



(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 201809035 A

(43) 公開日：中華民國 107 (2018) 年 03 月 16 日

(21) 申請案號：106111417 (22) 申請日：中華民國 106 (2017) 年 04 月 05 日

(51) Int. Cl. : *C08F20/36 (2006.01)* *C08G73/02 (2006.01)*
H01G9/04 (2006.01) *H01G9/07 (2006.01)*

(30) 優先權：2016/04/04 美國 62/318,134
 2017/03/03 美國 15/449,587

(71) 申請人：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：無 申請專利範圍項數：29 項 圖式數：4 共 69 頁

(54) 名稱

Y a n L i 材料及含彼之介電質和電容器

YANLI MATERIAL AND DIELECTRIC AND CAPACITOR THEREOF

(57) 摘要

本發明的複合低聚物材料包括一個或多個重複主鏈單元；併入或連接到一個或多個重複主鏈單元中的一或多者的一個或多個極化性單元；以及一個或多個電阻性尾部，其中該電阻性尾部以側鏈形式連接到一個或多個重複主鏈單元或一個或多個極化性單元，連接在極化性單元上、連接在將極化性單元連接到主鏈單元的連接端上、或直接連接到主鏈單元。該複合低聚物材料可以被聚合而形成可以夾在電極之間的 meta 介電質，由此形成 meta 電容器。

A composite oligomeric material includes one or more repeating backbone units; one or more polarizable units incorporated into or connected to one or more of the one or more repeating backbone units; and one or more resistive tails connected to one or more of the repeating backbone units or to the one or more polarizable units as a side chain on the polarizable unit, on a handle linking a polarizable unit to a backbone unit, or directly attached to a backbone unit. The composite oligomer material may be polymerized to form a metadielectric, which may be sandwiched between to electrodes to form a metacapacitor.

指定代表圖：

符號簡單說明：

1 . . . 第一電極

2 . . . 第二電極

3 . . . meta 介電質層

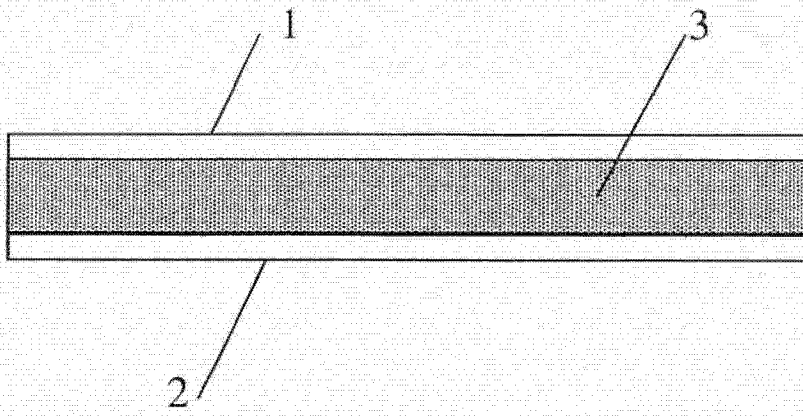


圖 1

【發明摘要】

【中文發明名稱】

YanLi 材料及含彼之介電質和電容器

【英文發明名稱】

YanLi material and dielectric and capacitor thereof

【中文】

本發明的複合低聚物材料包括一個或多個重複主鏈單元；併入或連接到一個或多個重複主鏈單元中的一或多者的一個或多個極化性單元；以及一個或多個電阻性尾部，其中該電阻性尾部以側鏈形式連接到一個或多個重複主鏈單元或一個或多個極化性單元，連接在極化性單元上、連接在將極化性單元連接到主鏈單元的連接端上、或直接連接到主鏈單元。該複合低聚物材料可以被聚合而形成可以夾在電極之間的 meta 介電質，由此形成 meta 電容器。

【英文】

A composite oligomeric material includes one or more repeating backbone units; one or more polarizable units incorporated into or connected to one or more of the one or more repeating backbone units; and one or more resistive tails connected to one or more of the repeating backbone units or to the one or more polarizable units as a side chain on the polarizable unit, on a handle linking a polarizable unit to a backbone unit, or directly attached to a backbone unit. The composite oligomer material may be polymerized to form a metadielectric, which may be sandwiched between to electrodes to form a metacapacitor.

【指定代表圖】第(1)圖。

【代表圖之符號簡單說明】

1：第一電極

2：第二電極

3：meta 介電質層

【特徵化學式】無

【發明說明書】

【中文發明名稱】

YanLi 材料及含彼之介電質和電容器

【英文發明名稱】

YanLi material and dielectric and capacitor thereof

【技術領域】

本申請案要求於 2017 年 3 月 3 日提交的美國專利申請案 No.15/449,587 的權益，其全部內容通過引用併入本文。本申請案亦要求於 2016 年 4 月 4 日提交的美國臨時申請案 No.62/318,134 的權益，其全部內容通過引用併入本文。

本發明涉及一種電路的無源部件，更具體地涉及一種複合有機化合物和基於該材料並用於能量儲存的電容器。電容器是儲存施加的電荷一段時間然後將其放電的儲能裝置。經由在兩個電極之間施加電壓來對其進行充電，並經由短路兩個電極而放電。即使當充電源被移去時，也保持電壓直到放電。電容器阻斷直流電流，並允許交流電流的流動。電容器的能量密度通常小於電池的能量密度，但是電容器的功率輸出通常高於電池的功率輸出。電容器通常用於各種目的，包括定時、電源平滑、耦合、濾波、調諧和能量儲存。電池和電容器通常串聯使用，例如在帶有閃光燈的相機中。電池為電容器充電，然後電容器提供閃光

燈所需的高功率。同樣的想法適用於電動和混合動力車輛，其中電池提供能量，電容器為起動和加速提供動力。

【先前技術】

電容器是用於以靜電場的形式儲存能量的無源電子部件，並且包括由介電質層隔開的一對電極。當在兩個電極之間存在電位差時，在介電質層中產生電場。理想的電容器的特徵在於具有單一固定的電容值，其是每個電極上的電荷與它們之間的電位差的比。對於高電壓應用，必須使用更大的電容器。

介電質材料的一個重要特徵是其擊穿電場。其對應於該材料發生災難性故障且使電極之間導電時之電場強度的值。對於大多數電容器的幾何形狀，可以經由兩個電極之間的電壓除以電極之間間距來大約得到介電質中的電場，該間距通常是介電質層的厚度。由於厚度通常是恆定的，其更常見的是指擊穿電壓，而不是擊穿電場強度。存在幾個因素能夠極大地降低擊穿電壓。特別地導電電極的幾何形狀是影響電容器應用中的擊穿電壓的重要因素。特別地，尖銳的邊緣或尖端會局部地極大提高電場強度並且能夠導致局部擊穿。一旦在任意一點開始局部擊穿，則擊穿會很快地“鋪滿”整個介電質層，直到到達相反電極而引起短路。

一般如下地產生介電質層的擊穿。電場的強度變得高到從介電質材料的原子釋放電子，使它們將電流從一個電

極傳導到另一個電極。在半導體器件中可觀察到存在於介電質中的雜質或結晶結構的缺陷能夠造成雪崩擊穿。

介電質材料的另一個重要的特徵是其介電常數。不同種類的介電質材料被用於電容器，包括不同類型的陶瓷、聚合物膜、紙、以及電解質電容器。最廣泛使用的聚合物膜材料是聚丙烯和聚脂。提高介電常數使得能夠提高體積能量密度，這使其成為一個重要的技術課題。

用於產生具有高介電常數的介電質的一種方法是使用高度可極化的材料，當放置在兩個電極之間並經受電場時，由於分子的極化端朝向相反電荷的電極而可更容易地吸收更多的電子。美國專利申請案 15/043,186（代理人案卷號 CSI-019A）說明了將高度可極化的分子摻入低聚物中以產生這種介電質材料的方法，因此通過引用整體併入本說明書。

在文章“含有 C.I.分散紅 1 的烷氧基矽烷染料的合成與光譜表徵（*Synthesis and spectroscopic characterization of an alkoxysilane dye containing C. I. Disperse Red 1*）”（Yuanjing Cui、Minquan Wang、Lujian Chen、Guodong Qian, *Dyes and Pigments*, 62（2004），第 43-47 頁）中，描述了烷氧基矽烷染料（ICTES-DR1）的合成，其經由溶膠-凝膠加工共聚合得到有機-無機混合材料，用作二級非線性光學（NLO）效應。C.I.分散紅 1（DR1）經由胺基甲酸酯鍵連接到 Si 原子上，使用三乙胺作為催化劑，經由 3-異氰酸基丙基三乙氧基矽烷（ICTES）與 DR1 進行親核

加成反應，以提供官能化的矽烷。作者發現三乙胺和二月桂酸二丁基錫幾乎與催化劑同樣有效。使用元素分析、質譜、 $^1\text{H-NMR}$ 、FTIR、紫外-可見光譜和差示掃描量熱法（DSC）表徵了 ICTES-DR1 的物理性質和結構。ICTES-DR1 在常見的有機溶劑中表現出極好的溶解性。

已經廣泛研究了有機分子的優於無機晶體的二級非線性光學（NLO）效應。例如，研究的性質包括它們的大的光學非線性、超快的響應速度、高損傷閾值、以及低吸收損失等。特別地，具有優異光學性質的有機薄膜在集成光學，例如光開關、數據操縱和信息處理中具有巨大的潛力。在有機 NLO 分子中，偶氮染料發色團是許多研究者特別感興趣的，因為它們具有因 p -電子雲的非定域化而產生之相當大的分子超極化性（ b ）。在過去十年中，它們最常作為客體引入聚合物基質（客體-主體聚合物）或接枝到聚合物基質（官能化的聚合物）中。

經由施加靜電場或經由光學極化(optical poling)獲得發色團定向。無論極化過程如何，極化等級衰減都是不可逆過程而趨向於消除材料的 NLO 響應，並且該過程在更高的溫度下加速。對於器件應用，最可能的候選者必須表現出固有的性質，包括：（i）高的熱穩定性，由此在極化期間耐受加熱；（ii）高玻化轉變溫度（ T_g ），由此在極化之後將發色團鎖定在它們的偏心等級(acentric order)上。

然而，大多數聚合物具有低 T_g 或差的熱穩定性，這

使得它們不適合直接使用。為了克服這些問題，一種有吸引力的方法是經由共價鍵將非線性光學活性發色團結合到可聚合的矽烷中以產生烷氧基矽烷染料，其可以經由溶膠-凝膠加工共聚以形成有機-無機混合材料。官能化的烷氧基矽化物（silicon alkoxydes）的水解和縮合可以產生剛性的無定形三維網絡，其導致減慢 NLO 發色團的鬆弛。因此，溶膠-凝膠混合型非線性光學材料已經受到了極大的關注並顯示出所需的性能。在這種策略中，新的形成網絡的烷氧基矽烷染料的設計和合成是至關重要的，並且它們的詳細研究將提供用於二級非線性光學的新材料的製造中的巨大希望，其將最終滿足建構光子器件的基本要求。

在文章“Design and Characterization of Molecular Nonlinear Optical Switches”（Frederic Castet 等，ACCOUNTS OF CHEMICAL RESEARCH，第 2656-2665 頁，（2013），第 46 卷，第 1 期），Castet 等說明了設計和表徵高效率 NLO 開關的實驗和理論工具的相似性，並且也比較了它們的困難。在提供了用於評估第一超極化率的不同理論方法的關鍵概述之後，Castet 等報告了兩個案例研究，其中理論模擬提供了設計具有更高效率的 NLO 開關的指南。第一個例子提出了基於苯並唑並-噁唑烷衍生物（benzazolo-oxazolidine derivatives）的新的多尋址 NLO 開關族的聯合理論/實驗特徵。第二個重點是在部花青素-螺吡喃（merocyanine-spiropyran）系統中的光致變換，其中顯著的 NLO 對比可以用於新一代多用途感測裝

置中的金屬陽離子識別。最後，Castet 等用基於苯胺衍生物中的酮-烯醇平衡 (keto-enol equilibrium) 的實例，說明了環境對 NLO 開關性質的影響。經由這些代表性的例子，Castet 等證明了結合實驗和理論方法之分子 NLO 開關的合理設計已經達到成熟。未來的挑戰包括將所研究的對象擴展到涉及幾個 NLO 響應單元的超分子結構，以便利用它們的合作效應來增強 NLO 響應和對比度。

Marilú Chávez-Castillo 等揭示經由氧化聚合方法合成了 3-烷基噻吩 (烷基=己基、辛基) 和用分散紅 19 (disperse red 19: TDR19) 作為發色團側鏈而官能化的噻吩的兩種共聚物 (“Third-Order Nonlinear Optical Behavior of Novel Polythiophene Derivatives Functionalized with Disperse Red 19 Chromophore”, Hindawi Publishing Corporation International Journal of Polymer Science, 2015 卷, 文章號 219361, 10 頁, <http://dx.doi.org/10.1155/2015/219361>)。合成過程易於進行, 成本效益高, 通用性強。能夠經由 NMR、FT-IR、UV-Vis GPC、DSC-TGA 和 AFM 測定這些聚噻吩類衍生物的分佈、分子量分佈、膜形態、光學和熱性質。利用奈秒和飛秒雷射脈衝, 經由使用三次諧波生成 (THG) 和 Z 掃描 (z-scan) 技術, 分別在 1300 和 800 nm 的紅外波長執行這些材料的三級非線性光學響應。從這些實驗中觀察到, 儘管摻入到共聚物的側鏈中的 TRD19 低於 5%, 但已足以增加它們在固態下的非線性響應。例如, 當摻入

的 TDR19 從 3%增加到 5%時，由這些共聚物製成的固體薄膜的三級非線性電磁化率呈現接近 60%的增量。在溶液中，共聚物表現出類似的雙光子吸收截面 σ_{2PA} ，每個重複單體單元的最大值為 8545GM 和 233GM ($1GM=10^{-50} \text{ cm}^4\text{s}$)。

Mark G.Kuzyk 等在“Theory of Molecular Nonlinear Optics”，Advances in Optics and Photonics 5,4-82 (2013) doi: 10.1364 / AOP .5.000004 中綜述了基於狀態和 (sum-over-states: SOS) 模型的分子非線性光學的理論。經由一級擾動理論處理輻射與單一 wtp 分離分子的相互作用，並且根據分子狀態的性質和在它們之間的光誘導躍遷之電偶極子躍遷矩，針對線性 ($\alpha\beta_{ij}$) 極化率和非線性 (β_{ijk} , γ_{ijkl}) 分子超極化率導出表達式。尺度不變性被用來估計這些極化率的基本極限。討論了單分子的空間對稱性、它們在緻密介質中的排序、以及從單分子到緻密介質情況的轉變 (磁化率 $\chi^{(1)}_{ij}$, $\chi^{(2)}_{ijk}$, $\chi^{(3)}_{ijkl}$) 的重要性。例如，對於 β_{ijk} ，對稱性決定了分子是否可以支持二級非線性過程。對於非中心對稱分子，基於兩級模型 (基態和一個激發態) 的頻率分散的示例是 β_{ijk} 的最簡單的可能性，並且給出了所得到的頻率分散的示例。三級磁化率太複雜，不能在對稱性方面產生簡單的結果。其顯示雖然對於非中心對稱分子而言，兩級模型就足夠了，但為了描述諸如雙光子吸收的效應，需要最少三個等級的對稱分子。將展示三級磁化率的頻率分散，並將討論單和雙光子躍遷

的重要性。

在 Joelle Akl、Chelmia Billot 等的 “Molecular materials for switchable nonlinear optics in the solid state, based on rutheniumnitrosyl complexes”, *New J. Chem.*, 2013, 37, 第 3518-3527 頁中，描述了為了實現固態下的完全 NLO 開關，而將能夠高產率 Ru-NO/Ru-ON 異構化的（聚吡啶-鈦）-亞硝醯基絡合物作為潛在的分子設備的目標。在 PBE0/6-31+G** DFT 水平下，對根據通式 [R-三聯吡啶-Ru^{II}Cl₂(NO)](PF₆)（R 是具有各種供電子或拉電子能力的取代基）的基準系統進行了計算研究，產生以下的結論：對於具有弱供電子能力的 R 取代基，異構化能夠產生令人信服的 NLO 開關（ β_{ON}/β_{OFF} 比值大）。為了測試這類材料的合成可行性，用 R=4'-p-溴苯基、4'-p-甲氧基苯基、4'-p-二乙基胺基苯基、以及 4'-p-硝基苯基，獲得了 4 種新分子。不同的順式（C1，C1）和反式（C1，C1）異構體可以經由 HPLC 分離，並經由 NMR 和 X 射線晶體學研究鑒定。

可以經由簡單的基於溶液的自組裝方法生產經摻雜的苯胺低聚物的單晶體（參見 Yue Wang 等人，“Morphological and Dimensional Control via Hierarchical Assembly of Doped Oligomiline Single Crystals”, *J. Am. Chem. Soc.* 2002, v. 134, 第 9251-9262 頁）。詳細的機理研究表明，不同形態和尺寸的晶體可以經由“自下而上”的層次組裝來產生，其中諸如一維（1-D）奈米纖維的結構

可以聚集成更高級的結構。可以經由控制晶體的成核和經摻雜的低聚物之間的非共價相互作用，來得到各種各樣的結晶狀奈米結構，包括 1-D 的奈米纖維和奈米線、2-D 的奈米帶和奈米片、3-D 的奈米板、層疊片、奈米花、多孔網、中空球和扭曲線圈。這些奈米尺度晶體與其大體積的對應物相比，表現出增強的導電性以及有趣的結構-性質關係，例如形狀依賴性結晶度。此外，經由吸收研究而監測分子-溶劑相互作用，可以極大地合理化和預測這些結構的形態和尺寸。經由使用經摻雜的四苯胺作為模型系統，Yue Wang 等人提出的結果和策略給出了深入瞭解有機材料形狀和尺寸控制的一般方案。

Hu Kang 等詳細介紹了一系列非常規扭轉的 π -電子系統光電 (EO) 發色團的合成和化學/物理特徵 (“超大型超極化性扭轉 π -電子系統光電發色團：合成、固態和溶液相結構特徵、電子結構、線性和非線性光學特徵、以及計算研究，“Ultralarge Hyperpolarizability Twisted π -Electron System Electro-Optic Chromophores: Synthesis, Solid-State and Solution-Phase Structural Characteristics, Electronic Structures, Linear and Nonlinear Optical Properties, and Computational Studies”, J. AM. Chem. SOC. 2007, 第 129 卷, 第 3267~3286 頁)。這些發色團的晶體學分析揭示了大的環-環二面扭轉角 ($80-89^\circ$) 和高電荷分離的兩性離子結構主導了基態。溶液中的扭轉角的 NOE NMR 測量證實了固態扭曲在溶液中基本保持不變。溶液相和固體狀態

下的光學、紅外和核磁共振光譜研究都進一步證實了固體結構特徵在溶液中持續存在。與固態數據結合地，使用幾種實驗技術研究了這些高極性兩性離子的聚集，包括濃度依賴性光學和螢光光譜以及脈衝場梯度自旋回波（PGSE）NMR 光譜。這些研究揭示了在濃縮溶液和固體狀態下形成中心對稱聚集體的明確證據，並提供了聚合程度的定量信息。在溶液相直流電場誘發的二次諧波產生（EFISH）測量中，顯示出前所未有的超極化率（1907 nm 時非諧振 $\mu\beta$ 高達 -488000×10^{-48} esu）。將這些發色團引入客體-主體之經極化的聚苯乙炔基苯酚（polyvinylphenol）膜中，在 1310 nm 處產生 ~ 330 pm/V 之非常大的光-電率（ r_{33} ）。並討論了對觀察到的線性/非線性光學性質的聚集和結構特性的影響。基於狀態平均的完全活性空間自洽場（SA-CASSCF）方法的高階計算為這些異常的超極化性提供了新的理論依據，並對超極化率表現出顯著的溶解作用，而且與實驗結果非常吻合。因此，這項工作提出了分子超極化性和電光學的新範例。

美國專利案 5,395,556 號（NLO 聚合物的三氰基乙炔基取代方法）證明了指定低介電常數的聚合物的 NLO 效應。美國專利申請案 11/428,395（高介電質非線性電容器）開發了具有非線性效應的高介電質材料。其相較於先前技術創新地經由超分子發色團結構實現非線性效應，它們彼此絕緣，包括在與複合有機化合物連接的絕緣或電阻元件中的摻雜性質。進而創新地揭示了將複合有機化合物

與非線性效應相結合，其在膜中形成有序結構，並且彼此絕緣，且不依賴於在基底電極上形成自組裝單層。

在美國專利申請案 62/318,134（代理人案卷號 CSI-050）中描述了具有電阻性尾部的偶氮染料發色團的低聚物的生產和使用，其全部內容經由引用併入本文。

電容器作為能量儲存器件相對於電化學能量儲存設備例如電池具有公知的優點。與電池相比，電容器能夠以非常高的能量密度即充電/放電速率來儲存能量，具有長生命期而很少退化，並且能夠充電和放電（週期性）數十萬乃至數百萬次。然而，電容器經常並不如電池那樣小體積或輕重量地、或者低能量儲存成本地儲存能量，使得電容器並不適合於一些應用，例如電動汽車。因此，需要一種能量儲存技術的改進來提供高容量、大能量儲存密度、以及低成本的電容器。

需要提高電容器的能量密度，同時保持現有的功率輸出。還需要提供一種具有可承受高頻的高介電常數之電容器，其中電容隨電壓而變化。這樣的電容器是本發明的主題。本發明的電容器基於早期對非線性光學發色團和包含所述發色團的非線性電容器的工作。

在高頻應用中，通常重要的是所使用的電容器不具有高的介電損耗。在具有高介電常數的鐵電陶瓷電容器的情況下，域邊界（domain boundaries）和電致伸縮（electrostriction）的存在提供了顯著的損耗機制。相比之下，本發明所公開的高介電質機理涉及電子在長分子中

的運動及其固定供體。這發生得非常快，因而即使在千兆赫茲頻率下，損耗也很小。

本發明所公開的電容器類型的第二個非常有用的特性是其非線性。在許多應用中，期望具有一種電壓敏感型電容器，來調諧電路並調整濾波器。本發明的電容器具有這樣的性質；當移動電子隨著電壓的增加而移動到發色團的遠端時，其運動被停止，使得即使產生額外的電壓而位置變化很小。結果，介電質的電力矩的增加減小，導致介電常數降低。

本發明所公開的電容器類型的第三個有用特性是因共價鍵合到複合有機化合物上的有序電阻性尾部產生的電阻率。在許多情況下，電子遷移性被電阻材料的基質阻礙。有序的電阻性尾部可以經由增加有序結構(如薄片或薄片狀或膠束結構)中的極化單元的密度來增強電容器的能量密度，同時也限制電子在發色團上的遷移性。有序電阻性尾部也可以交聯以進一步增強介電質膜的結構，這可以減少局部膜缺陷並增強膜的擊穿電壓或電場。此外，有序電阻性尾部可以改善複合化合物在有機溶劑中的溶解度。此外，有序電阻性尾部阻止由任意連接的多環共軛分子的 π - π 堆疊形成的超分子結構之間的電極化相互作用。

如果電阻性尾部在結構上可以是剛性的，則由此能夠經由將單獨的環系統保持在適當位置，來穩定 π - π 堆疊，並能夠經由阻止由於烷基鏈的捲繞而存在空隙，來穩定整個材料。這在美國專利申請案 15/043,247 (代理人案卷號

CS1-51B) 中有更詳細的描述，其全部內容經由引用併入本文。

本發明所公開的電容器類型的第四個非常有用的特性是經由使用非離子摻雜基團來改變發色團的電子密度，由此增強發色團的非線性響應。對發色團的電子密度的控制可以顯著增加而用於增加極化率的非線性響應，並且相對於發色團的非線性的中性或有害影響，發色團上的摻雜基團的類型對於實現增強的非線性極化也是重要的。

本發明所公開的電容器類型的第五個非常有用的特性是經由使用非離子摻雜連接基團而改變發色團的電子密度，來增強發色團的非線性響應。控制發色團的電子密度可以顯著地增加非線性響應，這對於增加電容器的極化性以及所述電容器的能量密度是有用的。然而，相對於發色團的非線性的中性或有害影響，發色團上的摻雜連接基團的配置和類型對於實現增強的非線性極化也是重要的。

【發明內容】

本發明的一個方面包括被稱為李氏 (YanLi) 材料和李氏 (YanLi) 低聚物的一類材料。通常，李氏材料是由具有極化性和絕緣性組分的單體組成的複合低聚物材料。單體可以包括具有非線性極化性核心的極化性單元，其包括共軛環系統和至少一種摻雜基團。單體還包括側鏈形式之絕緣尾部，在極化性單元上、在使極化性單元連接到單體主鏈的連接端上、或直接附接到單體主鏈上。此外，極

化性單元可以部分或完全併入單體主鏈。李氏材料的特定亞類在本說明書中稱為李氏介電質，其為一種或多種李氏材料的聚合物。

本說明的一個方面提供一種具有高功率輸出的電容器。本發明的另一方面提供一種具有可承受高電壓的高介電常數的電容器。本發明的另一方面提供一種具有取決於電壓的電容的電容器。本發明的另一方面提供一種製造這種電容器的方法。

電容器之最簡單的形式包括第一電極、第二電極、及在第一電極和第二電極之間的複合低聚物。所述複合低聚物包括電阻性尾部、和以側鏈形式連接到單體主鏈上或併入單體主鏈中形成複合單體的極化性低聚物基團。單體主鏈上的極化性單元可以具有摻雜基團，其可以獨立地選自被具有或不具有共軛橋的共軛環系統分離的電子受體和電子供體基團。共軛橋包含與不飽和化合物中的單鍵交替的一個或多個雙鍵。在雙鍵中可能存在的許多元素中，碳、氮、氧和硫是最優選的雜原子。共軛環系統中的 π 電子在環系統的長度上是非定域化的 (delocalized)。在可能存在於複合單體中的許多類型的電阻性尾部中，其範例可以是烷基鏈、支鏈烷基鏈、氟化烷基鏈、支鏈氟烷基鏈、聚(甲基丙烯酸甲酯)鏈。當向第一和第二電極之間施加偏壓時，隨著電子密度的移動以補償由所施加的偏壓引起的電場，複合低聚物或多或少地極化。當偏壓被去除時，恢復原始的電荷分佈。通常，電容器包括多個呈結構化的介

電質膜形式的李氏低聚物（不同長度和/或類型的單體單元）。

【圖式簡單說明】

圖 1 示出了基於本發明的一個方面的具有兩個電極和介電質的 meta 電容器。

圖 2A 示出了基於本發明的一個方面的用於盤繞型 meta 電容器的塑料層的頂表面和底表面上的兩個金屬條的形成。

圖 2B 示出了基於本發明的一個方面的用於盤繞型 meta 電容器的多層帶的捲繞。

圖 3 示出了基於本發明的一個方面的盤繞膜 meta 電容器。

圖 4 示出了基於本發明的一個方面的可以用於形成 meta 電容器的 meta 介電質的李氏材料的化學結構的實例。

【實施方式】

根據本發明的方面，例如電容器的能量儲存裝置可以包括由導體或半導體組成的第一和第二電極。導體包括但不限於金屬、導電聚合物、碳奈米材料和包括石墨烯片的石墨。半導體包括但不限於矽、鍺、碳化矽、砷化鎵和硒。電極可以形成或不形成在平坦的支撐件上。平坦的支撐件可以包括但不限於玻璃、塑料、矽和金屬表面。

本發明提供一種電容器，其包括彼此平行配置並且可以是捲繞（rolled）或平坦（flat）和平面（planar）的兩個金屬電極、以及在所述電極之間的 meta 介電質層和任選的絕緣層。meta 介電質層包括如下所述的電極化性（electro-polarizable）化合物。

介電質層可以用本說明書中稱為李氏（YanLi）材料的複合低聚物製成的膜。這種複合低聚物材料的特徵在於：其包括重複主鏈單元、極化性單元和電阻性尾部的化學結構。極化性單元可以併入或以側鏈形式連接到主鏈單元，並且電阻性尾部可以連接到主鏈單元或極化性單元或單獨的主鏈單元。本說明書的描述、實施方式和圖中的任何內容均不限於這些特徵必須是分子結構的分離方面。許多實施方式具有未併入主鏈中的極化性單元，但確實也可能部分或全部的主鏈是為極化性單元的一部分。極化性單元必須具有高度的共軛性。在此，我們將“極化性單元”定義為任意的多環佈局，其中電子經由共軛的單鍵和雙鍵在化學結構的整個部分上非定域化（delocalized）。在此，非異構（anisomeric）被定義為沿著軸線具有電荷或部分電荷不對稱性的分子的狀態。這種共軛性的可能的非限定性形式是多環稠合芳族體系、或其中的芳族體系經由交替的單鍵和雙鍵連接的共軛橋。

或者，介電質層可以包括任何有機複合低聚物、化合物或聚合物，例如 5/12/2015 提交的美國專利申請案 14/710,491（代理人案卷號 CSI-003）、2/12/2016 提交的

美國專利申請案 15/043186 (代理人案卷號 CSI-019A)、2/12/2016 提交的美國專利申請案 15/043,209 (代理人案卷號 CSI-019B)、6/27/2016 提交的美國專利申請案 15/194,224 (代理人案卷號 CSI-044)、2/12/2016 提交的美國專利申請案 15/043,247 (代理人案卷號 CSI-046)、4/4/2016 提交的美國專利申請案 15/090,509 (代理人案卷號 CSI-051)、以及 5/24/2016 提交的美國專利申請案 15/163,595 (代理人案卷號 CSI-051B) 所述者，其全部內部完全併入本文。

圖 1 示出了具有第一電極 1、第二電極 2、設置在所述第一和第二電極之間的 meta 介電質層 3 的 meta 電容器的一個例子。電極 1 和 2 可以由例如銅、鋅或鋁的金屬、或例如石墨或碳奈米材料的其它導電材料製成，並且通常是平面形狀。

電極 1、2 可以是平坦並且平面的，並且彼此平行配置。或者，電極可以是平面的並且平行的，但不一定是平坦的，它們可以盤繞、捲繞、彎曲、折疊、或其他形狀形成電容器。電極也可以是非平坦的、非平面的、或非平行的、或它們中的兩個或更多個的某種組合。作為示例而非限定，電極 1 和 2 之間の間隔 d 可以在約 3 nm 至約 100 μm 的範圍內。電極 1 和 2 之間的最大電壓 V_{bd} 大約是擊穿電場 E_{bd} 和電極間距 d 的乘積。如果 $E_{bd}=0.1 \text{ V/nm}$ ，並且電極 1 和 2 之間の間隔 d 為 100 微米 (100,000 nm)，則最大電壓 V_{bd} 為 10,000 伏。

此外，在盤繞、捲繞、彎曲和折疊的具體實施例中，meta 電容器可以具有絕緣層以使電極 1 和 2 絕緣而阻止其彼此形成歐姆接觸。絕緣層的非限定性實例包括 meta 介電質材料、聚丙烯（PP）、聚對苯二甲酸乙二醇酯聚酯（PET）、聚苯硫醚（PPS）、聚萘二甲酸乙二醇酯（PEN）、聚碳酸酯（PP）、聚苯乙烯（PS）和聚四氟乙烯（PTFE）。

電極 1 和 2 可以具有彼此相同的形狀、相同的尺寸和相同的面積 A。作為示例而非限定，每個電極 1 和 2 的面積 A 可以為約 0.01 m^2 至約 1000 m^2 。作為示例而不是限定，捲繞的電容器的電極可以為例如 1000 m 長和 1 m 寬。

這些範圍是非限定性的。電極間距 d 和面積 A 的其他範圍也處於本發明的範圍內。

如果間距 d 比電極的特性線性尺寸（例如，長度和/或寬度）小，則電容器的電容 C 可以用以下公式近似：

$$C = \epsilon\epsilon_0 A/d, \quad (\text{V})$$

其中， ϵ_0 是自由空間(真空)的介電常數 (8.85×10^{-12} 庫侖²/ (牛頓·米²))， ϵ 是介電質層的介電常數。電容器的儲能容量 U 可以近似為：

$$U = \frac{1}{2} \epsilon\epsilon_0 A E_{bd}^2 d \quad (\text{VI})$$

儲能容量 U 由介電常數 ϵ 、面積 A 、電極間距 d 、以及擊穿電場 E_{bd} 決定。通過適當的設計，電容器或電容器組可以被設計成任何所需的儲能容量 U 。列舉一個例子而不是限定，如果對介電常數 ϵ 、電極面積 A 、和擊穿電場 E_{bd} 設置上述範圍，則本發明的一個方面的電容器能夠具有範圍為約 500 焦耳～約 2×10^{16} 焦耳的儲能容量 U 。

如果介電常數 ϵ 的範圍例如為約 100～約 1,000,000，並且恒定的擊穿電場 E_{bd} 介於例如約 0.1 和 0.5 V/nm 之間，則所述類型的電容器能夠具有範圍為約 10 W·h/kg～約 100,000 W·h/kg 的特定的每單位質量的能量容量，但並不限於此。

或者，在一些實施例中，電極 1 和 2 可以彼此具有不同形狀、並具有相同或不同的尺寸、以及相同或不同面積。

本發明包括盤繞型 (coiled) 的 meta 電容器，例如圖 2A、2B、以及 3 所示者。如圖 2A 所示，在 meta 介電質層 17 的相對表面上形成例如金屬電極的電極 19、21，其具有邊緣部分 18、20，而其在 meta 介電質層 17 之相對的邊緣位置上不存在有金屬。在一些具體實施例中，電極 19、21 的這種構造和 meta 介電質層 17 形成帶或多層帶。在一個電極 21 上形成例如塑料材料的電絕緣層 15，或者塑料膜覆蓋在一個電極 21 上。電絕緣層 15 可以包括 meta 介電質材料、或例如 PET 的普通的電容器絕緣

材料。meta 介電質層 17 可以例如經由將含有李氏 (YanLi) 材料的溶液施加到電極 19 上，然後使所施加的溶液乾燥以形成李氏材料的固體層而形成。

或者，電極 19 和 21 可以形成在絕緣層 15 的相對表面上，並具有邊緣部分 18、20，而其在絕緣層 15 之相對的邊緣位置上不存在有電極材料。在一些具體實施例中，電極 19、21 和絕緣層 15 形成帶或多層帶。絕緣層 15 可以包括 meta 介電質材料、或例如 PET 的普通的電容器絕緣材料。meta 介電質層 17 可以例如經由將含有李氏 (YanLi) 材料的溶液施加到電極 19 上，然後使所施加的溶液乾燥以形成李氏材料的固體層而形成。

在一些實施方式中，所施加的李氏材料可以是李氏低聚物 (YanLi oligomers) 的聚合溶液，而其在乾燥後形成 meta 介電質。在一些實施方式中，李氏材料可以被聚合以形成 meta 介電質。meta 介電質層的厚度可以是相對均勻的厚層。根據期望的最大電容器電壓，meta 介電質層的厚度可以在 0.1 μm 至 50 μm 的範圍內。通常較厚的 meta 介電質層用於較高的最大電容器電壓。此外，對於給定的電容器，meta 介電質層的厚度可能由於一般的製造工藝變數而變化，例如為標稱厚度值的約 1% 至 10%。在圖 2A 所示的例子中，第一金屬電極 19 形成在具有不含金屬的第一邊緣部分 18 的 meta 介電質層 17 的第一表面的一部分上。第二電極 21 形成在具有第二邊緣部分 20 的塑料層的第二表面的一部分上，該邊緣部分 20 位於 meta

介電質層 17 的相對的邊緣上且不含有金屬。圖 2A 所示的多層結構可以如圖 2B 所示捲繞成線圈。絕緣層 15 防止在捲繞為線圈之後產生第一和第二電極之間的不期望的電短路。作為示例而非限定，絕緣層 15 可以包括 meta 介電質材料、聚丙稀（PP）、聚對苯二甲酸乙二醇酯（PET）、聚苯硫醚（PPS）、聚萘二甲酸乙二醇酯（PEN）、聚碳酸酯（PP）、聚苯乙烯（PS）或聚四氟乙稀（PTFE）。

在圖 3 所示的例子中，meta 電容器 22 包括第一電極 23、第二電極 25、設置在所述第一和第二電極之間的所述類型的 meta 介電質材料層 24。電極 23 和 25 可以由例如銅、鋅或鋁的金屬、或例如石墨或碳奈米材料的其它導電材料製成，並且通常是平面形狀。在一個具體實施方式中，電極和 meta 介電質材料層 24 是長條形式的材料，其被夾在一起而與絕緣材料 26（例如塑料膜，例如聚丙稀或聚酯）一起纏繞成線圈，以防止電極 23 和 25 之間的電短路。或者，絕緣材料可以包括由如下所述的任何複合低聚物或由其形成的聚合物構成的 meta 介電質層。在美國專利申請案 14/752,600（代理人案卷號 CSI-017）中描述了適合的盤繞型（coiled）電容器的非限定性示例，其全部內容經由引用而併入本文。在此方面中，本發明提供一種盤繞型（coiled）電容器，其包括由撓性多層帶形成的線圈、以及位於所述線圈的端頭的第一端接電極（第一接觸層）和第二端接電極（第二接觸層）。撓性多層帶包含以

下層的序列：第一金屬層、塑料層、第二金屬層、儲能材料層。第一金屬層與第一端接電極（第一接觸層）形成歐姆接觸，第二金屬層（第二接觸層）與第二端接電極形成歐姆接觸。儲能材料層可以是在此所述的任何低聚物或聚合物。

圖 4 示出了作為聚合物單體的李氏材料的化學結構的實例，其中極化性單元是具有電子供體 44、兩個共軛橋 43、電子受體 42 的摻雜發色團 48；並且尾部 41 共價鍵合到電子供體基團 44。形成極化性單元的複合低聚物可以具有多於一個電子供體 44、電子受體 42 和尾部 41。在一些具體實施方式中，形成極化性單元的複合低聚物具有與共軛橋共軛的芳族環系統。在一些具體實施方式中，芳族環系統由共軛的稠合芳族環組成。根據本發明的一個方面，複合低聚物可以包含分子的混合物。由圖 4 所示類型的單體構成的李氏材料能夠聚合形成李氏介電質。

在本發明的一個具體實施例中，所述層的相對介電常數大於或等於 1000。在本發明的另一個具體實施例中，meta 介電質層的極化率（P）包括基於以下公式的一級介電常數（ $\epsilon_{(1)}$ ）、二級介電常數（ $\epsilon_{(2)}$ ）和三級介電常數（ $\epsilon_{(3)}$ ）：

$$P = \epsilon_0(\epsilon_1 - 1)E + \epsilon_0\epsilon_2 E^2 + \epsilon_0\epsilon_3 E^3 + \dots$$

其中 P 是材料的極化率，其也可以由下式表示：

$$P = NP_{\text{induced}}$$

其中， P_{induced} 是誘導極化率，可以由下式表示：

$$P_{\text{induced}} = \alpha E_{\text{loc}} + \beta E_{\text{loc}}^2 + \gamma E_{\text{loc}}^3 + \dots$$

其中 E_{loc} 是局部電場並且由下式表示：

$$E_{\text{loc}} = E + P/(3\epsilon_0)$$

從上述等式可以看出，相對介電常數 (ϵ') 的實數部也包括一級介電常數、二級介電常數和三級介電常數。此外，電容器的介電常數是所施加的電壓和電容器介電質的厚度 (d) 的函數。其中電壓是施加到 meta 介電質層的 DC 電壓，並且 d 是層厚度。在本發明的另一個具體實施例中，該層的電阻率大於或等於 10^{15} 歐姆·釐米。在本發明的又一個具體實施例中，該層的電阻率在 10^{16} 歐姆·釐米和 10^{22} 歐姆·釐米之間。

在一個具體實施方式中，所述複合低聚物包含多於一種類型的電阻性尾部。在另一個具體實施方式中，所述複合低聚物包括多於一種類型的有序 (ordered) 電阻性尾部。在另一個具體實施方式中，所述複合低聚物包括至少

一種類型的電阻性尾部、或至少一種類型的有序電阻性尾部。

為了更容易地理解本發明，參考以下實施例，其旨在說明本發明，但並不限定範圍。

在一個具體實施方式中，將液體或固體的複合低聚物置於第一和第二電極之間。固體發色團例如被壓製成丸粒而放置在第一電極和第二電極之間。在壓片前可以將發色團研磨成粉末。

在另一個具體實施方式中，至少一種類型的李氏材料或李氏低聚物可以溶解或懸浮在溶劑中。所得到的材料可以經由旋塗、利用槽模擠出、輥對輥塗覆、或拉伸並乾燥以形成介電質膜。

在另一個具體實施方式中，無尾部的複合低聚物可以溶解或懸浮在聚合物中。這被稱為“客體-主體 (guest-host)”系統，其中低聚物是客體，聚合物是主體。聚合物主體包括但不限於聚(甲基丙烯酸甲酯)、聚醯亞胺、聚碳酸酯、聚(ϵ -己內酯)。這些系統是交聯或非交聯的。

在另一個具體實施方式中，無尾部的複合低聚物可以連接到聚合物上。這被稱為“側鏈聚合物”系統。該系統具有優於客體-主體系統的優點，因為高複合低聚物濃度以高度有序和規則性結合到聚合物中，沒有相分離 (phase separation) 或濃度梯度。側鏈聚合物包括但不限於聚[4-(2,2-二氰基乙烯基)-N-雙(羥乙基)苯胺-alt-(4,4'-亞

甲基雙（苯基異氰酸酯）]胺基甲酸酯（poly[4-(2,2-dicyanovinyl)-N-bis(hydroxyethyl)aniline-alt-(4,4'-methylenebis(phenylisocyanate))]urethane）、聚[4-（2,2-二氰基乙烯基）-N-雙（羥乙基）苯胺-alt-（異佛爾酮二異氰酸酯）]胺基甲酸酯（poly[4-(2,2-dicyanovinyl)-N-bis(hydroxyethyl)aniline-alt-(isophoronediiisocyanate)]urethane）、聚（9H-咔唑-9-乙基丙烯酸酯）（poly(9H-carbazole-9-ethyl acrylate)）、聚（9H-咔唑-9-乙基甲基丙烯酸酯）（poly(9H-carbazole-9-ethyl methacrylate)）、聚（分散橙 3 丙烯酸醯胺）（poly(Disperse Orange 3 acrylamide)）、聚（分散橙 3 甲基丙烯酸醯胺）（poly(Disperse Orange 3 methacrylamide)）、聚（分散紅 1 丙烯酸酯）（poly(Disperse Red 1 acrylate)）、聚（分散紅 13 丙烯酸酯）（poly(Disperse Red 13 acrylate)）、聚（分散紅 1 甲基丙烯酸酯）（poly(Disperse Red 1 methacrylate)）、聚（分散紅 19）-alt-（1,4-二苯基甲烷胺基甲酸酯）]（poly[(Disperse Red 19)-alt-(1,4-diphenylmethane urethane)]）、聚（分散紅 19-對亞苯基二丙烯酸酯）（poly(Disperse Red 19-p-phenylene diacrylate)）、聚（分散黃 7 丙烯酸酯）（poly(Disperse Yellow 7 acrylate)）、聚（分散黃 7 甲基丙烯酸酯）（poly(Disperse Yellow 7 methacrylate)）、聚[（甲基丙烯酸甲酯）]-共-（9-咔唑-9-乙基丙烯酸酯）]（poly[(methyl methacrylate)-co-(9-H-carbazole-9-ethyl acrylate)]）、聚[（甲基丙烯酸甲酯）]-共-（9-H-咔

啞-9-乙基甲基丙烯酸酯)] (poly[(methyl methacrylate)-
 co-(9-H-carbazole-9-ethyl methacrylate)]) 、聚[甲基丙烯酸
 酸甲酯-共-(分散橙 3 丙烯醯胺)] (poly[methyl
 methacrylate-co-(Disperse Orange 3 acrylamide)]) 、聚[甲
 基丙烯酸甲酯-共-(分散橙 3 甲基丙烯酸醯胺)]
 (poly[methyl methacrylate-co-(Disperse Orange 3
 methacrylamide)]) 、聚[甲基丙烯酸甲酯-共-(分散橙 3
 甲基丙烯酸醯胺)] (poly[methyl methacrylate-co-(Disperse
 Orange 3 methacrylamide)]) 、聚[(甲基丙烯酸甲酯)-共
 -(分散紅 1 甲基丙烯酸酯)] (poly[(methyl methacrylate)-
 co-(Disperse Red 1 acrylate)]) 、聚[(甲基丙烯酸甲酯)-
 共-(分散紅 13 丙烯酸酯)] (poly[(methyl methacrylate)-
 co-(Disperse Red 1 acrylate)]) 、聚[(甲基丙烯酸甲酯)-
 共-(分散紅 13 甲基丙烯酸酯)] (poly[(methyl
 methacrylate)-co-(Disperse Red 13 methacrylate)]) 、聚
 [甲基丙烯酸甲酯-共-(分散黃 7 丙烯酸酯)]
 (poly[methyl methacrylate-co-(Disperse Yellow 7
 acrylate)]) 、聚[甲基丙烯酸甲酯-共-(分散黃 7 甲基丙
 烯酸酯)] (poly[methyl methacrylate-co-(Disperse Yellow
 7 methacrylate)]) 、聚[[(S) -1-(4-硝基苯基) -2-吡咯
 烷甲基]丙烯酸酯] (poly[[(S) -1-(4-nitrophenyl)-2-
 pyrrolidinemethyl]acrylate]) 、聚[((S) -1-(4-硝基苯
 基) -2-吡咯烷甲基]丙烯酸酯] , (poly[[(S) -1-(4-
 nitrophenyl)-2-pyrrolidinemethyl]acrylate]) 、聚[((S)

- (-) -1- (4-硝基苯基) -2-吡咯烷甲基) 丙烯酸酯-甲基丙烯酸酯 (poly[((S)-(-)-1-(4-nitrophenyl)-2-pyrrolidinemethyl) acrylate-co-methyl methacrylate]) 、聚 [((S) - (-) -1- (4-硝基苯基) -2-吡咯烷甲基) 甲基丙烯酸酯] (poly [[(S)-1-(4-nitrophenyl)-2-pyrrolidinemethyl] methacrylate]) 、聚 [((S) - (-) -1- (4-硝基苯基) -2-吡咯烷甲基) 甲基丙烯酸酯 - 共 - 甲基丙烯酸甲酯] (poly[((S)-(-)-1-(4-nitrophenyl)-2-pyrrolidinemethyl)methacrylate-co-methyl methacrylate]) 。這些系統是交聯或非交聯的。

在另一個具體實施方式中，無尾部的複合低聚物可以嵌入基質，例如氧化物、鹵化物、鹽和有機玻璃中。基質的實例是包含鋁、硼、矽、鈦、釩和鋯的氧化物的無機玻璃。

根據本發明的一個方面，構成李氏材料的低聚物可以是配向的 (aligned) 、部分配向的或不配向的。優選地，對複合低聚物進行配向而成為極化性單元的最佳幾何構型，因為由此電容器可產生較高的電容值。一種配向方法是在複合低聚物可以定向的溫度下向複合低聚物施加 DC 電場。該方法稱為“極化 (poling) ”。通常在聚合物和玻璃系統的玻化轉變溫度附近進行極化。極化的一種可能的方法是電暈極化。其他配向方法可以是所述側鏈聚合物或複合低聚物的溶液和液晶溶液的卷對卷、邁爾棒 (Meyer bar) 、浸漬、槽模和氣刀塗覆。

在一些情況下，在有或無外部影響的情況下，側鏈聚

合物或複合低聚物可以在溶液或溶劑中形成液晶。液晶的非限定性實例包括溶致和熱致液晶。外部影響的非限定性實例包括熱、電場、機械干擾（例如振動或超音波）、及電磁輻射。所述液晶是由溶液或溶劑中的所述側鏈聚合物或複合低聚物構成的超分子結構，並且是有序、或配向、或部分有序、或部分配向的。這樣的液晶材料可以在一個過程中例如經由輥對輥、邁爾棒、浸漬、槽模或氣刀塗覆，而塗覆到基板上，該過程包括液晶的機械有序、液晶溶液的乾燥或溶劑的蒸發，而使得液晶形成 meta 介電質材料的結晶或半結晶層或膜。

作為示例而不是限定，李氏材料的一般結構可以是下表 1 中的結構 1-4。在表 1 中，術語“極化單元”是指上述的極化性單元；“t”是表示低聚物材料的重複單元的個數之整數；及“n”和“m”是表示複合低聚物材料中的亞單元的個數之整數。

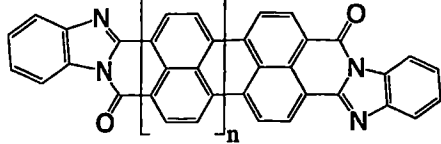
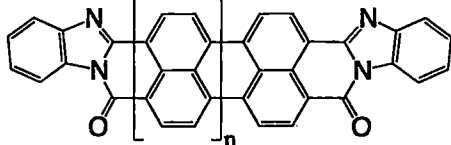
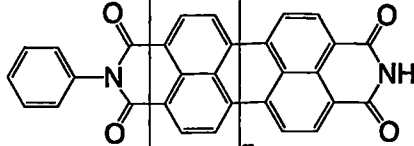
表 1. 複合低聚物材料的一般結構的例子

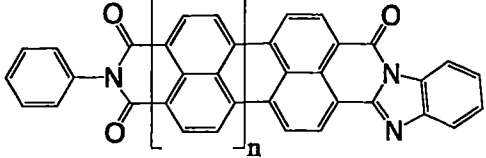
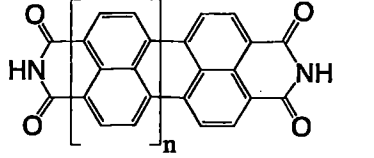
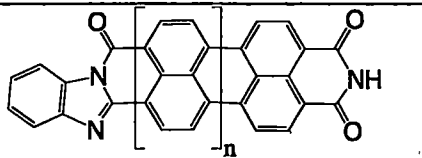
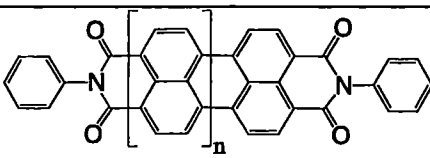
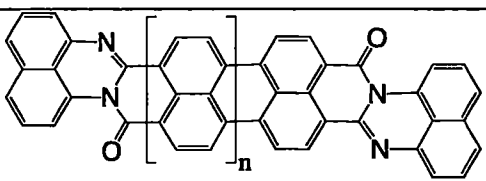
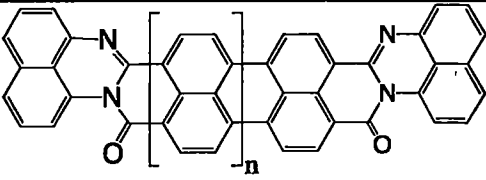
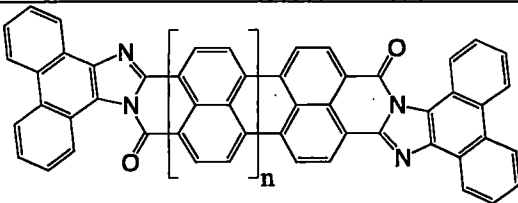
	1
	2
	3
	4

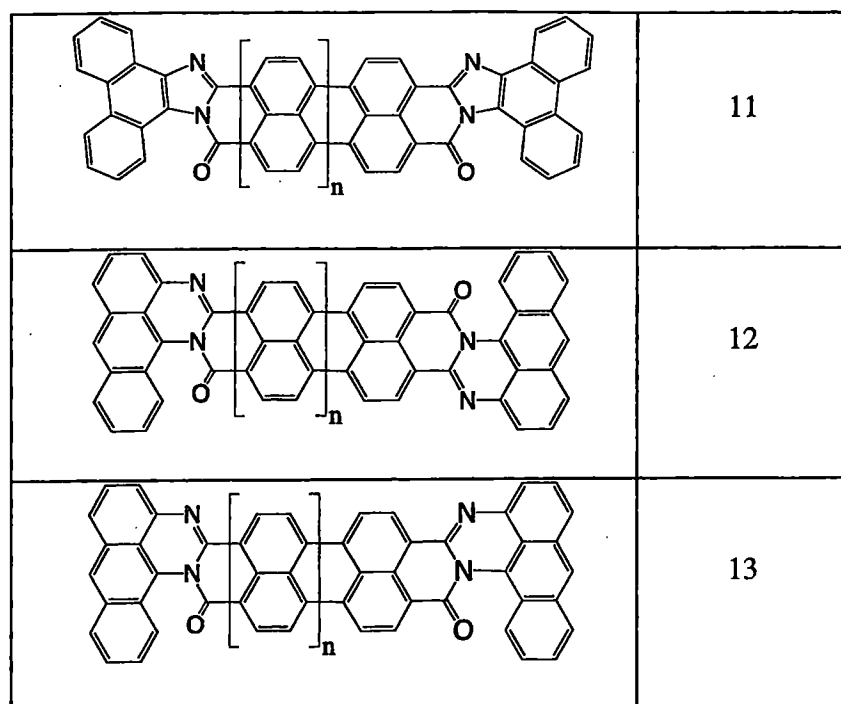
在多環芳族系統的情況下，可以用萘嵌苯片段來實現極化性單元。表 2 中列出了使用萘嵌苯片段作為極化性單元的一些非限定性實例。這些極化性單元可以經由各種連

接基 (linker) 以側鏈形式引入低聚物，或用作交聯劑而將聚合物連接到聚合物網絡中。在美國專利申請案 14/919,337 (代理人案卷號 CS1-022) 中更詳細地描述了在電容器中的使用，其全部內容經由引用而併入本文。表 2 包括萘嵌苯 (rylene) 片段的例子，其中重複單元可以在 0 至 8 個的範圍內重複。

表 2. 包含萘嵌苯片段的多環有機化合物的例子

	1
	2
	3

	4
	5
	6
	7
	8
	9
	10



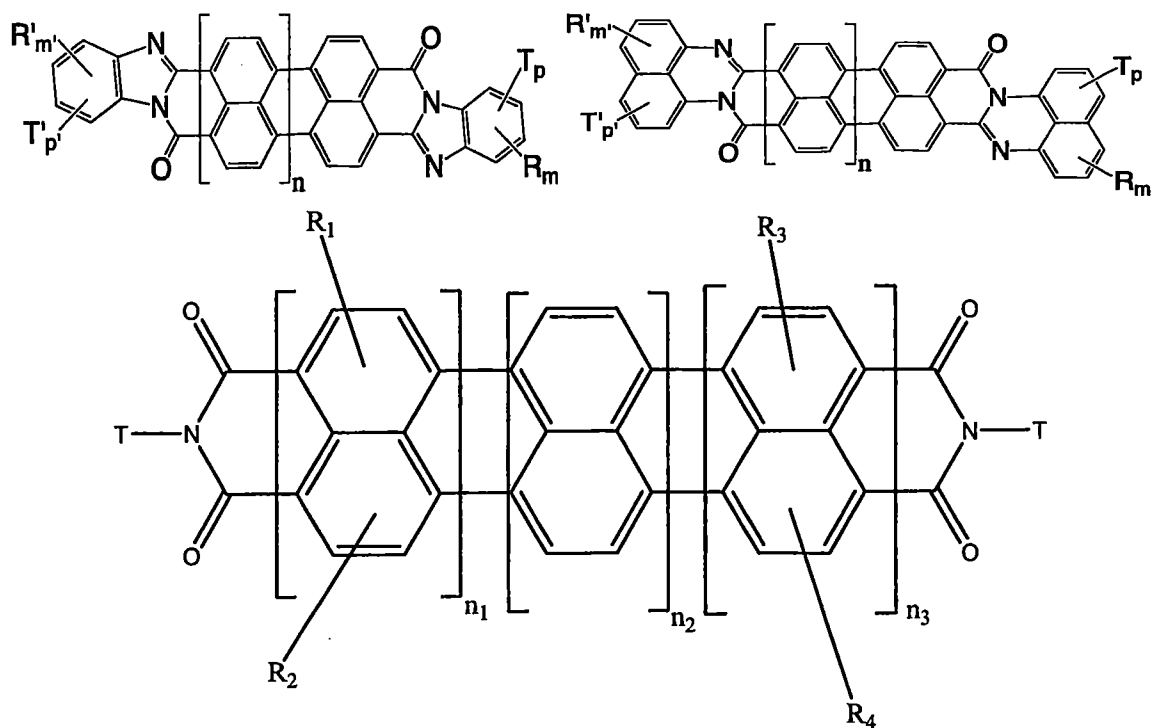
可以經由向結構的各個位置添加各種官能團，使得萘嵌苯片段進一步成為可極化（polarizable）。提高極化率的一種方法是摻入電子供體和電子受體。親電子基團（電子受體）係選自 $-\text{NO}_2$ 、 $-\text{NH}_3^+$ 、 $-\text{NR}_3^+$ （季氦鹽）、抗衡離子 Cl^- 或 Br^- 、 $-\text{CHO}$ （醛）、 $-\text{CRO}$ （酮基）、 $-\text{SO}_3\text{H}$ （磺酸）、 $-\text{SO}_3\text{R}$ （磺酸鹽）、 SO_2NH_2 （磺醯胺）、 $-\text{COOH}$ （羧酸）、 $-\text{COOR}$ （羧酸側的酯）、 $-\text{COCl}$ （羧醯氯）、 $-\text{CONH}_2$ （羧酸側的醯胺）、 $-\text{CF}_3$ 、 $-\text{CCl}_3$ 、 $-\text{CN}$ ，其中 R 是選自烷基（甲基、乙基、異丙基、叔丁基、新戊基、環己基等）、烯丙基（ $-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}_2$ ）、苄基（ $-\text{CH}_2\text{C}_6\text{H}_5$ ）、苯基（及經取代的苯基）和其它芳基（芳族）基團。親核基團（電子供體）係選自 $-\text{O}^-$ （苯氧基，例如 $-\text{ONa}$ 或 $-\text{OK}$ ）、 $-\text{NH}_2$ 、 $-\text{NHR}$ 、 $-\text{NR}_2$ 、 $-\text{NRR}'$ 、 $-\text{OH}$ 、OR

(醚) 、 $-NHCOR$ (胺側的醯胺) 、 $-OCOR$ (醇側的酯) 、 烷基、 $-C_6H_5$ 、 乙烯基，其中 R 和 R' 獨立地選自烷基 (甲基、乙基、異丙基、叔丁基、新戊基、環己基等)、烯丙基 ($-CH_2-CH=CH_2$)、苄基 ($-CH_2C_6H_5$)、苯基 (及經取代的苯基) 和其它芳基 (芳族) 基團。優選的電子供體包括但不限於胺基和膦基及其組合。優選的電子受體包括但不限於硝基、羰基、氧代 (oxo)、硫代 (thioxo)、磺醯基、丙二腈、異噁唑酮、氰基、二氰基、三氰基、四氰基、腈、二腈、三腈、噻二氫嘧啶二酮基基團及其組合。更多的共軛橋包括但不限於 1,2-二苯基乙烯、1,2-二苯基二氮烯、苯乙烯、六-1,3,5-三烯基苯、1,4-二 (噻吩-2-基) 丁-1,3-二烯、烯烴、二烯、三烯、多烯、二氮烯及其組合。

存在於芳族多環共軛分子中之親電子基團 (受體) 和親核基團 (供體) 促進了這些分子的電極化率的增加。在外部電場的影響下，電子跨越極化性單元移位以補償電場。親核基團 (供體) 和親電子基團 (受體) 增加了極化性單元的電子密度，這增加了這種分子的極化率在存在電場的情況下形成補償電場平衡粒子的能力。因此，分子中的電子密度的分佈是不均勻的。由於極化性單元的存在，極化性單元的電子傳導性增加了所公開材料的極化能力。離子基團能夠增加本發明的李氏材料的極化。極化性單元可以是非線性可極化的，並且可以由具有至少一個摻雜基團的芳族多環共軛分子組成，並且極化性單元被置於

由電阻性取代基形成的電阻性包層中。在一些情況下，電阻性取代基提供有機化合物在溶劑中的溶解性，並且使得由李氏材料構成的超分子結構與李氏材料的相鄰超分子結構電絕緣。摻雜基團的非中心對稱佈局可以導致在電場存在的情況下化合物的電子極化展現出強的非線性響應。另外，非異構(anisomeric)分子或極化性單元可以導致在電場存在的情況下化合物的電子極化展現出強的非線性響應。電阻性取代基（例如上述電阻性尾部）增加了這些電極化性化合物的電強度和基於它們製成的介電質層的擊穿電壓。

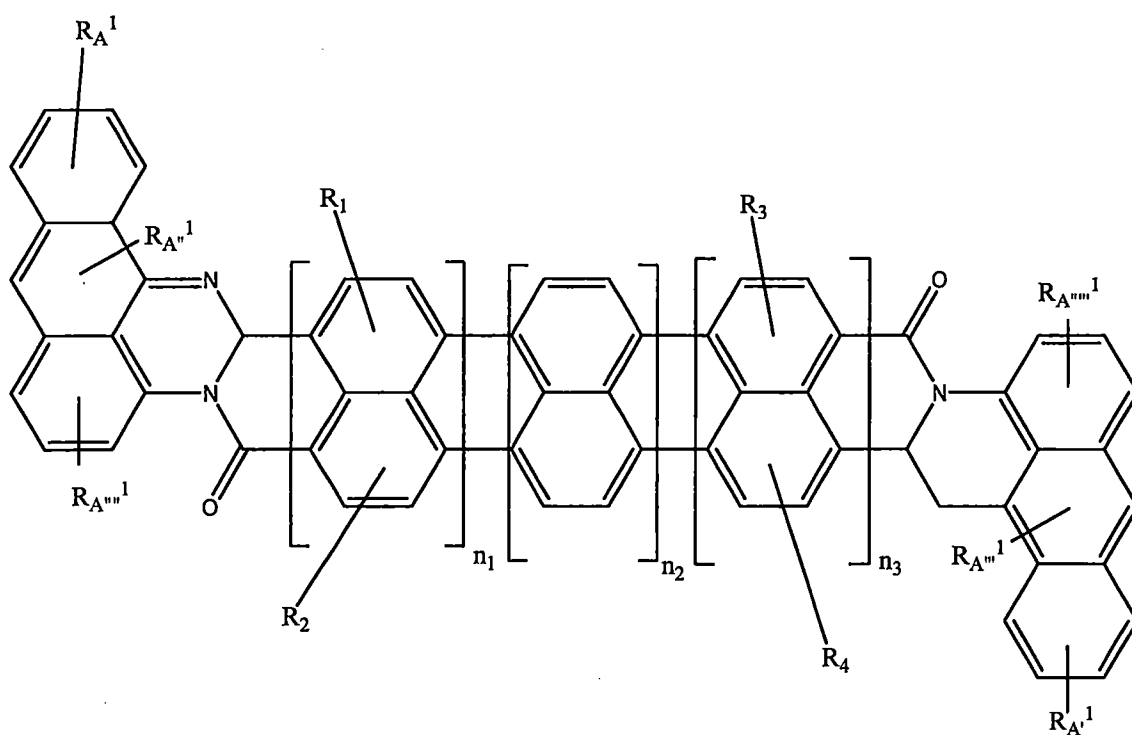
將萘嵌苯片段連接到聚合物鏈上的實例如下所示。

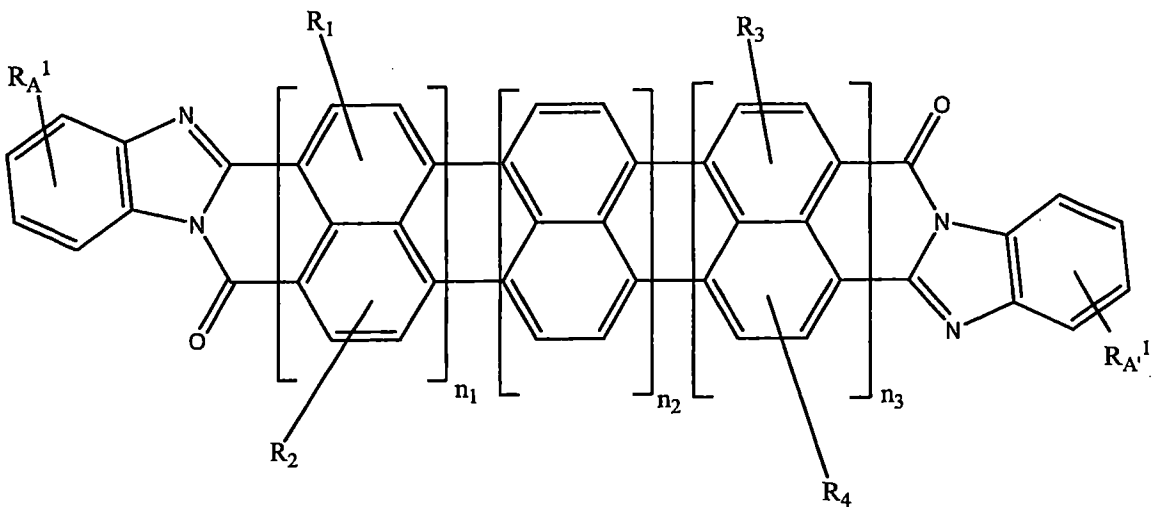
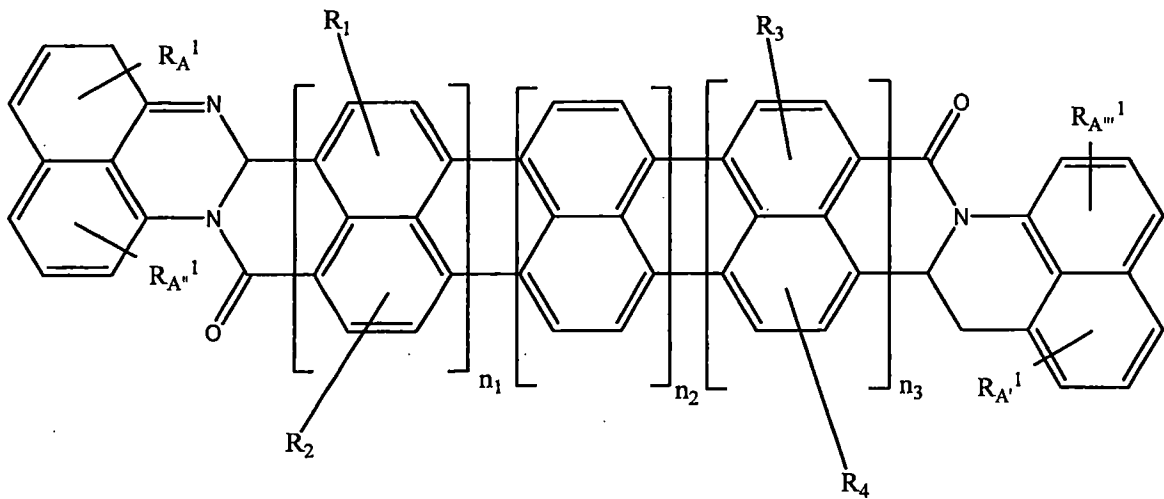
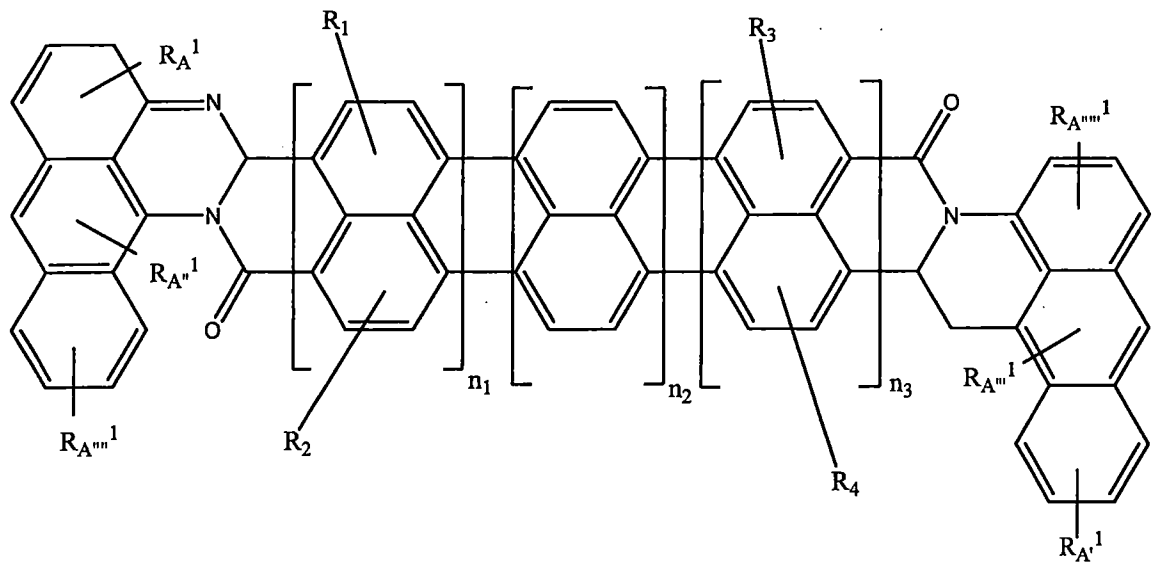


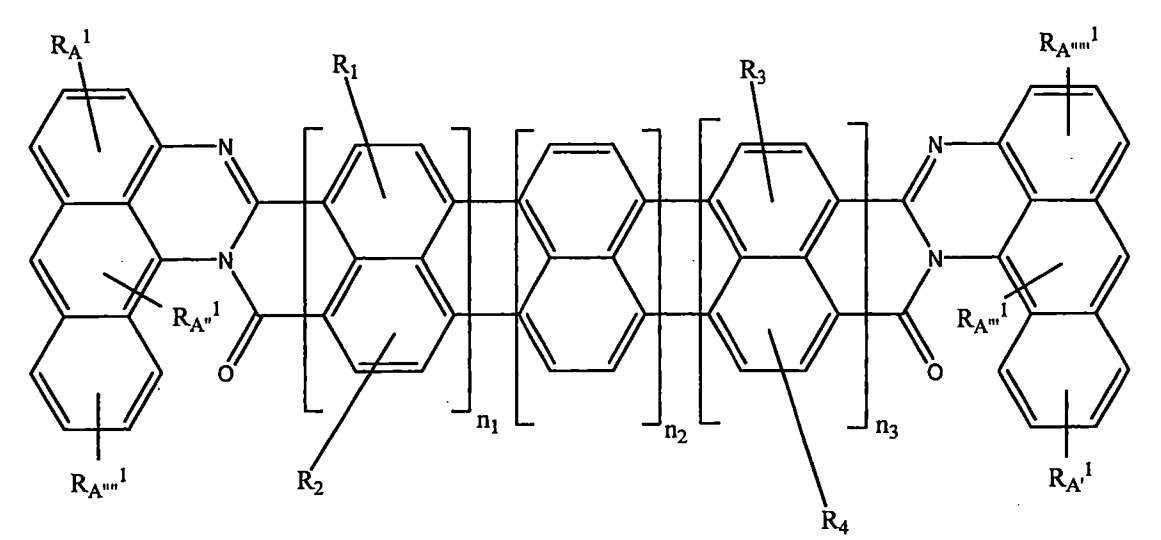
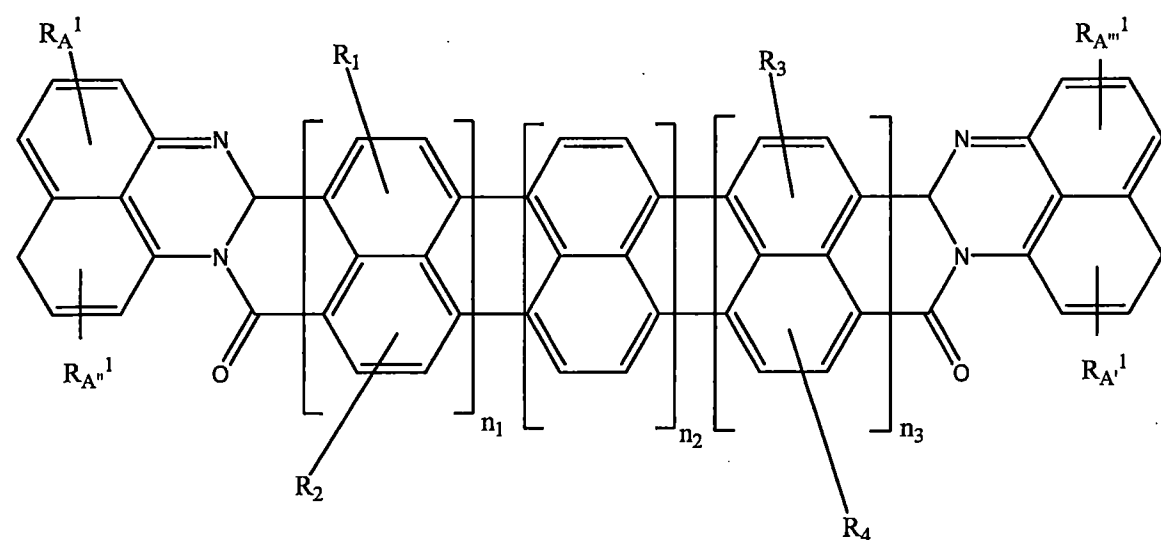
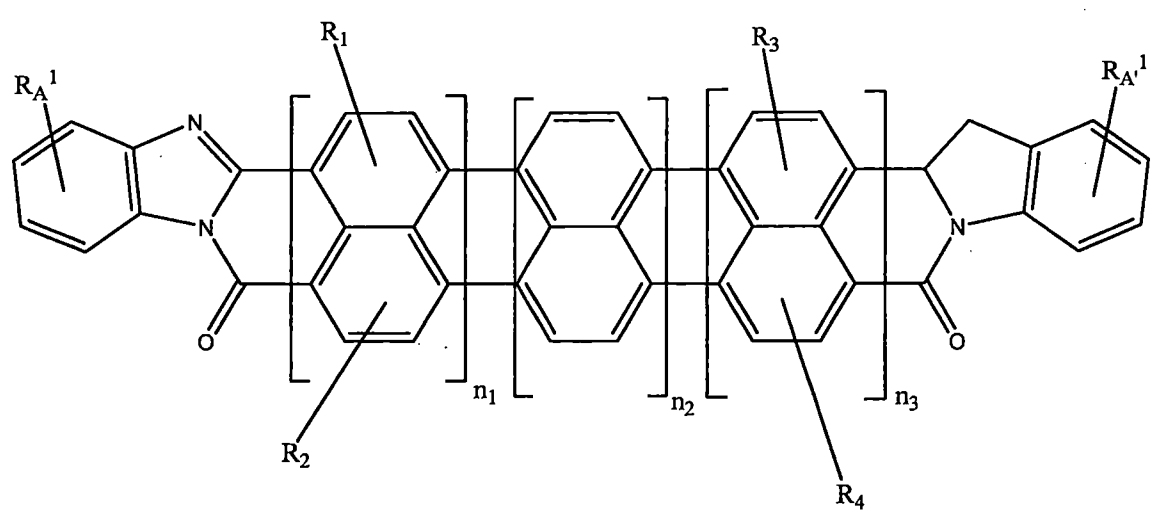
在上述示例中，很明顯的是，萘嵌苯片段的一個或兩

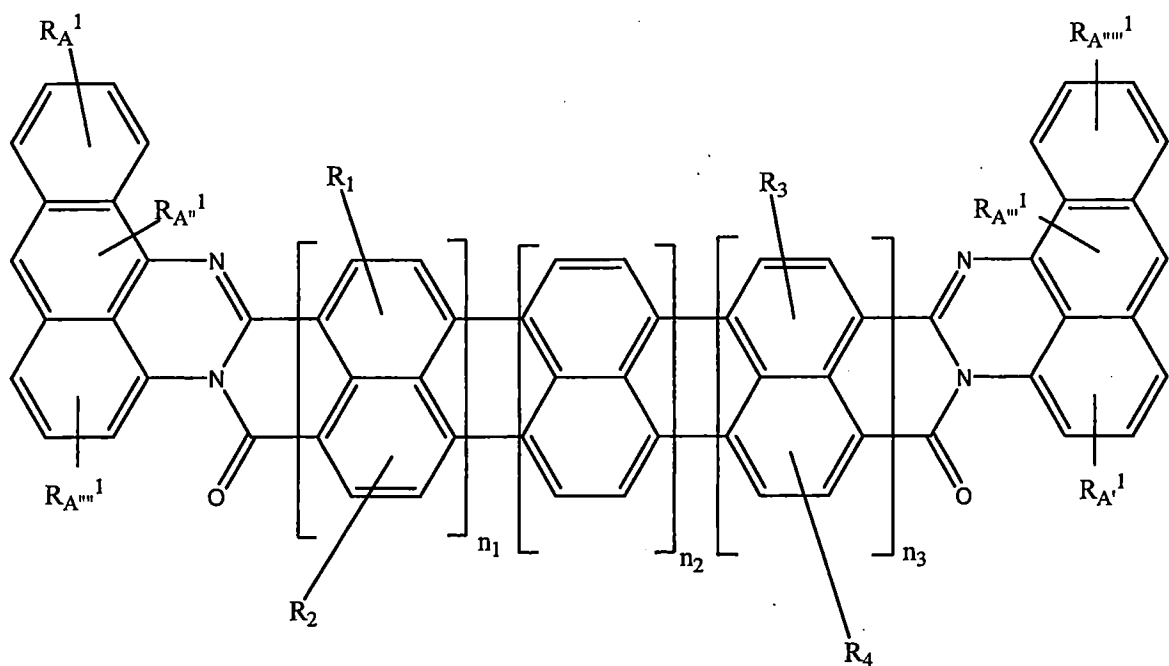
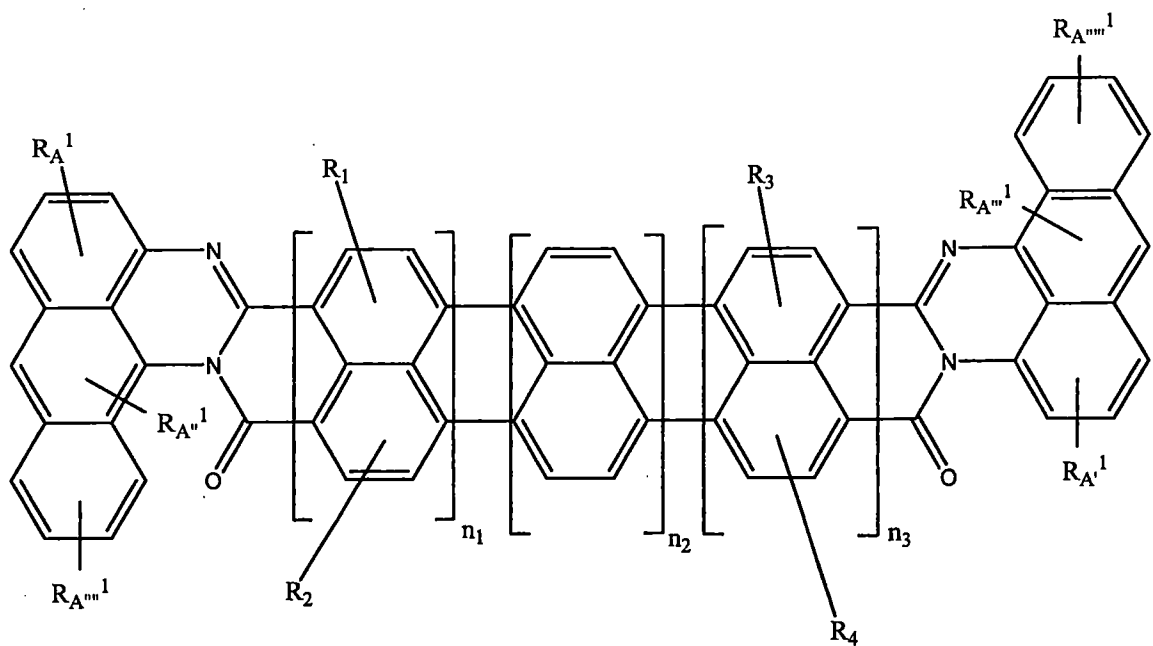
個末端可以經由 T 、 T_p 或 T'_p 連接到聚合物鏈上，並且可以在 R_m 、 R'_m 、 R_1 、 R_2 、 R_3 或 R_4 被官能化以得具有更好的極化性。 n 、 n_1 、 n_2 和 n_3 的優選但非限定性的範圍在 0 和 8 之間，條件是萘嵌苯片段需要至少一個萘單元以被認為是萘嵌苯片段，並且 n 、 n_1 、 n_2 、和 n_3 獨立地選自所述的整數範圍。

萘嵌苯片段也可以在含氮末端與蔥結構稠合。一些非限定性實例如下所示。經由添加摻雜基團，這些物質也將類似地在極化率方面產生利益，如以下實施例所示。









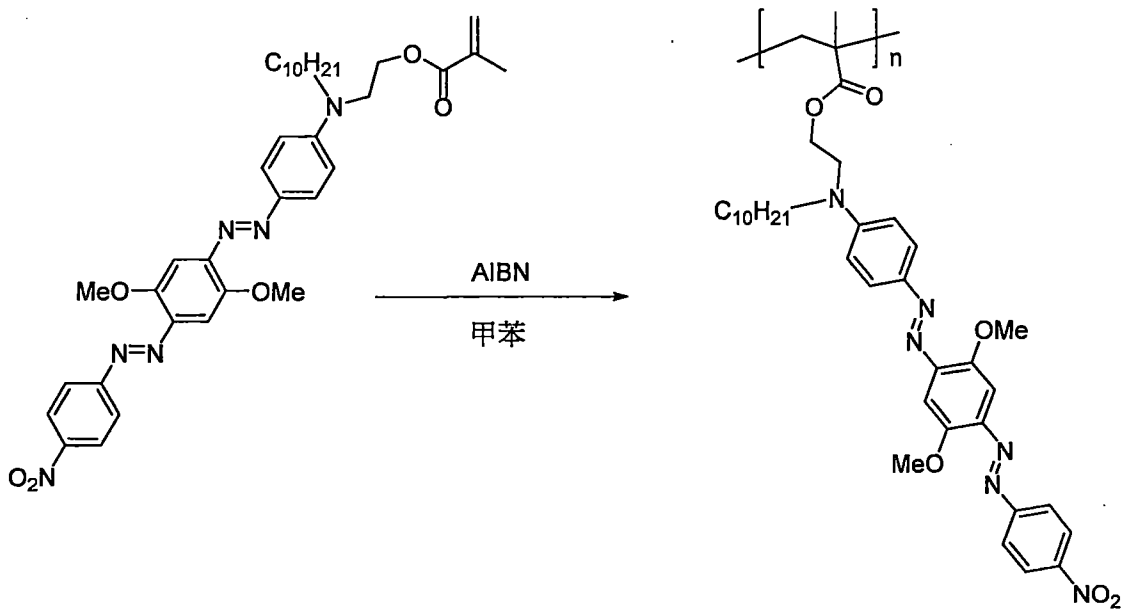
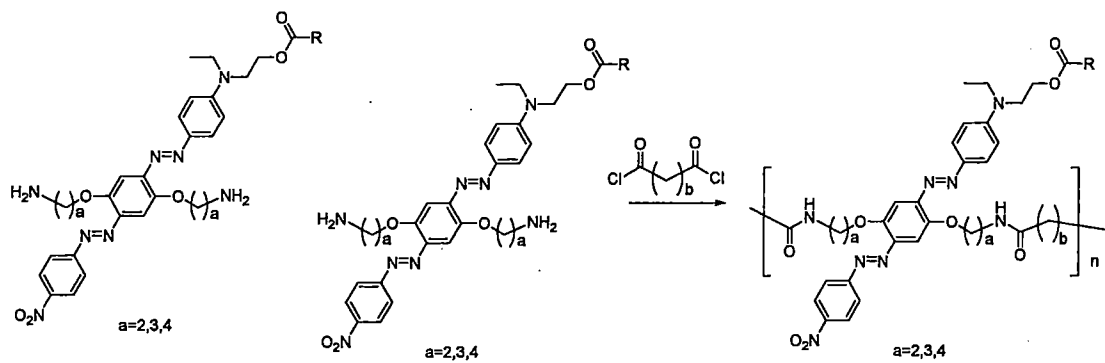
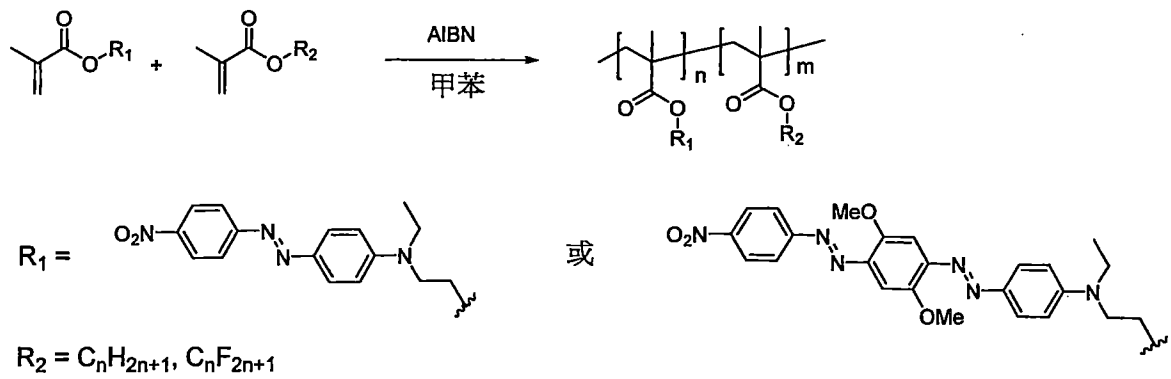
在上述實例中， R_1 、 R_2 、 R_3 和 R_4 取代基在每次出現時分別獨立地不存在、為電阻性尾部或為摻雜基團， R_A^1 、 R_{A^1} 、 $R_{A^{m1}}$ 、 $R_{A^{m1}}$ 、 $R_{A^{m1}}$ 、 $R_{A^{m1}}$ 分別獨立地不存在、為電阻性尾部或為摻雜基團、以及 n_1 、 n_2 和 n_3 的每次出現可以獨立地選自 0 至 8 的任何整數，條件是不是全

部的 n_1 、 n_2 和 n_3 值可以等於 0。

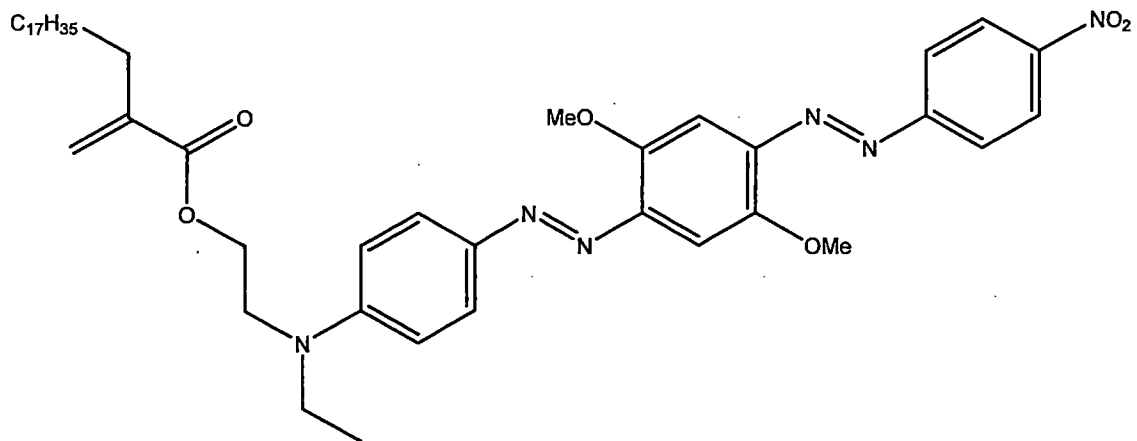
在許多但不是全部的實施方式中，複合低聚物可以包括一種或多種偶氮染料發色團形式的重複主鏈和極化性單元。偶氮染料發色團可以是經由偶氮橋共軛連接的苯基，使得存在有“ n ”個苯基和“ $n-1$ ”個偶氮-橋，其中 n 是 2 和 16 之間的整數。重複主鏈可以含有發色團的一部分或具有使發色團以側鏈形式存在的連接端（handle）。側鏈可以併入到最終的聚合產物中，或加入到個別的單體中，然後單體聚合。如果併入到主鏈中，發色團可以被修飾，使得它們與主鏈的其它部分反應以形成最終產物，或者它們可以併入到單體中，然後單體聚合。

這些發色團由於電子的非定域化而賦予高極化性。可以經由摻雜基團來增強這種極化性。複合低聚物還可以包括在材料內提供絕緣的電阻性尾部。在一些具體實施方式中，電阻性尾部可以是經取代或未經取代的碳鏈（ C_nX_{2n+1} ，其中“X”表示氫、氟、氯或其任何組合）。在一些具體實施方式中，電阻性尾部可以是剛性稠合的多環芳基，以限制側鏈的運動，可能穩定側鏈之間的范德華（van der Waals）相互作用，同時經由消除空隙使材料更穩定。在一些具體實施例中，電阻性尾部可以是剛性的，以限制材料內的空隙。重複主鏈的非限定性實例包括但不限於（甲基）丙烯酸酯、聚乙烯基、肽、擬肽和聚醯亞胺。

以下表示和描述用於合成所述類型的複合低聚物的反應的實例。



在將這些合成適應於具有發色團和電阻性尾部的單體時，並沒有技術上的複雜化，如表 1 中的式 1 所示。



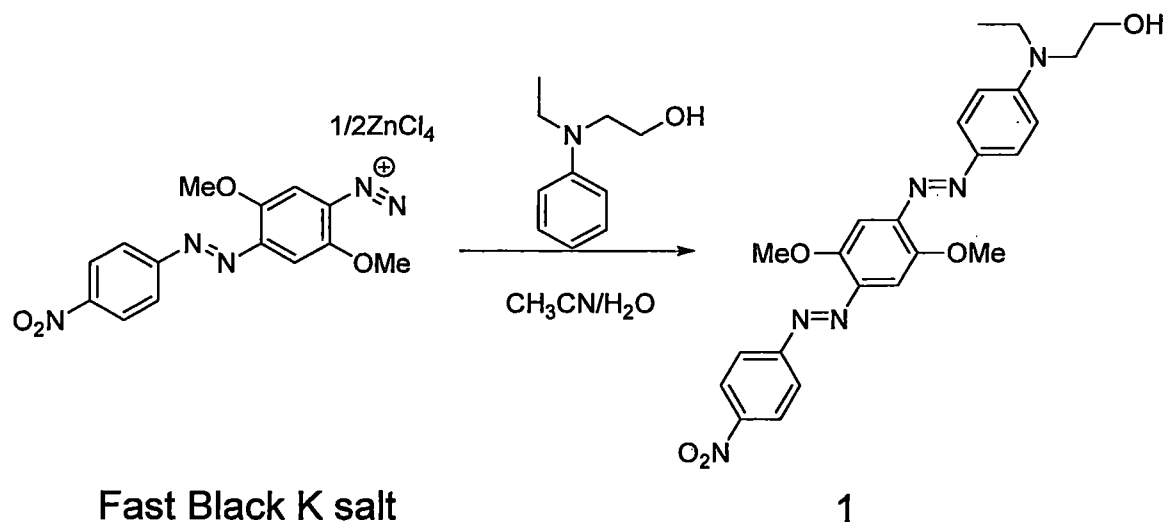
合適的發色團的實例是分散紅-1、黑洞猝滅劑-1 (Black Hole Quencher-1) 和黑洞猝滅劑-2 (Black Hole Quencher-2)，但不限於此。在許多具體實施方式中，所有單體單元可以不需要發色團，並且在某些情況下，可能需要具有賦予材料其它特性的其它側鏈或重複主鏈內的位點，例如穩定性、易於純化、成品膜的柔軟性等。

對於使發色團併入側鏈的具體實施方式，可以在將側鏈連接到成品低聚物之前、或以化學方式將側鏈添加到成品低聚物之後、或在合成期間經由摻入單體單元而合併入低聚物中之方式，添加電阻性尾部。

對於其中發色團是主鏈的一部分的具體實施方式，尾部可以連接到成品複合低聚物、或併入單體單元中，並在複合物合成期間加入。

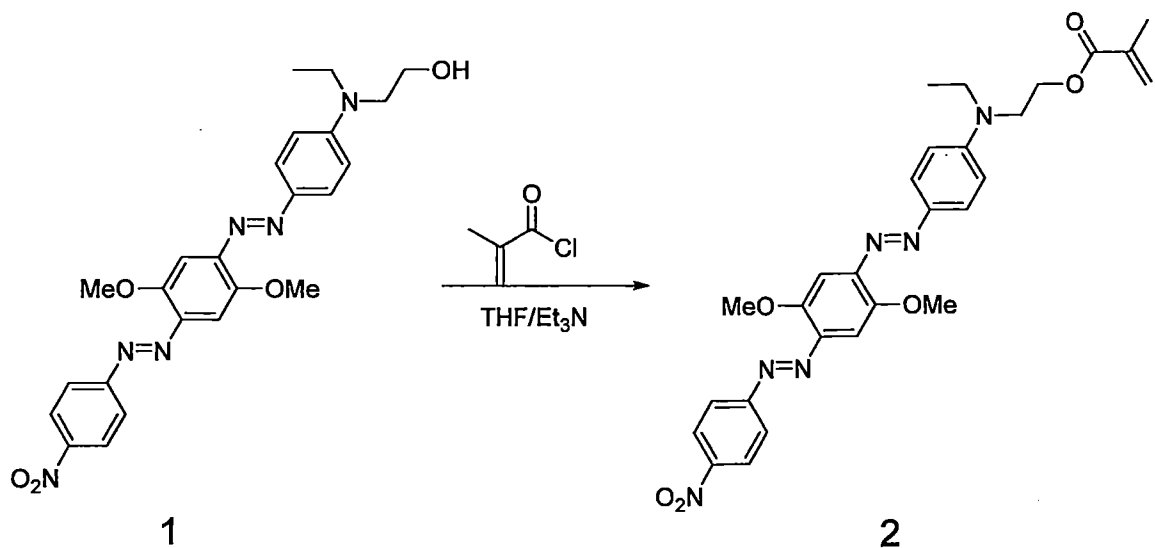
合適的尾部的非限定性實例是烷基、鹵代烷基、環烷基、環鹵烷基和聚醚。

將進一步說明所述的四種不同的李氏材料的合成。



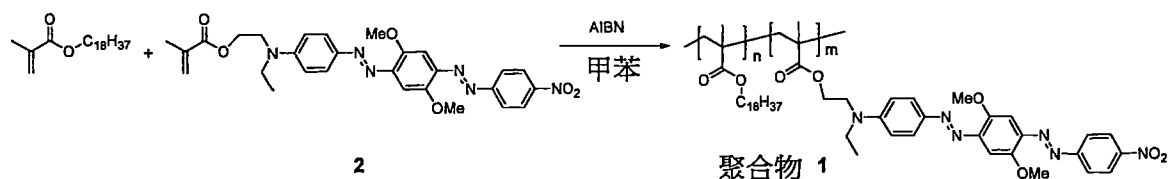
2-((4-((E)-(2,5-二甲氧基-4-((E)-(4-硝基苯基)二氮烯基)苯基)二氮烯基)苯基)(乙基)胺基)乙-1-醇 (1)

將快速黑色 K 鹽 (Fast Black K Salt) (25%, 30g) 溶於 250mL 的乙腈和 250mL 的 NaOAc 緩衝溶液 (pH=4) 中，將所得的溶液攪拌 1 小時，然後超音波處理 15 分鐘，然後真空過濾。在 0°C 下將濾液滴加到 2-(乙基(苯基)胺基)乙-1-醇 (4.1g, 65mL 的乙腈中) 的溶液中。將所得的溶液在室溫下攪拌 16 小時，過濾出沉澱物，用乙腈/水 (1:1) 的混合溶劑洗滌，真空乾燥。產物為黑色粉末。



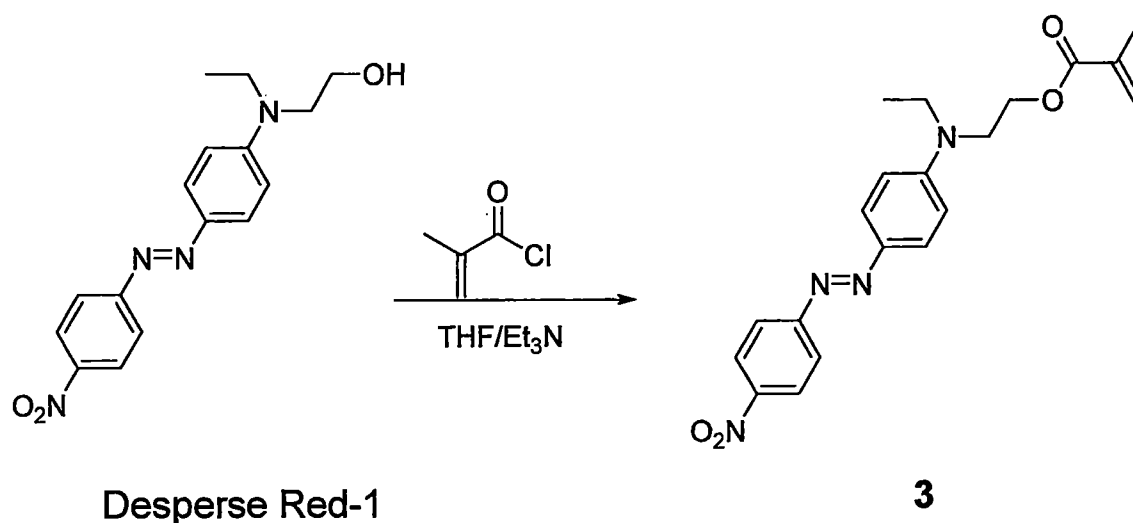
甲基丙烯酸(2-((4-((E)-(2,5-二甲氧基-4-((E)-(4-硝基苯基)二氮烯基)苯基)二氮烯基)苯基)(乙基)胺基)乙基)酯
(2)

在 0°C 下，向化合物 1 (5.0g) 和三乙胺 (4.4mL) 溶於 70mL THF (無水) 的溶液中滴加甲基丙烯酸醯氯 (3.1mL) 的 THF (無水, 10mL) 溶液。將所得的溶液溫熱至室溫，並在室溫下攪拌過夜。過濾反應溶液，使用 THF 洗滌不溶物；將濾液真空濃縮並在二氯甲烷中稀釋。將稀釋的溶液用水洗滌，真空除去溶劑。粗產物用柱色譜純化，得到 3.2g 純產物，為黑色粉末。



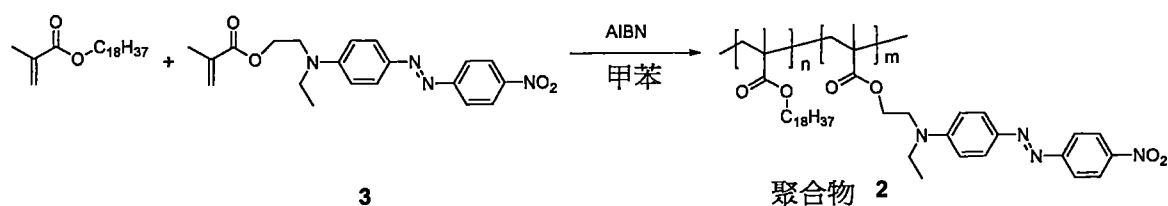
聚合物 1

在密封的燒瓶中將化合物 2 (2.0g)、甲基丙烯酸硬脂酯 (1.2g) 和 AIBN (160mg) 溶解到無水甲苯 (12mL) 中，將所得的溶液加熱至 85°C，18 小時，然後冷卻至室溫。經由在異丙醇中沉澱得到聚合物。



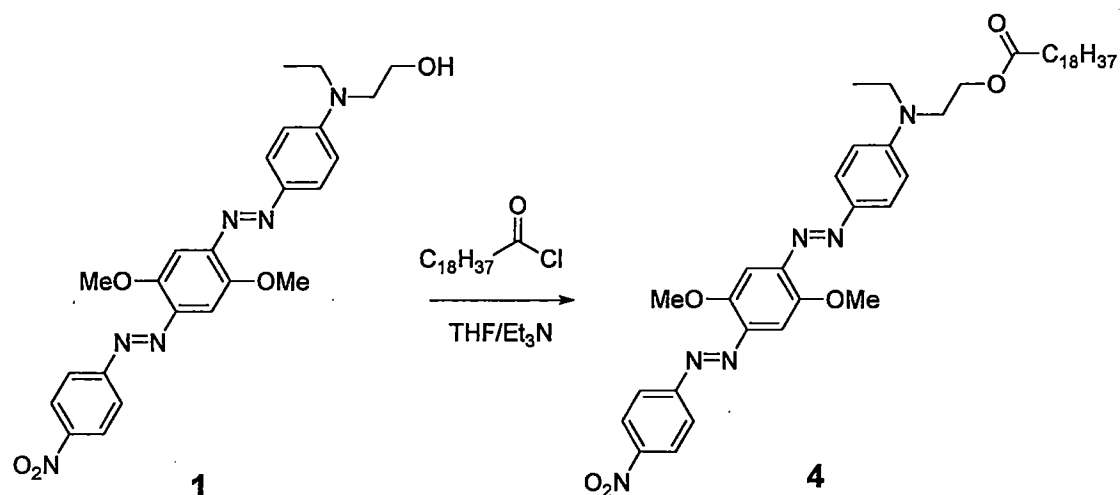
甲基丙烯酸 ((E)-2-(乙基(4-((4-硝基苯基)二氮烯基)苯基)胺基)乙基)酯 (3)

利用化合物 2 的製備方法，用分散紅-1 (Desperse Red-1) 和甲基丙烯酸醯氯，合成化合物 3。



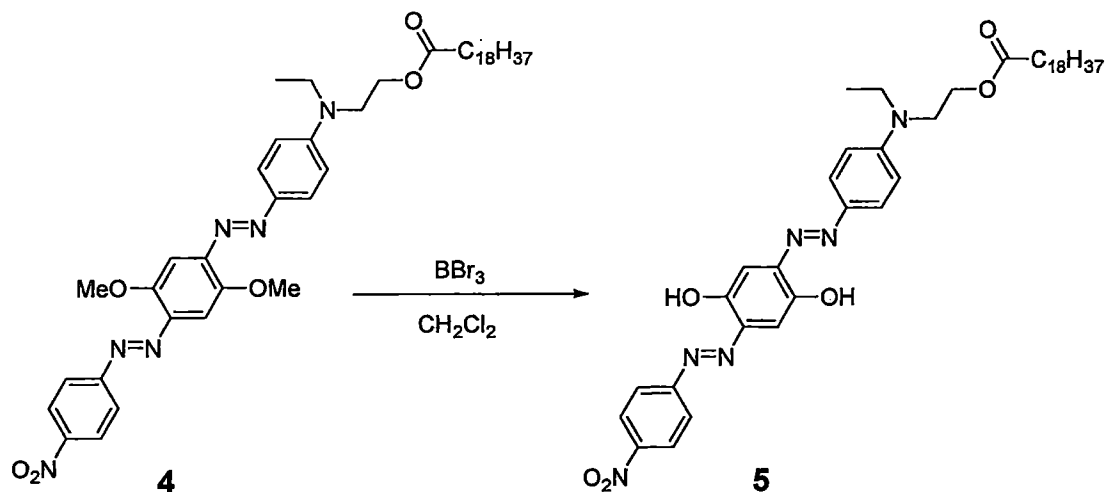
聚合物 2

利用聚合物 1 的製備方法，用化合物 3 和甲基丙烯酸硬脂酯，合成聚合物 2。



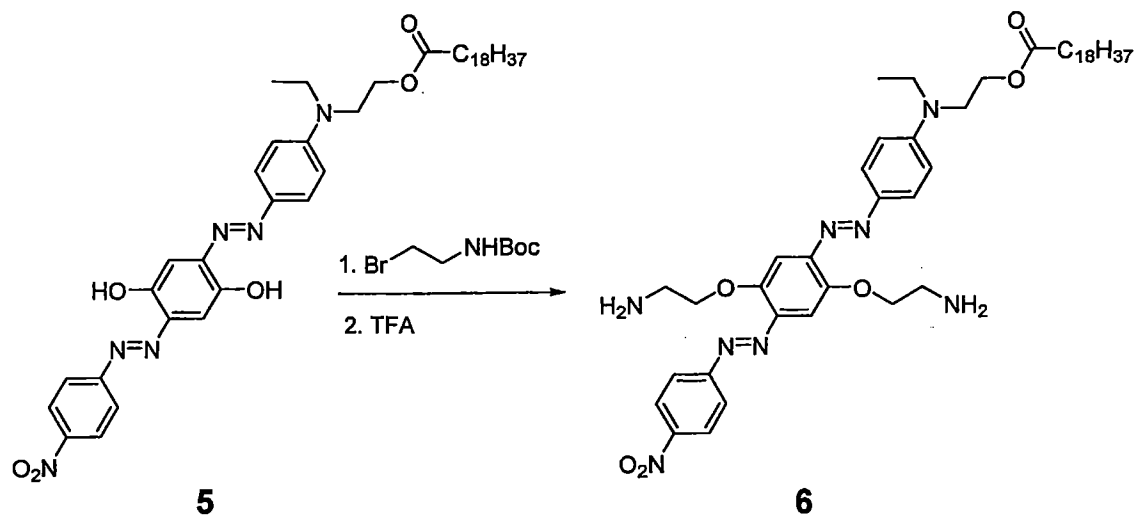
十九酸(2-((4-((E)-(2,5-二甲氧基-4-((E)-(4-硝基苯基)二氮烯基)苯基)二氮烯基)苯基)(乙基)胺基)乙基)酯(4)

在 0°C 下，向化合物 1 (0.5g) 和三乙胺 (0.46mL) 溶於 15mL THF 的溶液中滴加硬脂醯氯 (1.12mL) 的 THF 溶液。將所得的溶液溫熱至室溫，並在室溫下攪拌過夜。過濾反應溶液，使用 THF 洗滌不溶物；將濾液真空濃縮並將殘餘物置於二氯甲烷中。將粗產物溶液用水洗滌，真空除去溶劑。粗產物用柱色譜純化。



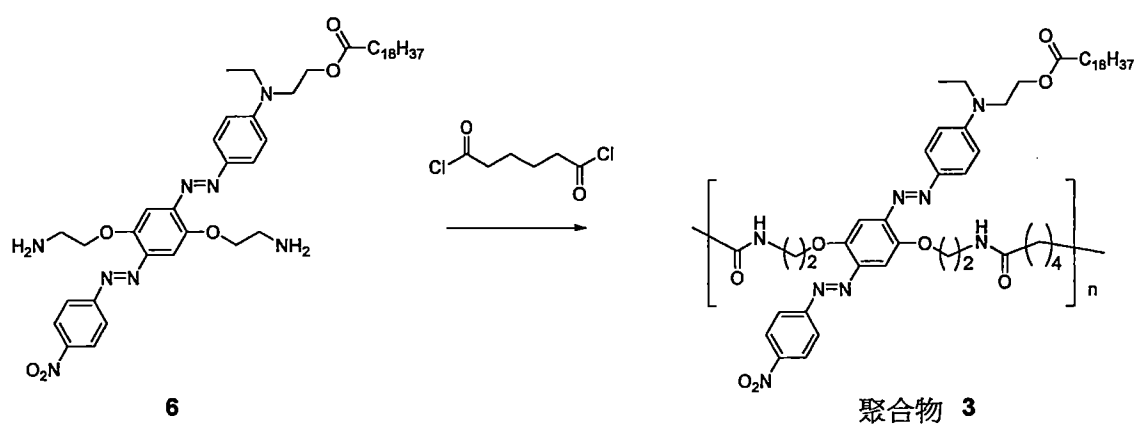
十九酸(2-((4-((E)-(2,5-二羥基-4-((E)-(4-硝基苯基)二氮烯基)苯基)二氮烯基)苯基)(乙基)胺基)乙基)酯(5)

將化合物 4 (1.0g) 溶於二氯甲烷 (30mL) 中並冷卻至 -78°C ; 將 BBr_3 (0.72g) 緩慢加入溶液中。將所得的反應混合物緩慢溫熱至室溫，並在室溫下攪拌 12 小時。在 0°C 下將碳酸氫鈉水溶液注入反應混合物中，用二氯甲烷稀釋。用水和鹽水洗滌溶液，然後真空濃縮。產物經由快速柱色譜純化。



十九酸(2-((4-((E)-2-二(2-胺基乙氧基)-4-((E)-(4-硝基苯基)二氮烯基)苯基)二氮烯基)苯基)(乙基)胺基)乙基)酯(6)

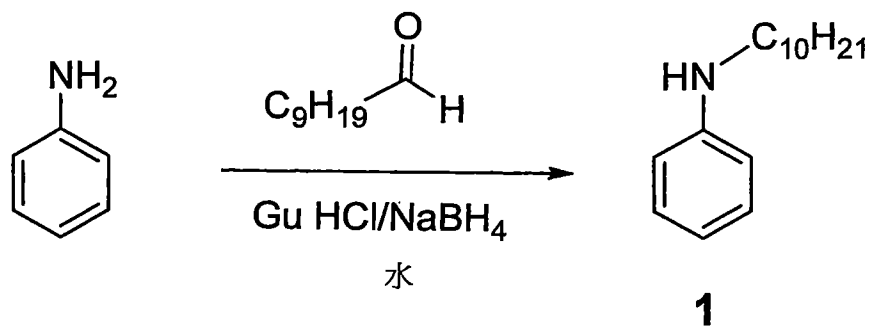
將化合物 5 (0.73g)、 K_2CO_3 (1.38g) 和 (2-溴乙基)胺基甲酸叔丁酯 (0.44g) 加入到 DMF (15mL) 中，並將所得的混合物在 $65^\circ C$ 下攪拌過夜。將 H_2O (400mL) 加入到反應混合物中，用 EtOAc (200mL \times 2) 萃取水層。用 H_2O (100mL \times 2) 和鹽水 (50mL) 洗滌合併的有機層，用 Na_2SO_4 乾燥，過濾並減壓濃縮。藉由矽膠柱色譜純化粗產物。將純產物溶於二氯甲烷 (10mL) 和 TFA (3mL) 中，將溶液在室溫下攪拌 2 小時。然後在真空下除去過量的試劑和溶劑。用 $NaHCO_3$ 溶液中和所得的粗產物，用 CH_2Cl_2 (3 \times 50mL) 萃取，用 $MgSO_4$ 乾燥並蒸發。藉由矽膠柱色譜純化粗產物。



聚合物 3

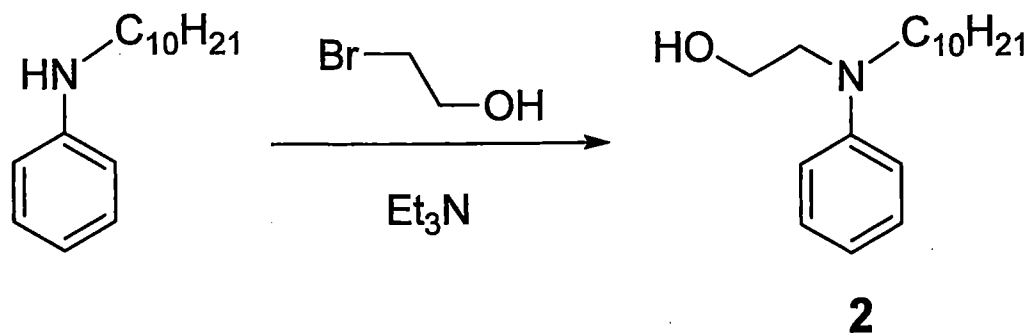
在 $0^\circ C$ 下，向化合物 6 (4.1g) 溶於 CH_2Cl_2 (15mL)

的溶液中緩慢加入己二醯二氯（0.9g）。加入後，將溶液溫熱至室溫並攪拌 2 小時。將所得的溶液濃縮並滴加到異丙醇中，沉澱出聚合物 3。



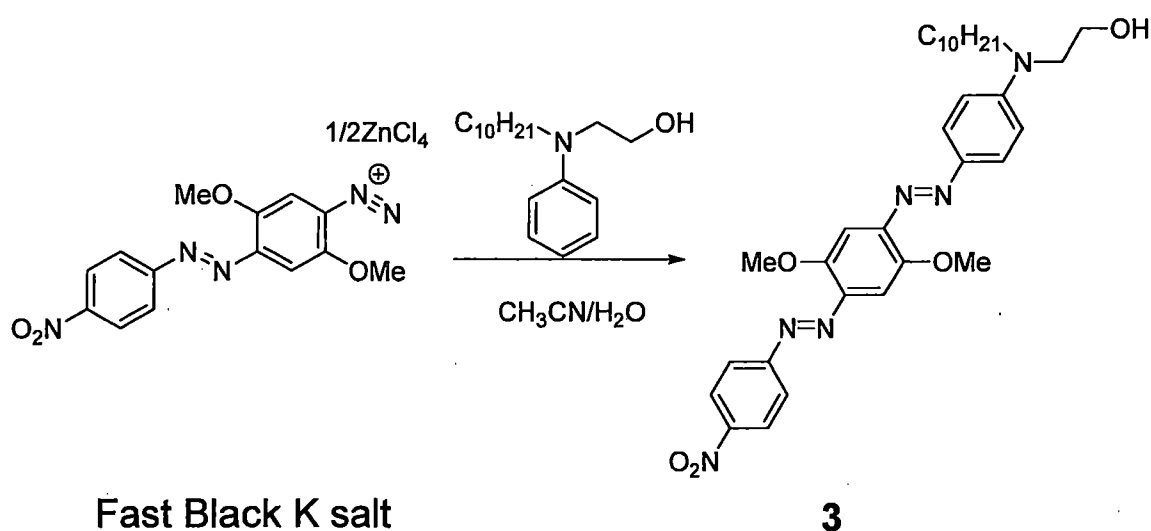
N-癸基苯胺（1）

向含有 GuHCl （10mg，5mol%）的 H_2O （4mL）溶液中加入癸醛（2mmol）和苯胺（2.2mmol），並將混合物在室溫下劇烈攪拌 15 分鐘。之後，加入 NaBH_4 （20mg，2.1mmol），再攪拌 10 分鐘。用 CH_2Cl_2 萃取反應混合物，用 Na_2SO_4 乾燥，真空濃縮，藉由矽膠柱色譜純化粗混合物，得到純產物。



2-(癸基(苯基)胺基)乙-1-醇 (2)

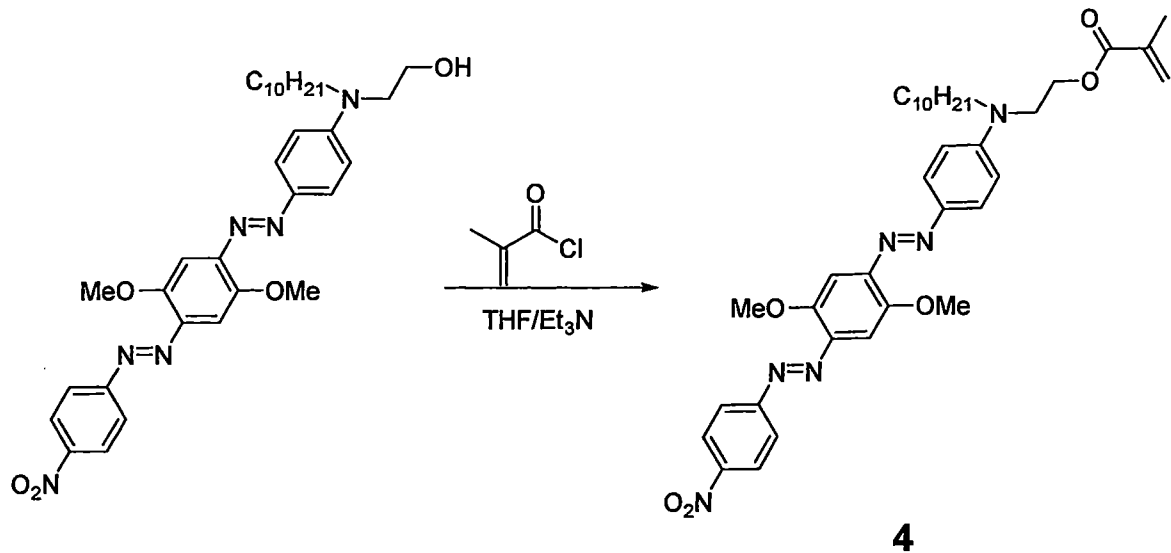
向化合物 1 (470mg, 2.00mmol) 溶於甲苯 (5ml) 中的溶液中加入三乙胺 (405mg, 4.00mmol) 和 2-溴乙醇 (501mg, 4.01mmol), 將混合物加熱回流 2 小時。將所得的混合物用飽和 NH_4Cl 稀釋並用乙酸乙酯萃取。萃取液用鹽水洗滌, 用無水 MgSO_4 乾燥, 過濾並真空濃縮。藉由矽膠色譜法純化粗產物, 得到化合物 2。



2-(癸基(4-((E)-(2,5-二甲氧基-4-((E)-(4-硝基苯基)二氮烯基)苯基)二氮烯基)苯基)胺基)乙-1-醇 (3)

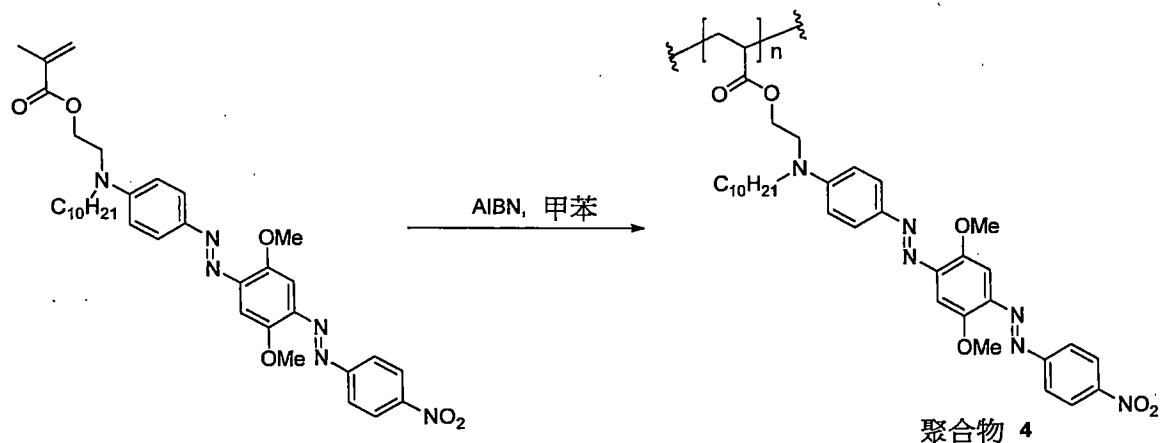
將快速黑色 K 鹽 (25%, 30g) 溶於 250mL 的乙腈和 250mL 的 NaOAc 緩衝溶液 (pH=4) 中, 將所得的溶液攪拌 1 小時, 然後超音波處理 15 分鐘, 然後真空過濾。在 0°C 下將濾液滴加到化合物 2 的溶液 (6.8g, 65mL 乙腈中)。將所得的溶液在室溫下攪拌 16 小時, 過濾出沉澱物, 用乙腈/水 (1:1) 的混合溶劑洗滌, 真空乾燥。產物

為黑色粉末。



甲基丙烯酸(2-(癸基(4-((E)-(2,5-二甲氧基-4-((E)-(4-硝基苯基)二氮烯基)苯基)二氮烯基)苯基)胺基)乙基)酯
(4)

在 0°C 下，向化合物 3 (5.0g) 和三乙胺 (3.5mL) 的溶於 70mL THF (無水) 的溶液中滴加甲基丙烯酸醯氯 (2.5mL) 在 THF (無水, 10mL) 中的溶液。將所得溶液溫熱至室溫，並在室溫下攪拌過夜。過濾反應溶液，使用 THF 洗滌不溶物；將濾液真空濃縮並在二氯甲烷中稀釋。將稀釋的溶液用水洗滌，真空除去溶劑。粗產物用柱色譜純化，分離出 3.3g 純產物 4，為黑色粉末。



聚(甲基丙烯酸(2-(癸基(4-((E)-(2,5-二甲氧基-4-((E)-(4-硝基苯基)二氮烯基)苯基)二氮烯基)苯基)胺基)乙基)酯)(4)(聚合物4)

在密封的燒瓶中，將化合物 4 (2.0g) 和 AIBN (40mg) 溶解在無水甲苯 (6mL) 中，將所得的溶液加熱至 85°C，18 小時，然後冷卻至室溫。經由在 2-異丙醇中沉澱和洗滌而獲得聚合物 (1.4g)。

以上詳細說明了本發明的優選具體實施例，但是也可以使用各種備選方案、改進和等價物。因此，以上說明並不限定本發明的範圍，而是由申請專利範圍及其等價物來確定。以上描述的無論是否優選的任何特徵都可以與所描述的無論是否優選的任何其他特徵相結合。在申請專利範圍中，除非另有明確說明，不定冠詞一個是指文章後面的一個或多個項的數量。正如此處所使用的，在替代元素的列表中，“或”字用於邏輯包含的含義，例如，除非明確說明，“X”或“Y”包括單獨的 X、單獨的 Y、或 X 和 Y 二者。列為備選方案的兩個或多個元素可以組合在一起。申

請專利範圍並不限於包括裝置加功能的限定，除非這種限定在一個給定申請專利範圍中明確地使用了短語“裝置”。

【符號說明】

- 1：第一電極
- 2：第二電極
- 3：meta 介電質層
- 15：電絕緣層
- 17：meta 介電質層
- 18：(第一)絕緣部分
- 19：(第一)電極
- 20：(第二)絕緣部分
- 21：(第二)電極
- 22：meta 電容器
- 23：第一電極
- 24：meta 介電質材料層
- 25：第二電極
- 26：絕緣材料
- 41：尾部
- 42：電子受體
- 43：共軛橋
- 44：電子供體
- 48：摻雜的發色團

【發明申請專利範圍】

【第 1 項】

一種複合低聚物材料，其特徵在於，其包括：

一個或多個重複主鏈單元；

一個或多個極化性單元，其併入或連接至該一個或多個重複主鏈單元中的一或多者；以及

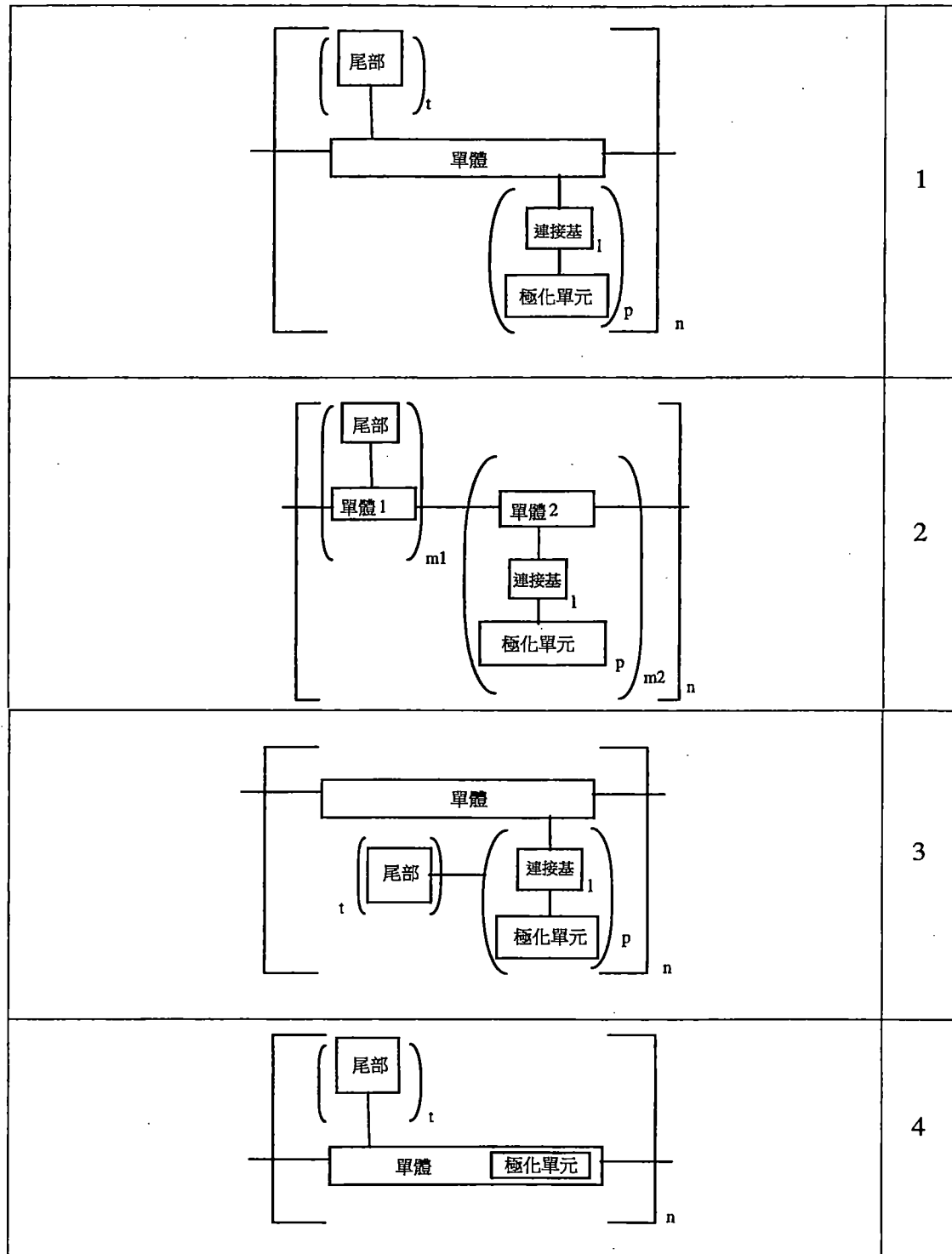
一個或多個電阻性尾部，其以側鏈的形式連接到一個或多個該重複主鏈單元或該一個或多個極化性單元，連接在該極化性單元上、連接在將極化性單元連接到主鏈單元的連接端上、或直接連接到主鏈單元。

【第 2 項】

根據申請專利範圍第 1 項之複合低聚物材料，其中，該至少一個極化性單元經由連接端連接到重複主鏈單元，部分地併入該重複主鏈單元中，或完全是重複主鏈單元的一部分。

【第 3 項】

根據申請專利範圍第 2 項之複合低聚物材料，其中，該複合低聚物材料的一般結構選自以下列表：



其中，“單體”、單體 1 和單體 2 各自代表一個主鏈單元；“尾部”是電阻性尾部；“極化單元”是極化性單元；“連接基”是連接端或連接基團；“m1”、“m2”、“p”、“t”分別表

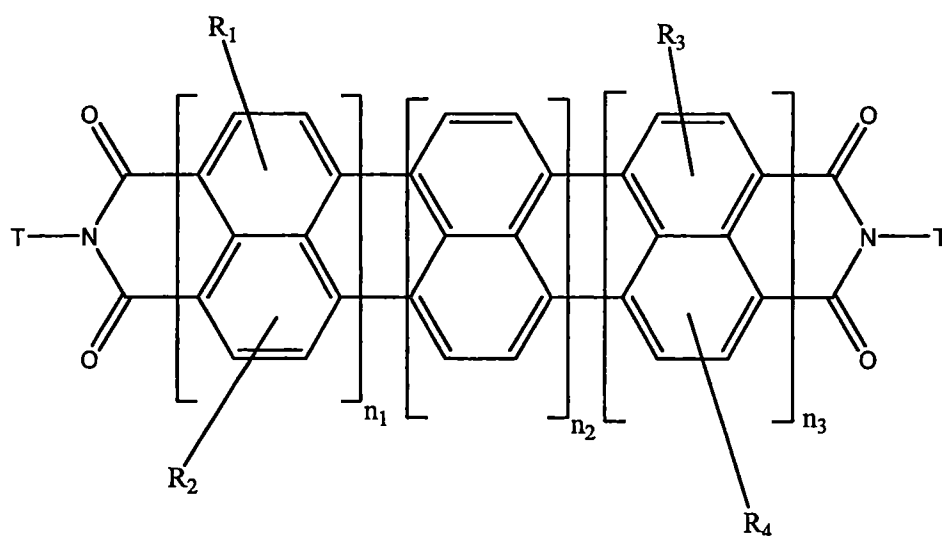
示單體 1、單體 2、極化性單元、尾部的出現次數的整數，並且“1”等於 0 或 1；“n”是大於或等於 1 的整數，表示複合低聚物材料的重複單元個數。

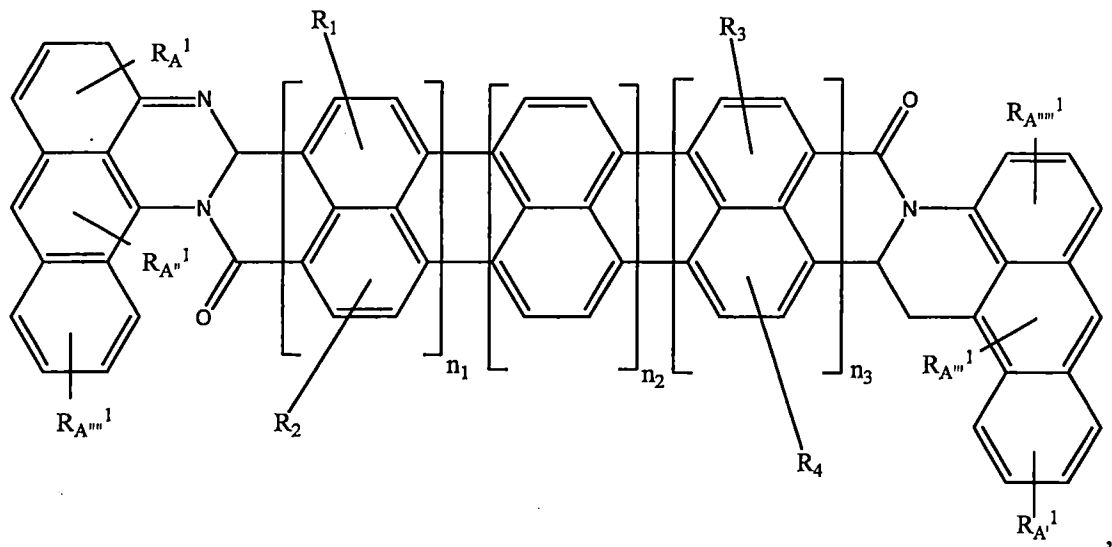
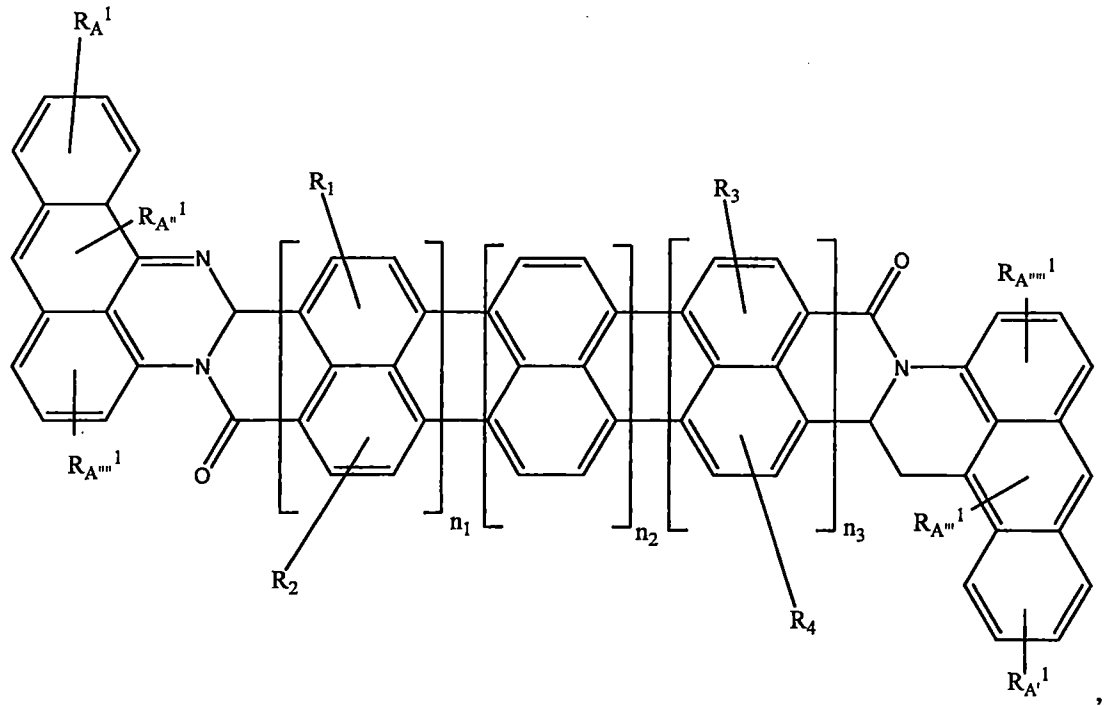
【第 4 項】

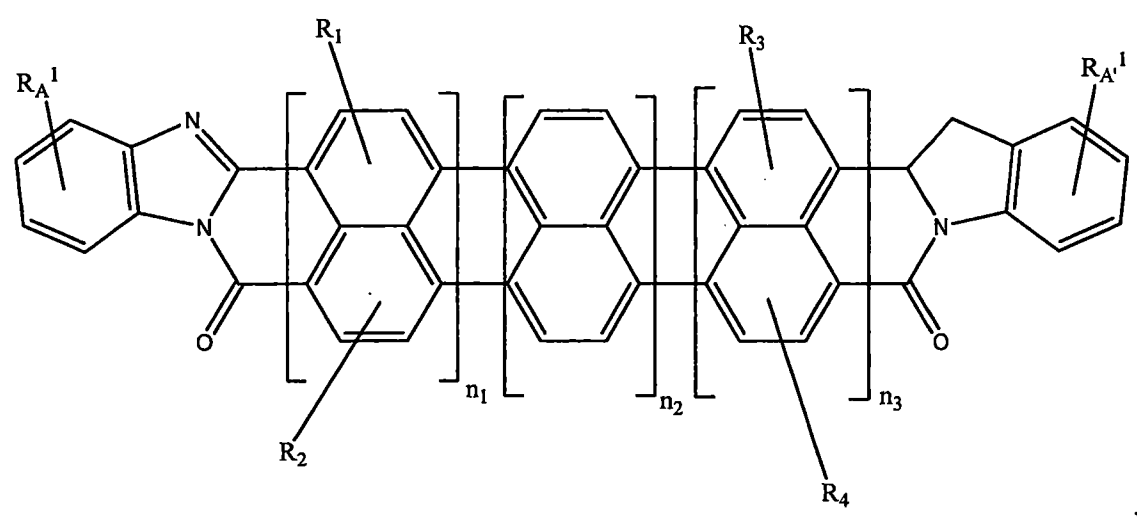
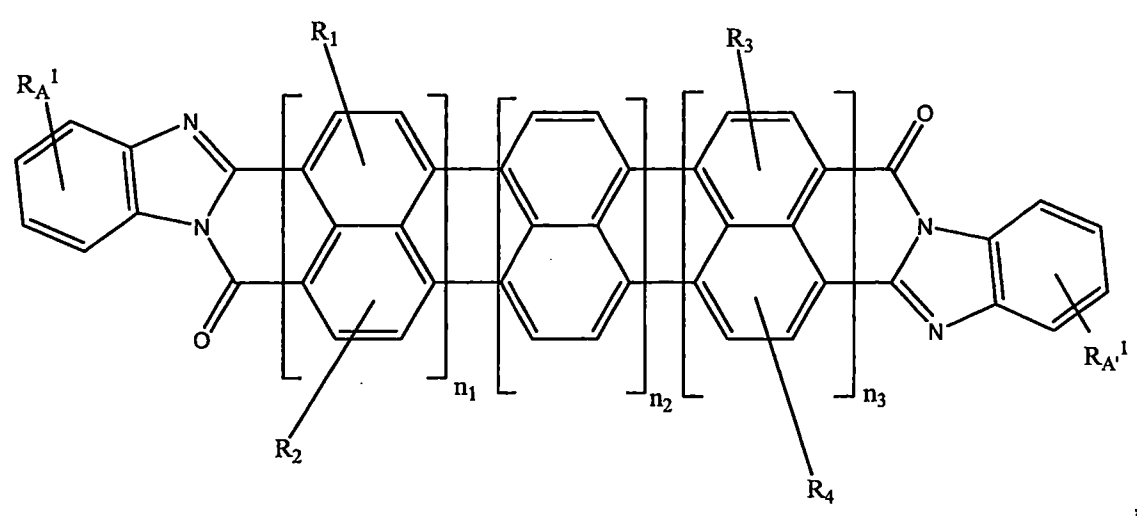
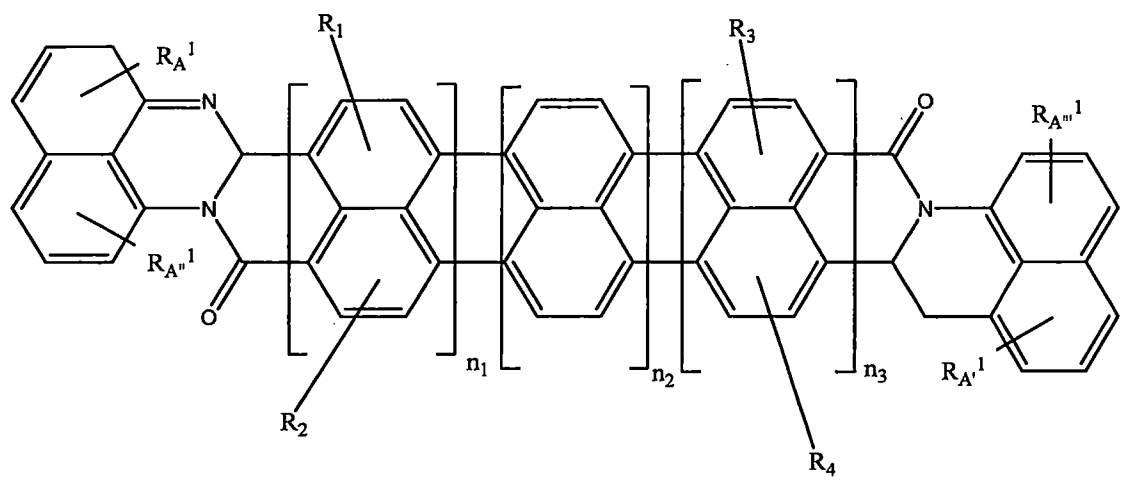
根據申請專利範圍第 1 項之複合低聚物材料，其中，該極化性單元包括摻雜有至少一個電子供體和至少一個電子受體的萘嵌苯(rylene)片段。

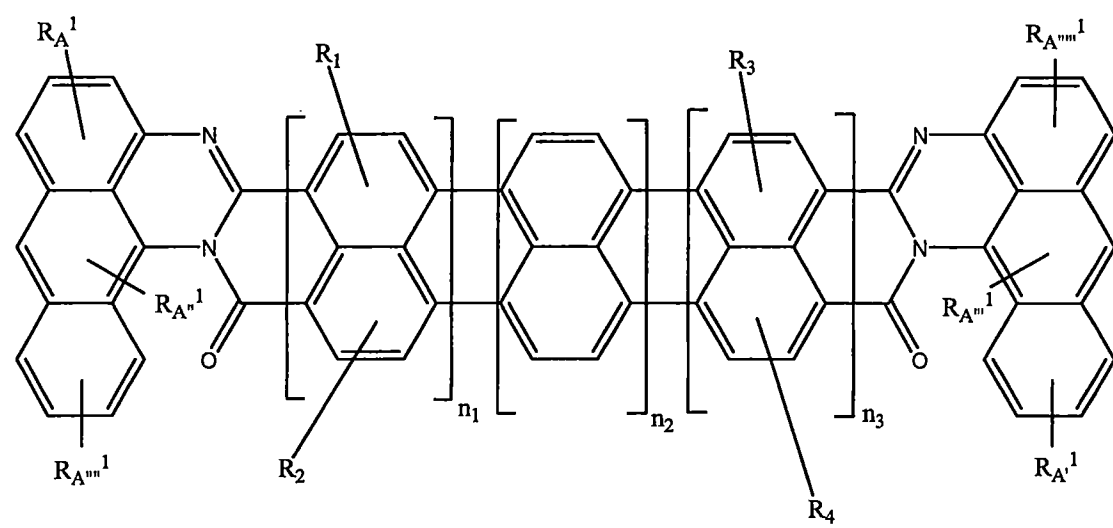
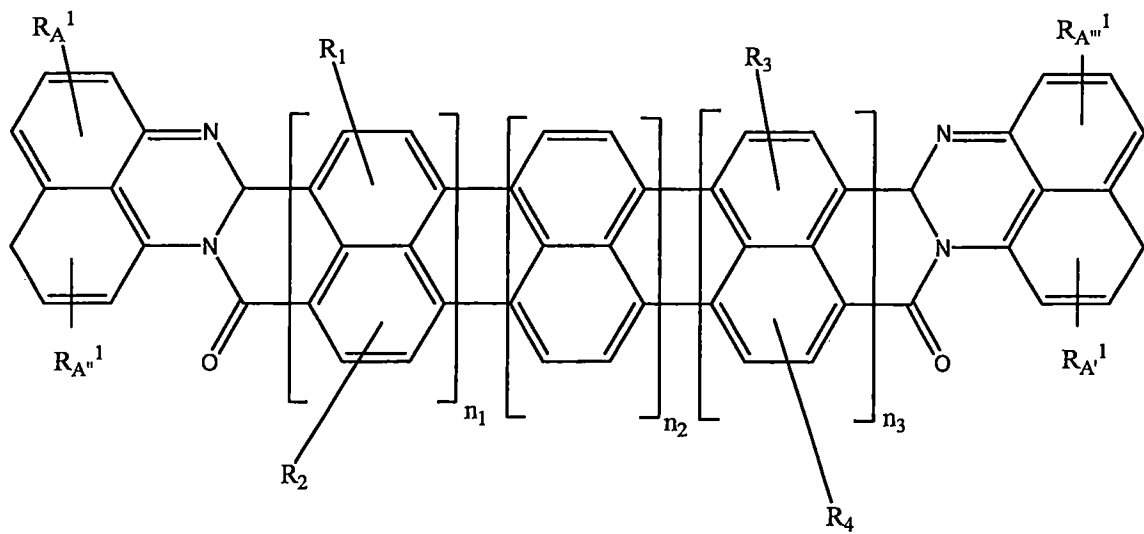
【第 5 項】

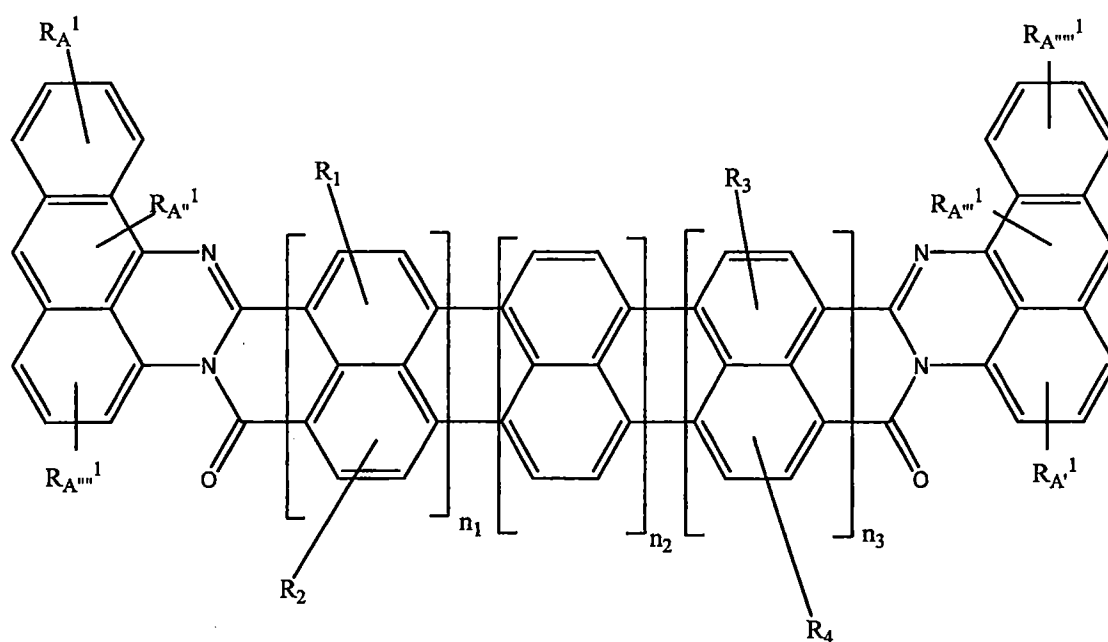
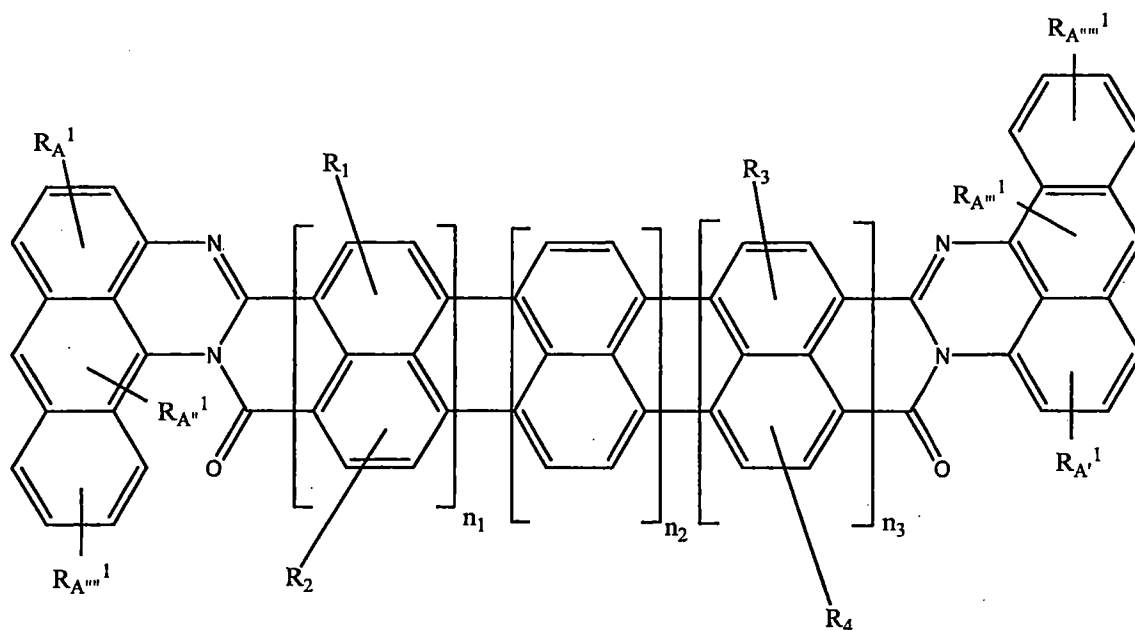
根據申請專利範圍第 3 項之複合低聚物材料，其中，該極化性單元係由以下任何一個化學式描述：











其中， R_1 、 R_2 、 R_3 和 R_4 取代基在每次出現時獨立地選自由氫、電子供體、電子受體和電阻性尾部所組成的群組； R_A^1 、 $R_{A'}^1$ 、 $R_{A''}^1$ 、 $R_{A'''}^1$ 、 $R_{A''''}^1$ 、和 $R_{A'''''}^1$ 獨立地選自由氫、電阻性尾部、電子供體、和電子受體所組成的群組；以及 n_1 、 n_2 和 n_3 可以為 0 至 8 中的任何整數，條件

是不是全部的 n_1 、 n_2 和 n_3 值可以等於 0。

【第 6 項】

根據申請專利範圍第 1 項之複合低聚物材料，其中，該極化性單元包括電子供體、共軛橋和電子受體。

【第 7 項】

根據申請專利範圍第 6 項之複合低聚物材料，其中，該極化性單元是至少一個發色團。

【第 8 項】

根據申請專利範圍第 7 項之複合低聚物材料，其中，該至少一個發色團係由增強該發色團極化率的摻雜基團構成。

【第 9 項】

根據申請專利範圍第 8 項之複合低聚物材料，其中，該摻雜基團獨立地選自由電子供體和電子受體基團所組成的群組；並且其中該電子供體基團係選自胺和烷氧基。

【第 10 項】

根據申請專利範圍第 9 項之複合低聚物材料，其中，對於 R-N-R' 或 R-N-R 類型的胺基，其中 R 和 R' 獨立地選自由氫、電阻性尾部、連接到電阻尾部的連接基團、連接到該一個或多個重複主鏈單元的連接基團、以及該一個或多個重複主鏈單元所組成的群組。

【第 11 項】

根據申請專利範圍第 1 項之複合低聚物材料，其中，

該電阻性尾部是烷基鏈。

【第 12 項】

根據申請專利範圍第 1 項之複合低聚物材料，其中，
該電阻性尾部是剛性的。

【第 13 項】

根據申請專利範圍第 12 項之複合低聚物材料，其中，

該剛性的電阻性尾部是選自由未經取代的飽和環烷基、經取代的飽和環烷基、烴鏈可以被 O、S、N 和 P 的任意一個元素中斷之未經取代的飽和環烴、以及烴鏈可以被 O、S、N 和 P 的任意一個元素中斷之經取代的飽和環烴所組成的群組。

【第 14 項】

根據申請專利範圍第 7 項之複合低聚物材料，其中，
該電阻性尾部共價地連接到該發色團上。

【第 15 項】

根據申請專利範圍第 7 項之複合低聚物材料，其中，
該電阻性尾部共價地連接到低聚物重複主鏈。

【第 16 項】

根據申請專利範圍第 15 項之複合低聚物材料，其中，

該發色團具有 NRR' 基團，其中 R 和 R' 是電阻性尾部，並且獨立地選自由氫、未經取代的烷基、經取代的烷基、未經取代的環烷基、經取代的環烷基、未經取代的雜

環基 (heterocyclic)、經取代的雜環基所組成的群組。

【第 17 項】

根據申請專利範圍第 1 項之複合低聚物材料，其中，該重複主鏈單元屬於選自 (甲基) 丙烯酸酯、聚乙烯基、肽、擬肽(peptoids)和聚醯亞胺中的一個基團。

【第 18 項】

根據申請專利範圍第 7 項之複合低聚物材料，其中，該發色團是偶氮染料發色團。

【第 19 項】

根據申請專利範圍第 18 項之複合低聚物材料，其中，該偶氮染料發色團係選自分散紅-1 和黑洞猝滅劑-2 及其低聚物。

【第 20 項】

一種 meta 介電質材料，其包括根據申請專利範圍第 1 項之複合低聚物材料的結構佈局，其電阻率大於或等於約 10^{16} 歐姆·釐米，及相對介電常數大於或等於約 1000。

【第 21 項】

根據申請專利範圍第 20 項之 meta 介電質材料，其中，該複合低聚物材料的結構佈局是結晶結構佈局。

【第 22 項】

根據申請專利範圍第 21 項之 meta 介電質材料，其

中，

該複合低聚物材料的結晶結構佈局包括選自熱致和各向同性晶體有序的結晶有序佈局。

【第 23 項】

根據申請專利範圍第 20 項之 meta 介電質材料，其中，

該複合低聚物材料的結構佈局包括薄片或薄片狀的結構。

【第 24 項】

一種電容器，

其包括第一導電層、第二導電層、及夾在該第一導電層和第二導電層之間的介電質層；

其中，該介電質層是由 meta 介電質材料構成的薄膜，其電阻率大於或等於約 10^{16} 歐姆·釐米，相對介電常數大於或等於約 1000，其中該 meta 介電質材料包括複合低聚物材料，該複合低聚物材料包含：

一個或多個重複主鏈單元；

一個或多個極化性單元，其併入或連接到該一個或多個重複主鏈單元中的一或多者；以及

一個或多個電阻性尾部，其以該極化性單元上的側鏈之形式連接到一個或多個該重複主鏈單元或該一個或多個極化性單元，連接至將極化性單元連接到重複主鏈單元的連接端上，或直接連接到重複主鏈單元。

【第 25 項】

根據申請專利範圍第 24 項之電容器，其中，

其還包括絕緣層，其中該介電質層是薄膜，該第一和第二導電層是金屬，並且該絕緣層獨立地選自 meta 介電質材料、聚丙稀（PP）、聚對苯二甲酸乙二醇酯聚酯（PET）、聚苯硫醚（PPS）、聚萘二甲酸乙二醇酯（PEN）、聚碳酸酯（PP）、聚苯乙稀（PS）和聚四氟乙稀（PTFE）。

【第 26 項】

根據申請專利範圍第 24 項之電容器，其中，

該介電質層包括在客體-主體系統中作為客體之懸浮的 meta 介電質材料的聚合物。

【第 27 項】

根據申請專利範圍第 26 項之電容器，其中，

該主體聚合物是選自聚（甲基丙稀酸甲酯）、聚醯亞胺、聚碳酸酯和聚（ ϵ -己內酯）。

【第 28 項】

根據申請專利範圍第 24 項之電容器，其中，

該 meta 介電質材料被合併到更大的聚合物基質中，其中該聚合物基質可以具有與該 meta 介電質材料相同或不同的重複主鏈單元。

【第 29 項】

根據申請專利範圍第 24 項之電容器，其中，

該複合低聚物材料能夠形成選自溶致晶體結構、熱致晶體結構、薄片結構和薄片狀結構中的結構。

【發明圖式】

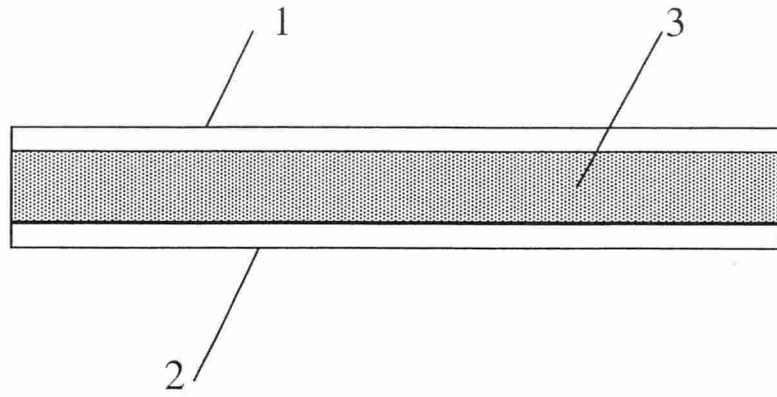


圖 1

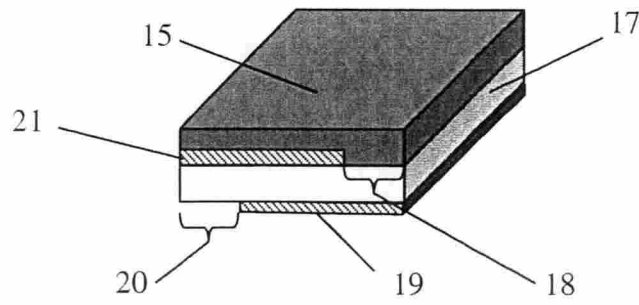


圖 2A

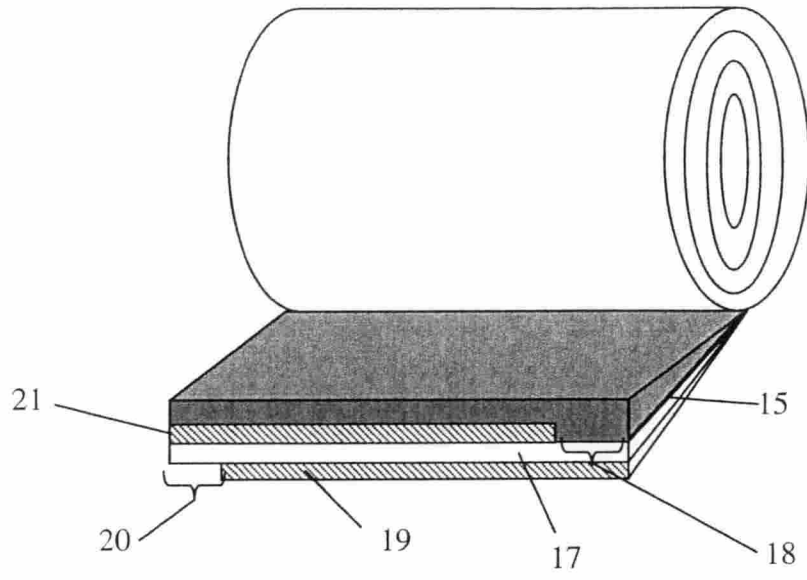


圖 2B

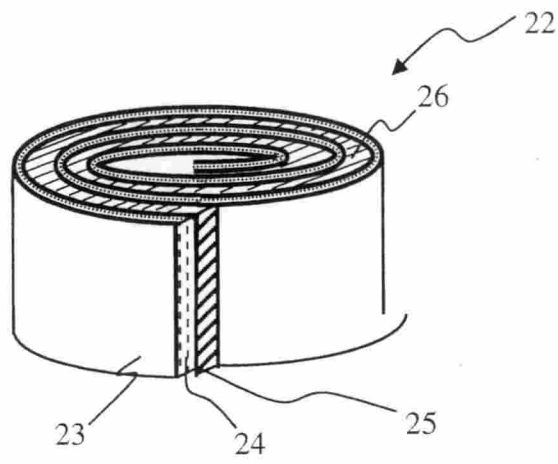


圖 3

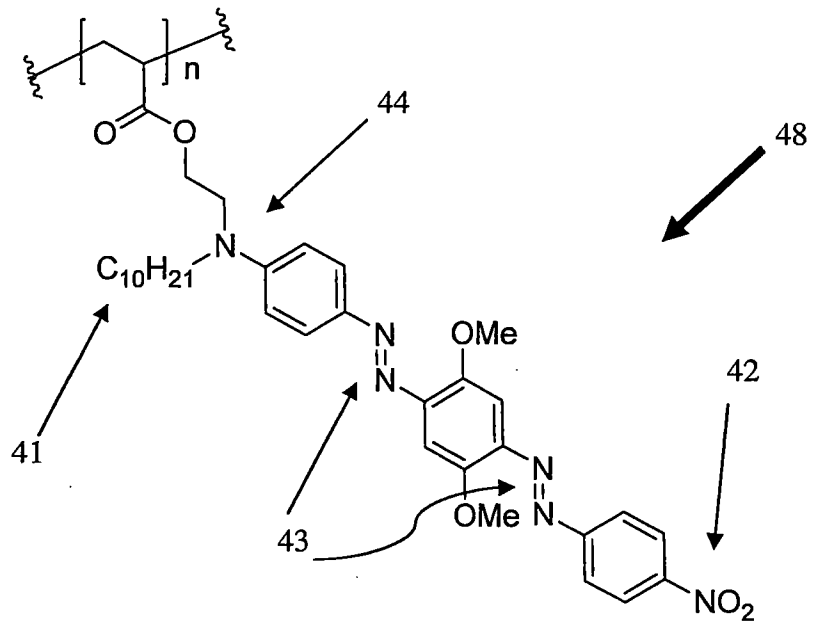


圖 4