



(19) 中華民國智慧財產局

(12) 發明說明書公開本

(11) 公開編號：TW 201828342 A

(43) 公開日：中華民國 107 (2018) 年 08 月 01 日

(21) 申請案號：106142206

(22) 申請日：中華民國 106 (2017) 年 12 月 01 日

(51) Int. Cl. : *H01L21/283 (2006.01)**H01L21/76 (2006.01)*

(30) 優先權：2016/12/02 美國

15/368,171

(71) 申請人：美商電容器科學公司 (美國) CAPACITOR SCIENCES INCORPORATED (US)  
美國(72) 發明人：拉薩瑞夫 帕維爾 LAZAREV, PAVEL IVAN (US)；古田 保羅 FURUTA, PAUL  
(US)；夏普 貝瑞 SHARP, BARRY (US)；李 艷 LI, YAN (US)

(74) 代理人：林志剛

申請實體審查：有 申請專利範圍項數：37 項 圖式數：9 共 48 頁

(54) 名稱

多層電極和膜儲能裝置

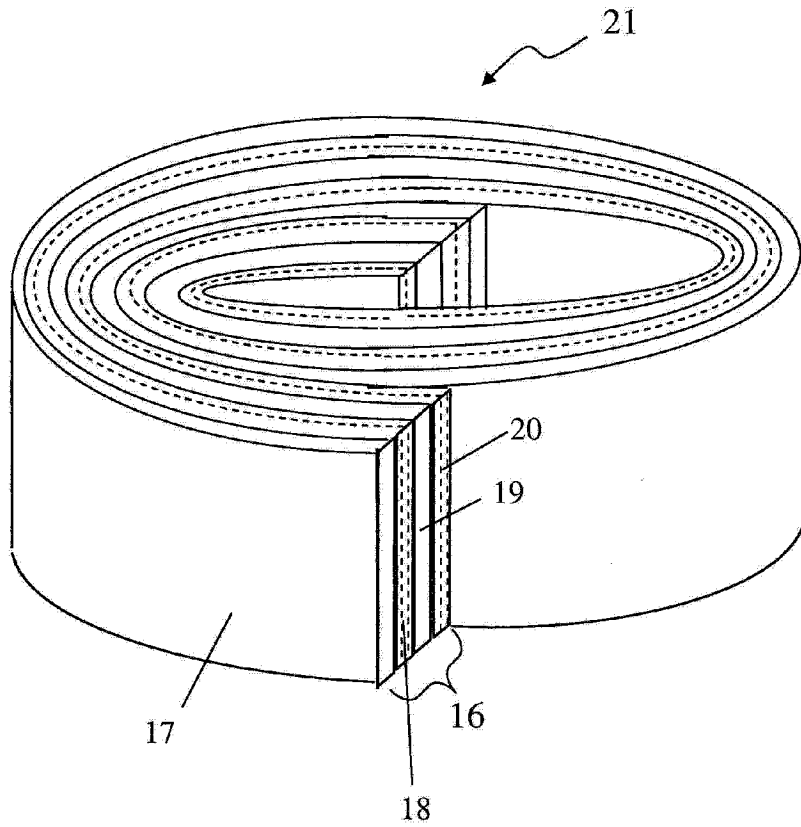
MULTILAYERED ELECTRODE AND FILM ENERGY STORAGE DEVICE

(57) 摘要

本發明提供一種多層電極，其包括導電層和位於導電層的一側上的至少一個保護層，並且所述保護層選自場平坦化層、穿隧注入阻擋層和庫侖阻擋層。

The present disclosure provides a multilayered electrode comprising an electro-conductive layer and at least one protective layer located on one side of the electro-conductive layer and selected from the list comprising a field-planarization layer, a tunneling injection blocking layer and a coulomb blocking layer.

指定代表圖：



符號簡單說明：

- 16 . . . 層壓結構
- 17 . . . 第一多層電極
- 18 . . . 第一介電質層
- 19 . . . 第二多層電極
- 20 . . . 第二介電質層
- 21 . . . 膜儲能裝置

圖 9

# 【發明說明書】

## 【中文發明名稱】

多層電極和膜儲能裝置

## 【英文發明名稱】

Multilayered electrode and film energy storage device

## 【技術領域】

本發明一般涉及電路的被動組件，更特別地涉及多層電極和使用它的膜儲能裝置。

## 【先前技術】

在科學技術文獻中，廣泛討論了電極(觸點)問題和用於電子設備的電極的生產方法。

奈米級MOSFET的發展已經引起人們對寄生源/汲極和接觸電阻成為性能限制因素的重視(參見Reinaldo Vega和Tsu-Jae King Liu的“用於奈米級CMOS的源/汲極和接觸的先進設計”，加州大學伯克利分校電子工程與電腦科學技術報告，編號UCB/EECS-2010-84，<http://www.eecs.berkeley.edu/Pubs/TechRpts/2010/EECS-2010-84.html>，2010年5月20日)。由於分離肖特基(DSS)源/汲極區域主要包括金屬或金屬矽化物，摻雜DSS源/汲極的MOSFET近年來已經變得流行以解決這個串聯電阻問題。從金屬接觸區延伸出的小的源/汲極延伸區(SDE)是

DSS MOSFET中的重要設計參數，這是因為它們的尺寸和濃度影響了接觸電阻、串聯電阻、帶間穿隧(BTBT)、SDE穿隧、和直接的源汲穿隧(DSDT)洩漏(leakage)。Reinaldo Vega和Tsu-Jae King Liu的工作從建模和實驗角度研究了DSS MOSFET的關鍵設計問題，包括SDE設計對雙極洩漏(ambipolar leakage)的影響、隨機摻雜波動(RDF)對特定接觸電阻率的影響、3D FinFET源/汲極和觸點的設計優化、以及實現SDE區域調諧的實驗方法。

C. Liu、V. Kamaev和Z. V. Vardeny在“Efficiency enhancement of an organic light-emitting diode with a cathode forming two-dimensional periodic hole array”，APPLIED PHYSICS LETTERS，第86卷，第143501頁(2005)中，描述了使用夾在兩個半透明電極(光學薄金膜陽極)之間的 $\pi$ 共軛聚合物發射層製造有機發光二極體，而陰極是光學厚鋁(A1)膜，其具有圖案化的週期性亞波長二維孔陣列，在聚合物光致發光譜帶的光譜範圍內顯示出異常透射。在相似的電流密度下，與基於未穿孔A1電極的控制器相比，使用圖案化的A1裝置獲得了七倍的電致發光效率增強。

在文章“使用低損傷濺鍍(sputtering)方法沉積OLED用鋁陰極(Deposition of an Al Cathode for an OLED by Using Low-Damage Sputtering Method)”(Sang-Mo Kim、Kyung-Hwan Kim和Min-Jong Keum，韓國物理學會雜誌(Journal of the Korean Physical Society)，第51卷，No.3，

第1023-1026頁，2007年9月)中，將用於OLED裝置的鋁薄膜沉積在玻璃基板和單元(LiF / EML / HTL / 底部電極，ITO薄膜)上，用於各種工作氣體如Ar、Kr和混合氣體、以及各種工作氣體壓力。使用 $\alpha$ 步進分析儀(TENCOR)、X射線衍射儀(XRD，RIGAKU)、四點探針(CHANGMIN)和原子力顯微鏡(AFM)測量了鋁薄膜的膜厚度以及晶體學和電學性質，並且使用半導體參數測量設備(HP4156A)測量了鋁/單元(AI/cell)的IV曲線。在玻璃上製備的鋁薄膜的結晶度和電阻率顯示薄膜是非晶態的(amorphous)，其電阻率在 $10^{-5}\Omega\text{-cm}$ 之下。在使用純Ar或Kr將鋁薄膜沉積在單元上的情況下，鋁/單元的洩漏電流密度約為 $10^{-4}\text{mA/cm}^2$ ，使用Ar和Kr混合氣體所製備的鋁/單元的漏電流密度約為 $10^{-6}\text{mA/cm}^2$ 。

H. Mu等人在“Alq 3/TPD OLED的電和發光特性的電極效應的比較研究：由導電聚合物(PEDOT)陽極引起的改進 (A comparative study of electrode effects on the electrical and luminescent characteristics of Alq 3 /TPD OLED: Improvements due to conductive polymer (PEDOT) anode)”，*Journal of Luminescence*，第126卷，第225~229頁，2007年)中，對基於同樣地製造的Alq 3/TPD主動區域(active region)並具有不同的陰陽電極結構的有機發光裝置(OLED)結構的性能進行比較，性能差異與不同陽極結構有關。使用導電聚合物3,4-聚亞乙基二氧硫基-聚苯乙烯磺酸鈉(PEDOT)作為陽極層取得了最好的性能，在25V下

產生了  $1720 \text{ cd/m}^2$  的亮度、3V 的導通電壓，電致發光 (EL) 效率和外部量子效率分別為  $8.2 \text{ cd/A}$  和 2%，而 5V 下的亮度為  $100 \text{ cd/m}^2$ 。

在 Tae Hyun Gil 等人的文章“基於 DC 磁控管濺鍍的鋁頂電極沉積造成的 OLED 中的損壞的起源 (Origin of damages in OLED from Al top electrode deposition by DC magnetron sputtering)” (Organic Electronics, 第 11 卷, 第 322-331 頁, 2010 年) 中, 研究了藉由直流磁控管濺鍍而在有機層上沉積鋁頂部電極的有機發光二極體 (OLED)。藉由典型的電流-電壓-亮度測量來表徵由電子摻雜的傳輸層和磷光發射層構成的 OLED。在有機層上濺鍍沉積之後, 它們表現出更高的漏電流、減小的正向電流以及驅動電壓相應增加。OLED 在主動區域呈現隨機分佈的亮點, 藉由掃描電子顯微鏡/能量色散型 X 射線光譜儀研究了該亮點。為了證明濺鍍損傷的起源, 製作了簡單的有機/鋁層樣本, 並藉由橢圓計量和雷射誘導解吸/電離飛行時間質譜法進行了研究。

Glyn J. Reynolds 等人利用濺鍍的 Pt 和 / 或 Ni 電極與濺鍍沉積的摻雜的鈦酸鋇介電質膜製造簡單並具有電特徵的薄膜電容器疊層 (“使用高溫濺鍍改質的鈦酸鋇製造的薄膜電容器的電學性質 (Electrical Properties of Thin-Film Capacitors Fabricated Using High Temperature Sputtered Modified Barium Titanate)”, 材料 (Materials), 第 5 卷, 第 644~660 頁, 2012 年)。在此, Glyn J. Reynolds 等人報告

了作為施加的DC偏壓、偏振相對於施加的電場強度和DC載入/卸載實驗的函數而測量的小信號、低頻電容和並聯電阻資料。這些電容器表現出明顯的洩漏(在 $8\sim 210\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 範圍內)和介電損耗。測得的濺鍍摻雜鈦酸鋇薄膜的崩潰強度(breakdown strength)在 $200\text{kV}/\text{cm}^2$   $\text{MV}/\text{cm}$ 的範圍內。對於所有測試的裝置，Glyn J. Reynolds等人在 $100\text{ kV}/\text{cm}$ 以上的施加電場強度下觀察到介電飽和的明顯證據：飽和極化在 $8\sim 15\ \mu\text{C}/\text{cm}^2$ 範圍內。當在DC條件下重複時，由Glyn J. Reynolds等人對任意電容器測量的最大能量密度僅僅基於介電質材料的體積，為約 $4.7\times 10^{-2}\text{W}\cdot\text{h}/\text{L}$ 。這對應於約 $8\times 10^{-3}\text{W}\cdot\text{h}/\text{kg}$ 的比能量，這是僅基於介電質而再次計算出的。藉由對這些結果與其他作者報告的結果進行比較而提供了一個簡單的理論觀點，能夠存儲在這些和類似的裝置中的最大能量為介電強度和飽與極化的函數。最後，Glyn J. Reynolds等人開發出了一個預測模型來指導如何調整高k介電質的相對介電常數(permittivity)以優化其儲能容量。

根據Donna M. Joyce等人的說法，與那些電解電容器和超級電容器相比，靜電電容器提供更高的能量密度、更低的損耗和更高的操作電壓(“逐層重新設計聚合物電容器 (Re-engineering the Polymer Capacitor, Layer by Layer)”，*Adv. Energy Mater.*，1600676，2016年)。然而，這些電容器具有較低的能量密度( $<2\text{J}\cdot\text{cm}^{-3}$ )，限制了它們在高功率積體系統(如脈衝功率和高頻逆變器)中的應

用。Donna M. Joyce等人提出了一種藉由重新設計電容器的結構來實現更高能量密度的新方法。該新的電容器裝置是一種分層結構(layered structure)，其包含沉積在導電電極和介電質材料之間的薄的電子和電洞阻擋層。

電極的性質在所有所列出的電子裝置中具有非常重要的作用。電極的一個重要特徵是能夠防止相當大的漏電流。特別地，電極的這種特性(性質)對於儲能裝置是重要的。在電力工業中，超級電容器通常被用作儲能裝置。增加電容器(例如超級電容器)的電極上的電壓，能夠增加儲存能量。工作電壓的最大值受到電容器的崩潰電壓(breakdown voltage)的限制。再者，崩潰電壓受到介電質的性質的影響，特別是電極不從電極注入電子或電洞的程度，因此不會引起電容器的介電質崩潰。

### 【發明內容】

本發明的目的在於藉由降低電極向電容器的介電質層注入電子的傾向，來克服先前技術的超級電容器電極的缺點(並且因而降低漏電流)。

本發明提供一種多層電極，其包括導電層和位於該導電層之一側上的至少一個保護層。所述至少一個保護層可以包括場平坦化(field-planarization)層、穿隧注入阻擋層、或庫侖阻擋層、或者它們中的兩個或更多個的一些組合。場平坦化層使得由於導電層表面上的幾何曲率導致的電場增強最小化。穿隧注入阻擋層包括寬帶隙有機絕緣材

料。庫侖阻擋層包含電子陷阱。

另一方面，本發明提供一種用於儲能裝置的多層結構，該儲能裝置包括介電質層，以及位於該介電質層之至少一表面上的上述多層電極。

又一方面，本發明提供一種膜儲能裝置，其包括以上所述的兩個多層結構相互層壓(laminated)。層壓結構的特徵可以在於以下順序的層：多層電極-介電質層-多層電極-介電質層。

## 交叉引用

在此藉由參考同樣地合併本說明書中提及的所有出版物、專利和專利申請案，猶如每個單獨的出版物、專利或專利申請案被具體和單獨地引用。

### 【圖式簡單說明】

藉由參考附圖和以下的詳細描述，將更容易完整地理解本發明及其優點，所有這些形成本發明的一部分。在以下附圖中僅作為例子圖示了本發明的實施例。

圖1示意性地表示出基於本發明之方面的多層電極的一個非限制性實例。

圖2示意性地表示出基於本發明之方面的具有與圖1所示的多層電極不同順序的保護層之多層電極的另一個非限制性實例。

圖3示意性地表示出基於本發明的方面的具有與圖1和

圖2中所示的電極不同的保護層順序之多層電極的又一個非限制性實例。

圖4示意性地表示出基於本發明之方面的多層電極中的場平坦化層的功能，其中該層使導電層的表面的粗糙特徵(例如，突起和空腔)光滑。

圖5表示出基於本發明之方面的與多層電極的穿隧注入阻擋層和導電層接觸的能帶圖。

圖6示意性地表示出基於本發明之方面的多層電極的庫侖阻擋層的功能機理。

圖7示意性地表示出基於本發明之方面的包括介電質層和位於介電質層的一個表面上的多層電極的多層結構的非限制性實例。

圖8示意性地表示出基於本發明之方面的層壓結構的非限制性實例，其特徵在於以下層順序：多層電極-介電質層-多層電極-介電質層。

圖9示意性地表示出基於本發明之方面的所述膜儲能裝置的一個非限制性示例。

### 【實施方式】

儘管在本說明書中示出和描述了本發明的各方面的各種實施例，但是對於本領域技術人員顯而易見的是這些實施例是僅作為示例。在不脫離本發明的情況下，本領域技術人員能夠想到許多變化、改變和替換。應該理解為可以使用這裡描述的本發明的實施例的各種替代方案。

在本發明中使用以下術語。

術語“導電層”是指例如藉由將金屬原子或導電有機分子真空蒸鍍(沉積)到任何基板的表面上而形成的導電材料層。該層的外表面可能是粗糙的。表面的粗糙度可以被設想為形成表面微輪廓的一組突起和空腔。如果例如在電容器中使用這樣的導電層，則在這些突起附近形成高電場區域。這個高電場會導致電容器的介電質層崩潰。因此，為了防止這種破壞性的過程，有必要使用場平坦化層。然而，與藉由沉積有機分子形成的導電層的粗糙度(突起)相比，藉由金屬沉積形成的導電層的粗糙度(突起)較高。因此，在金屬導電層的情況下，更需要使用場平坦化層。

術語“場平坦化層(field-planarization layer)”是指消除導電層的表面上的電場的不連續性的層。場平坦化層可以由在液體或熔融階段(相)沉積的可極化(polarizable)或導電材料製成。當使用金屬形成場平坦化層時，金屬填充導電層表面上的空腔而由此減小其粗糙度。當使用可極化材料形成場平坦化層時，由於材料的可極化性(polarizability)，這些材料降低了導電層表面上的突起附近區域的電場強度。

術語“LUMO”是指最低的未佔據分子軌道。

術語“HOMO”是指最高的佔據分子軌道。

術語“穿隧注入阻擋(tunneling injection blocking)層”是指其LUMO和HOMO能級的能級差大於4電子伏特的層。在一個實施例中，這種層提高了電子的能隙 $E_{ge}$ ，其

等於穿隧注入阻擋層的LUMO能級與導電層的功函數(work function)Wf之間的差。能隙 $E_{ge}$ 的值可以不小於1電子伏特。該能隙防止從導電層注入電子。在另一個實施例中，這種層提高了電洞的能隙 $E_{gh}$ ，其等於導電層的功函數Wf和穿隧注入阻擋層的HOMO能級之間的差值。能隙 $E_{gh}$ 的值可以不小於1電子伏特。該能隙防止從導電層注入電洞。

術語“庫侖阻擋(coulomb blocking)層”是指含有電子陷阱的層。當電子被注入到這個層中時，它們在這些陷阱中變得靜止(被固定)，並且該層以儲存在該層中的電子為代價而變成帶負電。該儲存的電荷能夠防止由於注入電子和該儲存電荷的庫侖排斥而將新電子注入到該層中。因此，“庫侖阻擋層”阻止電子注入到該庫侖阻擋層中。

術語“寬帶隙有機絕緣(wide-band gap organic insulating)材料”是指具有能隙帶(意即，LUMO和HOMO能級之差)大於4電子伏特的材料。

術語“崩潰電場強度(breakdown field strength)”是指介電質層變成導電的特徵電場。

本發明提供如上所述的多層電極。在本發明的一個實施例中，多層電極包括一個、兩個或三個保護層，所述保護層是不同的，並且選自場平坦化層、穿隧注入阻擋層和庫侖阻擋層，其中列出的層可以為任意的順序。

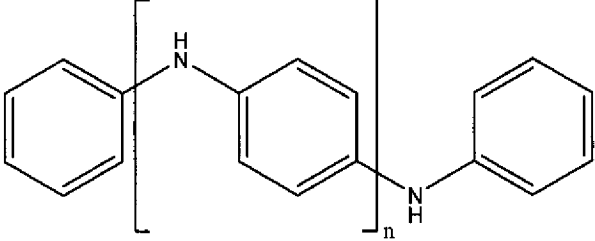
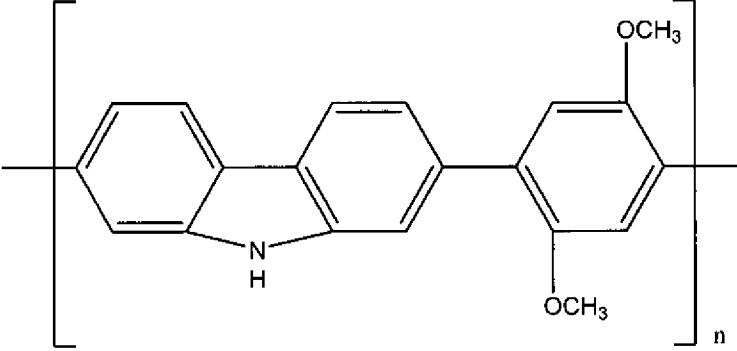
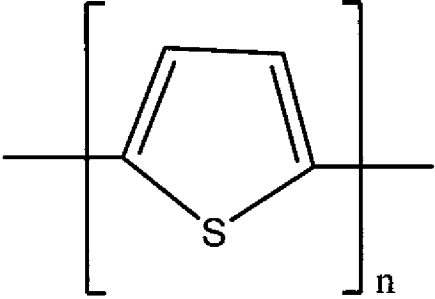
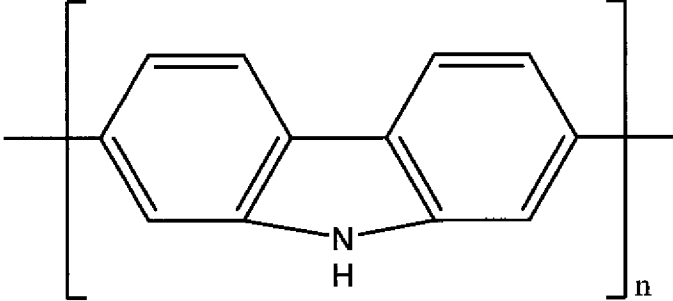
在所述多層電極的另一個實施例中，導電層的材料可以選自金屬、導電寡聚物、導電(電流傳導)聚合物、分子晶體材料、分子材料所組成的群組。

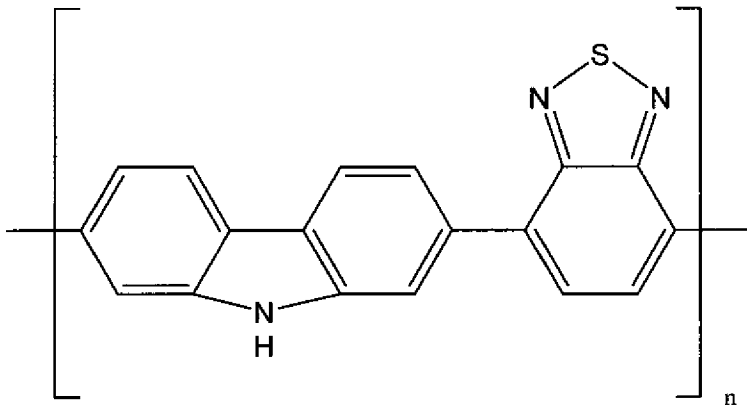
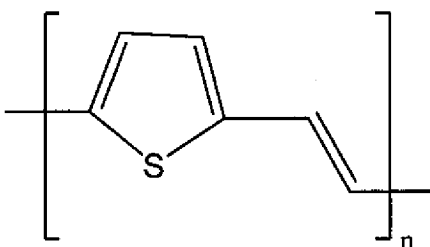
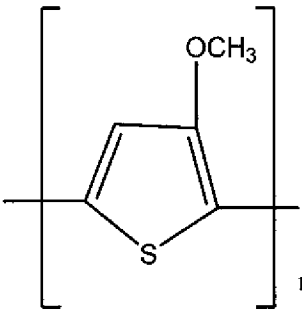
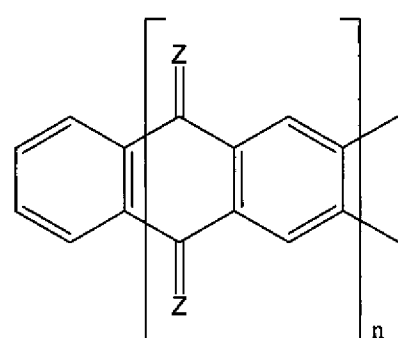
在多層電極的又一個實施例中，導電(電流傳導)聚合物可以選自聚乙炔、聚吡咯、聚噻吩、聚苯胺、聚對伸苯基硫醚、聚對伸苯基伸乙烯(poly-para-phenylenevinylene)、聚吡啶、聚吡嗪、聚萸(polyazulene)、聚芴、聚萘所組成的群組。

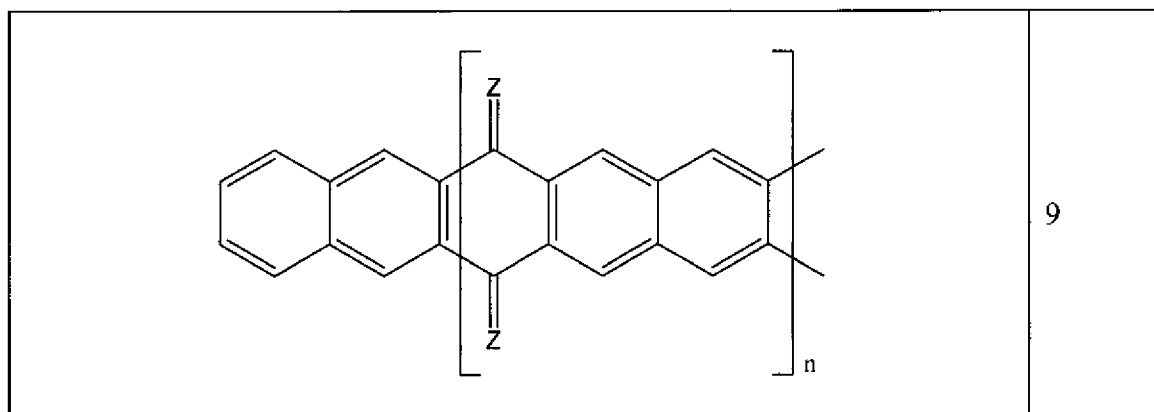
在多層電極的另一個實施例中，導電層的材料可以選自鎳、金、鉑、鉛、鉻、鈦、銅、鋁、鉬、鎢、銻、銀、鈣、鉍、鈹及其任意組合所組成的群組。

在多層電極的一個實施例中，導電層的材料包括導電寡聚物，例如伸苯基寡聚物(phenylene oligomer)或多並苯奎寧基寡聚物(polyacene quinine radical oligomer)。在多層電極的一些這樣的實施例中，導電寡聚物可以選自表1中所示的結構1至9，其中 $n=2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11$  或 $12$ ， $Z$ 是 $=O$ 、 $=S$ 或 $=NT_1$ ， $T_1$ 選自未取代或經取代的 $C_1-C_{18}$ 烷基、未取代或經取代的 $C_2-C_{18}$ 烯基、未取代或經取代的 $C_2-C_{18}$ 炔基、以及未取代或經取代的 $C_4-C_{18}$ 芳基。

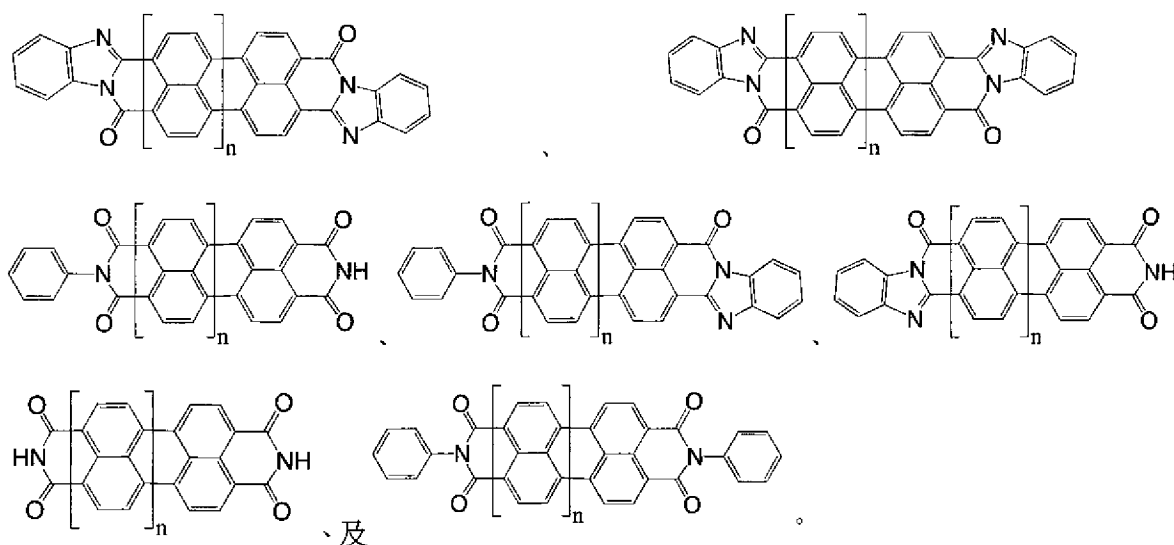
表1. 導電寡聚物的實例

	<p>1</p>
	<p>2</p>
	<p>3</p>
	<p>4</p>

	<p>5</p>
	<p>6</p>
	<p>7</p>
	<p>8</p>



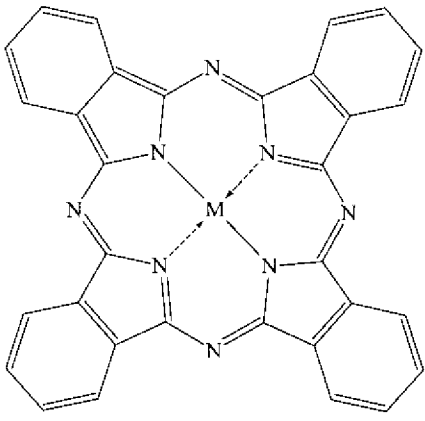
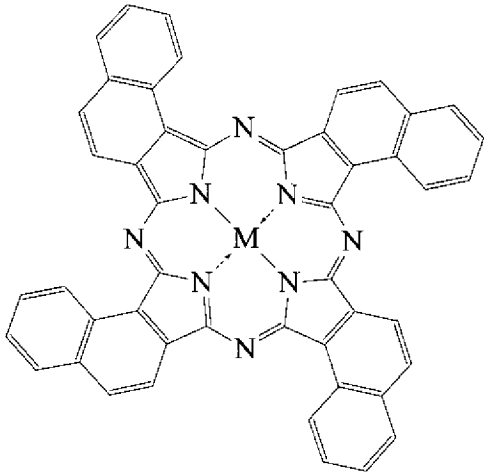
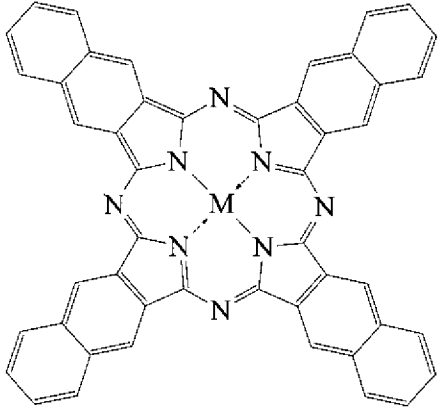
在又一個實施例中，場平坦化層可以由在液體或熔融階段(相)沉積的可極化材料製成，其中可極化材料的可極化性大於丙烯的可極化性。可極化材料可以包括由任選地與苯基、萘基或蔥基部分共軛 (conjugated) 或未共軛 (unconjugated) 的萘嵌苯部分 (rylene moieties) 組成的有機化合物、以及任選地位於有機化合物的頂點和側向位置的親核和親電子類型的摻雜基團。可以選擇摻雜基團的定位使得增加或減少對電場的非線性極化回應。這種定位可以與有機化合物的對稱性有關。由萘嵌苯部分 (rylene moieties) 組成的有機化合物的非限制性實例包含：

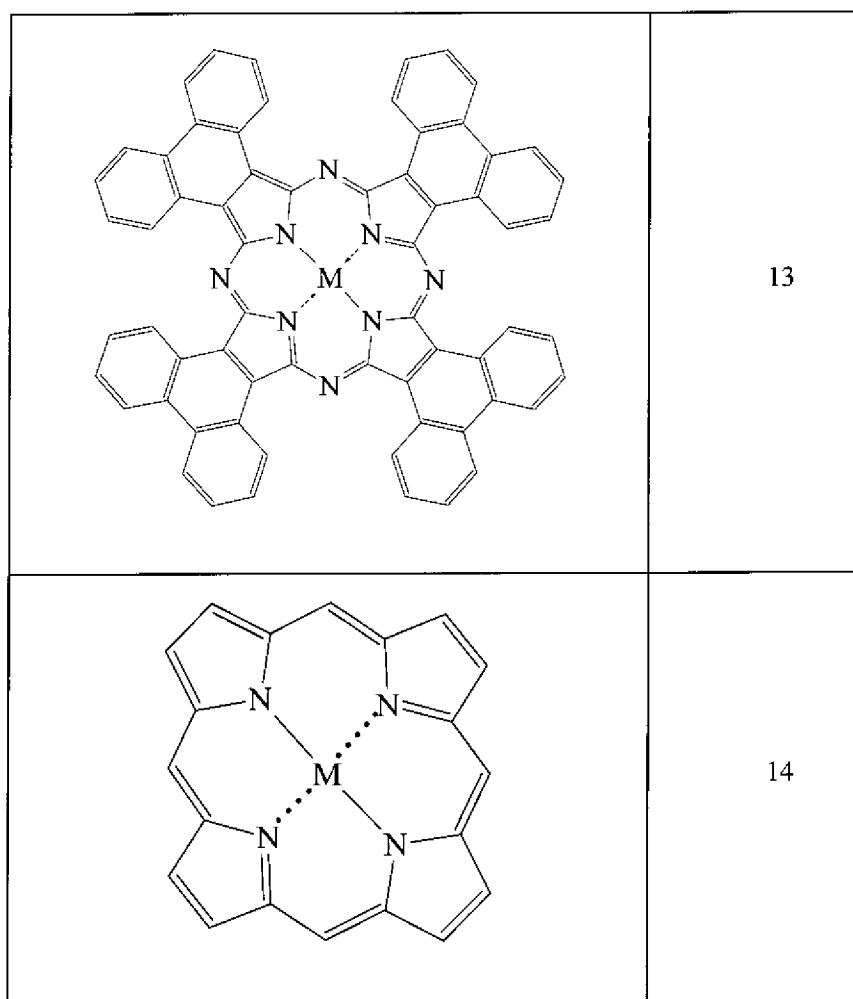


其中  $n=0、1、2、3、4、5、6、7、8$ ，且代表重複單元的數目。

在又一個實施例中，場平坦化層可以由在液體或熔融階段(相)沉積的導電材料製成。在多層電極的一個實施例中，可以藉由將上述材料旋塗到導電層上來形成場平坦化層。在多層電極的一個實施例中，庫侖阻擋層的材料包括具有選自如表1所示的結構10~14的通式結構的四吡咯大環片段(tetrapyrrolic macrocyclic fragments)，其中M是用作電子陷阱的金屬原子。

表 2. 包括四吡咯大環片段的有機化合物的實例

	10
	11
	12



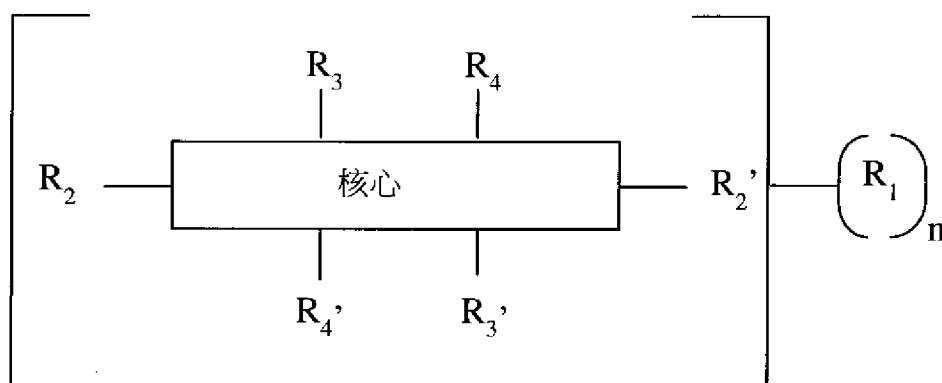
在所述多層電極的一個實施例中，寬帶隙有機絕緣材料可以具有大於4電子伏特的LUMO和HOMO能級之間的能隙。在所述多層電極的另一個實施例中，寬帶隙有機絕緣材料的LUMO能級與導電層的功函數(Wf)之間的差值不小於1電子伏特。在所述多層電極的又一個實施例中，導電層的功函數(Wf)與寬帶隙有機絕緣材料的HOMO能級之間的差值不小於1電子伏特。在所述多層電極的一個實施例中，穿隧注入阻擋層是單分子層並且包括選自胺( $\text{RNH}_3^+$ )、羧酸鹽( $\text{RCO}_2^-$ )、硫酸鹽( $\text{RSO}_4^-$ )、磺酸鹽( $\text{RSO}_3^-$ )、磷酸鹽( $\text{RHPO}_4^-$ )、醇( $\text{ROH}$ )、硫醇( $\text{RSH}$ )的兩親分子

(amphiphilic molecule)，其中 R 是包含多於十個  $\text{CH}_2$ -和  $\text{CF}_2$ -基團的碳鏈。在所述多層電極的一個實施例中，碳鏈藉由紫外線而聚合。在所述多層電極的另一個實施例中，穿隧注入阻擋層的厚度不小於 1 nm，並且由碳鏈長度定義。

本發明的各方面包含如上所述的多層結構。本發明的其他方面包含經配置為用作儲能裝置的多層結構。這樣的多層結構包括介電質層，以及位於介電質層的一個表面上的多層電極。多層電極的導電層可以藉由級聯結晶過程 (cascade crystallization process) 由導電有機化合物製造。

級聯結晶涉及化學改質步驟和形成導電層期間的四個排序 (ordering) 步驟。化學改質步驟在導電有機化合物的分子的週邊引入親水基團，以賦予分子兩親性質。兩親分子堆疊在一起成為超分子，這是排序的第一步驟。在一定濃度下，超分子轉化為液晶態，形成溶致液晶 (lyotropic liquid crystal)，這是排序的第二步驟。在邁耶棒剪切 (Mayer Rod shearing) 技術的基礎上，在剪切力 (或彎月面 (meniscus) 力) 的作用下，溶致液晶被沉積到介電質層上，由此剪切力 (或彎月面) 方向決定了所得導電層中的晶體軸方向。該定向沉積是排序的第三步驟，表示介電質層表面上的晶體或多晶結構的整體排序。級聯結晶過程的最後的第四步驟是乾燥 / 結晶，將溶致液晶轉化為固體結晶導電層。術語級聯結晶過程用於指化學改質和四個排序步驟為組合過程。

級聯結晶過程用於生產薄晶體導電層。由級聯結晶過程產生的導電層具有全域有序性(global order)，這表示藉由沉積過程來控制整個介電質層表面上的層的晶軸的方向。所沉積的導電有機化合物的分子以有限的擴散或運動自由度被封入超分子中。薄晶體導電層是分子晶體層，其特徵在於其一個光軸方向的平面間隔為 $3.4\pm 0.3$ 埃(Å)。在所述多層結構的另一個實施例中，導電層可以藉由將金屬原子真空沉積到介電質層上來形成。在所述多層結構的一個實施例中，介電質層包括崩潰電場強度大於 $0.5\text{ V/nm}$ 、大於 $1.0\text{ V/nm}$ 、大於 $5.0\text{ V/nm}$ 、大於 $10\text{ V/nm}$ 的材料。在所述多層結構的另一個實施例中，介電質層的表面含有表面活性劑，用於增加形成多層電極時導電材料的潤濕性。在本發明的又一個實施例中，多層結構在平面內具有矩形形狀(a rectangular shape in-plan)。在多層結構的另一個實施例中，介電質層包括選自氧化物、氮化物、氮氧化物和氟化物的材料。在多層結構的另一個實施例中，介電質層包括選自 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{SiO}_x\text{N}_y$ 、 $\text{HfO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 或 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 的材料。在多層結構的一個實施例中，介電質層包括以電子可極化性為特徵的有機化合物，並具有以下通式結構式(1)：



其中核心是芳族多環共軛分子， $R_1$ 是使有機化合物與相鄰化合物電絕緣的基團，並且在一些情況下還可以提供有機化合物在有機溶劑中的溶解度， $n$ 為1至8， $R_2$ 和 $R_2'$ 是位於頂點位置的取代基， $R_3$ 和 $R_3'$ 及 $R_4$ 和 $R_4'$ 是位於側(側面)位置的取代基。核心具有平坦的不等軸形式， $R_2$ 取代基獨立地選自氫、親電子基團(受體)和親核基團，並且 $R_2'$ 取代基獨立地選自氫、親核基團(供體)和親電子基團(受體)。取代基 $R_3$ 和 $R_3'$ 及 $R_4$ 和 $R_4'$ 獨立地選自氫、親核基團(供體)和親電子基團(受體)。取代基 $R_2$ 、 $R_2'$ 、 $R_3$ 、 $R_3'$ 、 $R_4$ 、 $R_4'$ 不能同時為氫。

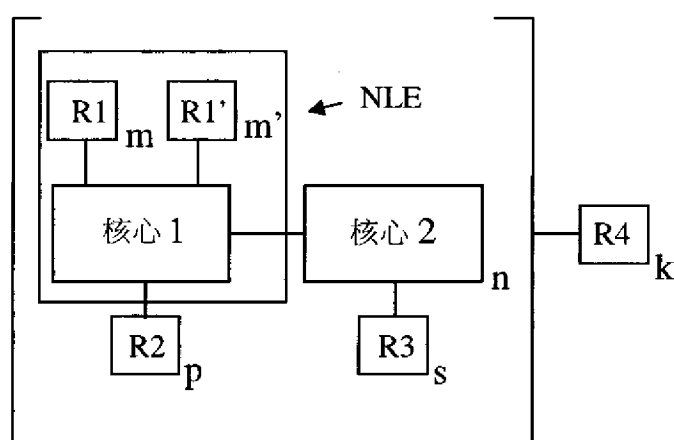
在多層結構的又一個實施例中，介電質層包括具有以下通式(2)的電可極化錯合物(electro-polarizable complex compound)：



當錯合劑(complexing agent) $M$ 是四價金屬時，配體(ligand) $L$ 包括至少一個雜原子片段，該雜原子片段包括至少一個金屬配位雜原子(中性或陰離子)和至少一個提供電阻率的電阻性片段， $m$ 表示配體的數目， $x$ 代表金屬-

配體錯合物的氧化態， $K$ 是提供錯合物的電中性的抗衡離子(counter-ion)或兩性離子聚合物， $n$ 表示抗衡離子的數目，其中所述金屬配位雜原子形成第一配位球，該第一配位球中的雜原子數不超過12個。

在多層結構的又一個實施例中，介電質層包括具有以下通式(3)的電可極化化合物：



其中核心1(Core1)是具有二維平坦形式並且藉由柱狀超分子中的 $\pi$ - $\pi$ 堆積而自組裝的芳族多環共軛分子， $R1$ 是與芳族多環共軛分子(核心1)連接的電子供體基團， $R1'$ 是與芳族多環共軛分子(核心1)連接的電子受體基團， $m$ 是受體基團 $R1$ 的數目， $m'$ 是供體基團 $R1'$ 的數目， $m$ 和 $m'$ 等於0、1、2、3、4、5或6，其中 $m$ 和 $m'$ 不都等於0， $R2$ 是直接或經由連接基團與芳族多環共軛分子(核心1)連接之取代基，該取代基包括來自一類離子化合物的一個或多個離子基團，所述離子化合物用於離子液體， $p$ 是離子基團 $R2$ 的數目，其等於0、1、2、3或4。含有至少一個基團 $R1$ 和/或 $R1'$ 之核心1的標記為NLE的片段具有極化的非線性效應。

核心2(Core2)是導電寡聚物， $n$ 是導電寡聚物的數目，其等於0、2或4， $R_3$ 是直接或藉由連接基團與導電寡聚物(核心2)連接之取代基，該取代基包括來自一類離子化合物的一個或多個離子基團，所述離子化合物用於離子液體， $s$ 是離子基團 $R_3$ 的數目，其等於0、1、2、3或4。取代基 $R_4$ 是電阻性取代基，其提供所述有機化合物在溶劑中的溶解性並使柱狀超分子彼此電絕緣，並且直接或經由連接基團與芳族多環共軛分子(核心1)和/或導電性寡聚物(核心2)連接， $k$ 是取代基 $R_4$ 的數目，其等於0、1、2、3、4、5、6、7或8。

本發明提供一種如上所述的膜儲能裝置。在所述膜儲能裝置的一個實施例中，兩個層壓的多層結構被捲繞成螺旋狀。

為了可以更容易地理解本發明的各方面，參考以下附圖，這些附圖旨在說明本發明，但並不意在限制範圍。

在圖1示意性地表示出的所述多層電極的一個非限制性實例中，實現層的以下順序：導電層1、場平坦化層2、穿隧注入阻擋層3和庫倫阻擋層4。多層電極可以包括一個、兩個或三個不同的保護層，並且可以選自場平坦化層、穿隧注入阻擋層和庫倫阻擋層所組成的群組。這些保護層可以以任意順序夾在一起。

圖2示意性地表示出所述多層電極的一個實施例的另一個非限制性實例。該多層電極的特徵在於上述保護層的不同順序。在該實例中，在導電層1上形成庫倫阻擋層4。

在庫倫阻擋層4上形成場平坦化層2，以及到場平坦化層上形成穿隧注入阻擋層3。

圖3示意性地表示出所述多層電極的又一個非限制性實例，其特徵在於與圖1和圖2中所示的電極相對照的保護層的另一個順序。具體地，穿隧注入阻擋層3形成在導電層1上，庫倫阻擋層4形成在穿隧注入阻擋層3上，以及場平坦化層2形成在庫倫阻擋層4上。

圖4示意性地表示出場平坦化層2使導電層1的表面的粗糙度(例如，突起和空腔)平滑的實例。

圖5表示出穿隧注入阻擋層3和導電層1的能帶圖，在圖5中，LUMO表示穿隧注入阻擋層3的最低未佔據分子軌道的能級，以及HOMO表示穿隧注入阻擋層3的最高佔據分子軌道。 $W_{fe}$ 表示導電層1的功函數，以及能隙 $E_{ge}$ 等於 $LUMO - W_{fe}$ 。圖5還表示出電子如何從能隙 $E_{ge}$ 反射而導致漏電流的減小和電子從導電層1的注入。

圖6示意性地表示出库倫阻擋層4的功能。當將第一電子(first electrons)從導電層1注入到該層中時，它們在這些陷阱上變得靜止(固定)，並且庫倫阻擋層4以儲存在該層中的電子為代價而變成帶負電。所儲存的電荷11防止由於注入電子和儲存電荷的庫倫排斥而將新電子12注入到該層中。因此，“庫倫阻擋層”阻止電子注入到此庫倫阻擋層中。

圖7示意性地表示出具有介電質層14和位於該介電質層的一個表面上的多層電極15之多層結構13。如上所述，

多層電極 15 包含導電層、場平坦化層、穿隧注入阻擋層和庫倫阻擋層。在多層電極 15 中，三個保護層，即場平坦化層、穿隧注入阻擋層和庫倫阻擋層可以以任意順序夾在一起，包含但不限於圖 1、圖 2 和圖 3 所示之順序。

圖 8 示意性地表示出層壓結構 16，其特徵在於層的以下順序：第一多層電極 17-第一介電質層 18-第二多層電極 19-第二介電質層 20。作為實例而非限制，每個多層電極 17、19 的厚度可以在從約 30 nm 到約 300 nm 的範圍內，並且每個介電質層 18、20 的厚度可以在從約 1000 nm 到約 5000 nm 的範圍內，並且對於一些應用高達 10000 nm。作為實例而非限制，介電質層 18 和 20 可以包含上述式 (1)、式 (2) 或式 (3) 所描述的一種或多種類型的電可極化化合物。

圖 9 示意性地表示出膜儲能裝置 21，其中圖 8 所示的上述類型的層壓多層結構 16 被捲繞(盤繞)成螺旋狀。在一些實施例中，兩個或更多的這種層壓多層結構可以夾在一起，然後捲繞(盤繞)成螺旋狀。捲繞成一個裝置/線圈的分層結構的長度可以是例如從 300 m 到 10000 m，並且對於一些應用甚至更高。再者，在一些實施例中，夾在一起並捲繞成捲繞電容器的兩個或更多的層壓多層結構可包含從約 500 圈到超過 45000 圈。

雖然以上內容包含對本發明之較佳實施例的完整描述，但是可以使用各種替換、修改和均等物。因此，本發明的範圍不應該參照上面的描述來確定，而是應該參照所

附申請專利範圍以及它們的均等物之全部範圍來確定。本文所述的任何特徵，無論是否為較佳，都可以與本文所述的任何其他特徵組合，無論是否為較佳。在以下的申請專利範圍中，除非另有明確說明，否則“一”或“一個”是指一或多個後接的物品數量。如在此使用的替換要素的清單中，除非另有說明，否則以邏輯包括性的含義使用詞語“或”，例如，“X或Y”包括單獨的X、單獨的Y、或者X和Y一起。被列為替代要素的兩個或多個要素可以組合在一起。所附申請專利範圍不應被解釋為包含裝置加功能限制，除非這種限制在給定申請專利範圍中使用短語“用於.....的裝置”來明確敘述。

#### 【符號說明】

- 1：導電層
- 2：場平坦化層
- 3：穿隧注入阻擋層
- 4：庫倫阻擋層
- 11：電荷
- 12：電子
- 13：多層結構
- 14：介電質層
- 15：多層電極
- 16：層壓結構
- 17：第一多層電極

18：第一介電質層

19：第二多層電極

20：第二介電質層

21：膜儲能裝置



201828342

## 【發明摘要】

### 【中文發明名稱】

多層電極和膜儲能裝置

### 【英文發明名稱】

Multilayered electrode and film energy storage device

### 【中文】

本發明提供一種多層電極，其包括導電層和位於導電層的一側上的至少一個保護層，並且所述保護層選自場平坦化層、穿隧注入阻擋層和庫侖阻擋層。

### 【英文】

The present disclosure provides a multilayered electrode comprising an electro-conductive layer and at least one protective layer located on one side of the electro-conductive layer and selected from the list comprising a field-planarization layer, a tunneling injection blocking layer and a coulomb blocking layer.

【指定代表圖】第(9)圖。

【代表圖之符號簡單說明】

16：層壓結構

17：第一多層電極

18：第一介電質層

19：第二多層電極

20：第二介電質層

21：膜儲能裝置

【特徵化學式】無

## 【發明申請專利範圍】

### 【第1項】

一種多層電極，

包括導電層和至少一個保護層，所述保護層位於所述導電層的一側上並且選自經配置用以將由於所述導電層的表面上的幾何曲率引起的電場增強最小化的場平坦化層、包含寬帶隙有機絕緣材料的穿隧注入阻擋層、包含電子陷阱的庫倫阻擋層、以及它們中的兩種或更多種的任意組合。

### 【第2項】

如申請專利範圍第1項的多層電極，其包括以任意順序夾在一起並選自所述場平坦化層、所述穿隧注入阻擋層和所述庫倫阻擋層所組成之群組的一個、二個或三個不同的保護層。

### 【第3項】

如申請專利範圍第1項的多層電極，其中，所述導電層的材料選自金屬、導電寡聚物、導電(電流傳導)聚合物、分子晶體材料、分子材料所組成之群組。

### 【第4項】

如申請專利範圍第3項的多層電極，其中，所述導電(電流傳導)聚合物選自聚乙炔、聚吡咯、聚噻吩、聚苯胺、聚對伸苯基硫醚(poly-p-phenylenesulphide)、聚對伸苯基伸乙烯(poly-para-phenylenevinylene)、聚吡啶、聚吡啶、聚萸(polyazulene)、聚芴、聚萘所組成之群組。

**【第5項】**

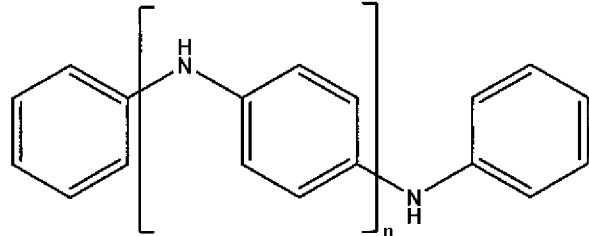
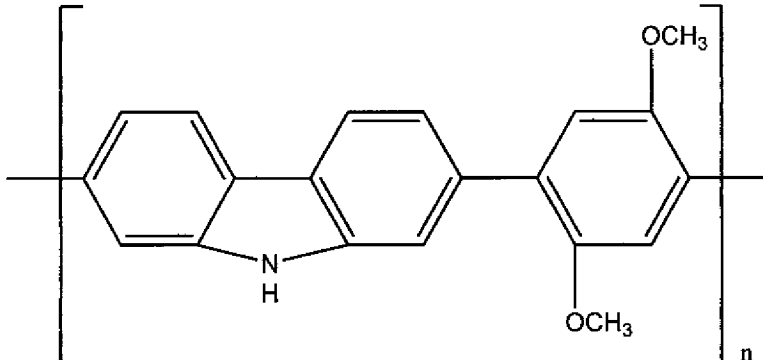
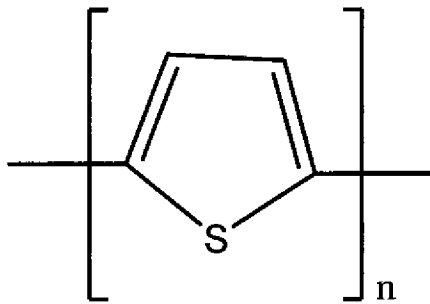
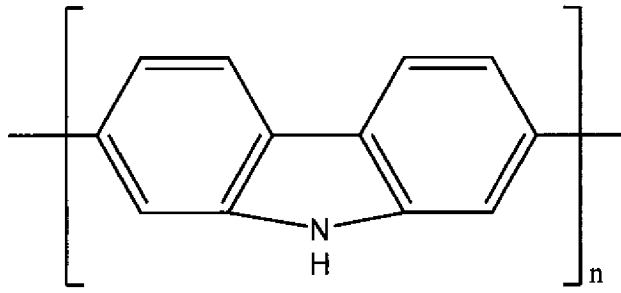
如申請專利範圍第3項的多層電極，其中，所述導電層的材料選自鎳、金、鉑、鉛、鉻、鈦、銅、鋁、鋇、鎢、銻、銀、鈣、鋇、鈾及其任意組合所組成之群組。

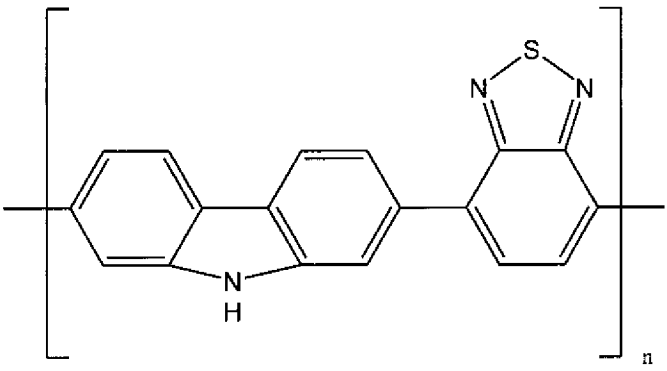
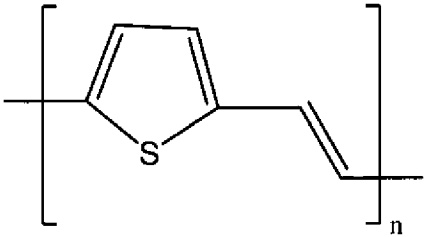
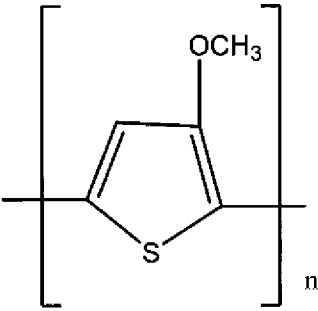
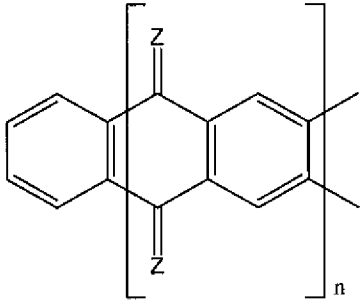
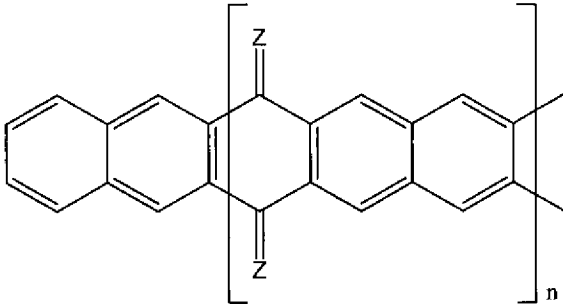
**【第6項】**

如申請專利範圍第3項的多層電極，其中，所述導電層的材料包括含有伸苯基寡聚物和多並苯奎寧基寡聚物(polyacene quinine radical oligomer)的導電寡聚物。

**【第7項】**

如申請專利範圍第6項的多層電極，其中，所述導電寡聚物選自以下結構1至9，其中 $n=2、3、4、5、6、7、8、9、10、11$ 或 $12$ ， $Z$ 是 $=O$ 、 $=S$ 或 $=NT_1$ ，及 $T_1$ 選自未取代或經取代的 $C_1-C_{18}$ 烷基、未取代或經取代的 $C_2-C_{18}$ 烯基、未取代或經取代的 $C_2-C_{18}$ 炔基、以及未取代或經取代的 $C_4-C_{18}$ 芳基所組成之群組

	<p>1</p>
	<p>2</p>
	<p>3</p>
	<p>4</p>

	<p>5</p>
	<p>6</p>
	<p>7</p>
	<p>8</p>
	<p>9</p>

【第8項】

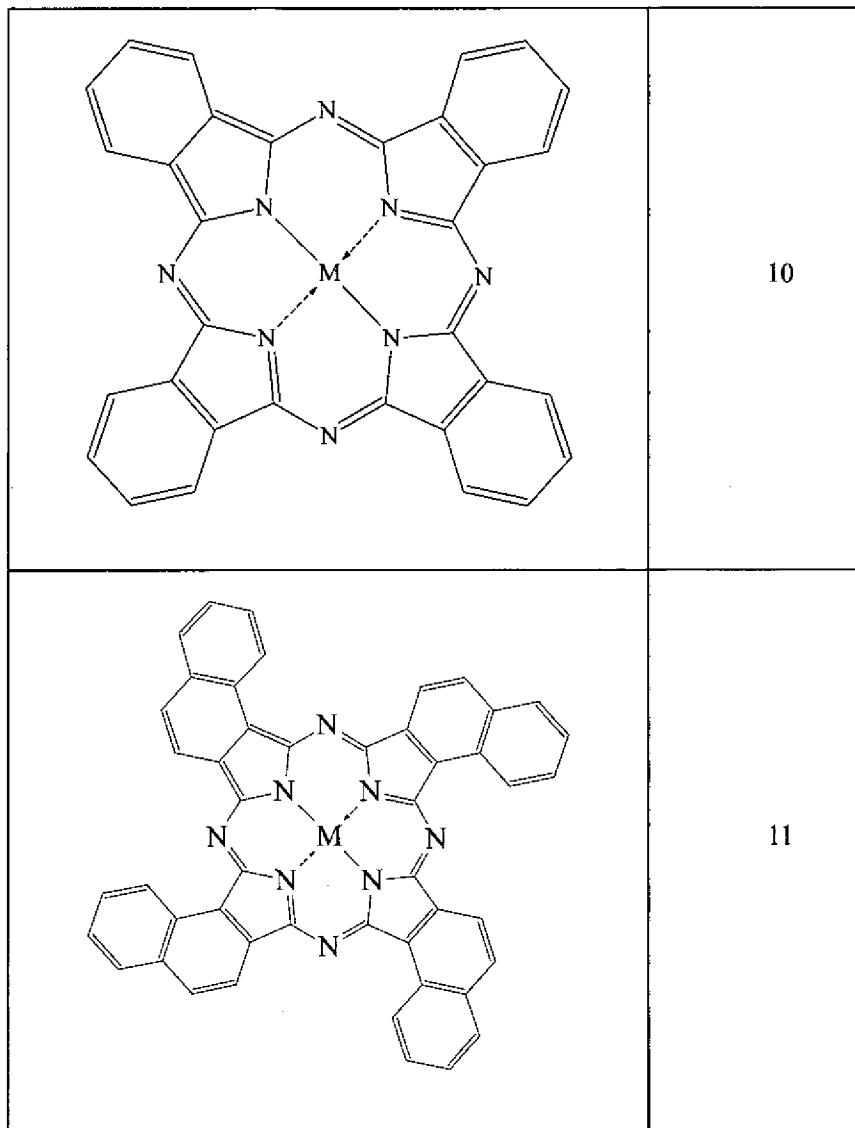
如申請專利範圍第1項的多層電極，其中，所述保護層包含所述場平坦化層，其中所述場平坦化層包含自液體或熔融階段(相)沉積的可極化材料，其中該可極化材料的可極化性大於丙烯的可極化性。

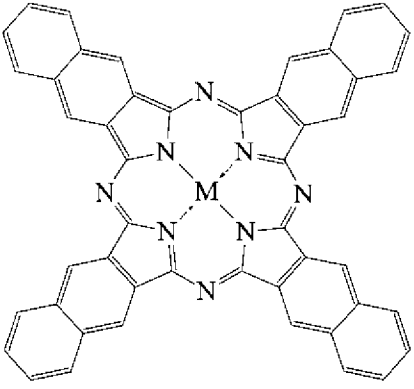
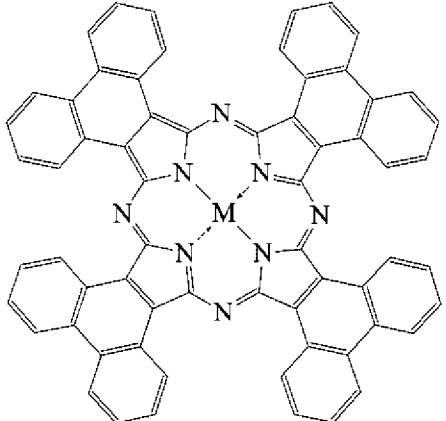
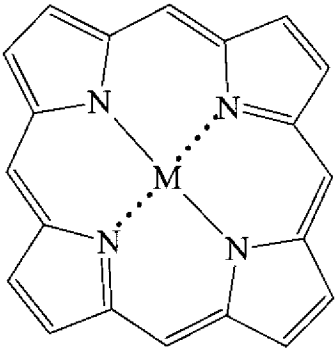
**【第9項】**

如申請專利範圍第1項的多層電極，其中，所述保護層包括所述場平坦化層，其中所述場平坦化層包括自液體或熔融階段(相)沉積的導電材料。

**【第10項】**

如申請專利範圍第1項的多層電極，其中，所述保護層包括所述庫侖阻擋層，其中所述庫侖阻擋層包含具有選自以下結構10~14的結構通式的四吡咯大環片段，其中M是用作電子陷阱的金屬原子



	12
	13
	14

**【第11項】**

如申請專利範圍第1項的多層電極，其中，所述保護層包含具有寬帶隙有機絕緣材料的所述穿隧注入阻擋層，其中所述寬帶隙有機絕緣材料具有大於4電子伏特的能隙帶，其中所述能隙帶是所述穿隧注入阻擋層的最低未佔據

分子軌道(LUMO)的能級與所述穿隧注入阻擋層的最高佔據分子軌道(HOMO)的能級之間的能量差。

**【第12項】**

如申請專利範圍第1項的多層電極，其中，所述保護層包含具有寬帶隙有機絕緣材料的所述穿隧注入阻擋層，其中所述寬帶隙有機絕緣材料的最低未佔據分子軌道(LUMO)能級與所述導電層的功函數(Wf)之間的差值不小於1電子伏特。

**【第13項】**

如申請專利範圍第1項的多層電極，其中，所述保護層包含具有寬帶隙有機絕緣材料的所述穿隧注入阻擋層，其中所述導電層的功函數(Wf)與所述寬帶隙有機絕緣材料的最高佔據分子軌道(HOMO)能級之間的差值不小於1電子伏特。

**【第14項】**

如申請專利範圍第1項的多層電極，其中，所述保護層包含所述穿隧注入阻擋層，其中所述穿隧注入阻擋層是單分子層並且包括選自胺( $\text{RNH}_3^+$ )、羧酸鹽( $\text{RCO}_2^-$ )、硫酸鹽( $\text{RSO}_4^-$ )、磺酸鹽( $\text{RSO}_3^-$ )、磷酸鹽( $\text{RHPO}_4^-$ )、醇( $\text{ROH}$ )、硫醇( $\text{RSH}$ )的兩親分子，其中R是包括多於十個 $\text{CH}_2$ -和 $\text{CF}_2$ -基團的碳鏈。

**【第15項】**

如申請專利範圍第14項的多層電極，其中，所述碳鏈藉由紫外線而聚合。

**【第16項】**

如申請專利範圍第14項的多層電極，其中，所述穿隧注入阻擋層的厚度不小於1 nm，並且由所述碳鏈的長度定義。

**【第17項】**

一種用於儲能裝置的多層結構，其包括：  
介電質層；及

如申請專利範圍第1項的多層電極，位於所述介電質層的一個表面上。

**【第18項】**

如申請專利範圍第17項的多層結構，其中，  
所述介電質層包括崩潰電場強度大於0.5 V/nm、大於1.0 V/nm、大於5.0 V/nm、大於10V/nm的材料。

**【第19項】**

如申請專利範圍第17項的多層結構，其中，所述介電質層的表面含有表面活性劑，所述表面活性劑用於在形成所述多層電極時增加所述導電材料的潤濕性。

**【第20項】**

如申請專利範圍第17項的多層結構，其在平面內具有矩形形狀。

**【第21項】**

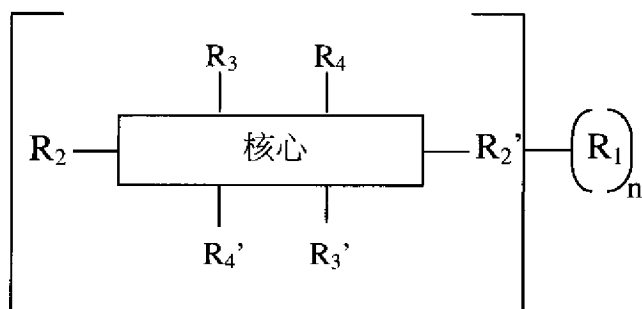
如申請專利範圍第17項的多層結構，其中，所述介電質層包括選自氧化物、氮化物、氮氧化物和氟化物的材料。

## 【第22項】

如申請專利範圍第21項的多層結構，其中，所述介電質層包括選自  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{SiO}_x\text{N}_y$ 、 $\text{HfO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  或  $\text{Si}_3\text{N}_4$  的材料。

## 【第23項】

如申請專利範圍第17項的多層結構，其中，所述介電質層包括以電子可極化性為特徵的有機化合物，並具有以下結構通式：



其中所述核心是芳族多環共軛分子，  
 $R_1$ 是使所述有機化合物與相鄰化合物電絕緣的基團，  
 $n$ 在1和8之間，  
 $R_2$ 和 $R_2'$ 是位於頂點位置的取代基，  
 $R_3$ 、 $R_3'$ 、 $R_4$ 和 $R_4'$ 是位於側(側面)位置的取代基，及  
 其中所述核心具有平坦的不等軸形式，所述 $R_2$ 取代基獨立地選自氫、親電子基團(受體)和親核基團，而所述 $R_2'$ 取代基獨立地選自氫、親核基團(供體)和親電子基團(受體)；及  
 $R_3$ 、 $R_3'$ 、 $R_4$ 和 $R_4'$ 取代基獨立地選自氫、親核基團(供體)和親電子基團(受體)，及

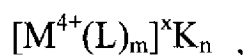
其中所述取代基  $R_2$ 、 $R_2'$ 、 $R_3$ 、 $R_3'$ 、 $R_4$ 和  $R_4'$ 不能同時為氫。

**【第24項】**

如申請專利範圍第23項的多層結構，其中， $R_1$ 是使所述有機化合物與相鄰化合物電絕緣的基團，並提供所述有機化合物在有機溶劑中的溶解性。

**【第25項】**

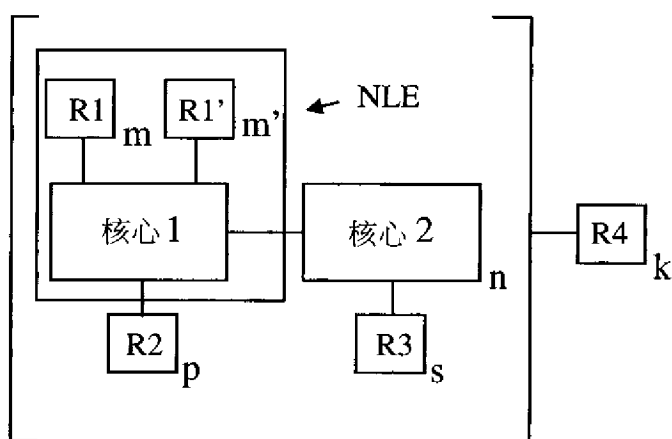
如申請專利範圍第17項的多層結構，其中，所述介電質層包含具有以下通式的電可極化錯合物：



當錯合劑  $M$ 是四價金屬時，配體  $L$ 包括至少一個具有至少一個金屬配位雜原子(中性或陰離子)的雜原子片段和至少一個提供電阻率的電阻性片段， $m$ 表示配體的數目， $x$ 代表金屬-配體錯合物的氧化態， $K$ 是提供該錯合物的電中性的抗衡離子或兩性離子聚合物， $n$ 表示抗衡離子的數目，其中所述金屬配位雜原子形成第一配位球，且該第一配位球中的雜原子數不超過12個。

**【第26項】**

如申請專利範圍第17項的多層結構，其中，所述介電質層包含具有以下通式的電可極化化合物：



其中所述核心1是具有二維平坦形式並且藉由柱狀超分子中的 $\pi$ - $\pi$ 堆積而自組裝的芳族多環共軛分子，R1是與所述芳族多環共軛分子(核心1)連接的電子供體基團，R1'是與所述芳族多環共軛分子(核心1)連接的電子受體基團，m是受體基團R1的數目，m'是供體基團R1'的數目，m和m'等於0、1、2、3、4、5或6，其中m和m'不都等於0，R2是直接或經由連接基團與所述芳族多環共軛分子(核心1)連接之取代基，該取代基包括來自一類離子化合物的一個或多個離子基團，所述離子化合物用於離子液體，p是所述離子基團R2的數目，其等於0、1、2、3或4，

其中包含具有至少一個基團R1和/或R1'之該核心1的標記為NLE的片段具有極化的非線性效應，

其中核心2是導電寡聚物，n是所述導電寡聚物的數目，其等於0、2或4，R3是直接或藉由連接基團與所述導電寡聚物(核心2)連接之取代基，該取代基包括來自一類離子化合物的一個或多個離子基團，所述離子化合物用於離子液體，s是離子基團R3的數目，其等於0、1、2、3或4，

其中取代基 R4 是電阻性取代基，其提供所述有機化合物在溶劑中的溶解性並使所述柱狀超分子彼此電絕緣，並且直接或經由連接基團與所述芳族多環共軛分子(核心 1)和/或所述導電性寡聚物(核心 2)連接，k 是取代基 R4 的數目，其等於 0、1、2、3、4、5、6、7 或 8。

**【第 27 項】**

一種膜儲能裝置，其包括兩個相互層壓之如申請專利範圍第 17 項的多層結構，其中所述層壓結構的特徵在於以下的層順序：多層電極-介電質層-多層電極-介電質層。

**【第 28 項】**

如申請專利範圍第 27 項的膜儲能裝置，其中，所述兩個層壓的多層結構被捲繞(盤繞)成螺旋狀。

**【第 29 項】**

如申請專利範圍第 27 項的膜儲能裝置，其中，所述介電質層包括崩潰電場強度大於 0.5 V/nm、大於 1.0 V/nm、大於 5.0 V/nm、大於 10 V/nm 的材料。

**【第 30 項】**

如申請專利範圍第 27 項的膜儲能裝置，其中，所述介電質層的表面含有表面活性劑，所述表面活性劑用於在形成所述多層電極時增加所述導電材料的潤濕性。

**【第 31 項】**

如申請專利範圍第 27 項的膜儲能裝置，其在平面內具有矩形形狀。

**【第 32 項】**

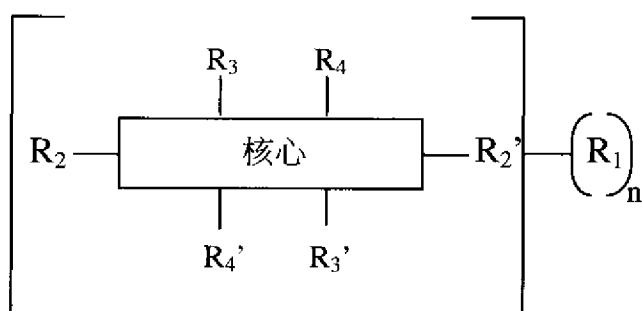
如申請專利範圍第27項的膜儲能裝置，其中，所述介電質層包括選自氧化物、氮化物、氮氧化物和氟化物的材料。

【第33項】

如申請專利範圍第32項的膜儲能裝置，其中，所述介電質層包括選自  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{SiO}_x\text{N}_y$ 、 $\text{HfO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  或  $\text{Si}_3\text{N}_4$  的材料。

【第34項】

如申請專利範圍第27項的膜儲能裝置，其中，所述介電層包括以電子可極化性為特徵的有機化合物，並具有以下通式結構：



其中核心是芳族多環共軛分子，

$\text{R}_1$ 是使所述有機化合物與相鄰化合物電絕緣的基團，

$n$ 在1和8之間，

$\text{R}_2$ 和  $\text{R}_2'$ 是位於頂點位置的取代基，

$\text{R}_3$ 、 $\text{R}_3'$ 、 $\text{R}_4$ 和  $\text{R}_4'$ 是位於側(側面)位置的取代基，及

其中所述核心具有平坦的不等軸形式，和所述  $\text{R}_2$  取代基獨立地選自氫、親電子基團(受體)和親核基團，而所述  $\text{R}_2'$  取代基獨立地選自氫、親核基團(供體)和親電子基團

(受體)；及

$R_3$ 、 $R_3'$ 、 $R_4$ 和 $R_4'$ 取代基獨立地選自氫、親核基團(供體)和親電子基團(受體)，及

其中所述取代基 $R_2$ 、 $R_2'$ 、 $R_3$ 、 $R_3'$ 、 $R_4$ 和 $R_4'$ 不能同時為氫。

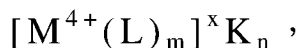
**【第35項】**

如申請專利範圍第34項的膜儲能裝置，其中，

$R_1$ 是使所述有機化合物與相鄰化合物電絕緣的基團，並提供所述有機化合物在有機溶劑中的溶解性。

**【第36項】**

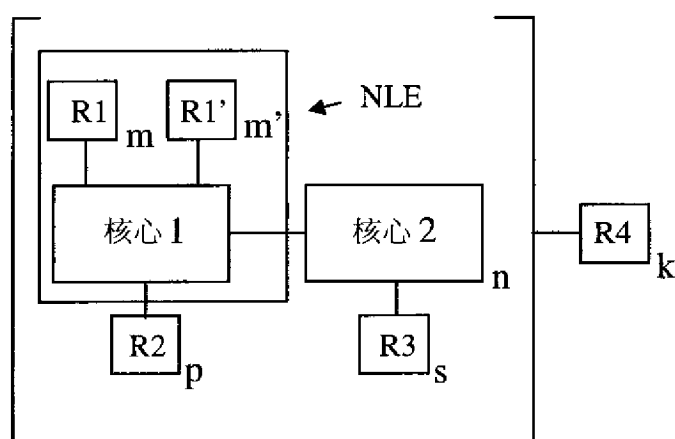
如申請專利範圍第27項的膜儲能裝置，其中，所述介電質層包括具有以下通式的電可極化錯合物：



當錯合劑M是四價金屬時，配體L包括至少一個具有至少一個金屬配位雜原子(中性或陰離子)的雜原子片段和至少一個提供電流電阻率的電阻性片段，m表示配體的數目，x代表金屬-配體錯合物的氧化態，K是提供所述錯合物的電中性的抗衡離子或兩性離子聚合物，n代表抗衡離子的數目，其中所述金屬配位雜原子形成第一配位球，且該第一配位球中的雜原子數不超過12個。

**【第37項】**

如申請專利範圍第27項的膜儲能裝置，其中，所述介電質層包括具有以下通式的電可極化化合物：



其中核心 1 是具有二維平坦形式並且藉由柱狀超分子中的  $\pi$ - $\pi$  堆積而自組裝的芳族多環共軛分子，R1 是與所述芳族多環共軛分子(核心 1)連接的電子供體基團，而 R1' 是與所述芳族多環共軛分子(核心 1)連接的電子受體基團，m 是受體基團 R1 的數目，m' 是供體基團 R1' 的數目，m 和 m' 等於 0、1、2、3、4、5 或 6，其中 m 和 m' 不都等於 0，R2 是直接或經由連接基團與所述芳族多環共軛分子(核心 1)連接之取代基，該取代基包含來自一類離子化合物的一個或多個離子基團，所述離子化合物用於離子液體，p 是所述離子基團 R2 的數目，其等於 0、1、2、3 或 4，

其中包含具有至少一個基團 R<sub>1</sub> 和 / 或 R<sub>1</sub>' 之該核心 1 的標記為 NLE 的片段具有極化的非線性效應，

其中核心 2 是導電寡聚物，n 是所述導電寡聚物的數目，其等於 0、2 或 4，R3 是直接或藉由連接基團與所述導電寡聚物(核心 2)連接之取代基，該取代基包含來自一類離子化合物的一個或多個離子基團，所述離子化合物用於離子液體，s 是所述離子基團 R3 的數目，其等於 0、1、2、3 或 4；

其中 R4 是電阻性取代基，其提供所述有機化合物在溶劑中的溶解性並使所述柱狀超分子彼此電絕緣，並且直接或經由連接基團與所述芳族多環共軛分子(核心 1)和/或所述導電性寡聚物(核心 2)連接，k 是取代基 R4 的數目，其等於 0、1、2、3、4、5、6、7 或 8。





