出入表面積(ion-accessible surface area)、高電導率(electrical conductivity)、一高離子傳輸率(ionic transport rate)以及高電化學安定性(electrochemical stability)。

【0198】在某些具體例中，一SC電極包含有一活性材料以及一電流收集器基體(current collector substrate)。活性材料的質量百分比(mass percentage)典型地是為整個裝置的大約35-40%。由於活性材料典型地是多孔狀，而因此是易碎且不佳的導體(brittle and poor conductors)，一電流收集器可被使用作為一支撐結構(support structure)以及一傳導路徑(conducting path)俾以降低該超級電容器的電阻(resistance)。在某些具體例中，一SC電極是一混合型SC (hybrid SC)，它包含有一個展現一高靜電電容(electrostatic capacitance)的電極以及另一個展現一高電化學電容(electrochemical capacitance)的電極。

【0199】在某些具體例中，一電流收集器係由下列所構成：碳布矽(carbon cloth silicon)、金屬氧化物、砷化鎵、玻璃、鋼、不鏽鋼，或此等的任一組合。在某些具體例中，一SC電流收集器被設計成在應力之下會撓曲(flex)

和彎折(bend)。目前可用的現有技術(state-of-art) SCs可使用多孔活性碳電極(porous activated carbon electrodes)來建構。

【0200】由於陽極在混合型SCs充電期間當中典型地經歷鋰化作用，一較低的陽極鋰化電壓(anode lithiation voltage)可能提供一較大的裝置電壓窗口(device voltage window)以及因此一較高的SC能量密度。據此，一SC的陽極之循環安定性通常可能是該SC裝置的循環壽命之限制因素(limiting factor)。因此，一位於一混合型SC系統內之一理想的陽極可能展現一低工作電壓，而使得該裝置完全地利用該電解質的電壓窗口並且提供一高能量密度。此外，該陽極應該具有一高比電容量和能量密度，且相較於一高功率陰極應擁有一優異的速率能力(rate capability)，俾以達成一高功率密度。最後，該陽極應展現一長循環壽命俾以改善一混合型系統的循環安定性。一個理想的陰極應具有一高工作電壓、高比電容量以及一良好的速率能力。

【0201】一石墨烯材料可被提供於正電極(在放電期間當中為陰極)、負電極(在放電期間當中為陽極)或這兩者之內。石墨烯可因為它的單原子厚度(single atomic thickness)、高理論比表面積(大約2,630 m^2/g)、高理論重量電容(大約550 F/g)、高內在電導率(intrinsic electrical conductivity)、優異的機械可撓性(mechanical flexibility)以及例外的電化學安定性而代表一個SC電極

理想材料。但是，基於石墨烯薄片之間的強烈π-π交互作用(π-π interactions)之故，石墨烯雪片(graphene flakes)可能傾向於再堆疊(re-stack)以形成石墨樣粉末(graphite-like powders)，或者當它們被加工成為塊體電極(bulk electrodes)時形成薄膜。這個再堆疊可能嚴重地減低可出入表面積和離子擴散速率(ion diffusion rate)，而因此損害一電極的重量電容以及充電/放電速率。

【0202】但是，可使用一活化方法來製備具有超小微孔(ultra-small micropores)以及超高比表面積之活化的石墨烯(activated graphene)。然而，基於電解質離子出入(electrolyte ions access)之降低的效率(decreased efficiency)之故，該等微孔狀表面(microporous surfaces)可能限制該電極的重量電容。雖然可以使用一雷射雕繪方法(laser-scribing method)來減輕這些對於晶載微-超級電容器(on-chip micro-supercapacitors)的挑戰(challenges)，經由會增加可出入表面積以及升高重量電容之多孔結構的形成，這個雷射雕繪方法的內在尺度(intrinsic scale)可能不足以形成較大的能量裝置來供用於諸如運輸(transportation)和可再生能源儲存(renewable energy storage)的應用。

【0203】根據圖1，本案這個揭露內容的具體例係針對具有與鉛酸(lead acid)和鋰離子電池相匹敵的能量密度、同時保持著一為10-100倍之更高功率密度的SCs。相較於由美國先進電池協會/自由汽車聯盟

(USABC/Freedom CAR)為電動車輛(EVs)、油電混合車(HEVs)和插電式油電混合車(PHEVs)之應用所界定的基準績效目標(benchmark performance targets)，本案這個揭露內容的具體例實現了一更加高的功率密度且同時保持一高能量密度，這對於那些應用的目標計劃(target goals)而言是為所欲的。因此，本案這個揭露內容的具體例在諸如EVs或電動飛機(electrical planes)的產品上提供將能量儲存技術格局轉變的SCs。

【0204】對於傳統裝置而言，能量密度典型地已被顯示會隨著增高的功率密度而顯著地降低。雖然當今的混合型SCs可能展現出高能量與高功率密度還有長循環壽命，它們的能力可能會被當今的陽極所限制，該等陽極可能表現出低內在電導率、在鋰化/去鋰化過程(lithiation/delithiation process)的期間當中之大量容積改變、不安定的固態電解質介面(solid electrolyte interphase, SEI)，以及因此一不良的循環安定性以及速率能力。

【0205】一電極內之一空殼結構(void-shell structure)可以祛除這些缺失，藉由在充電和放電的期間當中調節(accommodating)容積改變以及防止一不安定的固態電解質介面(SEI)之形成。但是，用於合成蛋黃-蛋殼結構(yolk-shell structures)的現有技術之模板輔助程序(template-assisted procedures)是多步驟(multistep)、耗時(time-consuming)、昂貴(expensive)、難以規模化

(difficult to scale)並且需要有毒的化學品。然而，經化學還原的多孔洞三維石墨烯架構(3DGF)或多孔洞三維石墨烯架構(H3DGF)提供一有效的解決方策來克服這些挑戰，並且使得能夠大規模地生產高性能SC電極。

【0206】據此，一SC藉由最佳化(optimizing)以及規模化(scaling) 3DGF或H3DGF為基礎的SC電極之生產與能力而被設計出。3DGFs以及H3DGFs被使用作為一支架(scaffold)俾以生成供高能量密度混合型擬電容器(pseudo-capacitors, PCs)之用的複合電極。具有趨近於或甚至超過現今的鋰離子電池之能量密度的全功率密度電池(full power density cells)被製造出。

【0207】本案這個揭露內容係針對發展SC裝置。被揭示於此的破壞性能量儲存技術(disruptive energy storage technology)可以一商業規模來部署，引導走向先進的EESD技術之開發和部署。被描述於此的SCs在一或多種應用或領域中扮演一種要角色，諸如，舉例來說：可攜式電子裝置[例如，手機(cellphones)、電腦(computers)、相機等等]，醫療裝置[例如，生命維持的(life-sustaining)以及生命改進的(life-enhancing)醫療裝置，包含心律調節器(pacemakers)、心臟去顫器(defibrillators)、助聽器(hearing aids)、疼痛管理裝置(pain management devices)以及藥泵(drug pumps)]，電動車輛(例如，需要具有長壽命的EESDs來改善電動車輛工業)，太空(space)[例如，可在太空中使用EESDs以供應動力給包含

可攜式攝影機(rovers)、登陸載具(landers)、太空衣(spacesuits)和電子儀器(electronic equipment)的太空用系統(space systems)]，軍用的EESDs(例如，軍隊使用特殊的EESDs來供應動力給一大量數目的電子裝置和儀器；被描述於此的EESDs之減低的質量/容積被高度偏好)，電動飛機(electric aircraft)[例如，一種靠電動機(electric motors)而非內燃機(internal combustion engines)來飛行的飛機，其電力來自太陽能電池(solar cells)或EESDs]，電網規模的能量儲存(grid scale energy storage)[例如，EESDs在生產(來自發電廠)超過消耗的時間期間當中可被用來儲存電能，而儲存的能量在消耗超過生產時可被使用]，可再生能源[例如，由於太陽在夜間不發光並且風不是隨時都在吹動，非聯網供電系統(off-the-grid power systems)中的EESDs可以儲存來自可再生能量來源的多餘電力以供日落之後的小時期間以及當風不吹之時來使用；高功率EESDs可以從具有比現有技術之EESDs更高效率的太陽能電池來收穫能量]，電動工具(power tools)[例如，被描述於此的EESDs可以實現快速充電無線電動工具(fast-charging cordless power tools)，諸如鑽機(drills)、螺絲起子(screwdrivers)、鋸子(saws)、扳手(wrenches)和研磨機(grinders)；現今的EESDs具有一長再充電時間]，或此等的任一組合。

【0208】3D石墨烯架構

依據圖2A，雖然一從低填充密度材料

(low-packing-density materials)所形成之高度多孔狀活化的3D石墨烯架構(3DGF) 201a被使用以提供具有一大比表面積以及一高重量電容的電極，基於它的高離子擴散之故，該等電池可能維持一低填充密度而因此一低容積電容。此外，雖然一活化的3DGF 201a展現一豐富的空白空間(an abundance of empty space)，當中的電解質之大量所需容積增加了該裝置的總質量(total mass)，而可能因此減低藉由該裝置的總質量來予以標準化的總能量密度(overall energy density)。據此，SC電極應被設計為同時地達成高重量和高容積電容，並同時保持一優異的速率能力。任擇地，依據圖2B，一被緊壓(compacted)之活化的3DGF 201b顯示一增高的容積電容以及一降低的離子-可出入表面積與離子擴散速率，而因此展現一較低的重量電容以及一不良的速率能力。舉例而言，雷射雕繪之多孔石墨烯電極可能展現一相當低的填充密度為大約0.05 g/cm^3，而因此一高重量效能(gravimetric performance)以及一低容積電容。然而，經由真空過濾(vacuum filtration)以及毛細壓縮(capillary compression)來緊壓該3DGF大大地改善容積電容(< ~200 F/cm^3)而同時維持一適度的重量電容(~167 F/g)。

【0209】一多孔洞3D石墨烯架構(H3DGF) 202a，一種3DGF之一形式，代表一理想的SC電極材料。H3DGFs 202a可藉由將多孔洞石墨烯薄片共軛化(conjugating)至一具有一多孔結構的3D網狀結構(3D network)之內而被

獲得。根據圖2B，由一被壓縮的H3DGF 202b之石墨烯薄片所構成的高度互連與互鎖的(interlocked)網狀結構(network structure)防止再堆疊，並且當作一具有一高比表面積的高度多孔狀單體結構(monolithic structure)，它可被直接地使用作為一電極而不需任何黏合劑添加劑(binder additives)。H3DGFs 202a、202b中的奈米孔洞進一步地增加它的比表面積。

【0210】不像活化的3DGF 201a (它的超小微孔可能讓電解質離子難以進出)，一未壓縮的H3DGF 202a或一被壓縮的H3DGF 202b展現一由足夠大而且良好整合的孔(well integrated pores)所構成的階層結構(hierarchy)，該等孔形成一由開放通道(open channels)所構成的連續網狀結構(continuous network)，該等通道的整個表面積可被電解質完全地潤濕而且為電解質離子可出入的，以供通經該處的有效離子傳輸。在某些具體例中，被壓縮的H3DGF 202b，利用其互鎖的石墨烯薄片，被機械地緊壓以形成一自立的電極(freestanding electrode)，而無石墨烯薄片的完全再堆疊(complete restacking)，俾以達到一高填充密度且同時維持它的初始溶劑化狀況(initial solvated condition)。

【0211】根據圖9，一個例示性未壓縮的H3DGF 901以及一個例示性被壓縮的H3DGF 902之側面和橫截面視圖被顯示。不像活化的石墨烯薄膜，H3DGF中的奈米孔洞係足夠大而能當作石墨烯層(graphene layers)之間的離子

擴散捷徑(ion diffusion shortcuts)，而因此提高跨越整個架構的離子傳輸，以及促進離子出入整個表面積。據此，一H3DGF展現一高電導率而因此不用附加的導電性添加劑就能被直接地使用作為SC電極。

【0212】目前可用的石墨烯電極之比表面積為單層石墨烯(single-layer graphene)的理論值(大約2,630 m^2/g)之大約40-60%。如此處所述之具一高表面以及離子可出入的比表面積之H3DGFs係藉由調節石墨烯薄片的尺寸和厚度以增加石墨烯薄片之內的奈米孔洞的尺寸和密度以及最佳化該等奈米孔洞的組合(assembly)和孔洞階層結構(pore hierarchy)而被形成。據此，由於一H3DGF的比電容(specific capacitance)係成正比於它的比表面積，以及由於H3DGF的有效孔隙度(efficient porosity)允許一高離子擴散速率，H3DGF電極展現一比電容為大約1,250-2,000 F/g。

【0213】在某些具體例中，機械穩定的(mechanically robust) 3DGFs和H3DGFs，利用它們的高電化學活性表面積(electrochemical active surface area)以及優異的電子傳輸速率(electron transport rates)，能夠當作一用以在一複合電極之內作用的穩定的傳導支架(robust conductive scaffold)俾以支撐電化學活性的電容或擬電容材料，諸如矽(Si)、硫(S)或過渡金屬氧化物(TMOs)，以便進一步地提高一SC、擬電容器(PC)或任何其他的EESD之能量密度。該等電容或擬電容複合電極展現出一

高理論電容量，其中陽極的複合材料(諸如矽以及TMOs)以及陰極的合材料(諸如硫)分別地展現出低和高電壓平台(voltage plateaus)。為此，想要開發出如此處所述的可靠方法來將奈米尺寸(nanoscale)的電化學活性材料(例如TMO或Si)以一高度均勻的方式裝載至一3DGF或H3DGF支架之上或之內，俾以同時確保有效的電子和離子傳輸。

【0214】如此處所述之整合(integrate)一複合陽極與一碳質陰極(carbonaceous cathode)的SCs展現一高能量密度以及一高功率密度。但是，現今的混合型超級電容器可能被介於一採用一法拉第鋰嵌入反應(Faradaic lithium intercalation reaction)的TMO陽極以及一經由電解質離子的物理性吸附/脫附(physical adsorption/desorption)來儲存電荷的標準陰極(standard cathode)之間的動態失配(kinetic mismatch)所損害。另一方面，如此處所述之展現奈米結構電極材料(nanostructured electrode materials)之一高表面積與有效負載的3DGF以及H3DGF同時確保了通經石墨烯網狀結構(graphene network)的高電子傳導性(electron conductivity)以及超小TMO粒子(tra-small TMO particles)之內的快速離子傳輸。因此，如此處所述之3DGF-TMO以及3DGF-TMO複合陽極藉由減輕(mitigating)介於兩個不對稱電極(asymmetric electrodes)之間的動力學差距(kinetics gap)而展現一改善的速率能力(rate-capability)以及循環安定性(cycling stability)。

【0215】以TMO為基礎的材料典型地展現一相當高的電壓平台，這限制了混合型電池的操作電壓窗口(operation voltage window)以及因此能量密度。因此，如此處所述之具有較低的電壓平台之最佳陽極材料(optimal anode materials)，諸如矽，被使用俾以形成具有一顯著高能量密度的SCs。

【0216】鋰-硫(Li-S)電池代表下一代的EESD技術。具一理論電容量為大約1,675 mAh/g，硫代表一有吸引力的陰極複合材料來供高能量密度、持久的(long lasting)以及便宜的電能儲存裝置(EESDs)之用。但是，基於硫的固有性質(inherent properties)之故，現今的Li-S電池可能展現出低硫利用性以及不良的長期循環行為(long term cycling behavior)。首先，因為硫是電絕緣的(electrically insulating)、展現一不良的電導率並且在充電與放電期間當中經歷動態膨脹(dynamic expansion)，它在複合電極中的使用通常需要所具重量不會助長儲存容量(storage capacity)並因此降低電極的能量密度之導電性添加劑[例如，石墨(graphite)]以及黏合劑。其次，在放電的期間當中一旦Li_2S形成，硫陰極可能經歷一大量容積膨脹(volume expansion)(高達大約80%)，而同樣地在充電的期間當中會收縮(contract)，這可能導致一複合電極之高內應變(internal strain)以及可能的崩解(potential disintegration)。但是，由膨脹和收縮所引起的電容量衰減(capacity fading)可經由增加電極的孔隙率來減輕。最

後，在充電/放電循環的期間當中，可溶於電解質內的長鏈鋰多硫化物(long chain lithium polysulfides)(Li_2Sn, $4 \leq n \leq 8$)形成並且擴散至鋰陽極以及沉積在鋰陽極上[亦即，多硫化物穿梭過程(polysulfide-shuttling process)]，以致產生可降解(degrade)一個EESD的性能之反應。

【0217】雖然整合(integrate)有高達60%硫(以重量計)之先前的SC電極已顯示出各式各樣的缺點，基於它們的高孔隙度、高表面積、高電導率以及有效的離子傳輸之故，3DGFs和H3DGFs代表理想的導電支架來供S奈米粒子之有效裝載。圖5示意地圖解說明一例示性H3DGF-S複合物500的結構，而由高度互連的H3DGF薄片所形成的連續傳導網狀結構(continuous conductive network)形成能夠克服硫的絕緣性質(insulating properties)之有效的高傳導性電子傳輸途徑(electron transport pathways)。再者，因為個別的石墨烯薄片被共軛化並互鎖在一起以形成一單體機械性強的3D網狀結構(monolithic mechanically strong 3D network)，黏合劑不被需要俾以在充電/放電循環(charge/discharge cycles)的期間當中耐受S-電極的重複膨脹和收縮(repeated expansion and contraction)。另外，如此處所述的3DGF以及H3DGF的高度多孔狀結構允許活性硫之有效併入(efficient incorporation)俾以形成一高硫含量為高達一陰極的質量之大約80-90%。最後，石墨烯薄片能夠包裹(wrap around)及囊封(encapsulate)硫粒子而藉此來抑制多硫化物穿梭過程以及提供一具有優異

的循環性能之穩定的電極。

【0218】用以形成3D石墨烯架構的方法

3DGFs以及H3DGFs可以從氧化石墨烯(GO)來製造。照此，朝向高性能3DGF-SCs和H3DGF-SCs的商業規模生產(commercial scale production)之一主要障礙可能是GO生產之一可靠且可擴展的方法之開發。一用以生產GO之傳統方法是改良式漢默法(modified Hummers' method)，該方法可能涉及對環境有害的重金屬(environmentally hazardous heavy metals)、有毒氣體(poisonous +gases)、爆炸風險(explosion risk)、長反應時間(long reaction times)以及一沉悶的透析過程(dialysis process)來中和(neutralize) pH值，而可能因此對於廣泛應用來說是成本高昂的。由於現今的GO與還原態GO (rGO)之大規模生產方法(例如，高達1,200公噸/年)的品質可能不適合供應用於高性能EESDs，對於一供可擴展的GO生產之綠色、安全、高效率且低成本的方法，存在有一現今未滿足的需求。在某些示範例中，針對被壓倒性地使用的氯酸鉀($KClO_3$)以及過錳酸鉀($KMnO_4$)之一任擇的氧化劑，諸如鐵酸鉀(K_2FeO_4)，被使用作為一揮發性和毒性較低之有效率的氧化劑，它在室溫下大約1小時內以及大規模地產生GO。此外，GO之任擇的商業來源可被評估與使用。

以3DGFs和H3DGF為基礎的EESDs之性能係高度地依賴它的表面積[層數(number of layers)]以及它的傳導

性[氧化/還原的程度(degree of oxidation/reduction)]。

【0219】展現出一單層優勢(predominance of single layers)以及一最小數目的氧基團(oxygen groups)之GO和rGO分別地顯示出最高的電容量和傳導率。因此，氧化的程度與所形成的rGO之內的缺陷位址(defect sites)的數目以及HGF的傳導率直接相關。rGO內之完全的氧基團移除(complete oxygen group removal)以及π-π共軛化(π-π conjugation)之完全恢復(full restoration)係藉由調整製造方法並將之最佳化而被達成。

【0220】在某些示範例中，一GO懸浮液係藉由一漢默法(Hummers' method)使用天然的片狀石墨(natural flake graphite)而被合成出，其中GO在一懸浮液的濃度是大約2.3 g/L，以及其中該GO懸浮液在一為大約95℃的溫度下被乾燥歷時一段大約24小時的時間。

【0221】根據圖6，一個例示性H3DGF的製備係經由氧化石墨烯(GO) 601或多孔洞GO (HGO) 602在一水性分散體內之同時的還原作用(reduction)和共軛作用(conjugation)，俾以形成一巨觀的(macroscopic)多孔洞石墨烯水凝膠(HGH) 603或一溶劑化H3DGF。該HGH 603之巨觀的尺寸係藉由控制GO 601的濃度來調整，其中，例如，具有較低濃度的GO 601之水性分散體生成相當地較大的HGHs 603，具有的微孔要大於那些從具有較高濃度的分散體之水性分散體所生成者。在這個研究中，如此處所述的HGH 603之巨觀的尺寸還有微孔尺寸被調整俾以最

大化所形成的H3DGFs之表面積，同時維持該水凝膠供作為一電極之不含黏合劑的使用。

【0222】另外，位於石墨烯薄片的底面(basal plane)內的奈米孔洞之尺寸係藉由控制GO對於一氧化劑的各種不同濃度之曝露時間(period of exposure)來調節，該氧化劑包括：氧、臭氧、過氧化氫、螢石二氧化物、過氧化鋰、過氧化鋇、氟、氯、硝酸、硝酸鹽化合物、硫酸、過氧二硫酸、過氧單硫酸、亞氯酸鹽、氯酸鹽、過氯酸鹽、鹵素化合物、次氯酸鹽、次鹵酸鹽化合物、家用漂白劑、六價鉻化合物、鉻酸、二鉻酸、三氧化鉻、吡啶陽離子氯鉻酸鹽、鉻酸鹽化合物、二鉻酸鹽化合物、過錳酸鹽化合物、過錳酸鉀、過硼酸鈉、氧化亞氮、硝酸鉀、鉍酸鈉或此等的任一組合。照此，當GO被曝露於該氧化劑越久，或該氧化劑的濃度越高，被形成於石墨烯薄片之內的奈米孔洞就越大。因此，如此處所述的，離子擴散速率係藉由最大化該等奈米孔洞的尺寸和密度而被最佳化。再者，具有奈米孔洞係在還原作用之前被形成在GO之上的3DGFs或H3DGFs顯示出要比一個具有奈米孔洞係在還原作用之後被形成在GO之上的3DGF或H3DGF為低的穩定性。

【0223】如此處所述之以3DGF或H3DGF為基礎的電池之電化學性能(electrochemical performance)進一步藉由修改(modifying)石墨烯薄片的配置/拓樸結構(arrangement/topology)而被最佳化。舉例而言，垂直排列的(vertically aligned)石墨烯薄片提供了改善一個

3DGF或H3DGF之速率能力與比電容的快速傳輸途徑。石墨烯網狀結構的排序(ordering)係藉由在共軛作用以形成3DGFs或H3DGFs之前控制GO的配置成為一適當的液晶相(liquid crystal phase)[例如，向列型(nematic)]而被調整。在某些示範例中，諸如一電場(electric field)、流體壓力(fluidic pressure)，流體渦漩(fluidic vortices)、磁場(magnetic field)或機械形變(mechanical deformation)的外力(external forces)亦被使用俾以調整GO液晶之巨觀的對準(macroscopic alignment)以及位在3DGFs與H3DGFs內的石墨烯薄片之組織化(organization)。

【0224】在某些示範例中，HGO可藉由在100℃之下加熱GO與一氧化劑之一均質的水性混合物(homogeneous aqueous mixture)而被形成，該氧化劑包括：氧、臭氧、過氧化氫、螢石二氧化物、過氧化鋰、過氧化鋇、氟、氯、硝酸、硝酸鹽化合物、硫酸、過氧二硫酸、過氧單硫酸、亞氯酸鹽、氯酸鹽、過氯酸鹽、鹵素化合物、次氯酸鹽、次鹵酸鹽化合物、家用漂白劑、六價鉻化合物、鉻酸、二鉻酸、三氧化鉻、吡啶陽離子氯鉻酸鹽、鉻酸鹽化合物、二鉻酸鹽化合物、過錳酸鹽化合物、過錳酸鉀、過硼酸鈉、氧化亞氮、硝酸鉀、鉍酸鈉或此等的任一組合。在某些示範例中，殘餘的氧化劑接而藉由離心(centrifuging)或任何其他分離方法(separation method)以及藉由清洗反應混合物而被移除。在某些示範例中，該HGO接而被再分散(re-dispersed)於一溶劑內，該溶劑包

括：甲酸、正丁醇、異丙醇、正丙醇、乙醇、甲醇、乙酸、水或此等的任一組合，俾以形成一具有一高濃度之安定的水性分散體。該HGO接而可藉由將一弱酸引入至該分散體之內而被化學地還原以及共軛化，俾以形成一個3DGF或H3DGF，該弱酸包括：甲酸、抗壞血酸、乙酸、三氯乙酸、氫氟酸、氫氰酸(hydrocyanic)、硫化氫或此等的任一組合。如此處所述的，所形成的3DGF或H3DGF之側向尺寸和厚度(lateral size and thickness)係藉由使用具有不同尺寸的反應容器(reaction vessels)以及藉由調節該HGO的容積而被調整。

【0225】用以形成3DGF電極的方法

目前，以高性能石墨烯架構為基礎的SC電極通常是於一分批製程(batch process)被形成，該分批製程包括GO在一個高壓釜(autoclave)內之同時的還原作用和共軛作用，這限制了生產產出量(production throughput)。在某些具體例中，一更有效的卷對卷電極列印製程(roll-to-roll electrode printing process)包括一連續的GO還原作用和共軛作用方法，以及具有一特定化學配方(chemical formulation)和黏度(viscosity)的GO墨水、GO-Si墨水、GO-S墨水或GO-TMO墨水之隨後的配製。根據圖3，在某些具體例中，一連續的卷對卷列印/塗覆製程(continuous roll-to-roll printing/coating process) 300包括在一適當溶劑內合成以及分散一GO或HGO前驅物俾以生成一GO或HGO墨水302，在一受控溫度(controlled temperature)

之下以及一適當的化學環境之內以該GO或HGO墨水302來塗覆一電流收集器301，以及隨後在環境條件(ambient conditions)之下經由化學品(chemicals)、熱(heat)、自發性自我組合(autonomic self-assembly)或雷射處理(laser treatment)來還原與以及共軛化位在該電流收集器之上的活性材料(active material)。該一製程便宜地、一致地以及有效地形成3DGF、3DGF-Si或3DGF-S、3DGF-TMO、H3DGF、H3DGF-Si、H3DGF-S以及H3DGF-TMO SC電極。

【0226】根據圖8，對於高性能3DGF或H3DGF-SCs的商業規模生產之另一障礙來自於硬幣型電池801和軟包電池802之間的尺寸差異。一典型的市面有售的硬幣型電池801係大約10 mm，而一典型的市面有售的軟包電池802在側向尺寸上通常係至少大約100-200 mm。由於現今的石墨烯製造方法典型地需一升高的溫度以供GO之同時的還原作用和共軛作用，控制用於這兩種SC電池規模的3DGF或H3DGF電極的尺寸和形狀可能是困難的。據此，如此處所述的3DGF和H3DGF電極製造方法被精密地調整俾以確保大型、較佳為自立的石墨烯電極和電流收集器之間的完美接觸。利用大型軟包電池的示範，H3DGFs可適用於許多不同型式的商業相關裝置。

【0227】在某些示範例中，該自立的3DGF或H3DGF被壓製(pressed)在一個金屬發泡體電流收集器(metallic foam current collector)之上，該金屬發泡體電流收集器

包含有：鋼、不鏽鎳、鋁、銅、鉍、鉻、鈷、鎵、金、鐵、銦、鉛、鎂、汞、銀、鈉、錫、鈦、鋅、鋯、青銅或此等的任一組合。在某些具體例中，一個發泡體電流收集器形成要比一個二維金屬箔電流收集器(two dimensional metal foil current collector)更大的3DGF/電流收集器接觸面積。在某些示範例中，該3DGF或H3DGF於一受控條件(controlled condition)[化學還原(hemical reduction)、熱和/或雷射還原(thermal and/or laser reduction)等等]下被直接地沉積或列印在一個金屬發泡體電流收集器之上，允許GO的直接還原以及該3DGF或H3DGF於電流收集器之上的自我組合以供最佳的結合/接觸。由於金屬發泡體通常要比金屬箔更昂貴，如此處所述的HGO亦被直接地沉積或列印在一金屬箔電流收集器之上。在某些示範例中，藉由這些方法而被形成的電極在該3DGF或H3DGF以及該電流收集器之間顯示出一增大的接觸表面積俾以允許一致的SCs之大規模製造。

【0228】用以形成3DGF-Si電極的方法

在某些具體例中，一個3DGF或H3DGF矽複合物，利用其足夠的空白空間，提供一緩衝容積變化(volume changes)以及安定化SEI的形成之穩定的傳導網狀結構，俾以減輕電容量降解(capacity degradation)、減低過度的電解質耗盡(excess electrolyte exhaustion)以及改善速率表現。

【0229】在某些具體例中，用以組成高性能3DGF或

H3DGF-Si複合電極的方法被設計俾以防止電極材料的附聚(agglomeration)，確保石墨烯上的奈米尺寸矽的均勻裝飾(uniform decoration)，控制緩衝空間(buffer space)，以及安定化SEI層。具有多官能基團(multiple functional groups)的GO和rGO的雙親性(amphiphilicity)提供各式各樣的可能策略來供3DGF或H3DGFs與奈米尺寸矽粒子的組合。在某些示範例中，矽奈米粒子(silicon nanoparticles)經由一確保一高負載比的單一或雙重步驟自我組裝方式而被裝載至石墨烯薄片之上或者3DGF網狀結構之內。如此處所述的3DGF-Si或H3DGF-Si陽極的長期循環安定性與高速率表現經由使用不同的高分子界面活性劑/安定劑(polymeric surfactants/stabilizers)以及介於一化學修飾的矽表面(chemically modified silicon surface)和GO/rGO的羧酸官能基團(carboxylic functional groups)之間的共價鍵(covalent bonds)來研究介於矽奈米結構以及3DGF-Si或H3DGF-Si內的rGO之間的凡得瓦力交互作用(van der Waals force interaction)而被評估以及最佳化。更重要地，為了在矽於充電/放電循環中的大量膨脹與收縮期間當中減輕應力/應變(stress/strain)以及安定化該SEI層，被組合的如此處所述之石墨烯的穩定性係藉由調節3D石墨烯網狀結構的機械性質而被調查。雖然單層石墨烯展現一非常楊氏模量(extraordinary Young's modulus)為大約1,100 GPa，被組合的如此處所述之石墨烯架構(graphene architecture)

的機械性質係藉由調整石墨烯的性質[諸如它的厚度、尺寸、對準以及退火條件(annealing conditions)]而被最佳化，這顯著地影響到循環安定性以及庫倫效率(Coulombic efficiency)。

【0230】用以形成3DGF-S電極的方法

如此處所述的具有一高硫負載比之電極減低了所需要的被動電極組件(passive electrode components)的質量俾以允許一高總電容量(overall capacity)以及降低一電極的成本。然而，太多的S-負載可能減低一3DGF或H3DGF的結構不安定性(structural instability)以及妥協(compromise)該電極的電導率。根據圖4，位於例示性石墨烯薄片401上的奈米孔洞402被設計與控制俾以確保優異的鋰離子傳輸同時阻滯(retarding)較大的多硫化物分子之穿梭過程。照此，如此處所述的，硫以一特定的負載比(specific loading ratio)被均勻地裝載至3DGF和H3DGF的3D網狀結構之中，俾以完全地利用硫的電化學性質。

【0231】在某些示範例中，用於組成高性能3DGF-S或H3DGF-S複合電極的方法包括混合硫、一酸、一反應物(reactant)以及一石墨烯材料(諸如GO或rGO)俾以形成一溶液，以及將一反應物引入該溶液之內。據此，該反應物還原該石墨烯材料並將被還原之含有石墨烯的材料共軛化成為一囊封硫粒子的3DGF或H3DGF。在某些示範例中，該酸包括一強酸，該強酸包括：過氯酸、氫碘酸、氫溴酸、氫氯酸、硫酸、對甲苯磺酸、甲磺酸，或此等的任一組合。

在某些示範例中，該反應物包括一弱酸，該弱酸包括：甲酸、抗壞血酸、乙酸、三氯乙酸、氫氟酸、氫氰酸(hydrocyanic)、硫化氫或此等的任一組合。在某些示範例中，硫來源的濃度可被調節以控制被囊封在該3DG或H3DGF複合物之內的硫的數量。在某些示範例中，硫粒子具有大約10 nm至大約100 μm、大約100 nm至大約10 μm或大約500 nm至大約10 μm的尺寸。在這些例子的某些當中，無另外的黏合劑被使用。在這些例子的某些當中，無另外的導電性添加劑被使用。在這些例子的某些當中，無另外的黏合劑或導電性添加劑被使用。

【0232】在某些示範例中，一電極的硫含量，當以一相對於該電極的總重量之重量或質量百分比來表示，係高於大約60%，諸如大約65%或更高，諸如大約70%或更高，諸如大約75%或更高，諸如大約80%或更高，諸如大約85%或更高，諸如大約90%或更高。

【0233】在某些示範例中，一高電容量硫陰極，諸如一具一高度有效的硫負載之自立的3DGF或H3DGF，係從一以石墨烯為基礎的材料經由一個一鍋方法(one-pot method)而被形成的，該一鍋方法包括一有效的化學反應，而使得一反應物可在只有一個反應器內被引至進行連續的化學反應。

【0234】根據圖7，一個例示性3DGF-S複合電極係藉由一個容易的一鍋合成(one-pot synthesis)而被製備出，該一鍋合成包括在一含有石墨烯的材料/來源[例如，氧化

石墨烯(GO)雪片]的存在下來混合一硫前驅物/來源(例如，$Na_2S_2O_3$)以及一酸(例如，HCl)，俾以起始下面的化學反應：

$$Na_2S_2O_3 + 2HCl \rightarrow 2NaCl + SO_2 + H_2O + S$$

【0235】據此，抗壞血酸的引入以驅動GO的還原以及將還原態GO共軛化成為帶有被囊封的硫粒子之3D石墨烯水凝膠誘導出該3DGF-S或3DGF-S複合物。根據圖7，例示性GO溶液701顯示一褐色顏色 (brownish color)，而含有GO與$Na_2S_2O_3$以及HCl的例示性溶液702顯示一乳狀混濁懸浮液(milky cloudy suspension)，這表示一高數量的硫粒子之存在。抗壞血酸的引入允許一機械性強的自立的3DGF-S複合物水凝膠703的形成。反應溶液中的所形成的3DGF-S複合物水凝膠顯示一自立的結構以及透明的上澄液溶液(clear supernatant solution)，這表示大多數的GO以及硫粒子被共軛化在一起以形成一個在溶液中留下可忽略的GO或硫之複合物水凝膠。該例示性3DGF-S複合物水凝膠接而被冷凍乾燥以供隨後的使用。據此，具有大約70%、大約80%、大約90%以及大約95%硫含量的3DGF-S複合物(被表示為3DGF-S70、3DGF-S80、3DGF-S90以及3DGF-S95)被製備出。

【0236】如此處所述的，各式各樣之任擇的硫負載方法(sulfur loading methods)可被探究與評估，包括：還原一硫前驅物(例如，$Na_2S_2O_3$)、一熔化擴散方法(melt

diffusion approach)、一化學蒸氣沉積法(CVD approach)以及將硫奈米粒子滴鑄沉積(drop casting)在該水凝膠之上。硫和石墨烯的數量被調節以調整該電池的整體結構(overall structure)之負載比、可循環性(cyclability)、安定性以及形狀。如此處所述的，60-95%的硫負載比被容易地達成。

【0237】在某些示範例中，一個例示性3DGF-S90電極之形成係藉由混合0.1 mL的$Na_2S_2O_3$ (它的濃度為大約1 M)與大約0.22 mL的一個2.3 g/L GO懸浮液以及大約0.58 mL的去離子水(deionized water)俾以形成一第一溶液。大約0.1 mL的大約2 M HCl接而被逐滴地添加至該第一溶液，而所形成的溶液被攪拌歷時一段大約2小時的時間。大約20 μL的大約1 M抗壞血酸接而被添加至先前的溶液，並且在一為大約95℃的溫度下被加熱一段大約2小時的時間俾以形成一水凝膠，其中該水凝膠接而以水予以清洗數次並且被冷凍乾燥。$Na_2S_2O_3$以及HCl的數量被調整以便使用相同的方法來合成出3DGF-S70、80、95、H3DGF-S70、80以及95。

【0238】用以形成電3DGF-TMO極的方法

利用其高表面積與傳導率，如此處所述的3DGF以及H3DGF形成一供奈米尺寸TMO負載的有效支架，俾以同時確保通經石墨烯網狀結構的有效電子傳輸以及一至奈米尺寸TMOs之內的超短距離和快速的離子嵌入反應。

【0239】在某些示範例中，一電極包含有一個3DGF

或H3DGF以及一由一種TMO所構成之層。在某些示範例中，一由一種TMO所構成之薄層(例如，大約10 nm)被均勻地沉積在石墨烯薄片上，俾以確保一高負載比(大約80-90%)、一位於高電阻的TMO之內的短電子與離子傳輸距離以及一跨越石墨烯-TMO介面的有效電子傳輸。在某些示範例中，被選定的TMOs (例如，T-Nb_2O_5)被裝載至石墨烯薄片之上或者在形成一個3DGF或H3DGF的結構之前、期間當中或之後被裝載至該3DGF或H3DGF之內，經由TMO的奈米結晶之直接晶核形成與生長(direct nucleation and growth)，或經由一溶膠-凝膠滲入方法(sol-gel infiltration approach)。在某些示範例中，如此處所述的複合電極之組成(composition)、結晶度(crystallinity)、形態(morphology)以及奈米/微米結構係藉由變化一前驅物的濃度或比例以及共軛作用條件而被有系統地調整俾以達成一電極之所欲的電化學性質。

【0240】一個使用一具有低操作電壓的水性電解質之SC可能無法遞送一高能量密度。根據圖10，有些TMOs(諸如TiO_2以及T-Nb_2O_5)在非水性電解質內展現內在嵌入擬電容(intrinsic intercalation pseudo-capacitance)。如此處所述的，位於陽極或陰極內的該等TMO電極材料與一位於一有機電解質內的碳質電極之組合提供具有高能量以及高功率密度這兩者的裝置。但是，介於一使用法拉第鋰嵌入反應的TMO陽極以及一使用電解質離子的物理性吸附/脫附的碳質陰極之間的動態失配可能代表一對於高性

能TMO複合SCs的生產之可能障礙。為此，如此處所述的，高功率陽極材料減輕了上述動態失配。在某些具體例中，一個奈米結構的TMO (例如，T-Nb_2O_5)與一個展現一高傳導率和高表面積的3DGF或H3DGF之整合在這各方面提供了一個理想的解決方案。

【0241】T-Nb_2O_5是混合型系統中之一理想的高速率陽極複合材料，因為它展現一擬電容機制(pseudo-capacitive mechanism)提供二維傳輸途徑、在嵌入上幾乎沒有結構變化，並且沒有來自固態擴散(solid-state diffusion)的限制。但是，由於T-Nb_2O_5具有一為大約200 mAh/g之相當低的理論電容量，如此處所述的，具有較高的理論電容量之另擇的TMOs (諸如Fe_3O_4)被使用俾以形成高電容量3DGF-TMO或H3DGF-TMO複合陽極。在這種情況下，Fe_3O_4的速率能力可藉由將超細Fe_3O_4奈米粒子裝載至如此處所述的傳導支架之上或之內而被減輕。

【0242】在某些具體例中，一過渡金屬氧化物包括：Nb_2O_5、Al_2O_3、V_2O_5、Re_2O_7、CrO_3、CeO_2、RuO_2、ZrO_2、MoO_3、WO_3、TiO_2，或此等的任一組合。

【0243】用以測量電極性能的方法

在某些示範例中，一個SEM JEOL 6700被使用於掃描電子顯微鏡檢查(scanning electron microscopy)。在某些示範例中，一個TEM T12 Quick CryoEM被使用於穿透電子顯微鏡檢查(transmission electron microscopy)。在

某些示範例中，一個具有銅鉀-阿伐輻射(Cu K-alpha radiation)的Panalytical X'Pert Pro X射線粉末繞射儀(X-ray Powder Diffractometer)被使用於X射線繞射(XRD)。在某些示範例中，一個Axis Ultra DLD被使用於X射線光電子光譜法(X-ray photoelectron spectroscopy)。在某些示範例中，熱重分析(TGA)係使用PerkinElmer instruments Pyris Diamond TG/DTA來進行。

【0244】在某些示範例中，一電極的電化學性質係藉由將一電極組裝至一個位於具有水之氬氣充填的套手工作箱(argon filled glovebox with water)(其氧含量被保持在低於0.1ppm)中的CR2025硬幣型電池之內而被測量。在某些示範例中，具有大約100 μm的厚度之機械壓製的(mechanically pressed) 3DGF-S樣品被直接使用作為陰極，而一鋰箔(lithium foil)被使用作為一陽極。在某些示範例中，被用來特徵鑑定(characterize)電極的電解質包含有一由配在大約1:1 v/v 1,2-二甲氧乙烷(DME)之內的雙(三氟甲磺醯基)亞胺鋰(大約1 M)以及含有$LiNO_3$ (大約1重量%)的1,3-二噁戊烷(DOL)所構成的溶液。在某些示範例中，3DGF-90陰極展現一為大約0.636 cm^2的面積[一個具一為大約9 mm的直徑之盤(disk)]以及一為大約4.32 mg/cm^2的硫質量負載。在某些示範例中，恆電流充電/放電循環(galvanostatic charge/discharge cycling)係利用一多通道電池測試系統(multichannel battery testing

system)(LAND CT2001A)在一為大約1.6-2.6 V比Li/Li^+的電位範圍(potential range)之下被進行。

【0245】在某些示範例中，一電極的電化學性質係藉由使用該電極作為一個不具任何添加劑的Li-S電池陰極內之陰極而被測量。

【0246】在某些示範例中，被使用於某些實驗中之例示性3DGF或H3DGF電極具有一為大約140 μm的厚度以及大約10 mg/cm^2的質量負載，這與商業SCs所具者相當。

【0247】以3DGF和H3DGF為基礎的電極之電化學性質係於對稱和不對稱的SCs之內使用位於水性和非水性電解質中的兩個或三個電極配置(two or three-electrode configurations)來調查。全電池試驗(full cell tests)被使用俾以評估例示性混合型超級電容器(例如，H3DGF-TMO/H3DGF)於一非水性電解質(例如，在EC/DMC之混合物中的$LiPF_6$)之內或者於一離子性液體電解質(ionic liquid electrolyte)($EMIMBF_4$/AN)之內的總能量密度。

【0248】雖然重量電容(gravimetric capacitance)已被傳統地使用作為用以評估SC電極的優值(figure-of-merit)，容積效能(volumetric performance)的測量是一用於具有有限空間的電能存儲應用(諸如可攜式電子產品和EV)的重要度量(metric)。但是，許多電極仍被設計俾以最佳化介於石墨烯的重量和容積電容之間的取捨(trade-off)。

【0249】有些實驗程序(experimental procedures)從一相當薄的電極(例如，100nm)之特性來導出裝置性能，該電極的活性電極(active electrodes)具有一低活性材料質量負載(low active material mass loading)。但是，基於薄電極之減小的垂直離子擴散距離(reduced vertical ion diffusion distance)之故，該等薄電極裝置的性能不見得能外推(extrapolate)以供預測厚電極的性能。據此，在某些示範例中，在本案這個揭露內容之中的例示性堆疊能量密度係透過在具有相當於商業裝置(commercial devices)的尺寸和質量之實用裝置(practical devices)上的實驗而被測定。這證明被揭示於此的裝置之性能可能在根本上是可擴展的，這對於實際應用以及大規模商業化而言可能是特別重要的。

【0250】例示性3D石墨烯架構的性能和特性

圖11顯示一具有一高質量負載的例示性複合物之SEM影像。

【0251】經由一前驅物的硫沉積在位於一非-H3DGF 3D石墨烯架構之中的石墨烯上的效應被見於圖12A的一個例示性H3DGF-S之橫截面SEM影像，以及根據圖12B，位於之內的1-μm硫粒子。

【0252】再者，圖13出示被囊封在該3DGF內的硫粒子之例示性低放大率TEM影像並且繪示位在石墨烯囊之內的熔化的硫之移動，而點線(dotted lines)表示石墨烯囊的壁。如所示的，例示性TEM的強電子束照射(electron

beam irradiation)造成硫粒子在該3DGF之內的動態流動而無漏洩(leaking out)至銅網(copper grid)之上。如所示的，熔化的硫流動跨越該3DGF的石墨烯壁-1 1301，但接而被該3DGF的石墨烯壁-2 1302所停住。據此，這些影像確認了硫被良好地囊封在3DGF的多層囊與壁(multi-level pockets and walls)之內，俾以有效地抑制或減輕液態硫的漏洩。此外，由於在一放電過程的期間當中硫成為可溶性多硫化物(soluble polysulfide)之固態-液態相變(solid-liquid phase transformation)是類似於所觀察到的熔化過程(melting process)，藉由一個3DGF或H3DGF來囊封硫是一阻滯多硫化物穿梭效應(polysulfide shuttling effect)的有效手段。

【0253】根據圖14，例示性3DGF-S70、80、90以及95複合物的橫截面圖之掃描式電子顯微鏡(SEM)影像顯示出類似的微米尺寸(micron-scale)多孔結構，以及大約1 μm之可比較的硫粒子。例示性3DGF-S95 SEM影像顯示一明顯的機械脆弱結構，具有硫粒子覆蓋住大多數的石墨烯薄片。應予注意的是，將硫負載從大約90%增高至大約95%大概地將硫的質量加倍。

【0254】根據圖15，在某些示範例中，具一負載百分比為大約70%的例示性H3DGF-S陰極展現一硫-比電容量為大約1,252 mAh/g。

【0255】根據圖16，一個例示性3DGF-S90在還原製程(reduction process)以及3DGF-S複合物的形成之前與

之後的X射線繞射(XRD)特性化(characterizations)顯示一初始寬廣的GO波峰位在11.6°之處，該GO波峰在利用抗壞血酸的還原作用之後減小，以及rGO波峰位在大約22.2°之處，該rGO波峰象徵GO的成功還原。該等例示性XRD光譜顯示有關於斜方晶相硫(orthorhombic phase sulfur)(JCPDS No. 08-0247)在還原作用之前和之後的定義良好的繞射峰(well-defined diffraction peaks)，這確認了硫成功併入至該3DGF之內。

【0256】根據圖17，熱重分析(TGA)測定複合物結構的硫負載。例示性3DGF-S複合物的TGA研究顯示當溫度被增高至高於大約200℃ [對應於硫昇華溫度(sulfur sublimation temperature)]之時有一重量減低(weight reduction)。為了測定硫含量，在一不含硫的例示性純質3DGF上進行TGA，俾以證明來自石墨烯本身的重量貢獻。在重量損失校準(weight loss calibration)之後，例示性樣品的硫含量被測定出係為大約70%、大約80%、大約90%以及大約95%。一個亞甲基藍吸收試驗(methylene blue absorption test)確認：當以碳的數量予以標準化時，含有或不含硫的3DGF的表面積是高度可比擬的且為大約900 m^2/g，因此這表示硫的併入沒有明顯地衝擊(impact)該3DGF的整體結構。

【0257】根據圖18，例示性3DGF-S電極的電化學性能經由應用冷凍乾燥的3DGF-S作為不含任何添加劑之自立的複合陰極被進一步地評估。雖然Li-S電池的電容經常

是利用硫的容積或質量而被標準化，而可被預期的是硫越少則電容越高，這些例示性測量不考慮黏合劑或導電性添加劑的重量。據此，圖18A中的例示性測量係利用電極的總重量而被標準化，並且彰顯出此處的本案揭露內容之主要性能改善。

【0258】根據圖18A，在一為大約1.6-2.6 V (相比於Li^+/Li)的電壓範圍下，一個例示性3DGF-S90在0.1 C之下的恆電流測試放電/充電循環曲線顯示有一平台(plateau)位於大約2.32 V之處以及大約2.08之處，這表示有長鏈多硫化物(Li_2S_x, $4 \leq x \leq 8$)以及短鏈多硫化物(Li_2S_2或Li_2S)的形成。在它的第1次使用循環中，該3DGF-S90展現一為大約1,070 mAh/g的電容量。在第20次和第50次的使用循環之放電/充電曲線亦清楚地顯示兩個平台，這表示良好的電化學安定性。圖18B和圖18C圖解說明例示性3DGF-S樣品在0.1 C之下的循環性能，分別地藉由硫重量以及電極重量來予以標準化。根據圖18C，3DG-S90陰極在各種不同的電流速率(current rates)之下展現出一良好的循環反應而且電容量能夠在0.2之下回復至657 mAh/g。

表1. 硫-比電容量的比較

	硫-比電容量(大約充放電速率 = 0.1)	
	在 0 次循環之下	在 50 次循環之下
3DGF-S70	1,286	846
3DGF-S80	1,200	777
3DGF-S90	1,077	746
3DGF-S95	628	673

【0259】根據表1以及圖18B，例示性3DGF-S70、80、90和95電極的初始電容量是分別為大約1,286

mAh/g、大約1,200 mAh/g、大約1,077 mAh/g以及大約628 mAh/g。如所預期的，一較低的硫負載產生一較高的硫-比電容量，因為較少的硫位在石墨烯架構中產生更多的電子和離子傳輸途徑而因此更有效率地應用硫的益處。在50次循環之後，該等3DGF-S70、80和90電極的電容量分別的減低至大約846 mAh/g、大約777 mAh/g和大約746 mAh/g。3DGF-S95的比電容量在50次循環之後逐漸增高至大約673 mAh/g可歸因於架構中的硫所導致的過度絕緣(excessive insulation)，該架構需要一長活化過程以逐漸利用被深埋的硫。

【0260】圖18D圖解說明該例示性3DGF-S90電極之利用整個電極的質量予以標準化的速率表現，而在0.2、0.5、1和2 C之下的初始電容量分別為大約772 mAh/g、大約615 mAh/g、大約500 mAh/g以及大約381 mAh/g。據此，3DGF-S90在一為大約1.0的充放電速率之下的高內在電容量(intrinsic capacity)遞送一比傳統鋰離子電池在該速率之下要高一個數量級以上的功率密度。重要的是要注意：雖然該充放電速率典型地僅利用硫的重量來予以標準化，此處所報導的功率密度係利用電極的總質量來予以標準化。該3DGF-S90陰極在各種不同的電流速率(current rates)之下展現出一良好的循環反應而且電容量能夠在0.2之下回復至657 mAh/g。圖18D圖解說明該3DGF-S90陰極在1 C之下的長壽命性能(long-life performance)。利用整個電極質量予以標準化的初始比放電電容量是大約

441 mAh/g，它因為活化過程之故而在30次循環之後逐漸地增高至大約473 mAh/g，以及在500次循環之後成為至大約341 mAh/g，這對應於一為77%的電容量保持(capacity retention)以及一為每個循環大約0.052%的電容量衰減。在前10個循環期間當中發生的初始活化過程之後，庫倫效率在整個循環中一致地維持在大約99.5%之下。

表2. 3DGF-S90性能能力(Performance Capabilities)

	3DGF-S90 電容量[mAh/g]
	硫-比-充電(充放電速率 = 0.1)
在 0 次循環之後	1,077
在 10 次循環之後	824
在 20 次循環之後	790
在 50 次循環之後	746
	硫-比-放電(充放電速率 = 1)
在 0 次循環之後	441
在 30 次循環之後	473
在 500 次循環之後	341
	電極-比
在充放電速率 = 0.1	969
在充放電速率 = 0.2	772
在充放電速率 = 0.5	615
在充放電速率 = 1.0	500
在充放電速率 = 2.0	381

【0261】該3DGF-S90的性能特性被列舉於上面表2之內。總括而言，本案這個揭露內容已報導了一種使用一鍋合成方法(one-pot synthesis method)之自立的3D石墨烯-硫複合物的設計與和成。高度傳導性互連的而且機械性強的3D石墨烯以及被包封的硫粒子之組合產生一高性能硫-陰極具有一當在0.1 C之下利用整個陰極的重量予以標準化時為大約969 mAh/g的創記錄電容量(record-high capacity)，以及一在1 C之下高達500次循環加上每個循環

為大約0.052%的電容量衰減之安定的循環持久性(cycling endurance)。這些結果證明：具有一超高硫含量之自立的3DGF對於一高穩定性EESD提供一有希望的途徑。

【0262】具有3D石墨烯架構電極之例示性超級電容器的性能和特性

例示性SCs係依據此處所述方法而被製造出。在某些如此處所述的示範例中，H3DGF-TMO、H3DGF-Si和H3DGF電極被耦合俾以形成具有高能量和高功率密度以及一長循環壽命的超級電容器裝置。

【0263】完全封裝的3DGF和H3DGF-SC硬幣型電池展現一堆疊重量和容積能量密度為大約35 Wh/kg和大約49 Wh/L (利用包含兩個電極、電流收集器、電解質、分離器以及封裝的該裝置的總重量或容積予以標準化)。被揭示於此的3DGF或H3DGF電極含有一為大約10 mg/cm^2或更高的區域質量負載(areal mass loading)，當被使用於此處所揭示的SC裝置之內時，在一為大約176 Wh/m^2或更高的區域功率密度下遞送一為大約23 Wh/m^2或更高的區域能量密度。

【0264】例示性完全封裝的對稱型SC係從3DGFs和H3DGFs被製造出，其遞送一創記錄能量密度(大約35Wh/kg和大約50Wh/L)要比那些為商業SCs所具者高大約10倍以上。

【0265】一個具有一H3DGF-TMO複合陽極之例示

性混合型H3DGF-TMO/H3DGF SCs達成一根據該裝置的總重量為大約16-45 Wh/kg或更高的總能量密度(根據電極材料的重量為大約40-140 Wh/kg)，同時維持著典型的SCs之功率密度(大約1-10 kW/kg)。

【0266】一個具有一高比電容量(大約500-2,000 mAh/g)與一低操作電壓電位(低於大約0.5 V)的例示性H3DGF-Si複合陽極提高H3DGF-Si/H3DGF混合型SCs的堆疊能量密度至大約40-100 Wh/kg。此外，H3DGF-Si複合陽極和H3DGF-S複合陰極被使用以形成一個具有一能量密度為大約150-450 Wh/kg的H3DGF-Si/H3DGF-S EESD。

【符號說明】

【0267】

201a ... 活化的 3D 石墨烯架構、活化的 3DGF

201b ... 被緊壓之活化的 3DGF

202a ... 多孔洞 3D 石墨烯架構、未壓縮的 H3DGF

202b ... 被壓縮的 H3DGF

300 ... 連續的卷對卷列印/塗覆製程

301 ... 電流收集器

302 ... 墨水

401 ... 石墨烯薄片

402 ... 奈米孔洞

500 ... H3DGF-S 複合物

601 ... 氧化石墨烯、GO

602 ... 多孔洞 GO、HGO

603 ... 多孔洞石墨烯水凝膠、HGH

701 ... 例示性 GO 溶液

702 ... 含有 GO 與 $Na_2S_2O_3$ 以及 HCl 的例示性溶液

703 ... 3DGF-S 複合物水凝膠

801 ... 硬幣型電池

802 ... 軟包電池

901 ... 未壓縮的 H3DGF

902 ... 被壓縮的 H3DGF

1301 ... 石墨烯壁-1

1302 ... 石墨烯壁-2

【發明申請專利範圍】

【第1項】 一種包含有一個3D石墨烯架構的電極，其包括：

一具有一多孔結構之石墨烯薄片的互連傳導網狀結構，以及

一包含有一電容或擬電容材料的複合材料。

【第2項】 如請求項1的電極，進一步包含有一電流收集器。

【第3項】 如請求項1的電極，其中該3D石墨烯架構包含有一個多孔洞3D石墨烯架構。

【第4項】 如請求項3的電極，條件是該電極具有一比表面積為大約450 m^2/g至大約3,000 m^2/g。

【第5項】 如請求項3的電極，條件是該電極具有一負載比為大約30%至大約99%。

【第6項】 如請求項3的電極，條件是該電極具有一循環壽命為大約500次循環至大約2,000,000次循環。

【第7項】 如請求項3的電極，條件是該電極在一為大約0.1的充放電速率(C-rate)之下具有一比電容量(specific capacity)為大約至少250 mAh/g至大約4,000 mAh/g。

【第8項】 如請求項1的電極，條件是該電極具有一孔隙度為大約90%至大約99%。

【第9項】 如請求項1的電極，條件是該電極具有一孔徑為大約0.002 μm至大約100,000 μm。

【第10項】如請求項1的電極，其中該複合材料包含有：矽、硫、Nb_2O_5、Al_2O_3、V_2O_5、Re_2O_7、CrO_3、CeO_2、RuO_2、ZrO_2、MoO_3、WO_3、TiO_2，或此等的任一組合。

【第11項】一種能量儲存裝置，其包括：

a) 一第一電極以及一第二電極；以及

b) 一電解質，

其中該第一電極和該第二電極之至少一者包括一個3D石墨烯架構，其中該3D石墨烯架構包含有一具有一多孔結構之石墨烯薄片的互連傳導網狀結構，

其中該第一電極和該第二電極之至少一者進一步包括一包含有一電容或擬電容材料的複合材料。

【第12項】如請求項11的能量儲存裝置，其中該3D石墨烯架構包含有一個多孔洞3D石墨烯架構。

【第13項】如請求項11的能量儲存裝置，其中該電解質是一非水性電解質，其包含有：六氟磷酸鋰、碘甲烷、硫酸二甲酯、碳酸二甲酯、氯化四甲銨、三氟甲磺酸甲酯、重氮甲烷、氟磺酸甲酯、乙酸乙酯、丙酮、二甲基甲醯胺、乙腈、二甲亞碸、硝基甲烷、碳酸丙烯酯、碳酸伸乙酯、雙(三氟甲磺醯基)亞胺鋰、1,2-二甲氧乙烷、1,3-二噁戊烷(1,3-dioxolane)、硝酸鋰，或此等的任一組合。

【第14項】如請求項11的能量儲存裝置，條件是該能量儲存裝置具有一堆疊-比能量密度為大約16 Wh/kg至大約750 Wh/kg。

【第15項】如請求項11的能量儲存裝置，條件是該能

量儲存裝置具有一堆疊-比功率密度為大約0.5 kW/kg至大約20 kW/kg。

【第16項】如請求項11的能量儲存裝置，條件是該能量儲存裝置具有一電極-比重量能量密度為大約16 Wh/kg至大約900 Wh/kg。

【第17項】如請求項11的能量儲存裝置，條件是該能量儲存裝置具有一電極-比重量功率密度為大約0.5 kW/kg至大約40 kW/kg。

【第18項】如請求項11的能量儲存裝置，條件是該能量儲存裝置具有一總電容為大約1 mF至大約10 F。

【第19項】一種構成如請求項1之電極的方法，其包括：

a) 形成一含有氧化石墨烯與一第一溶劑的溶液；

b) 加熱該溶液以形成一多孔洞氧化石墨烯；

c) 離心該溶液內的多孔洞氧化石墨烯；

d) 於一第二溶劑內清洗該多孔洞氧化石墨烯；

e) 於一第三溶劑內形成該多孔洞氧化石墨烯之一分散體；以及

f) 添加一酸至該分散體俾以形成一多孔洞氧化石墨烯架構。

【第20項】如請求項19之構成一電極的方法，其中該方法能夠於一卷對卷製程(roll-to-roll process)中連續地形成一電極。

【第21項】如請求項19之構成一電極的方法，其中該

溶液中的氧化石墨烯濃度是大約1.15 g/L至大約4.6 g/L。

【第22項】如請求項19之構成一電極的方法，其中該第一溶劑包括一氧化劑，該氧化劑包含有：氧、臭氧、過氧化氫(hydrogen peroxide)、螢石二氧化物(fluorite dioxide)、過氧化鋰、過氧化鋇、氟、氯、硝酸、硝酸鹽化合物、硫酸、過氧二硫酸、過氧單硫酸、亞氯酸鹽(chlorite)、氯酸鹽、過氯酸鹽、鹵素化合物、次氯酸鹽、次鹵酸鹽化合物、家用漂白劑、六價鉻化合物、鉻酸、二鉻酸、三氧化鉻、氯鉻酸吡啶鹽(pyridinium chlorochromate)、鉻酸鹽化合物、二鉻酸鹽化合物、過錳酸鹽化合物、過錳酸鉀、過硼酸鈉、氧化亞氮、硝酸鉀、鉍酸鈉或此等的任一組合。

【第23項】如請求項19之構成一電極的方法，其中該溶液被加熱至一溫度為大約50℃至大約200℃。

【第24項】如請求項19之構成一電極的方法，其中該第二溶劑和該第三溶劑的至少一者包含有：甲酸、正丁醇、異丙醇、正丙醇、乙醇、甲醇、乙酸、水或此等的任一組合。

【第25項】如請求項19之構成一電極的方法，其中該酸包括一弱酸，該弱酸包括：甲酸、乙酸、三氯乙酸、氫氟酸、氫氰酸、硫化氫或此等的任一組合。

【第26項】如請求項19之構成一電極的方法，進一步包括將該多孔洞氧化石墨烯架構壓製到一金屬泡棉上，該金屬泡棉包含有：鋼、不鏽鎳、鋁、銅、鉍、鉻、鈷、鎵、金、鐵、銦、鉛、鎂、汞、銀、鈉、錫、鈦、鋅、鋯、青

銅或此等的任一組合。

【第27項】如請求項19之構成一電極的方法，進一步包括將該多孔洞氧化石墨烯架構沉積在一電流收集器之上，該電流收集器包含有：

a) 一金屬薄膜，其包含有：銀、銅、金、鋁、鈣、鎢、鋅、鎢、黃銅、青銅、鎳、鋰、鐵、鉑、錫、碳鋼、鉛、鈦、不鏽鋼、汞、鉻、砷化鎵，或此等的任一組合；或

b) 一聚合物薄膜，其包含有：聚芴、聚伸苯、聚芘、聚薁、聚萘、聚乙炔、聚對苯乙烯(poly p-phenylene vinylene)、聚吡咯、聚咔唑、聚吲哚、聚吖呯(polyazepinem)、聚苯胺、聚噻吩、聚3,4-乙烯基二氧噻吩(poly 3,4-ethylenedioxythiophene)、聚對苯硫醚、聚乙炔、聚對苯乙烯，或此等的任一組合。

【第28項】一種構成如請求項1之電極的方法，該電極進一步含一超高硫含量，該方法包括：

a) 合成氧化石墨烯，包括：

i) 形成一氧化石墨烯懸浮液；以及

ii) 乾燥該懸浮液；以及

b) 從該氧化石墨烯來合成一複合硫-氧化石墨烯，包括：

i) 添加一硫前驅物至該氧化石墨烯懸浮液與一第一溶劑；

ii) 添加一第一酸以形成一第一溶液；

iii) 攪拌該第一溶液；

iv) 添加一第二酸至該第一溶液以形成一第二溶液；

v) 加熱該第二溶液；

vi) 在一第二溶劑內清洗該第二溶液；以及

vii) 冷凍乾燥該第二溶液。

【第29項】如請求項28的方法，其中該硫前驅物包括：硫代硫酸鈉、鹼性硫代硫酸鈉、硫代硫酸銨、硫代硫酸鋇、硫代硫酸鈣、硫代硫酸鈉金(I)脫水物、硫代硫酸鉀、一硫酸鹽，或此等的任一組合。

【第30項】如請求項28的方法，其中該第一溶劑和該第二溶劑的至少一者包括：甲酸、正丁醇、異丙醇、正丙醇、乙醇、甲醇、乙酸、水、去離子水或此等的任一組合。

【第31項】如請求項28的方法，其中該第一酸包括：過氯酸、氫碘酸、氫溴酸、氫氯酸、硫酸、對甲苯磺酸、甲磺酸，或此等的任一組合。

【第32項】如請求項28的方法，其中該第二酸包括：甲酸、抗壞血酸、乙酸、三氯乙酸、氫氟酸、氫氰酸、硫化氫，或此等的任一組合。

【第33項】如請求項28的方法，其中該硫前驅物的濃度係自大約0.5 M至大約2 M被調控以控制該電極的負載比。

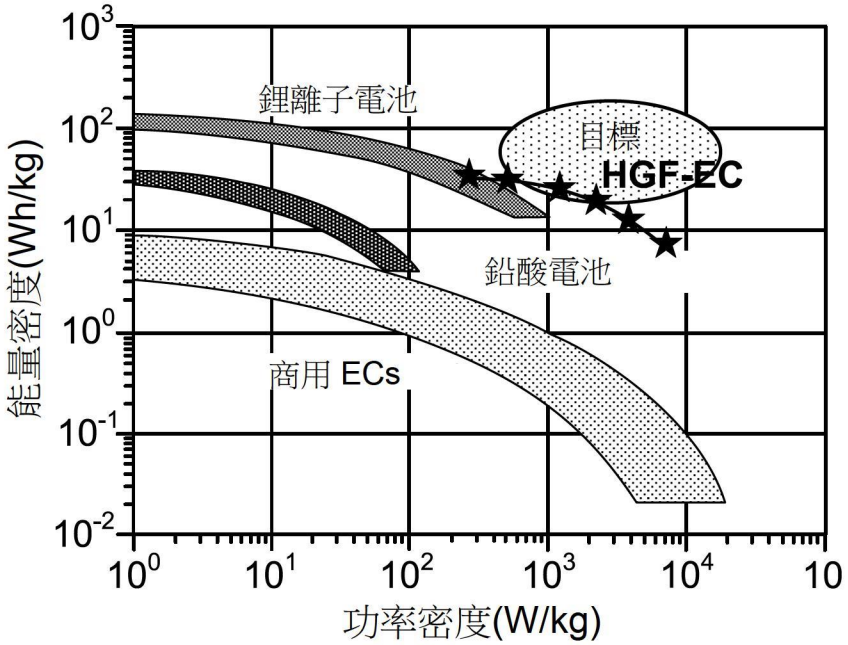
【第34項】如請求項28的方法，其中該氧化石墨烯懸

浮液的濃度是大約1.2 g/L至大約4.6 g/L。

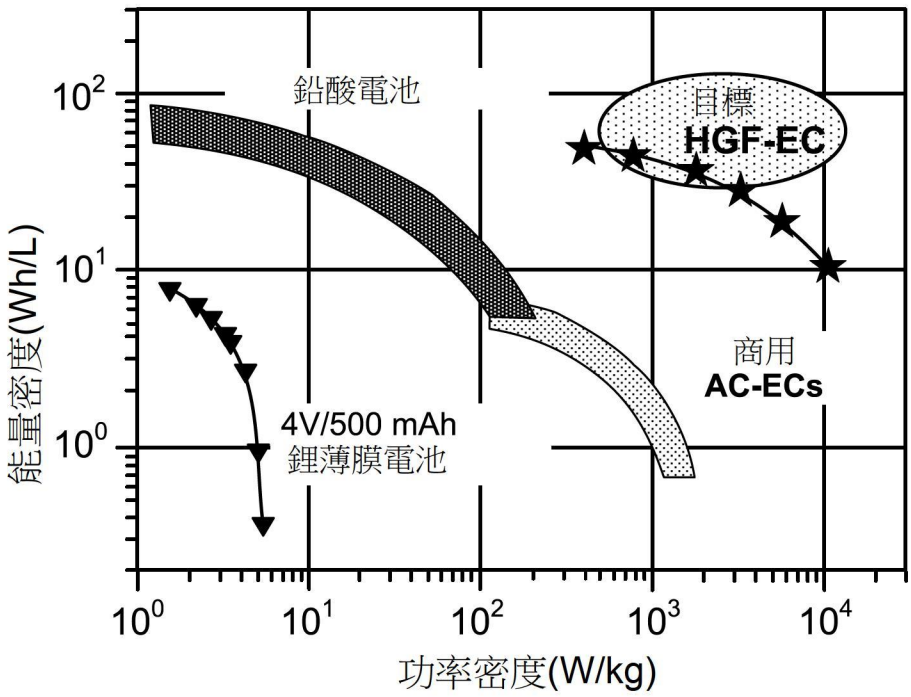
【第35項】如請求項28的方法，其中該第一酸和該第二酸的至少一者的濃度是從大約0.5 M至大約4 M。

【第36項】如請求項28的方法，其中該第二溶液是在一為大約47℃至大約190℃的溫度下被加熱。

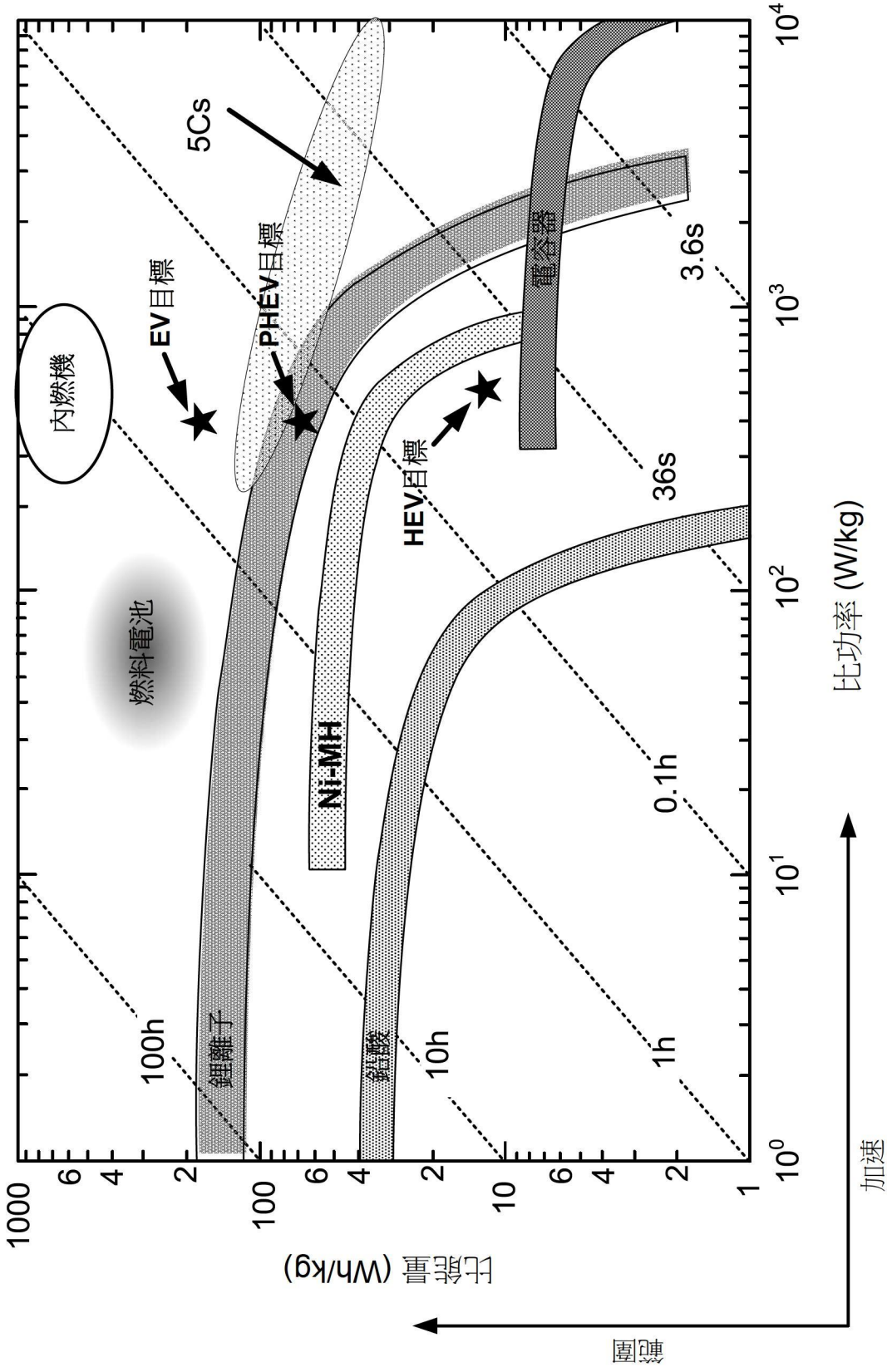
【發明圖式】


鋰離子電池
目標
HGF-EC
鉛酸電池
商用 ECs
能量密度(Wh/kg)
功率密度(W/kg)

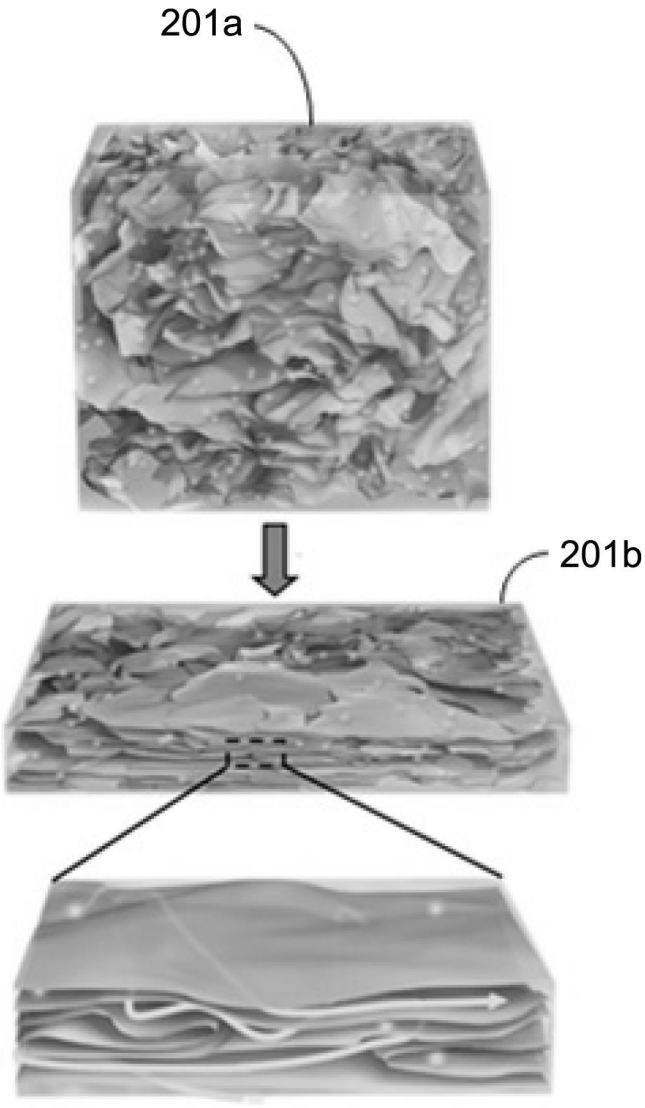
【圖1A】


鉛酸電池
目標
HGF-EC
商用
AC-ECs
4V/500 mAh
鋰薄膜電池
能量密度(Wh/L)
功率密度(W/kg)

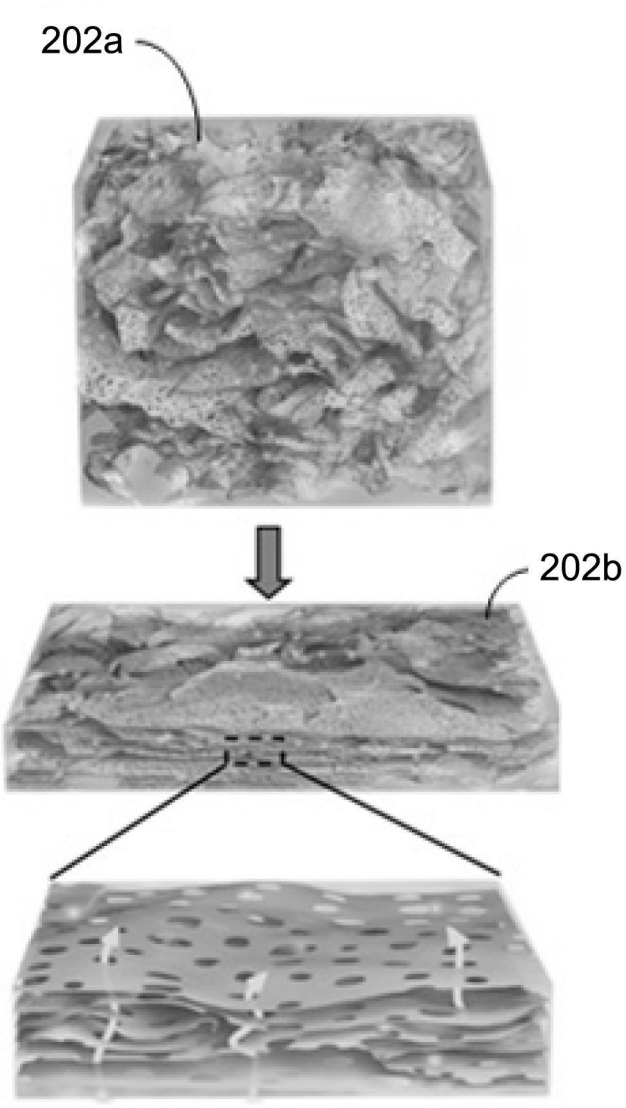
【圖1B】


比能量 (Wh/kg)
比功率 (W/kg)
範圍
加速
內燃機
燃料電池
鋰離子
鉛酸
Ni-MH
超級電容
EV目標
PHEV目標
HEV目標
5Cs
100h
10h
1h
0.1h
36s
3.6s
1000
100
10
1
10^0
10^1
10^2
10^3
10^4

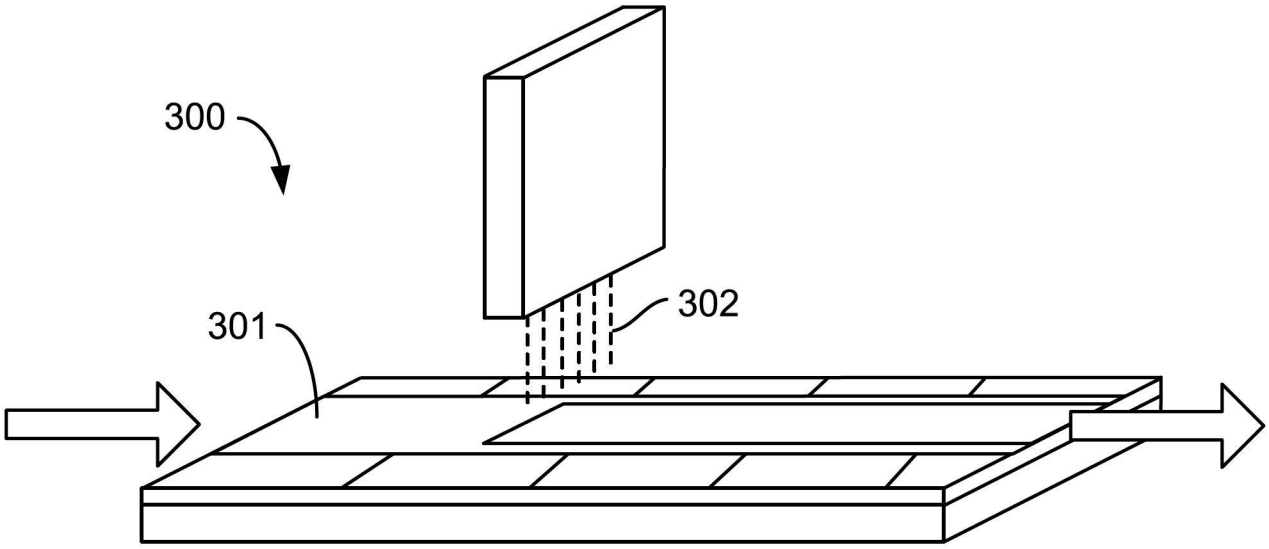
【圖1C】



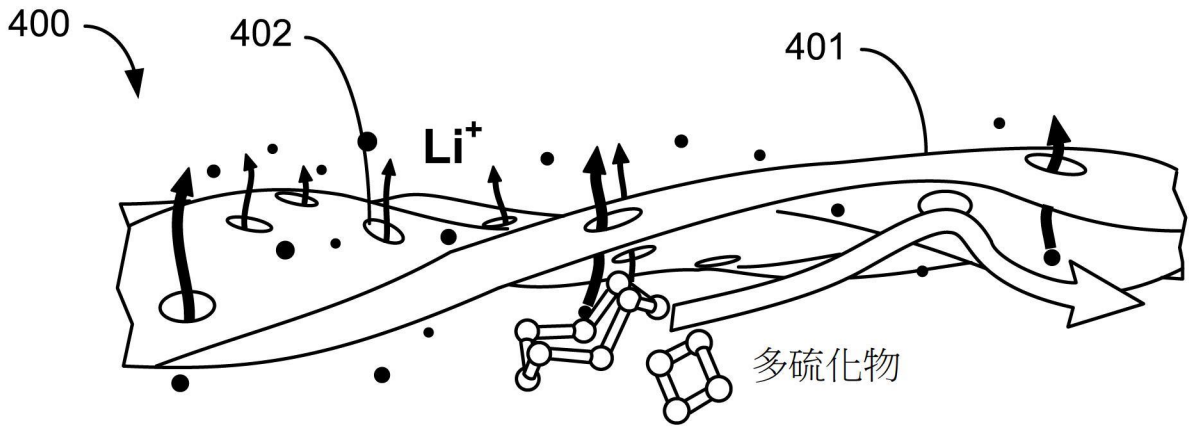
【圖2A】



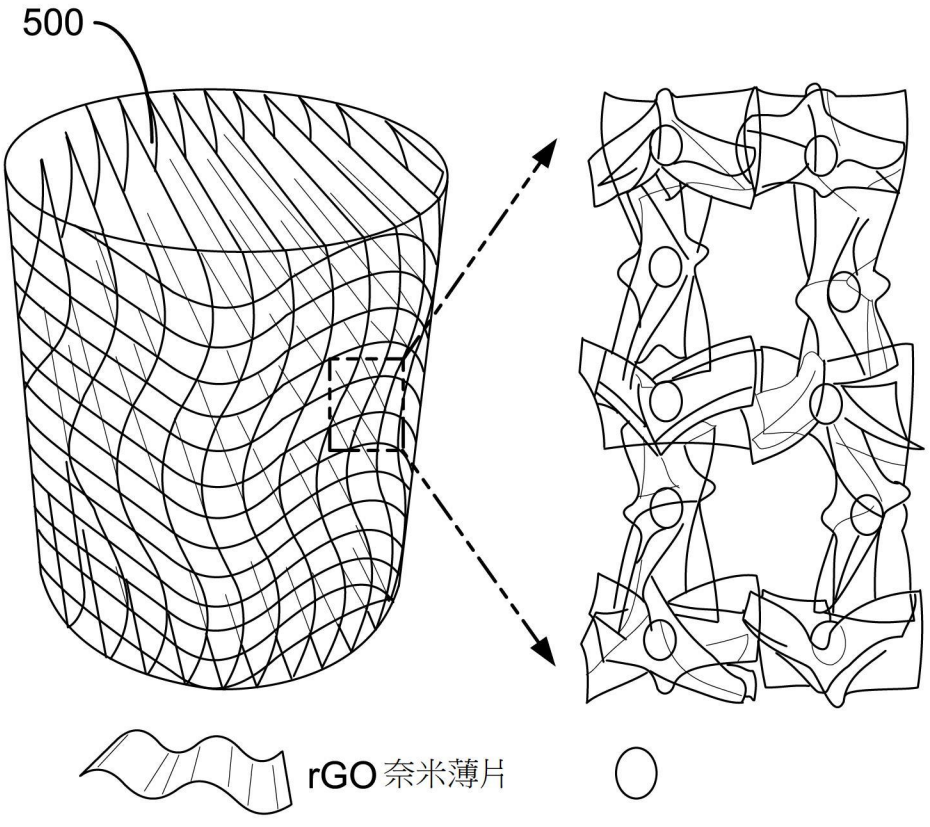
【圖2B】



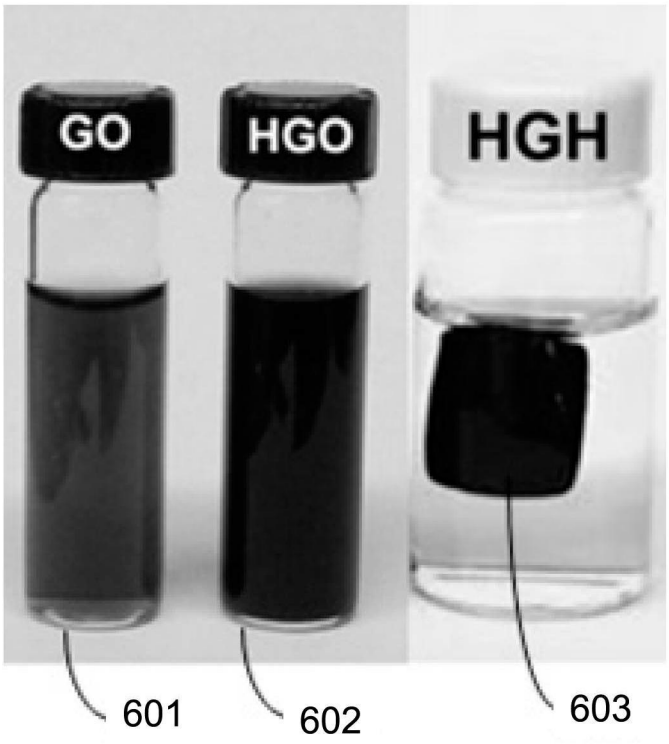
【圖3】



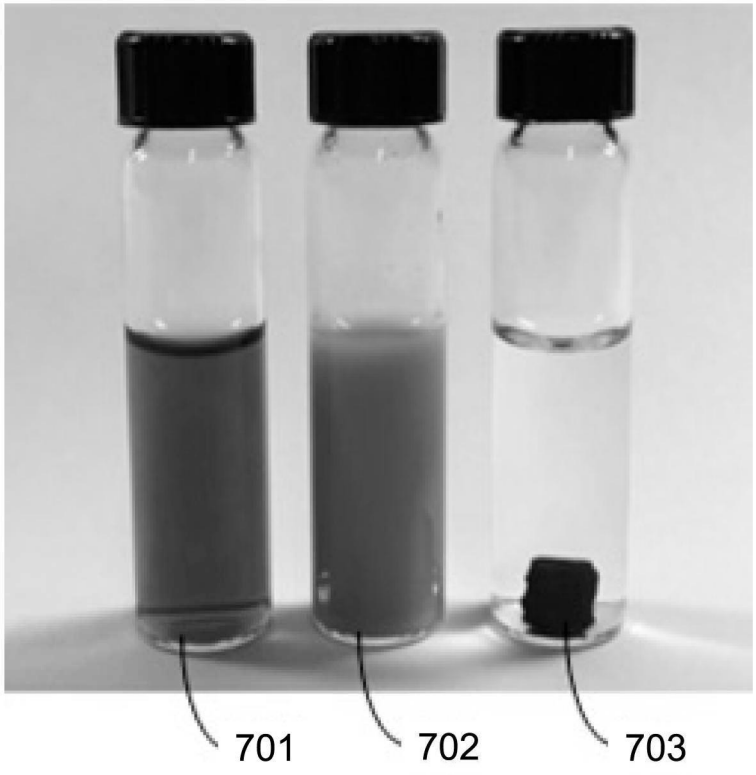
【圖4】



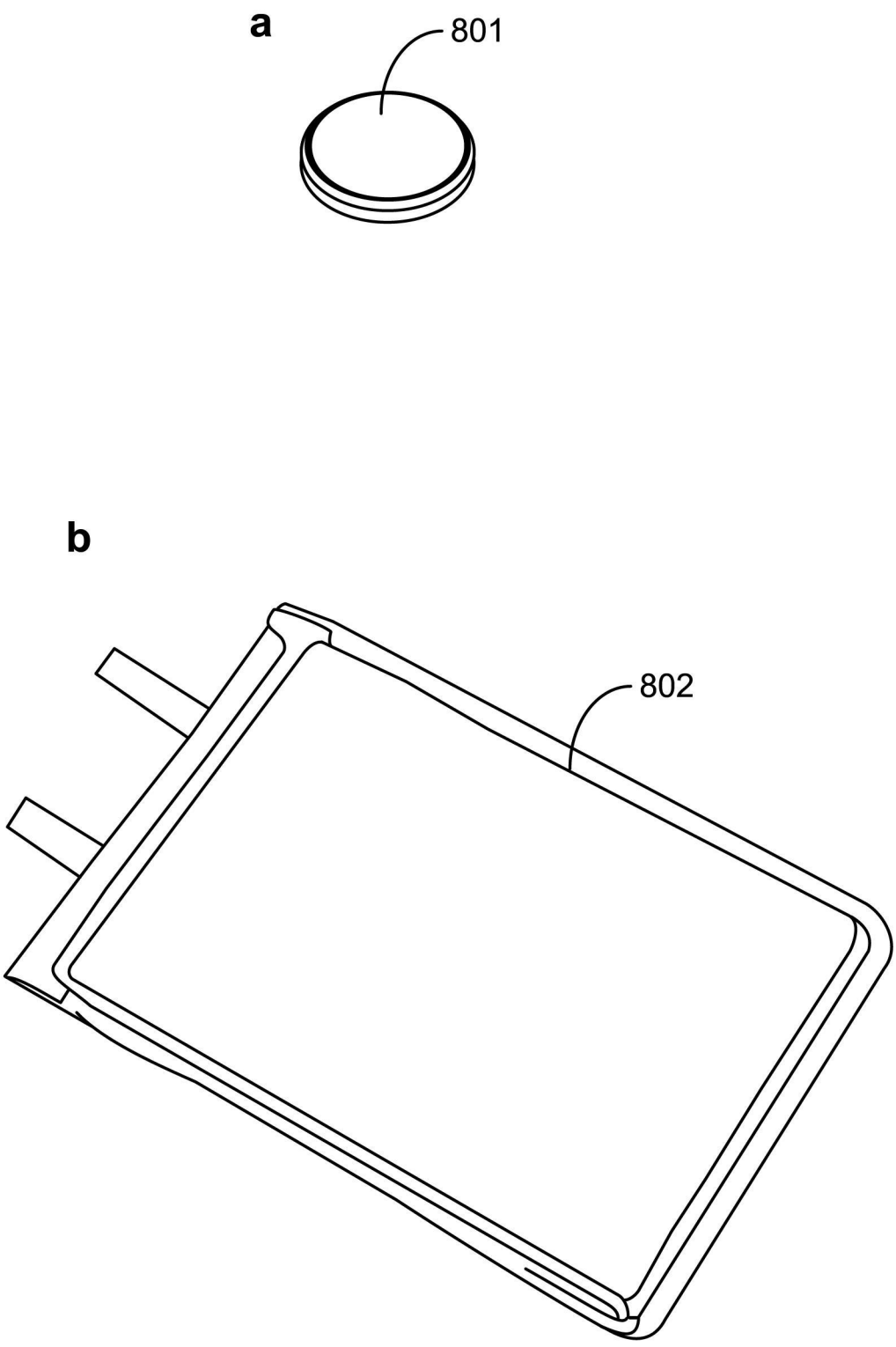
【圖5】



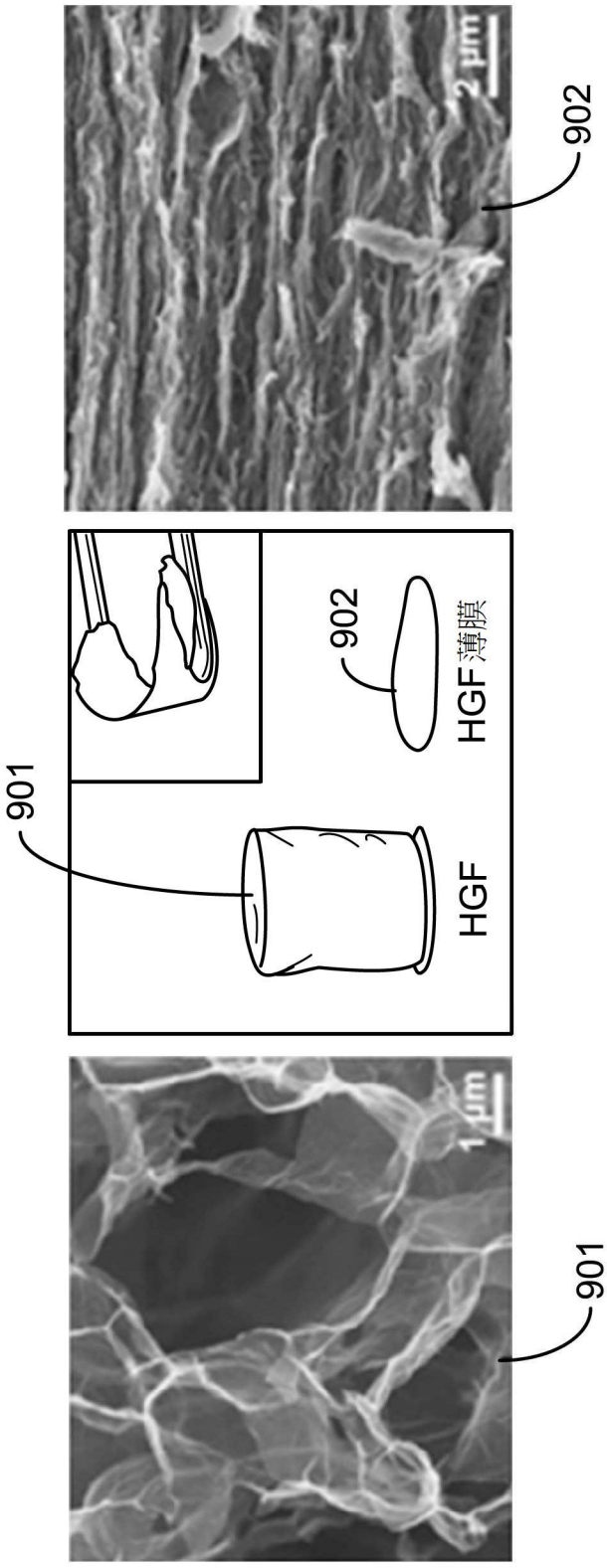
【圖6】



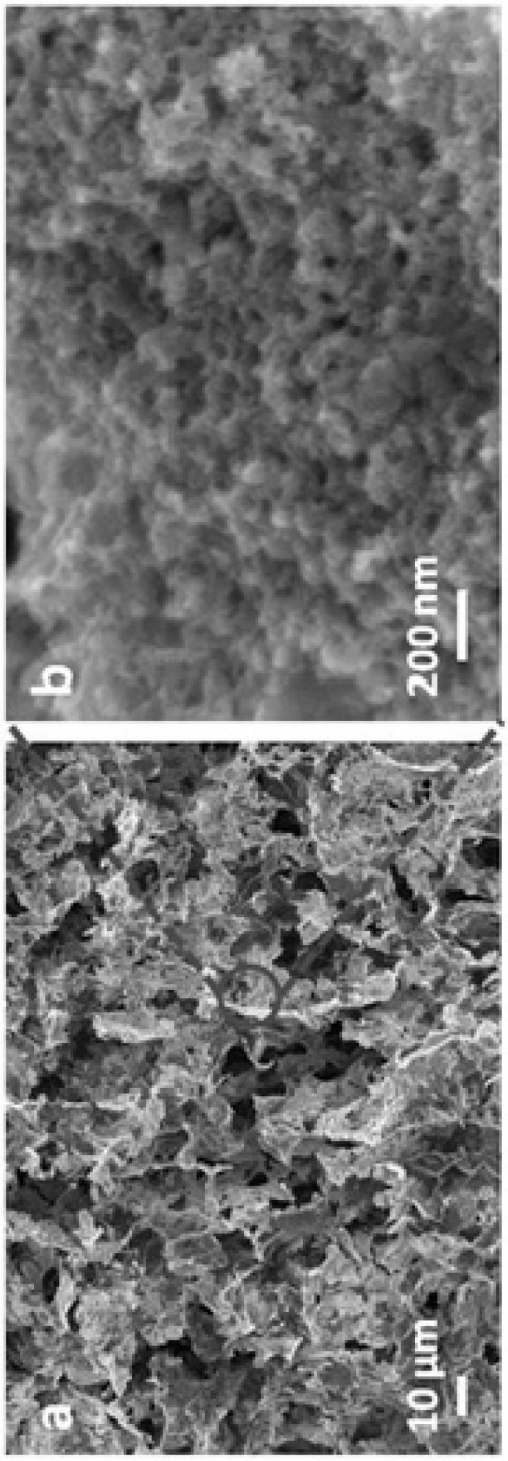
【圖7】



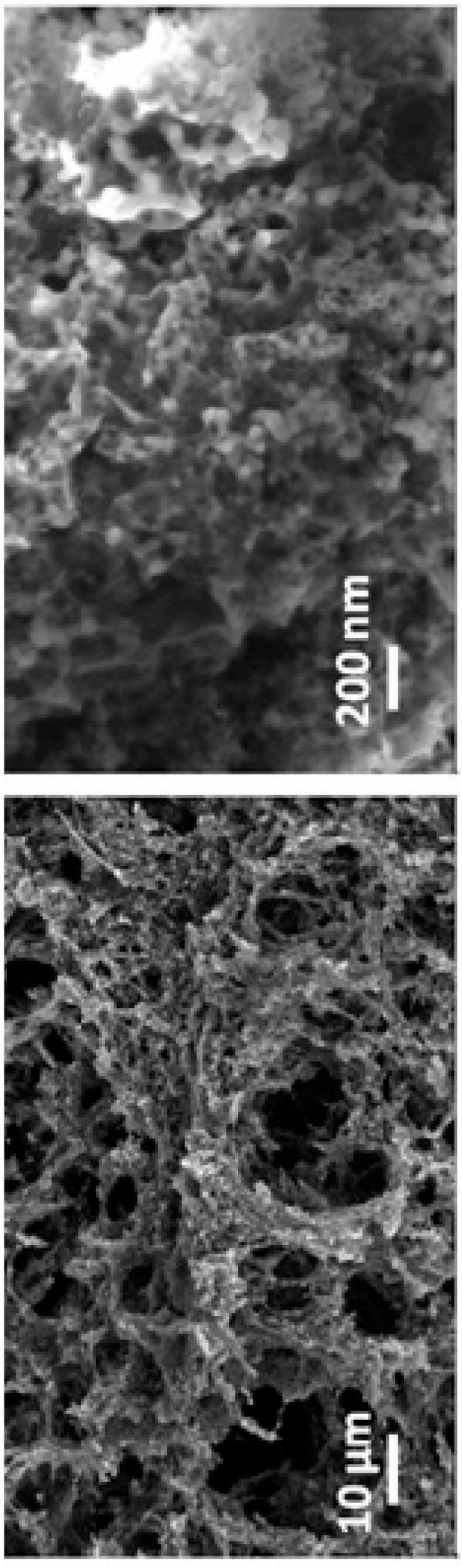
【圖8】



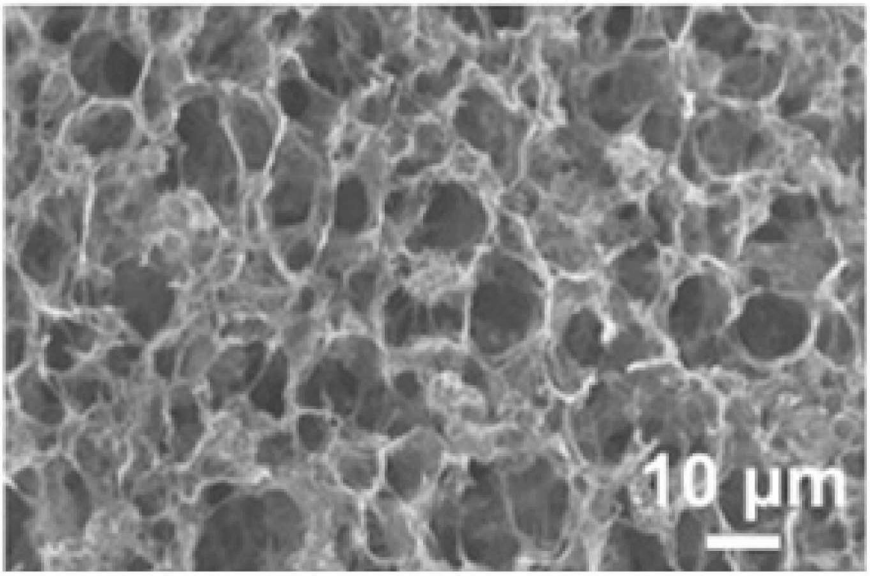
【圖9】



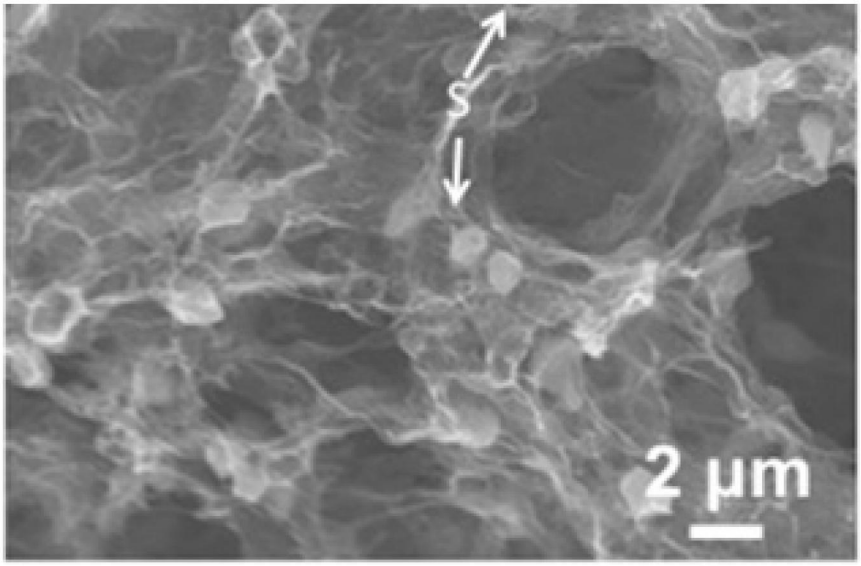
【圖10】



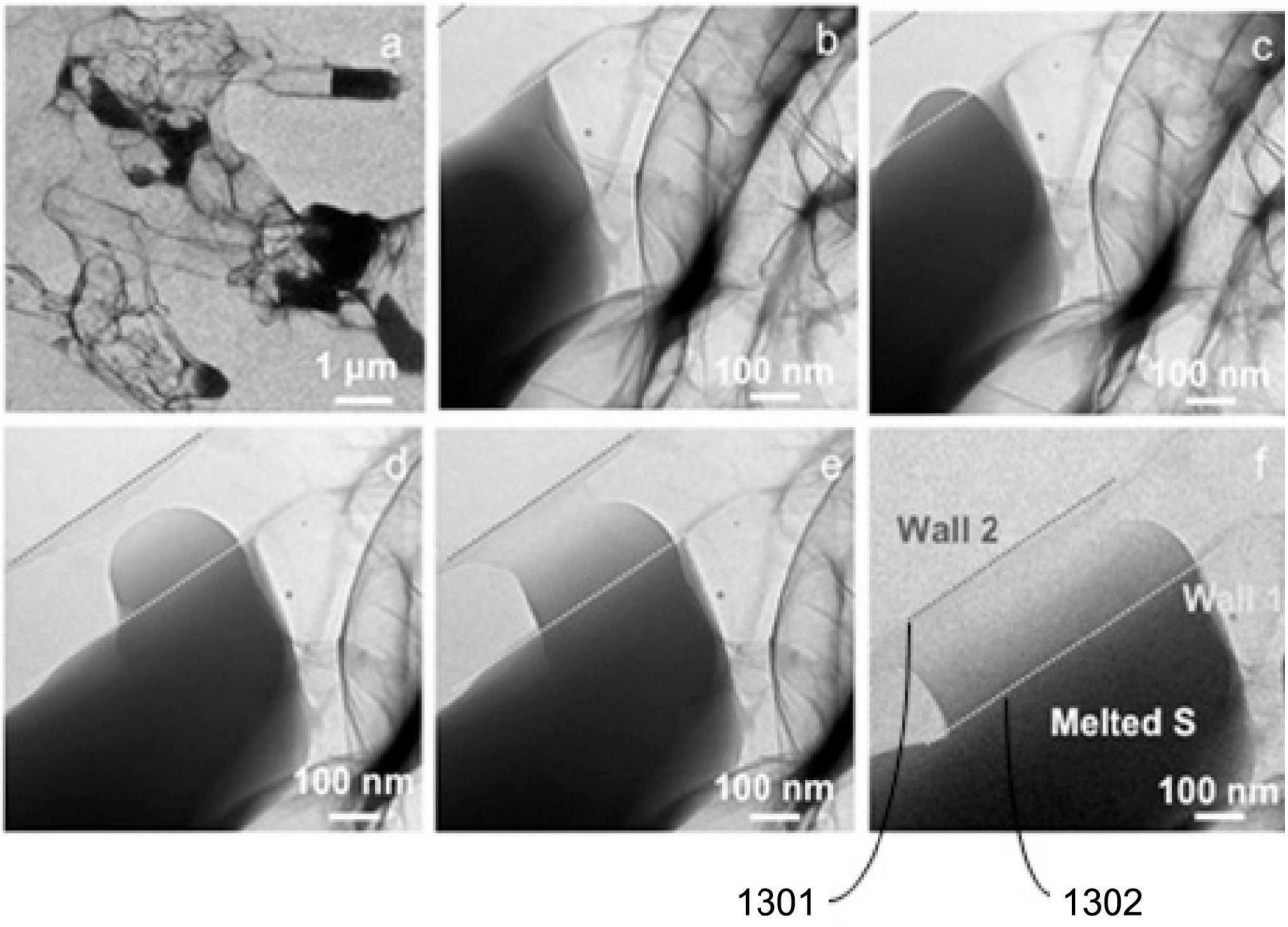
【圖11】



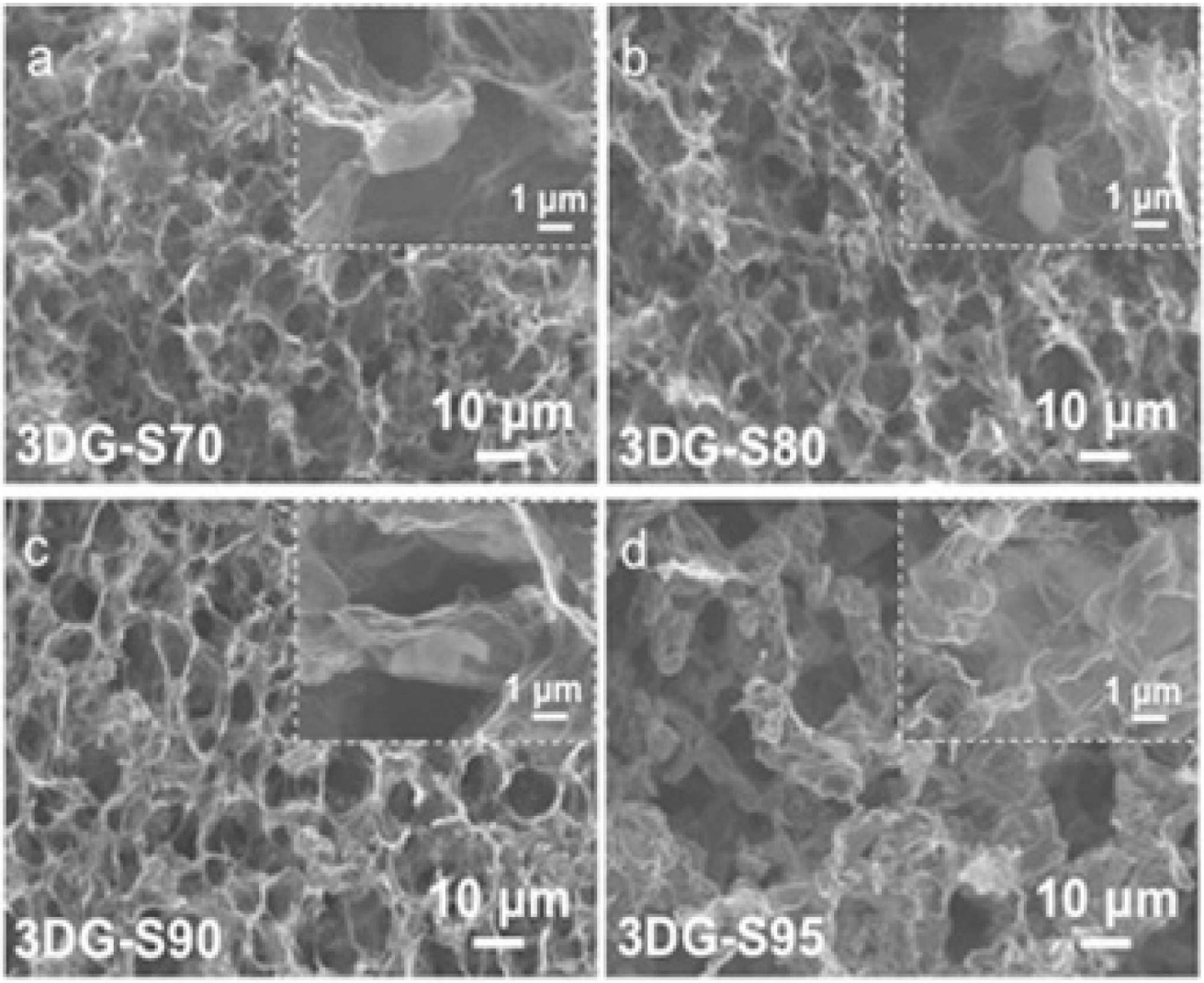
【圖12A】



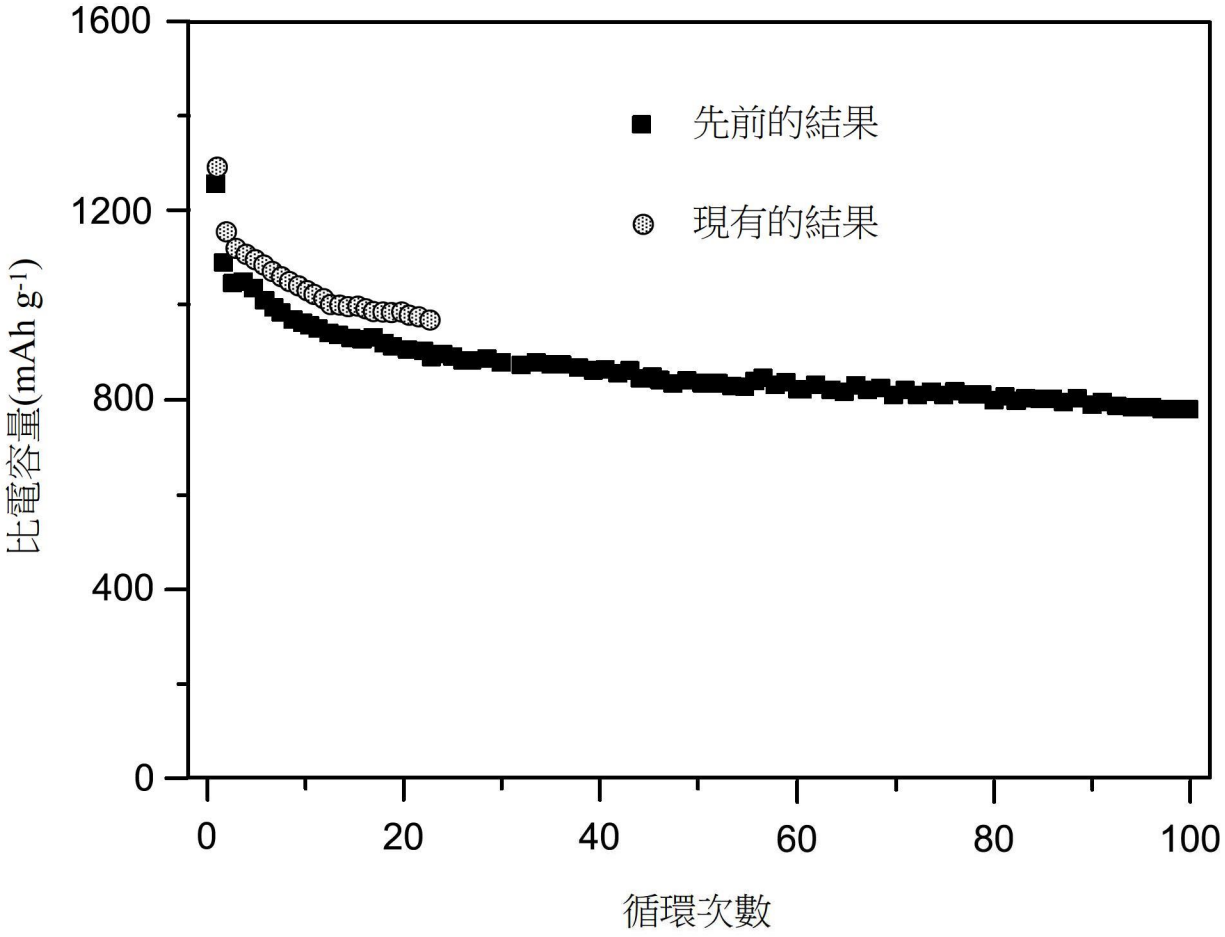
【圖12B】


a
1 μm
b
100 nm
c
100 nm
d
100 nm
e
100 nm
f
Wall 2
Wall 1
Melted S
100 nm
1301
1302

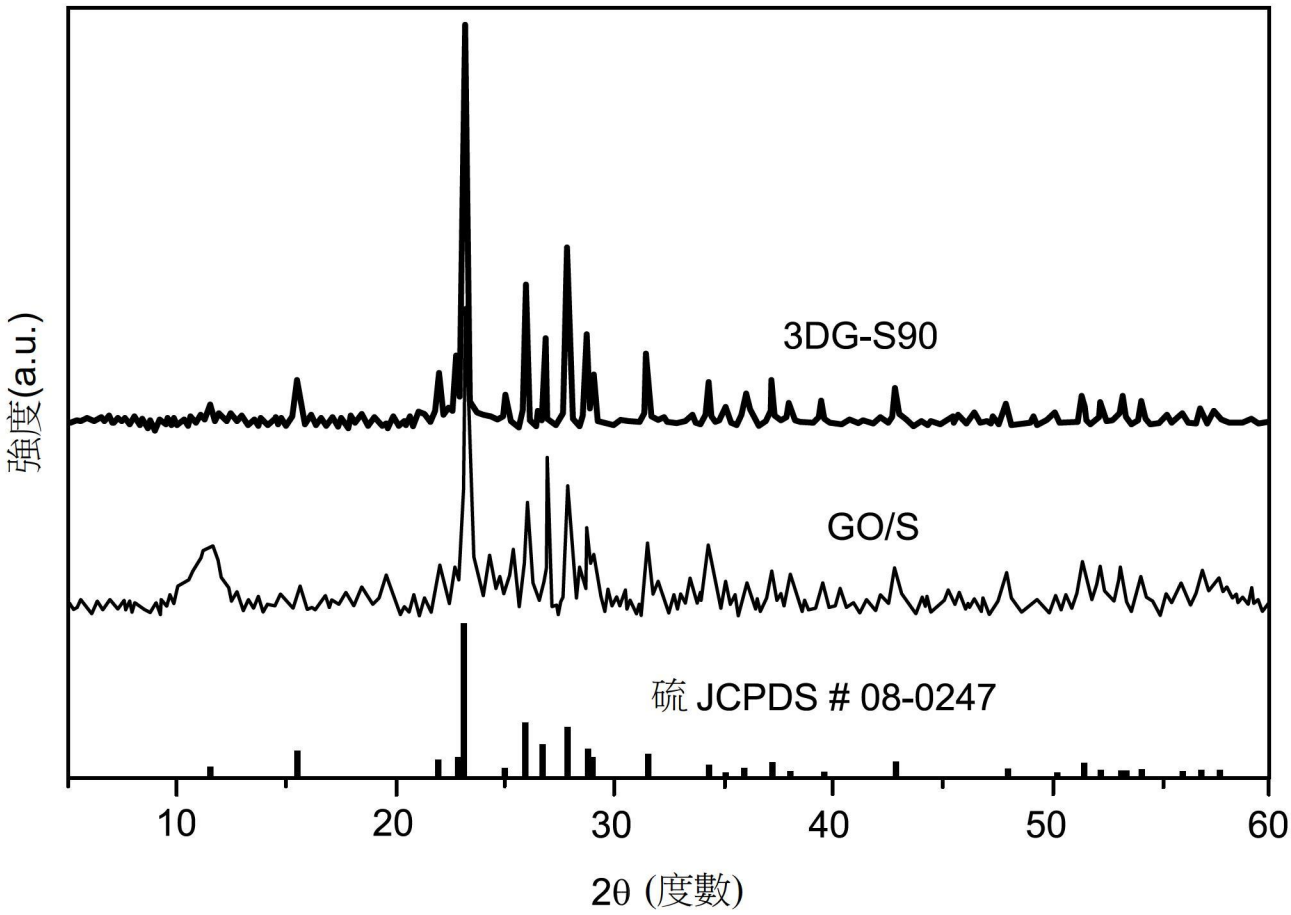
【圖13】


a
1 μm
10 μm
3DG-S70
b
1 μm
10 μm
3DG-S80
c
1 μm
10 μm
3DG-S90
d
1 μm
10 μm
3DG-S95

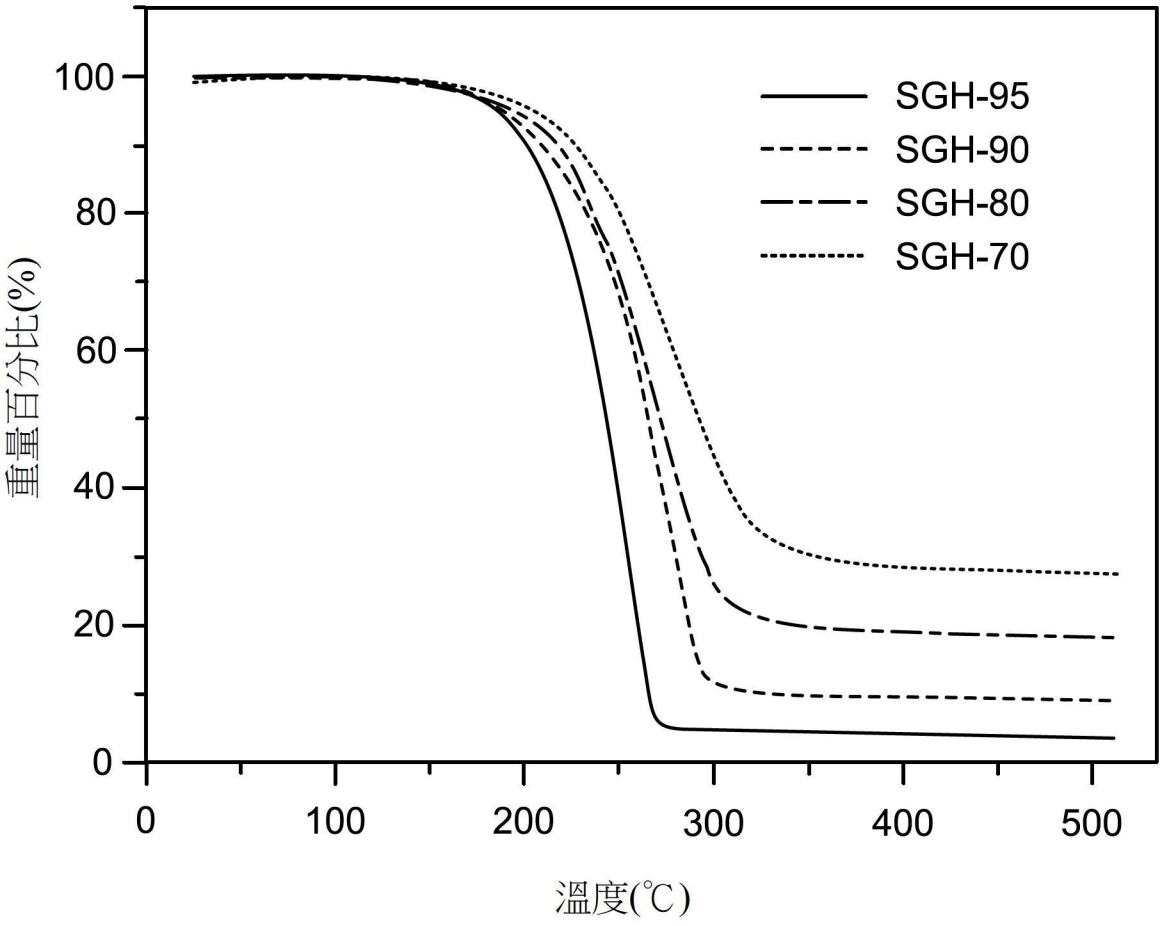
【圖14】


1600
1200
800
400
0
比電容量(mAh g-1)
0
20
40
60
80
100
循環次數
先前的結果
現有的結果

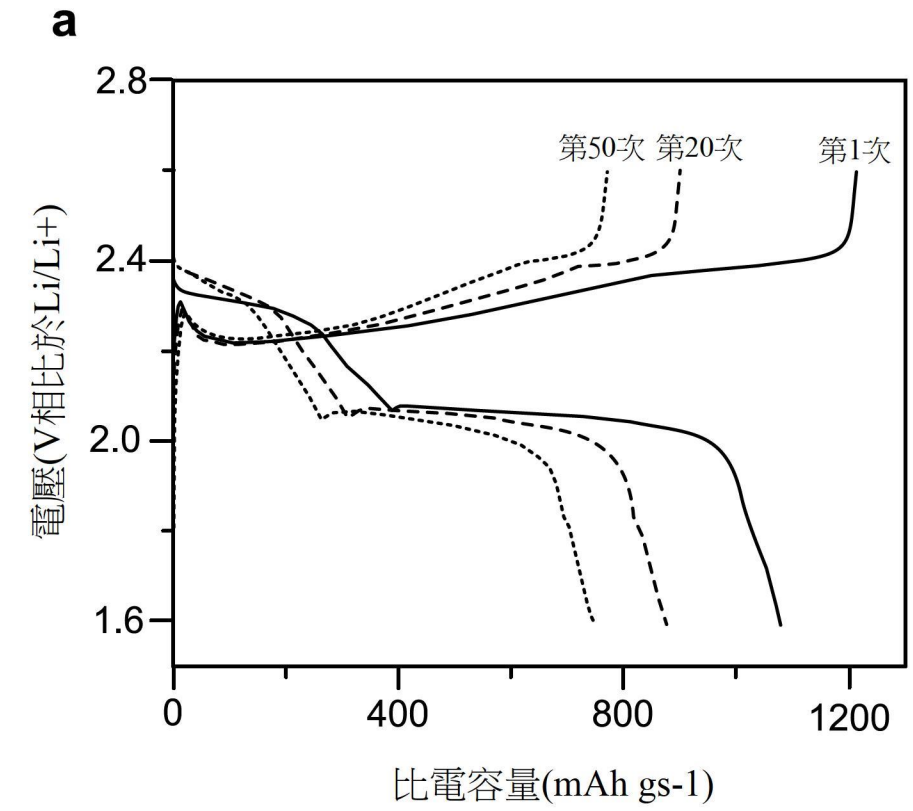
【圖15】

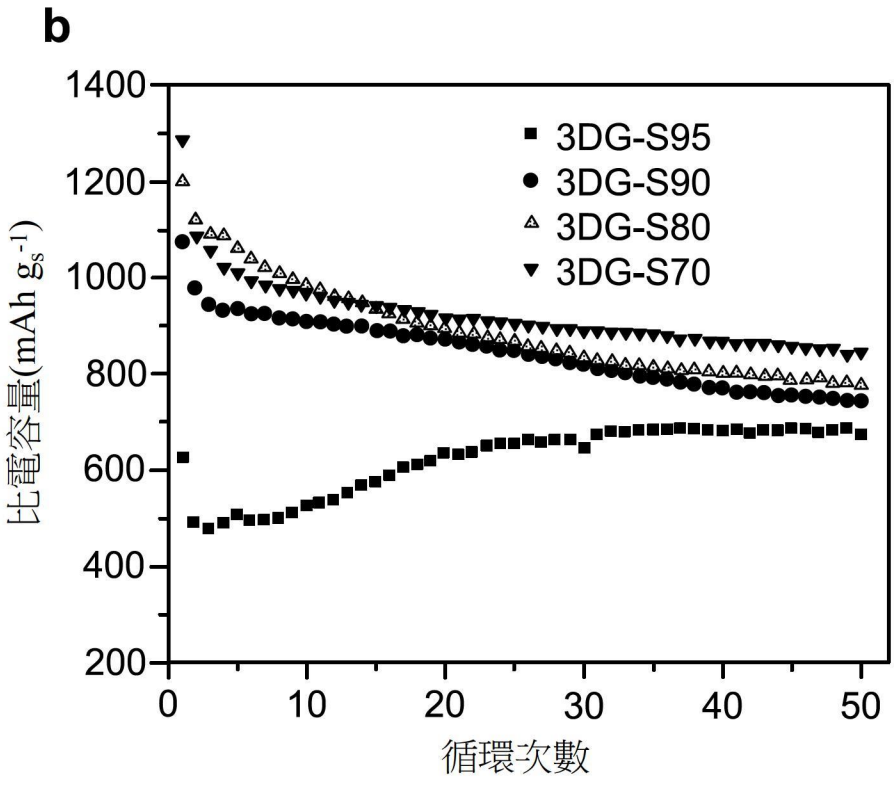


【圖16】

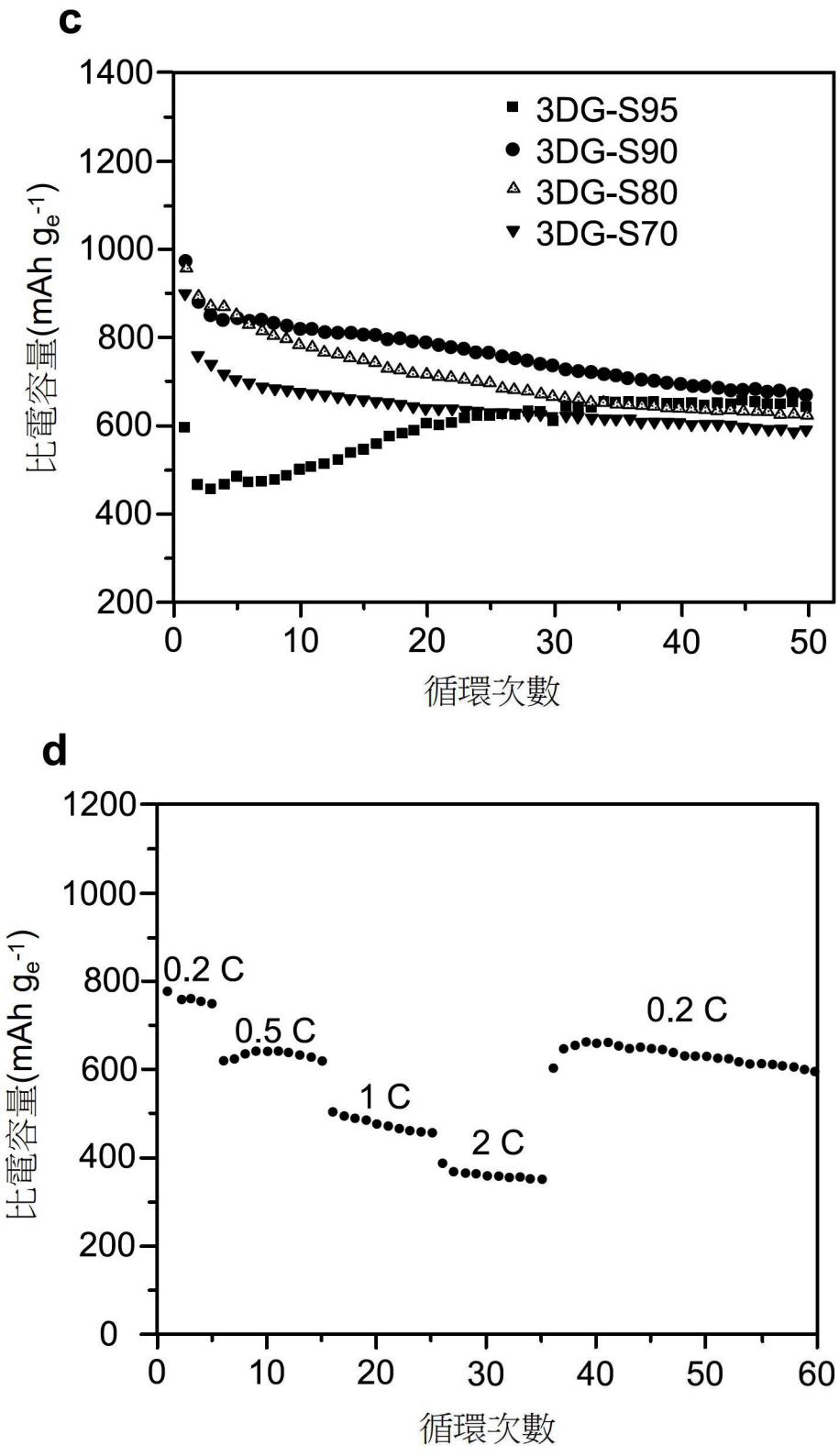

SGH-95
SGH-90
SGH-80
SGH-70
重量百分比(%)
溫度(℃)
100
80
60
40
20
0
0
100
200
300
400
500

【圖17】

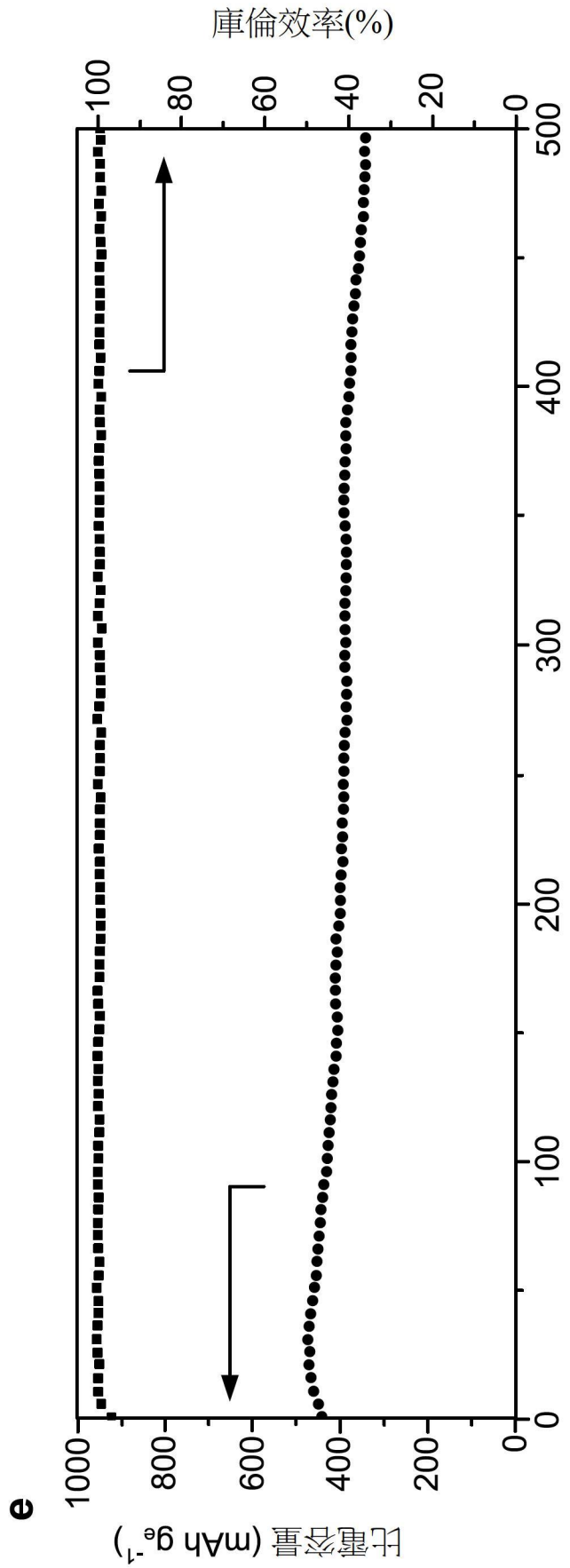

a
2.8
2.4
2.0
1.6
電壓(V相比於Li/Li+)
第50次
第20次
第1次
0
400
800
1200
比電容量(mAh gs-1)


b
1400
1200
1000
800
600
400
200
比電容量(mAh gs-1)
3DG-S95
3DG-S90
3DG-S80
3DG-S70
0
10
20
30
40
50
循環次數

【圖18】


c
1400
1200
1000
800
600
400
200
比電容量(mAh ge-1)
0
10
20
30
40
50
循環次數
3DG-S95
3DG-S90
3DG-S80
3DG-S70
d
1200
1000
800
600
400
200
0
比電容量(mAh ge-1)
0
10
20
30
40
50
60
循環次數
0.2 C
0.5 C
1 C
2 C
0.2 C

【圖18】


庫倫效率(%)
100
80
60
40
20
0
500
400
300
200
100
0
循環次數
e
1000
800
600
400
200
0
比電容量 (mAh ge-1)

【圖18】