



(21) 申請案號：112126754

(22) 申請日：中華民國 112 (2023) 年 07 月 18 日

(51) Int. Cl. : F15B15/14 (2006.01)

F15B15/20 (2006.01)

H02N10/00 (2006.01)

(30) 優先權：2022/07/20

美國

63/390,734

(71) 申請人：加拿大商水文歷線清潔能源公司 (加拿大) HYDROGRAPH CLEAN POWER INC.

(CA)

加拿大

(72) 發明人：狄維高皮塔雅 朗吉特 DIVIGALPITIYA, RANJITH (CA) ; 王 俊 WANG, JUN

(CA)

(74) 代理人：閻啓泰；林景郁

申請實體審查：無 申請專利範圍項數：15 項 圖式數：13 共 36 頁

(54) 名稱

包括導電多孔材料之致動器

(57) 摘要

本發明提供一種致動器裝置，其包含一封閉體積區，該封閉體積區由一外殼本體及一可移動表面界定，使得該封閉體積區之至少一部分可自一初始體積狀態膨脹至一放大體積狀態。一導電多孔材料安置於該封閉體積區中，其中該導電多孔材料具有約 0.5 mg/cc 至約 100 mg/cc 之一質量密度，且其中至少約 90% 之該導電多孔材料為一含碳材料。一第一電極及一第二電極經配置以使一電流穿過該導電多孔材料。當一電流穿過該導電多孔材料時，安置於該封閉體積區中之空氣膨脹且使該可移動表面移位。亦描述一種使一致動器裝置中之一可移動表面移位的方法。

An actuator device comprises an enclosed volume region defined by a housing body and a movable surface, such that at least a portion of the enclosed volume region is expandable from an initial volume state to an enlarged volume state. An electrically conductive porous material is disposed in the enclosed volume region, wherein the electrically conductive porous material has a mass density of from about 0.5 mg/cc to about 100 mg/cc, and wherein at least about 90% of the electrically conductive porous material is a carbonaceous material. A first electrode and a second electrode are configured to pass an electric current through the electrically conductive porous material. When an electric current is passed through the electrically conductive porous material, air disposed in the enclosed volume region expands and displaces the movable surface. A method of displacing a movable surface in an actuator device is also described.

指定代表圖：

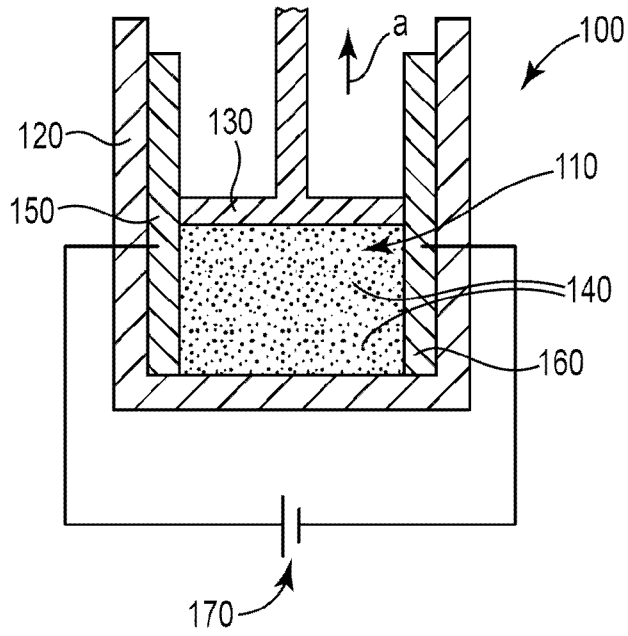


圖1

符號簡單說明：

100:致動器

110:封閉體積區

120:外殼本體

130:可移動表面

140:導電多孔材料

150:第一電極

160:第二電極

170:DC 電壓源

a:向上方向

【發明摘要】

【中文發明名稱】 包括導電多孔材料之致動器

【英文發明名稱】 ACTUATOR COMPRISING ELECTRICALLY
CONDUCTIVE POROUS MATERIAL

【中文】

本發明提供一種致動器裝置，其包含一封閉體積區，該封閉體積區由一外殼本體及一可移動表面界定，使得該封閉體積區之至少一部分可自一初始體積狀態膨脹至一放大體積狀態。一導電多孔材料安置於該封閉體積區中，其中該導電多孔材料具有約0.5 mg/cc至約100 mg/cc之一質量密度，且其中至少約90%之該導電多孔材料為一含碳材料。一第一電極及一第二電極經配置以使一電流穿過該導電多孔材料。當一電流穿過該導電多孔材料時，安置於該封閉體積區中之空氣膨脹且使該可移動表面移位。亦描述一種使一致動器裝置中之一可移動表面移位的方法。

【英文】

An actuator device comprises an enclosed volume region defined by a housing body and a movable surface, such that at least a portion of the enclosed volume region is expandable from an initial volume state to an enlarged volume state. An electrically conductive porous material is disposed in the enclosed volume region, wherein the electrically conductive porous material has a mass density of from about 0.5 mg/cc to about 100 mg/cc, and wherein at least about 90% of the electrically conductive porous material is a carbonaceous material. A first electrode and a second electrode are configured to pass an electric current through the electrically conductive porous

material. When an electric current is passed through the electrically conductive porous material, air disposed in the enclosed volume region expands and displaces the movable surface. A method of displacing a movable surface in an actuator device is also described.

【指定代表圖】 圖1

【代表圖之符號簡單說明】

100:致動器

110:封閉體積區

120:外殼本體

130:可移動表面

140:導電多孔材料

150:第一電極

160:第二電極

170:DC電壓源

a:向上方向

【特徵化學式】

無

【發明說明書】

【中文發明名稱】 包括導電多孔材料之致動器

【英文發明名稱】 ACTUATOR COMPRISING ELECTRICALLY
CONDUCTIVE POROUS MATERIAL

【技術領域】

【0001】 本發明係關於致動器。更特定而言，本申請案係關於包含導電多孔材料之致動器。

【先前技術】

【0002】 致動器為藉由將能量（諸如電氣、氣動或液壓）轉換成機械力來達成物理移動的裝置或機器之一部分。機械致動器在宏觀等級上通常為氣動、液壓或流體。其他類型之致動器（被稱為軟致動器，諸如電活性聚合物，或電化學系統）通常以較小規模操作且用對外部刺激（譬如，電、pH、離子濃度及光）作出反應的材料製成。在一些情況下，電致動器使用馬達。歷史上，蒸汽用於將熱能轉換成機械能。此外，已貫穿兩世紀使用內燃機以用於將能量相近之轉換成機械力。

【0003】 氣動致動器描述於美國專利第7,331,273號，其中致動器具有可撓性板，該可撓性板由剛性可撓性材料製成。氣動致動器進一步包括至少兩個細長、可撓性但不可充分延伸之氣動壓力管道，此氣動壓力管道並排安置且局部連接至可撓性板，此氣動壓力管道被緊固至該可撓性板且在該可撓性板上以此方式排列：當壓力管道用壓縮氣體加壓時，平行於可撓性板產生切向力，從而造成該可撓性板彎曲。

【0004】 美國專利10,465,723號描述一種軟機器人裝置，其包括具有寬度、

長度及厚度之可撓性本體，其中厚度為至少1 mm，該可撓性本體具有安置於可撓性本體內之至少一個通道，該通道由上部、下部及側壁界定，其中至少一個壁為應變限制；及與該至少一個通道流體連通之加壓入口，該至少一個通道經定位及排列使得與應變限制壁相對之壁在軟機器人裝置經由入口加壓時優先膨脹。用於操作軟機器人裝置之壓力源僅通常經論述為包括微壓縮機及水電解器。

【0005】 高效能氧化石墨烯機電致動器描述於WO 2013/029094中，其中該致動器包含在電荷注入時伸長及/或收縮之氧化石墨烯。氧化石墨烯可具有鋸齒形配置，藉此氧化石墨烯之氧原子沿著石墨烯晶格之鋸齒形方向或臂式配置對準，藉此氧化石墨烯之氧原子沿著石墨烯晶格之臂形方向對準。如本文中所描述之致動器藉由氧化石墨烯自身在電荷注入時之物理伸長率及/或收縮來操作。

【發明內容】

【0006】 致動器裝置包含封閉體積區，該封閉體積區由外殼本體及可移動表面界定，使得該封閉體積區之至少一部分可自初始體積狀態膨脹至放大體積狀態。導電多孔材料安置於封閉體積區中，其中導電多孔材料具有約0.5 mg/cc至約100 mg/cc之質量密度，且其中至少約90%之導電多孔材料為含碳材料。第一電極及第二電極經配置以使電流穿過導電多孔材料。當電流穿過導電多孔材料時，安置於封閉體積區中之空氣膨脹且使可移動表面移位。亦描述一種使致動器裝置中之可移動表面移位的方法。

【0007】 如本文中所描述之致動器有利地經配置以在無習知致動器中可需要的閥、燃燒裝置、排氣裝置及齒輪或多個入口及出口之管理的情況下操作。消除諸如習知必需的過量機械組件有益於減小在致動器之操作期間產生的大小、重量及噪音。特定而言，單獨減小大小及/或重量可顯著降低例如在用於汽車及航空應用中之致動器中的能量消耗。噪音產生的減少尤其有利，因為噪音污

染為一嚴重問題。

【0008】 由於本發明致動器藉由使電流穿過導電多孔材料以使安置於封閉體積區中之空氣膨脹而起作用，因此例如內燃機之操作不會產生不合需要的副產物。因此，相較於某些習知致動器之操作，本發明致動器可向環境提供相當大的益處。此外，本發明致動器僅藉由空氣膨脹來操作，且因此不含可能對工人造成健康風險或由於流體洩漏及腐蝕而引起環境損害的可能有害的流體。另外，本發明致動器有利地並不含有可能有害的液壓流體，從而實質上降低涉及致動器之維護及修復的成本及時間。

【0009】 在一具體實例中，封閉體積區為閉合系統，其中在致動器之操作壽命期間實質上無空氣被引入至封閉體積區。在此具體實例中，不需要空氣控制入口或出口控制閥，藉此實質上簡化致動器之操作及維護。

【圖式簡單說明】

【0010】 專利或申請案文件含有至少一個彩製圖式。在請求且支付必要費用後，專利局將提供具有彩色圖式之本專利或專利申請公開案之複本。

【0011】 併入本申請案中且構成本申請案之一部分的隨附圖式繪示本發明之若干具體實例，且連同具體實例之描述一起用以解釋本發明之原理。圖式之簡要描述如下：

【0012】 [圖1]為具有在初始體積狀態中之封閉體積區的致動器之一具體實例的繪示。

【0013】 [圖2]為圖1中所展示之致動器之具體實例的繪示，其中封閉體積區處於放大體積狀態中。

【0014】 [圖3]為具有在初始體積狀態中之封閉體積區的致動器之一具體實例的繪示。

【0015】 [圖4]為圖3中所展示之致動器之具體實例的繪示，其中封閉體積區處於放大體積狀態中。

【0016】 [圖5]為沿線5-5截取的圖4中所展示之致動器之具體實例的截面圖。

【0017】 [圖6]為具有在初始體積狀態中之封閉體積區的致動器之一具體實例的繪示。

【0018】 [圖7]為圖6中所展示之致動器之具體實例的繪示，其中封閉體積區處於放大體積狀態中。

【0019】 [圖8a]係展示如本文中所描述之致動器中在5V之輸入電壓處所量測之溫度及力的圖表。

【0020】 [圖8b]係展示如本文中所描述之致動器中在9V之輸入電壓處所量測之溫度及力的圖表。

【0021】 [圖9]為具有封閉體積區之致動器之一具體實例的繪示。

【0022】 [圖10]為展示如本文中所描述之致動器中在輸入電壓處所量測之溫度及力的圖表。

【0023】 [圖11]為展示在如本文中所描述之致動器中重複加熱及冷卻循環時所量測之力的圖表。

【0024】 [圖12]為展示與致動器石墨烯粉末相比包含銅粉末之致動器中所量測之力之比較的圖表。

【0025】 [圖13]為展示與致動器石墨烯粉末相比包含碳黑粉末之致動器中所量測之力之比較的圖表。

【實施方式】

【0026】 下文所描述之本發明之具體實例並不意欲為窮盡性的或將本發

明限於以下詳細描述中所揭示之精確形式。實情為，所選擇及描述之具體實例的目的係作為繪示或實例，使得可促進所屬技術領域中具有通常知識者瞭解及理解本發明之一般原理及實踐。

【0027】 現移至諸圖，圖1及圖2繪示具有由外殼本體120及可移動表面130界定之封閉體積區110的致動器100之一具體實例。如所展示，可移動表面130經提供為可在外殼本體120內滑動同時維持與外殼本體120之氣密密封的活塞。藉由可移動表面130之移動，封閉體積區之至少一部分可自初始體積狀態膨脹至放大體積狀態。如圖1中所展示之致動器100呈初始體積狀態。

【0028】 如所展示，外殼本體為包含第一基底圓形基座之具有圓形橫截面的圓柱形本體，且可移動表面為裝配至圓柱形本體之圓形活塞。在替代具體實例中，外殼本體可具有任何所要橫截面形狀，諸如圓形、橢圓形、正方形、矩形、多邊形等，其中對應的活塞形狀經配置以可在外殼本體內滑動，同時維持與外殼本體之氣密密封。

【0029】 導電多孔材料140安置於封閉體積區110中。導電多孔材料140具有約0.5 mg/cc至約100 mg/cc之質量密度，且至少約90%之導電多孔材料為含碳材料。

【0030】 第一電極150及第二電極160經配置以使電流穿過導電多孔材料。第一電極150及第二電極160安置於外殼之相對部分上且面向封閉體積區。如所展示，第一電極150及第二電極160為安置於外殼之相對側面部分上的電極。如所展示，電流係使用DC電壓源170提供。替代地，電流可由AC電壓源提供。

【0031】 在使用中，跨越第一電極及第二電極施加一電位，藉此使電流穿過導電多孔材料，從而使得導電多孔材料藉由焦耳加熱而變熱。此加熱又顯著加熱封閉體積區中之空氣，從而使得空氣膨脹及使可移動表面在向上方向a上移位，從而使封閉體積區自如圖1中所展示之初始體積狀態膨脹至如圖2中所展示

之放大體積狀態。

【0032】 導電多孔材料140以一定量安置於封閉體積區110中以至少物理地接觸第一電極150及第二電極160兩者，使得電流可經由導電多孔材料自一個電極傳遞至另一電極。有利地，導電多孔材料140安置於封閉體積區110中以完全填充封閉體積區110，藉此最大化導電多孔材料與體積內部之所有空氣的鄰近度，且促進體積內部之空氣的快速加熱，從而促使均一旦快速的空氣膨脹以提供致動力之高效產生。

【0033】 替代配置展示於圖3及圖4中，其中具有封閉體積區310之致動器300由外殼本體320及可移動表面330界定。如所展示，可移動表面330經提供為可在外殼本體320內滑動同時維持與外殼本體320之氣密密封的活塞。藉由可移動表面330之移動，封閉體積區之至少一部分可自初始體積狀態膨脹至放大體積狀態。如圖3中所展示之致動器300處於初始體積狀態。

【0034】 如所展示，外殼本體為包含第一基底圓形基座之具有圓形橫截面的圓柱形本體，且可移動表面為裝配至圓柱形本體之圓形活塞。導電多孔材料340安置於封閉體積區310中。

【0035】 第一電極350及第二電極360經配置以使電流穿過導電多孔材料。第一電極350及第二電極360安置於外殼之相對部分上且面向封閉體積區。如所展示，第一電極350安置於面向封閉體積區310之表面上的第一基底圓形基座上，且第二電極360安置於面向封閉體積區310之表面上的圓形活塞330附近。第二電極350展示於沿線5-5截取的圖4中所展示之致動器之具體實例的截面視圖中，其中電極350係以橫樑380之形式提供，此橫樑包含允許空氣穿過之空隙區385。應理解，電極350可以包含允許空氣穿過之空隙區的任何配置提供，諸如交叉影線圖案或其類似者。

【0036】 如所展示，電流係使用DC電壓源370提供。替代地，電流可由AC

電壓源提供。

【0037】 在使用中，跨越第一電極及第二電極施加一電位，藉此使電流穿過導電多孔材料，從而使得導電多孔材料藉由焦耳加熱而變熱。此加熱又顯著加熱封閉體積區中之空氣，從而使得空氣膨脹及使可移動表面在向上方向a上移位，從而使封閉體積區自如圖3中所展示之初始體積狀態膨脹至如圖4中所展示之放大體積狀態。

【0038】 替代配置展示於圖6及圖7中，其中致動器600具有由外殼本體620及可移動表面680界定之封閉體積區610。如所展示，可移動表面680經提供為外殼本體620之可移位壁680，該可移位壁經配置以藉由安置於封閉體積區610中之空氣的膨脹而移位。

【0039】 藉由可移位壁680之移動，封閉體積區之至少一部分可自初始體積狀態膨脹至放大體積狀態。在使用中，跨越第一電極及第二電極施加一電位，藉此使電流穿過導電多孔材料，從而使得導電多孔材料藉由焦耳加熱而變熱。此加熱又顯著加熱封閉體積區中之空氣，從而使得空氣膨脹及使可移動表面在向上方向a上移位，從而使封閉體積區自如圖6中所展示之初始體積狀態膨脹至如圖7中所展示之放大體積狀態。

【0040】 可移位壁680可由任何合適之可撓性材料製成，該可撓性材料將回應於在空氣膨脹時產生之壓力而撓曲。在一具體實例中，可移位壁680由選自以下各者之材料製成：彈簧鋼、玻璃纖維強化塑膠（Glass Fiber Reinforced Plastic；GFRP）、碳纖維強化聚合物（Carbon Fiber-Reinforced Polymers；CFRP）、編織纖維網及塑膠之層及其類似者。

【0041】 可移位壁680可為彈性體膜，例如由聚矽氧橡膠或聚胺基甲酸酯及其類似者製成，具有足夠剛性及可撓性以適應膨脹但足夠強以保持彈性。

【0042】 在一具體實例中，可移位壁680可由丁基橡膠製成。

【0043】 如上文所指出，導電多孔材料具有約0.5 mg/cc至約100 mg/cc之質量密度，且至少約90%之導電多孔材料係含碳材料。

【0044】 在一具體實例中，導電多孔材料係以選自以下各者組成之群的物理形式提供：粒子之分佈、聚集粒子之分佈、多孔骨架結構或其混合物。在一具體實例中，導電多孔材料包含呈選自以下各者組成之群的物理形式的粒子：碳奈米管、碳奈米角、碳奈米薄片、富勒烯、碳球狀粒子、碳多面體粒子、包含2個至30個層之碳多層薄片、亂層碳粒子（turbostratic carbon particles）及其混合物。

【0045】 在一具體實例中，碳粒子經提供為藉由凡得瓦-倫敦型分散力（van der Waals-London type dispersion forces）形成的粒子間聚集體結構。在一具體實例中，碳粒子經提供為凝集物結構，其中碳奈米粒子藉由比凡得瓦力大得多的凝集力牢固地固持在一起以形成凝集物。聚集體結構及凝集物結構之製備描述於例如US 7,300,958中，其揭示內容以引用之方式併入本文中。

【0046】 在一具體實例中，碳粒子為藉由對有機樹脂進行碳化以形成粒子而製備的碳氣凝膠粒子。在一具體實例中，碳粒子為藉由以下製備之碳氣凝膠粒子：(A) 在75°C至200°C範圍內之反應溫度下，在80 kPa至2400 kPa之壓力下，使單羥基苯及/或聚羥基苯、醛及催化劑在反應器中反應，(B) 隨後將來自製程步驟(A)之反應混合物噴灑成酸，(C) 乾燥來自製程步驟(B)之所得產物及(D) 將其碳化，如例如在US 9,878,911中所描述，其揭示內容以引用之方式併入本文中。

【0047】 在一具體實例中，導電多孔材料具有約10 m²/g至約550 m²/g之表面積。在一具體實例中，導電多孔材料具有約200 m²/g至約350 m²/g之表面積。另外，值得注意的是，由於純石墨烯之特定表面積可高達2630 m²/g，且因此可為最多孔含碳粉末材料。在一具體實例中，導電多孔材料具有約550 m²/g至約2630 m²/g之表面積。在一具體實例中，導電多孔材料具有約800 m²/g至約2630 m²/g之

表面積。在一具體實例中，導電多孔材料具有約1000 m²/g至約2630 m²/g之表面積。在一具體實例中，導電多孔材料具有約1500 m²/g至約2630 m²/g之表面積。在一具體實例中，導電多孔材料具有約800 m²/g至約2000 m²/g之表面積。在一具體實例中，導電多孔材料具有約1000 m²/g至約2000 m²/g之表面積。在一具體實例中，導電多孔材料具有約1500 m²/g至約2000 m²/g之表面積。

【0048】 在一具體實例中，導電多孔材料包含含碳導電粒子，這些含碳導電粒子具有約10 nm至約150 nm之平均粒度；或其中導電多孔材料包含含碳導電粒子，這些含碳導電粒子具有約10 nm至約100 nm之平均粒度；或其中導電多孔材料包含含碳導電粒子，這些含碳導電粒子具有約50 nm至約100 nm之平均粒度；或其中導電多孔材料包含含碳導電粒子，這些含碳導電粒子具有約30 nm至60 nm之平均粒度。

【0049】 在一具體實例中，至少約50%之導電多孔材料以含碳導電粒子形式存在，這些含碳導電粒子具有約10 nm至約100 nm之平均粒度。在一具體實例中，至少約60%之導電多孔材料以含碳導電粒子形式存在，這些含碳導電粒子具有約10 nm至約100 nm之平均粒度。在一具體實例中，至少約70%之導電多孔材料以含碳導電粒子形式存在，這些含碳導電粒子具有約10 nm至約100 nm之平均粒度。在一具體實例中，至少約80%之導電多孔材料以含碳導電粒子形式存在，這些含碳導電粒子具有約10 nm至約100 nm之平均粒度。在一具體實例中，至少約90%之導電多孔材料以含碳導電粒子形式存在，這些含碳導電粒子具有約10 nm至約100 nm之平均粒度。在一具體實例中，至少約95%之導電多孔材料以含碳導電粒子形式存在，這些含碳導電粒子具有約10 nm至約100 nm之平均粒度。

【0050】 在一具體實例中，導電多孔材料包含質量密度為約3 mg/cc至約90 mg/cc之含碳導電粒子。在一具體實例中，導電多孔材料包含質量密度為約10 mg/cc至約90 mg/cc之含碳導電粒子。在一具體實例中，導電多孔材料包含質量

密度為約40 mg/cc至約90 mg/cc之含碳導電粒子。

【0051】 在一具體實例中，致動器裝置之封閉體積區包含約10%至98%之空氣體積分率。在一具體實例中，封閉體積區包含約30%至98%之空氣體積分率。在一具體實例中，封閉體積區包含約50%至98%之空氣體積分率。在一具體實例中，封閉體積區包含約70%至98%之空氣體積分率。在一具體實例中，封閉體積區包含約80%至98%之空氣體積分率。在一具體實例中，封閉體積區包含約90%至98%之空氣體積分率。在一具體實例中，封閉體積區包含約95%至98%之空氣體積分率。

【0052】 在一具體實例中，致動器裝置之導電多孔材料具有約1 S/m至約 5×10^7 S/m之電導率。

【0053】 在一具體實例中，致動器裝置之導電多孔材料具有約1 S/m至約1000 S/m之電導率。在一具體實例中，導電多孔材料具有約1 S/m至約400 S/m之電導率。

【0054】 在一具體實例中，致動器裝置之導電多孔材料具有約1000 S/m至約 5×10^7 S/m之電導率。在一具體實例中，致動器裝置之導電多孔材料具有約 1×10^4 S/m至約 5×10^7 S/m之電導率。在一具體實例中，致動器裝置之導電多孔材料具有約 1×10^5 S/m至約 5×10^7 S/m之電導率。在一具體實例中，致動器裝置之導電多孔材料具有約 1×10^6 S/m至約 5×10^7 S/m之電導率。

【0055】 在一具體實例中，導電多孔材料經選擇以當電流穿過導電多孔材料時提供封閉體積區之至少約10%的膨脹；或其中導電多孔材料經選擇以當電流穿過導電多孔材料時提供封閉體積區之至少約50%的膨脹；或其中導電多孔材料經選擇以當電流穿過導電多孔材料時提供封閉體積區之至少約100%的膨脹；或其中導電多孔材料經選擇以當電流穿過導電多孔材料時提供封閉體積區之至少約200%的膨脹。

【0056】 在一具體實例中，導電多孔材料包含碳黑。合適的碳黑材料之實例為來自卡博特公司（Cabot Corporation）之Vulcan XC 72R。在一具體實例中，約1 wt%至100 wt%之導電多孔材料為碳黑。在一具體實例中，約10 wt%至100 wt%之導電多孔材料為碳黑。在一具體實例中，約20 wt%至100 wt%之導電多孔材料為碳黑。在一具體實例中，約40 wt%至100 wt%之導電多孔材料為碳黑。在一具體實例中，約60 wt%至100 wt%之導電多孔材料為碳黑。在一具體實例中，約80 wt%至100 wt%之導電多孔材料為碳黑。在一具體實例中，約90 wt%至100 wt%之導電多孔材料為碳黑。

【0057】 在一具體實例中，導電多孔材料包含活性碳。在一具體實例中，約1 wt%至100 wt%之導電多孔材料為活性碳。在一具體實例中，約10 wt%至100 wt%之導電多孔材料為活性碳。在一具體實例中，約20 wt%至100 wt%之導電多孔材料為活性碳。在一具體實例中，約40 wt%至100 wt%之導電多孔材料為活性碳。在一具體實例中，約60 wt%至100 wt%之導電多孔材料為活性碳。在一具體實例中，約80 wt%至100 wt%之導電多孔材料為活性碳。在一具體實例中，約90 wt%至100 wt%之導電多孔材料為活性碳。

【0058】 在一具體實例中，導電多孔材料包含焦炭。在一具體實例中，焦炭衍生自煤。在一具體實例中，焦炭衍生自油。在一具體實例中，焦炭為冶金焦炭（另外稱為「metcoke」）。

【0059】 在一具體實例中，導電多孔材料包含石墨。在一具體實例中，約1 wt%至100 wt%之導電多孔材料為石墨。在一具體實例中，約10 wt%至100 wt%之導電多孔材料為石墨。在一具體實例中，約20 wt%至100 wt%之導電多孔材料為石墨。在一具體實例中，約40 wt%至100 wt%之導電多孔材料為石墨。在一具體實例中，約60 wt%至100 wt%之導電多孔材料為石墨。在一具體實例中，約80 wt%至100 wt%之導電多孔材料為石墨；或其中約90 wt%至100 wt%之導電多孔

材料為石墨。

【0060】 在一具體實例中，導電多孔材料包含多孔石墨化碳球體之粒子，其具有介於約五十奈米至幾微米範圍之直徑且含有與介孔（譬如，約二奈米至二十奈米）互連之大量微孔（譬如，最大尺寸小於2奈米）。此類石墨化碳粒子可例如如US 8,784,768中所描述而製備，其揭示內容以引用之方式併入本文中。

【0061】 在一具體實例中，導電多孔材料包含含碳氣溶膠凝膠。出於本論述之目的，氣溶膠凝膠為在無粒子之間的化學反應或粒子聚結之情況下來自氣溶膠相之粒子的聚集體，其中聚集粒子形成粒子叢集（譬如，分枝碎片聚集體），其發展連接網路以形成凝膠。在一具體實例中，含碳氣溶膠凝膠為由含碳煙灰形成之宏觀凝膠網路。煙灰藉由稱為擴散限制聚集（diffusion limited cluster aggregation; DLCA）之製程緻密化以形成碎片聚集體，其具有 $D > 1.8$ 之碎片尺寸。參見譬如Sorensen、C.M.等人發佈在物理評論快報上的火焰煙灰氣溶膠中之氣凝膠（第80卷，第8號，1998年2月23日）；及US 7,691,909，其揭示內容以引用之方式併入本文中。

【0062】 在一具體實例中，導電多孔材料包含石墨烯。在一具體實例中，約1 wt%至100 wt%之導電多孔材料為石墨烯。在一具體實例中，約10 wt%至100 wt%之導電多孔材料為石墨烯。在一具體實例中，約20 wt%至100 wt%之導電多孔材料為石墨烯。在一具體實例中，約40 wt%至100 wt%之導電多孔材料為石墨烯。在一具體實例中，約60 wt%至100 wt%之導電多孔材料為石墨烯。在一具體實例中，約80 wt%至100 wt%之導電多孔材料為石墨烯。在一具體實例中，約90 wt%至100 wt%之導電多孔材料為石墨烯。

【0063】 在一具體實例中，導電多孔材料包含石墨烯基泡沫，其具有由互連且有序開放單元之三維網絡界定的結構，開放單元由單元壁界定，這些單元壁（i）由石墨烯薄片、部分還原氧化石墨烯薄片、還原氧化石墨烯薄片或其組合

形成，及 (ii) 具有一厚度，該厚度由複數個石墨烯薄片、部分還原氧化石墨烯薄片、還原氧化石墨烯薄片或其組合之厚度界定。在一具體實例中，石墨烯基泡沫可藉由一方法製備，該方法包含在凍結可鑄性介質中提供石墨烯薄片、部分還原氧化石墨烯薄片、還原氧化石墨烯薄片或其組合之分散液，及使分散液經受凍結澆鑄。此類石墨烯基泡沫可例如如US 9,738,527中所描述來製備，其揭示內容以引用之方式併入本文中。

【0064】 在一具體實例中，導電多孔材料包含石墨烯基氣溶膠凝膠。此類石墨烯基氣溶膠凝膠可例如如US 9,440,857中所描述來製備，其揭示內容以引用之方式併入本文中。

【0065】 已發現，石墨烯基多孔材料相比於其他含碳材料展現出優良屬性。特定而言，石墨烯基多孔材料展現出極佳加熱及冷卻速率，有利地提供較短的致動次數及致動循環時間。儘管不受理論束縛，但咸信石墨烯基多孔材料呈現物理屬性之獨特組合，其包括極低密度、高電導率及高表面積，這些物理屬性共同起作用以提供極佳的焦耳加熱效能。基於石墨烯之特性，石墨烯基多孔材料之加熱及冷卻效能均將高於碳黑或其他含碳材料之加熱及冷卻效能。因此已發現，使用石墨烯，如本文中所描述之致動器有利地提供極佳效能。進一步預期，石墨烯之優良的加熱及冷卻效能在較大致動器裝置中將尤其明顯，這些致動器裝置譬如具有至少約500 cc之初始外殼封閉體積的裝置，或具有至少約1000 cc之初始外殼封閉體積的裝置，或具有至少約1500 cc之初始外殼封閉體積的裝置，或具有至少約3000 cc之初始外殼封閉體積的裝置，或具有至少約5000 cc之初始外殼封閉體積的裝置。

【0066】 在一具體實例中，導電多孔材料包含至多10 wt%之非碳組分。在一具體實例中，導電多孔材料包含高達10 wt%之選自以下各者組成之群的非碳組分：硼、氮、鋁、矽及磷。

【0067】 在一具體實例中，導電多孔材料不含多環芳香烴（polycyclic aromatic hydrocarbon；PAH）。已發現，隨時間推移，PAH可黏住移動圓筒，且因此隨時間推移引起操作問題。在一具體實例中，當導電多孔材料為化學原始，亦即不含有諸如PAH之有機污染物時，其具有優良的總體效能。

【0068】 在一具體實例中，致動器裝置之外殼本體係由選自以下組成之群的材料製造：玻璃、硼矽酸鹽玻璃、陶瓷、石英及陶瓷。在一具體實例中，外殼本體係由金屬建構，且經熱及電絕緣，例如在外殼本體之內表面及外表面上具有耐久陶瓷塗層。

【0069】 在一具體實例中，致動器裝置之外殼本體經絕緣以減少致動期間的熱損失。

【0070】 在一具體實例中，致動器裝置經配置以跨越第一電極及第二電極施加約1V至約240V之電位；或其中裝置經配置以跨越第一電極及第二電極施加約2V至約10V之電位；或其中裝置經配置以跨越第一電極及第二電極施加約5V至約15V之電位。

【0071】 在一具體實例中，外殼封閉體積區具有約1cc至約15000 cc之初始體積。在一具體實例中，外殼封閉體積區具有約1cc至約12000 cc之初始體積。在一具體實例中，外殼封閉體積區具有約1cc至約10000 cc之初始體積。在一具體實例中，外殼封閉體積區具有約1cc至約5000 cc之初始體積。在一具體實例中，外殼封閉體積區具有約1cc至約3000 cc之初始體積。在一具體實例中，外殼封閉體積區具有約1cc至約1000cc之初始體積。在一具體實例中，外殼封閉體積區具有約1cc至約1000cc之初始體積。在一具體實例中，外殼封閉體積區具有約1cc至約1000cc之初始體積。在一具體實例中，外殼封閉體積區具有約3cc至約300 cc之初始體積。在一具體實例中，外殼封閉體積區具有約3cc至約200cc之初始體積。在一具體實例中，外殼封閉體積區具有約3cc至約100cc之初始體積。在一具體實例

中，外殼封閉體積區具有約3cc至約50cc之初始體積。

【0072】 在一具體實例中，可並聯地使用致動器以增加輸出力，且串聯地使用以增加致動距離，或按應用之需要組合使用兩者。

【0073】 已發現，來自焦耳加熱導電多孔材料及經加熱空氣之熱傳導及輻射可為不利地影響致動器之效能的主要損失機制。已發現，可藉由最小化此等熱傳導及輻射路徑來改良裝置之操作。用輕量玻璃棉（纖維玻璃）隔離圓筒之外表面為一種最小化此等熱傳導及輻射路徑之方法。另一方法包含提供相近於Thermos®燒瓶之絕緣結構，其中致動機制容納於雙壁玻璃容器內部，該雙壁玻璃容器之表面經金屬化以減少輻射，且其中玻璃壁之間的空間被抽空以減少輻射損失。

【0074】 在一具體實例中，封閉體積區進一步包含補充空氣控制系統，其中空氣可被引入至封閉體積區及/或自該封閉體積區抽出，以進一步將可移動表面之移位延伸至另一放大體積狀態或輔助將可移動表面返回至小於最終放大體積狀態之體積狀態。

【0075】 在一具體實例中，一種使致動器裝置中之可移動表面移位的方法包含：提供如本文中所描述之致動器裝置；及跨越第一電極及第二電極施加足夠量的電位，以使安置於封閉體積區中之空氣膨脹且使可移動表面移位。

【0076】 儘管不受理論束縛，但咸信空氣膨脹係藉由焦耳加熱（亦被稱作電阻加熱或歐姆加熱）獲得，因為電流之能量在其流動穿過導電多孔材料中之電阻時被轉換成熱量。

實施例

實施例1. 石墨烯氣溶膠凝膠聚集體之製備

【0077】 石墨烯氣溶膠凝膠聚集體係如US 9,440,857中所描述而製備，其中在裝備有8.5 cm×1.5 cm之石英窗的圓柱形鋁腔室中，呈粉末形式之石墨烯奈

米薄片 (Graphene nanosheet ; GN) 係在 O_2 存在之情況下由 C_2H_2 氣體之無催化劑受控爆炸來製備。 O_2/C_2H_2 之爆炸前莫耳比為0.3。初始腔室壓力為1大氣壓。對於 C_2H_2 ，氣體純度為98.0%且對於 O_2 ，氣體純度為99.0%。在爆炸期間，烴首先被轉換為游離碳原子或離子，其凝結成奈米粒子碳氣溶膠，該奈米粒子碳氣溶膠又快速聚集且接著最後形成凝膠，該凝膠在本文中被稱作碳氣溶膠凝膠 (Carbon Aerosol Gel ; CAG)。

實施例2. 硼矽酸鹽玻璃管/石墨柱塞模型致動器中之功效的論證

【0078】 具有一個密封端之硼矽酸鹽玻璃管裝配有銅箔作為第一電連接。硼矽酸鹽玻璃管具有15.92 mm之內徑、18.37 mm之外徑及68.93 mm之管長度。將實施例1之0.4314g之CAG裝載至管中。一種石墨柱塞，其具有15.9 mm之柱塞直徑及12.81 mm之柱塞長度，且在其內表面上具備附接至該柱塞之另一銅箔作為第二電連接。將柱塞插入至管之開口端中。兩個銅箔連接至電源 (一個正端及另一個相對的負端)。經由玻璃上之鑽孔孔洞將熱電偶置放於聚集體中間，以允許隨時間變化監測聚集體之溫度。石墨柱塞連接至固體棒，該固體棒擱置於用以量測所產生之力的電子天平上。用資料獲取系統隨時間變化而記錄穿過聚集體之電壓及電流、溫度及自天平讀取之力。

【0079】 圖8a展示在5V之輸入電壓下的所量測溫度及所量測力，且圖8b展示在9V之輸入電壓下的所量測溫度及所量測力。力最初增加且遵循溫度曲線圖，但突然下降。然而，實驗確定實施例1之CAG能夠在模型致動器中產生相當大的力。

【0080】 感信，如所觀測到之力的急劇下降係歸因於硼矽酸鹽玻璃與石墨柱塞的不同熱膨脹而造成空氣自圓筒洩漏，此表明在致動器之操作中有效密封致動器的重要性。

實施例3. 石英管柱塞陣列模型致動器中之功效的論證

【0081】 使用內徑相近於另一管外徑之兩個石英管來組裝替代模型致動器，使得充當柱塞之較小管緊密裝配於較大管內部。較大石英管具有12.00 mm之內徑、13.99 mm之外徑及61.90 mm之管長度。較小石英管具有10.99 mm之內徑、11.91 mm之外徑及54.98 mm之管長度。由於兩個管均具有相同材料，因此熱膨脹應相同且不應如同實施例2一般使空氣洩漏。管如圖9中所示經排列，且添加合成油脂以使玻璃表面潤滑。油脂亦使內圓筒氣密。如實施例1中所描述之石墨烯氣溶膠凝膠聚集體以74.33 mg/cc之密度以0.1999 g之量安置於致動器中。

【0082】 如實施例2中一般將電位（4V）施加至實施例1之CAG之兩端處的兩個銅箔，且如圖10中所示獲得力及溫度量測結果。此實驗清楚地確定可藉由恰當地選擇致動器之材料及設計特性來延伸力。

實施例4.致動器之循環特性的論證

【0083】 實施例3之模型致動器用以表明致動器之循環特性。在此實例中，如實施例1中所描述之石墨烯氣溶膠凝膠聚集體以0.2002 g之量安置於致動器中。在重複循環中施加電位（開30秒加熱，關120秒冷卻），且監測所產生之力。如可在圖11中所展示之結果中看出，在藉由施加電位加熱後產生相當大的力，接著進行短暫的冷卻循環。在後續重複的加熱及冷卻循環中，由致動器產生的力之量不會減低。

【0084】 如先前實例中所證實，至存在於導電多孔材料中之空氣的熱轉移係快速的。咸信，導電多孔材料，諸如石墨烯碎片聚集體、石墨烯及其他含碳材料中之極小粒子間距離促進此空氣之快速加熱。

實施例5.石墨烯粉末相較於銅粉末之優良熱電效能的論證。

【0085】 將銅粉末（SIGMA ALDRICH，St.Louis，MO）之熱電效能與實施例3中之石墨烯粉末相比較，該銅粉末係非含碳導電粉末。藉由用各樣本（三個銅粉末樣本及三個石墨烯粉末樣本）中按體積計（1.6 c.c.）相同量之粉末填充

實施例3中之致動器來製備各粉末之樣本以用於測試，以展示實驗結果之再現性。電流穿過粉末，使得在焦耳加熱中消耗相同功率（1瓦特）。來自此實驗之力資料呈現於圖12中。測試時在致動器中所量測之所得力指示，石墨烯粉末產生的力幾乎為銅粉產生的力之10倍。量測結果另外展示石墨烯粉末與銅粉末相比展現出優良的加熱速率及冷卻速率。

實施例6.作為導電多孔材料之碳黑之功效的論證

【0086】 實施例3之模型致動器用以比較碳黑（獲自麻薩諸塞州01821比爾里卡卡博特公司的Vulcan XC72R）的功效與實施例1之CAG的功效。將約0.5 g之實施例1之CAG或碳黑分別裝載於管中以用於測試。如圖13中呈現的力資料展示碳黑粉末的初始力曲線與CAG的初始力曲線相比稍微不那麼陡峭，且碳黑粉末的力值與CAG的力值相比下降至顯著更低的值。咸信，與致動器環境中之碳黑相比，包含石墨烯之導電多孔材料將提供大量效能益處。

【0087】 另外，包含石墨烯之導電多孔材料可提供操作益處及純度益處，此係由於來自一些源之碳黑粒子含有多環芳香烴（PAH）。隨時間推移，PAH可黏住移動圓筒，且因此隨時間推移引起操作問題。在一具體實例中，石墨烯以化學原始形式提供，亦即，幾乎沒有或沒有有害雜質。在一具體實例中，導電多孔材料包含石墨烯且基本上不含有機污染物，諸如PAS。與其他導電多孔材料相比，預期此具體實例提供優良的總體效能。

【0088】 如本文中所使用，術語「約」或「大約」意指在由所屬技術領域中具有通常知識者所測定的指定特定參數之可接受範圍內，此將部分取決於如何量測或測定該值，譬如樣本製備及量測系統之侷限性。此類侷限性之實例包括對比乾燥環境在潮濕環境中製備樣本、不同儀器、樣本高度之變化及信號雜訊比之不同要求。例如，「約」可意謂比由所陳述值之1/10陳述之值或值範圍更大或更小，但並不意欲將任何值或值範圍限制於僅此更廣定義。舉例而言，約30%之

濃度值意謂27%與33%之間的濃度。前面有術語「約」之各值或值範圍亦意欲涵蓋所陳述絕對值或值範圍之具體實例。或者，尤其就生物系統或製程而言，該術語可意謂在一值之一數量級內，較佳在5倍內且更佳在2倍內。

【0089】 在本說明書通篇及申請專利範圍中，除非上下文另有要求，否則字語「包含 (comprise)」及變化形式，諸如「包含 (comprises)」及「包含 (comprising)」應理解為暗示包括一所陳述整數或步驟或一組整數或步驟，但不排除任何其他整數或步驟或整數或步驟組。當在本文中使用时，「由...組成」排除所主張要素中未指定之任何要素、步驟或成分。當在本文中使用时，「基本上由...組成」不排除實質上不影響申請專利範圍之基本及新穎特徵的材料或步驟。在本發明之各種具體實例中，用於具體實例之描述中的術語「包含」、「基本上由...組成」及「由...組成」中之任一者可用其他兩個術語中之任一者替換。

【0090】 本文中所引用之所有專利、專利申請案（包括臨時申請案）及公開案如同出於所有目的個別地併入一般以引用之方式併入。除非另外指示，否則所有份數及百分比均按重量計且所有分子量均為重量平均分子量。已給出前述詳細描述僅出於清楚理解之目的。不應理解其存在不必要的限制。本發明不限於所展示及所描述之確切細節，對於所屬技術領域中具有通常知識者顯而易見之變化將包括於由申請專利範圍界定之本發明內。

【符號說明】

【0091】

100:致動器

110:封閉體積區

120:外殼本體

130:可移動表面

- 140:導電多孔材料
- 150:第一電極
- 160:第二電極
- 170:DC電壓源
- 300:致動器
- 310:封閉體積區
- 320:外殼本體
- 330:可移動表面/圓形活塞
- 340:導電多孔材料
- 350:第一電極
- 360:第二電極
- 370:DC電壓源
- 380:橫樑
- 385:空隙區
- 600:致動器
- 610:封閉體積區
- 620:外殼本體
- 680:可移動表面/可移位壁
- a:向上方向

【發明申請專利範圍】

【請求項1】一種致動器裝置，其包含：

封閉體積區，其由外殼本體及可移動表面界定，使得該封閉體積區之至少一部分可自初始體積狀態膨脹至放大體積狀態；

導電多孔材料，其安置於該封閉體積區中，其中該導電多孔材料具有約0.5 mg/cc至約100 mg/cc之質量密度，且其中至少約90%之該導電多孔材料為含碳材料；

第一電極及第二電極，其經配置以使電流穿過該導電多孔材料；

其中當電流穿過該導電多孔材料時，安置於該封閉體積區中之空氣膨脹且使該可移動表面移位。

【請求項2】如請求項1之致動器裝置，其中該含碳材料係選自以下各者組成之群：碳黑、石墨、石墨烯及其混合物。

【請求項3】如請求項1或2之致動器裝置，其中該導電多孔材料係以選自以下各者組成之群的物理形式提供：粒子分佈、聚集粒子分佈、多孔骨架結構或其混合物。

【請求項4】如請求項1至3中任一項之致動器裝置，其中該導電多孔材料包含呈選自以下各者組成之群的物理形式的粒子：碳奈米管、碳奈米角、富勒烯、碳奈米薄片、碳球狀粒子、碳多面體粒子、包含2個至30個層之碳多層薄片、亂層碳粒子及其混合物。

【請求項5】如請求項1至4中任一項之致動器裝置，其中該導電多孔材料具有約10 m²/g至約550 m²/g之表面積；或其中該導電多孔材料具有約200 m²/g至約350 m²/g之表面積。

【請求項6】如請求項1至5中任一項之致動器裝置，其中至少約50%之該導電多孔材料以含碳導電粒子之形式存在，這些導電粒子具有約10 nm至約100 nm

之平均粒度；或其中至少約60%之該導電多孔材料以含碳導電粒子之該形式存在，這些導電粒子具有約10 nm至約100 nm之平均粒度；或其中至少約70%之該導電多孔材料以含碳導電粒子之該形式存在，這些導電粒子具有約10 nm至約100 nm之平均粒度；或其中至少約80%之該導電多孔材料以含碳導電粒子之該形式存在，這些導電粒子具有約10 nm至約100 nm之平均粒度；或其中至少約90%之該導電多孔材料以含碳導電粒子之該形式存在，這些導電粒子具有約10 nm至約100 nm之平均粒度；或其中至少約95%之該導電多孔材料以含碳導電粒子之該形式存在，這些導電粒子具有約10 nm至約100 nm之平均粒度。

【請求項7】如請求項1至6中任一項之致動器裝置，其中該導電多孔材料包含具有約3 mg/cc至約90 mg/cc之質量密度的含碳導電粒子，或其中該導電多孔材料包含具有約10 mg/cc至約90 mg/cc之質量密度的含碳導電粒子；或其中該導電多孔材料包含具有約40 mg/cc至約90 mg/cc之質量密度的含碳導電粒子。

【請求項8】如請求項1至7中任一項之致動器裝置，其中該封閉體積區包含約10%至98%之空氣體積分率；或其中該封閉體積區包含約30%至98%之空氣體積分率；或其中該封閉體積區包含約50%至98%之空氣體積分率；或其中該封閉體積區包含約70%至98%之空氣體積分率；或其中該封閉體積區包含約80%至98%之空氣體積分率；或其中該封閉體積區包含約90%至98%之空氣體積分率；或其中該封閉體積區包含約95%至98%之空氣體積分率。

【請求項9】如請求項1至8中任一項之致動器裝置，其中該導電多孔材料具有約1 S/m至約 5×10^7 S/m之電導率；或其中該致動器裝置之該導電多孔材料具有約1 S/m至約1000 S/m之電導率；或其中該導電多孔材料具有約1 S/m至約400 S/m之電導率；或其中該致動器裝置之該導電多孔材料具有約1000 S/m至約 5×10^7 S/m之電導率；或其中該致動器裝置之該導電多孔材料具有約 1×10^4 S/m至約 5×10^7 S/m之電導率；或其中該致動器裝置之該導電多孔材料具有約 1×10^5 S/m至約

5×10^7 S/m之電導率；或其中該致動器裝置之該導電多孔材料具有約 1×10^6 S/m至約 5×10^7 S/m之電導率。

【請求項10】如請求項1至9中任一項之致動器裝置，其中該導電多孔材料包含石墨；或其中約1 wt%至100 wt%之該導電多孔材料為石墨；或其中約20 wt%至100 wt%之該導電多孔材料為石墨；或其中約20 wt%至100 wt%之該導電多孔材料為石墨；或其中約40 wt%至100 wt%之該導電多孔材料為石墨；或其中約60 wt%至100 wt%之該導電多孔材料為石墨；或其中約80 wt%至100 wt%之該導電多孔材料為石墨；或其中約90 wt%至100 wt%之該導電多孔材料為石墨。

【請求項11】如請求項1至10中任一項之致動器裝置，其中該導電多孔材料包含石墨烯；或其中約1 wt%至100 wt%之該導電多孔材料為石墨烯；或其中約20 wt%至100 wt%之該導電多孔材料為石墨烯；或其中約20 wt%至100 wt%之該導電多孔材料為石墨烯；或其中約40 wt%至100 wt%之該導電多孔材料為石墨烯；或其中約60 wt%至100 wt%之該導電多孔材料為石墨烯；或其中約80 wt%至100 wt%之該導電多孔材料為石墨烯；或其中約90 wt%至100 wt%之該導電多孔材料為石墨烯。

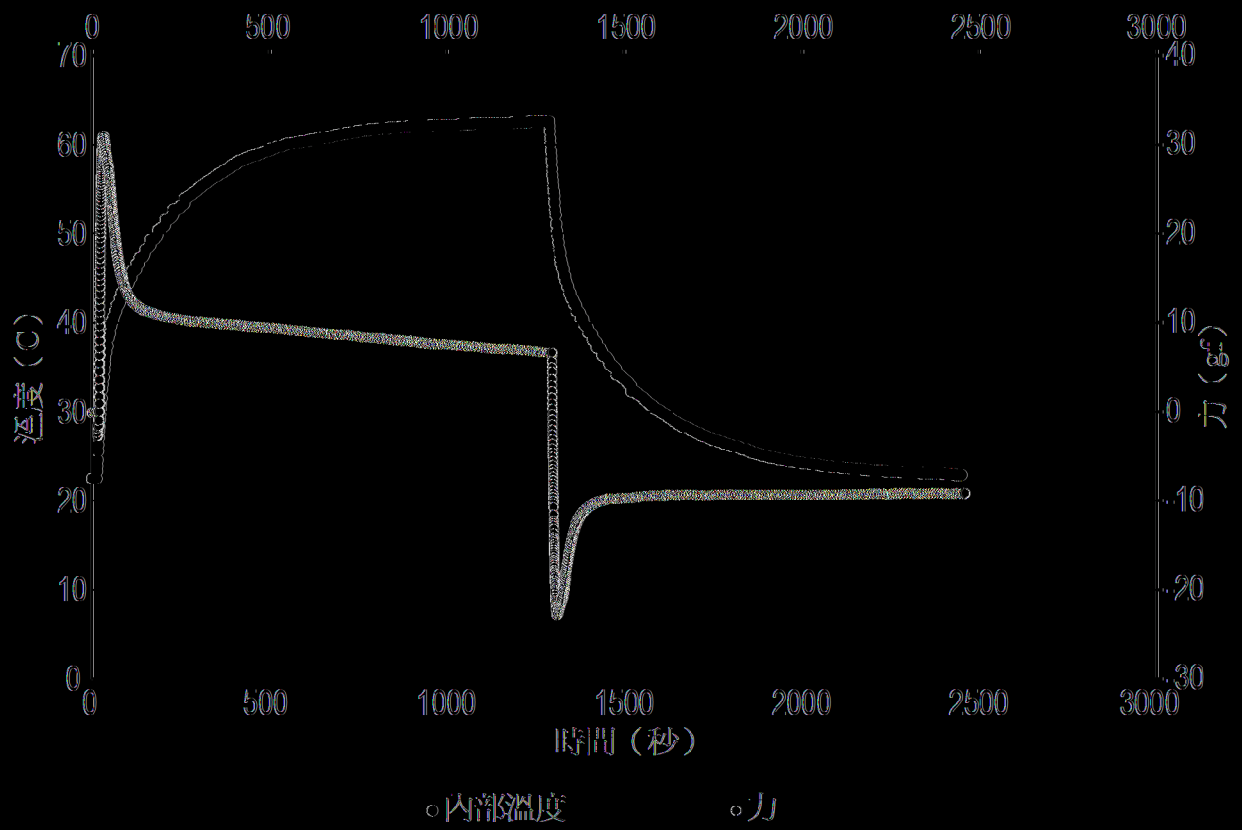
【請求項12】如請求項1至11中任一項之致動器裝置，其中該可移動表面包含該外殼本體之可移位壁，該可移位壁經配置以藉由使安置於該封閉體積區中之該空氣膨脹而移位。

【請求項13】如請求項1至12中任一項之致動器裝置，其中該導電多孔材料經選擇以當電流穿過該導電多孔材料時提供該封閉體積區之至少約10%的膨脹；或其中該導電多孔材料經選擇以當電流穿過該導電多孔材料時提供該封閉體積區之至少約50%的膨脹；或其中該導電多孔材料經選擇以當電流穿過該導電多孔材料時提供該封閉體積區之至少約100%的膨脹；或其中該導電多孔材料經選擇以當電流穿過該導電多孔材料時提供該封閉體積區之至少約200%的膨脹。

【請求項14】如請求項1至13中任一項之致動器裝置，其中該封閉體積區為閉合系統。

【請求項15】一種使致動器裝置中之可移動表面移位的方法，其包含提供如請求項1至14中任一項之致動器裝置，及

跨越該第一電極及該第二電極施加足夠量的電位，以使安置於該封閉體積區中之該空氣膨脹且使該可移動表面移位。



8a

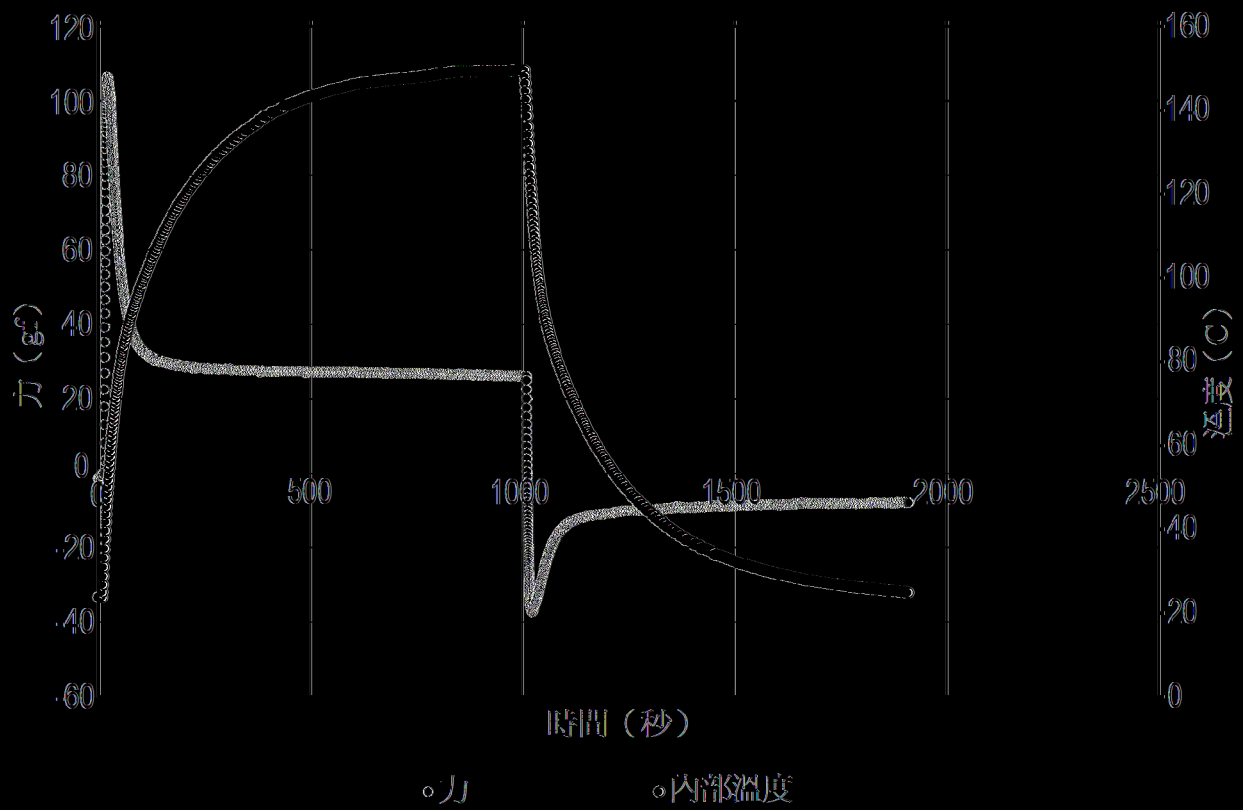


圖8b

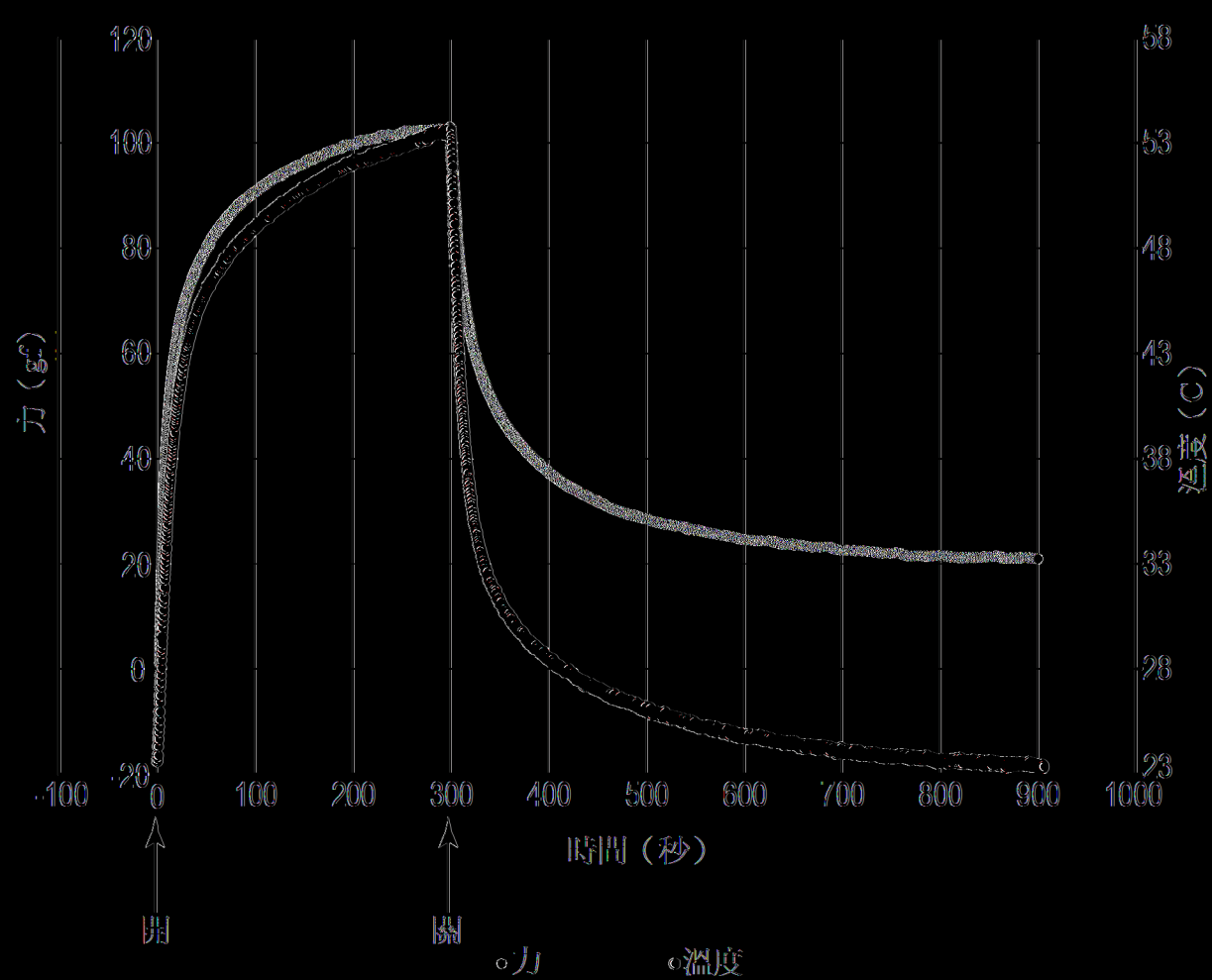


圖10

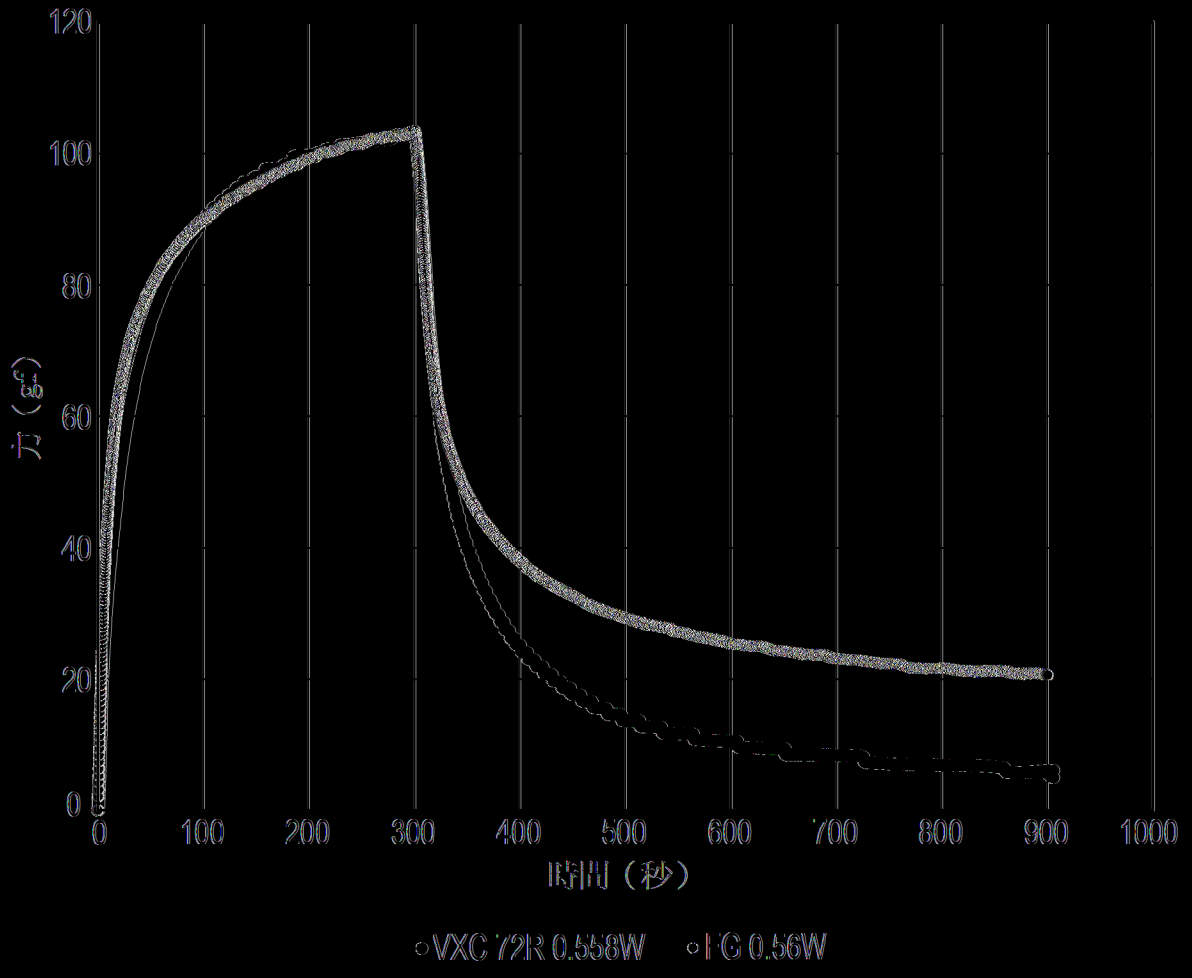


圖13