



(19) 中華民國智慧財產局

(12) 發明說明書公告本

(11) 證書號數：TW I396893B1

(45) 公告日：中華民國 102 (2013) 年 05 月 21 日

(21) 申請案號：098135777

(22) 申請日：中華民國 98 (2009) 年 10 月 22 日

(51) Int. Cl. : G02F1/133 (2006.01)

(71) 申請人：國立交通大學 (中華民國) NATIONAL CHIAO TUNG UNIVERSITY (TW)
新竹市大學路 1001 號

(72) 發明人：范士岡 FAN, SHIH KANG (TW) ; 邱誠樸 CHIU, CHENG PU (TW)

(74) 代理人：高玉駿；楊祺雄

(56) 參考文獻：

TW 200921146A

US 2007/0229754A1

審查人員：廖家成

申請專利範圍項數：8 項 圖式數：8 共 26 頁

(54) 名稱

光電裝置

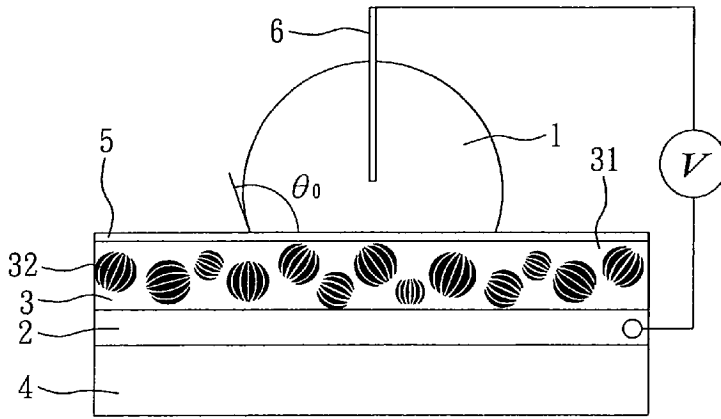
ELECTRO-OPTICAL DEVICE

(57) 摘要

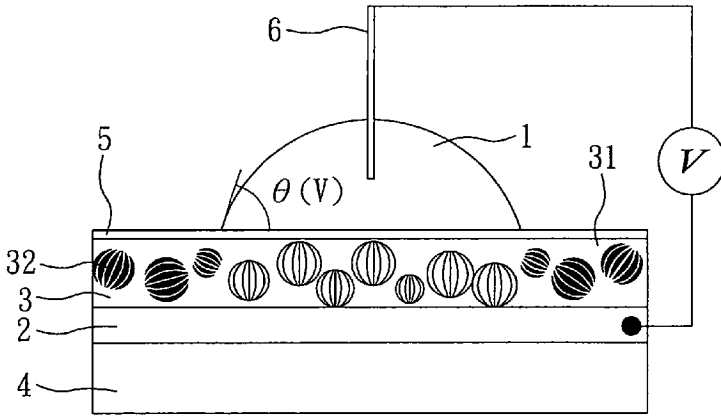
本發明提供一種光電裝置，包含一流體、一導體，及一設置在該導體與該流體之間並與該導體及該流體連接的介電層，使得該介電層的一區域是受該流體所覆蓋，該介電層包含一基體及限制於該基體內之液晶；藉此，當對該光電裝置施加一電壓時，該流體及該導體之間形成一電場並通過該介電層之該區域，使得該流體的狀態及位於該介電層之該區域內之液晶的指向同時被改變。本發明之光電裝置可有效控制流體之狀態以及可發揮電光效應。

The present invention provides an electro-optical device comprising a fluid, a conductor, and a dielectric layer disposed between the conductor and the fluid so that a region of the dielectric layer is covered with the fluid. The dielectric layer contains a matrix and liquid crystals confined in the matrix, thereby when a voltage is applied to the electro-optical device, an electric field forms between the fluid and the conductor and passes through the region of the dielectric layer, so that the condition of the fluid and the directors of the liquid crystals in the region of the dielectric layer are changed simultaneously. The electro-optic device of the present invention can be used to control the condition of the fluid and exhibit an electro-optical effect.

- 1 . . . 流體
- 2 . . . 導體
- 3 . . . 介電層
- 31 . . . 基體
- 32 . . . 液晶
- 4 . . . 基板
- 5 . . . 疏水層
- 6 . . . 導線



(a)



(b)

圖2

替換版

第098135777號專利申請案補充、修正後無劃線之說明書替換頁

替換日期：102年2月

發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※ 申請案號： 98135777

※ 申請日： 98.10.27

※IPC 分類： G02F 1/33 (2006.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

光電裝置 / ELECTRO-OPTICAL DEVICE

二、中文發明摘要：

本發明提供一種光電裝置，包含一流體、一導體，及一設置在該導體與該流體之間並與該導體及該流體連接的介電層，使得該介電層的一區域是受該流體所覆蓋，該介電層包含一基體及限制於該基體內之液晶；藉此，當對該光電裝置施加一電壓時，該流體及該導體之間形成一電場並通過該介電層之該區域，使得該流體的狀態及位於該介電層之該區域內之液晶的指向同時被改變。本發明之光電裝置可有效控制流體之狀態以及可發揮電光效應。

三、英文發明摘要：

The present invention provides an electro-optical device comprising a fluid, a conductor, and a dielectric layer disposed between the conductor and the fluid so that a region of the dielectric layer is covered with the fluid. The dielectric layer contains a matrix and liquid crystals confined in the matrix, thereby when a voltage is applied to the electro-optical device, an electric field forms between the fluid and the conductor and passes through the region of the dielectric layer, so that the condition of the fluid

替換版

第098135777號專利申請案補充、修正後無劃線之說明書替換頁

替換日期：102年2月

and the directors of the liquid crystals in the region of the dielectric layer are changed simultaneously. The electro-optic device of the present invention can be used to control the condition of the fluid and exhibit an electro-optical effect.

替換版

第098135777號專利申請案補充、修正後無劃線之說明書替換頁

替換日期：102年2月

四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：圖(2)。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

1·····	流體	32·····	液晶
2·····	導體	4·····	基板
3·····	介電層	5·····	疏水層
31·····	基體	6·····	導線

五、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

無

六、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明是有關於一種光電裝置，特別是指一種包含一具有電光效應之介電層及一流體的光電裝置。

【先前技術】

如圖 1 所示，電濕潤(electrowetting)裝置通常包含一導電基板 100、一介電層 101 及一可導電液滴 102。如圖 1(a)，在施加電壓前，介電層 101 表面的表面張力較大，使液滴具有較大的接觸角而呈球形；如圖 1(b)，當施加電壓時，介電層 101 表面的表面張力變小，使接觸角變小，而讓液滴 102 可濕潤介電層 101，即電濕潤現象。上述裝置因運用到介電層來防止電流直接穿透液滴而造成電解，而被稱為介電濕潤(electrowetting-on-dielectric, EWOD)方式。

電濕潤裝置例如光學透鏡、顯示器等等，主要功效是透過電濕潤機制來改變液滴的接觸角，以變化焦距長度。除了上述運用電濕潤現象來控制液滴之外，亦可透過介電泳(dielectrophoresis, DEP)、電極排列、電壓控制或其他方式來驅使液滴的狀態產生改變。

在目前的微流體系統中，大多與控制液滴狀態有關，而液滴狀態的改變主要僅用來控制焦距長度，而限制了現有微流體系統的應用範圍。又因目前尚未發現同時具備電光效應(electro-optical effect，例如光穿透率等)以及可有效控制液滴狀態之裝置，如能朝此目標進行研發，將有助於

擴展微流體系統的應用範圍。

【發明內容】

因此，本發明之目的，即在提供一種可控制微流體狀態及具備電光效應之光電裝置。

於是，本發明光電裝置包含一流體、一導體及一介電層，該介電層是設置在該導體與該流體之間並與該導體及該流體連接，使得該介電層的一區域是受該流體所覆蓋，該介電層包含一基體及限制於該基體內之液晶；藉此，當對該光電裝置施加一電壓時，該流體與該導體之間形成一電場並通過該介電層之該區域，使得該流體的狀態及位於該介電層之該區域內之液晶的指向同時被改變。

本發明光電裝置在電壓施加下，使該流體與該導體之間形成一電場，而可選擇地透過不同機制(電濕潤、介電泳等)來控制流體狀態，更可讓流體所覆蓋之介電層之一區域內的液晶改變指向，即隨著電場進行重取向，進而使介電層之受該流體所覆蓋之覆蓋區域內的光穿透率不同於未受該流體所覆蓋之未覆蓋區域內的光穿透率。因此，本發明之光電裝置可有效控制光穿透率，並可同時調整所呈現影像之對比值。

【實施方式】

在本發明之光電裝置中，該流體是例如氣體、氣泡或液體等，具有可隨著電壓變化而改變狀態(如表面形態、位置等)之特性，並可依據實際需要來選擇適合的流體。較佳

地，流體可選自於水、油、染料、空氣、氣泡或此等之一組合。

較佳地，該流體是含有一具有導電性之液體。於本發明之一具體例中，該流體是由一導電性液滴所構成；於本發明之另一具體例中，該流體含有一不具導電性之第一液體及一具有導電性之第二液體，該第一液體與該二液體不互溶；以及於本發明之再一具體例中，該流體含有一具有導電性之第二液體以及一不具導電性且包圍該第二液體之第一液體。

該介電層之基體主要是用來將液晶限制且均勻分散在一有限空間內，以利於設置在導體之上方。該基體可選用任何習知用於與液晶結合之材料。較佳地，該基體為一高分子，該液晶是以多數液晶液滴形式分散於該高分子內，而兩者混合後所製得之材料稱為高分子分散液晶(polymer-dispersed liquid crystal, PDLC)。該高分子可例如，但不限於聚二甲基矽氧烷(polydimethylsiloxane, PDMS)。

該導體可依據裝置之後續用途進行變化。於本發明之一具體例中，該導體是由多數個水平間隔設置之電極所構成。此外，該導體亦可以圖樣化方式設置。

較佳地，該光電裝置還包含一形成在該流體上方之導體。

較佳地，該光電裝置還包含一形成在該流體與該介電層之間的疏水層。構成該疏水層之材料可為鐵氟龍(Teflon)

等。

較佳地，該流體為一不具有導電性之液體，例如油、染料等。當該流體為不具有導電性之液體時，該光電裝置還包含一形成在該流體上方之導體。

本發明之光電裝置的結構可依據實際需要進行調整，後續可運用於可變焦透鏡、顯示裝置、實驗室晶片等等。

有關本發明之前述及其他技術內容、特點與功效，在以下配合參考圖式之四個較佳具體例的詳細說明中，將可清楚的呈現。

在本發明被詳細描述之前，要注意的是，在以下的說明內容中，類似的元件是以相同的編號來表示。

在本發明之第一較佳具體例中，如圖 2(a)所示，該光電裝置包含一流體 1、一導體 2、一夾置於該流體 1 與該導體 2 之間的介電層 3、一設置於該導體 2 下方之基板 4、一設置於該流體 1 與該介電層 3 之間的疏水層 5，以及一用以電連接該流體 1 與該導體 2 且含有一探針之導線 6。該介電層 3 包含一基體 31 以及限制於該基體 31 內之液晶 32。該流體 1 是由一導電性液滴所構成。

於圖 2(a)中，在施加電壓前，流體 1 與疏水層 5 之間的接觸角為 θ_0 ，而覆蓋區域內之液晶的指向並未一致[如圖 2(a)之黑色條紋小球所示]。如圖 2(b)所示，當對該光電裝置施加一電壓時，該流體 1 與該導體 2 之間將形成一電場，同時通過該介電層 3 之受到該流體 1 所覆蓋之覆蓋區

域，透過電濕潤方式，使流體 1 與疏水層 5 之間的接觸角縮小為 $\theta(V)$ ，而讓流體 1 向外橫向擴散，並進一步擴大該介電層 3 之覆蓋區域的面積；此外，此覆蓋區域內之液晶的指向也會隨著重取向而改變為同一指向[如圖 2(b)白色條紋小球所示]。

在本發明之第二較佳具體例中，如圖 3(a)所示，該光電裝置由下至上依序包含一下基板 4、一下導體 2、一介電層 3、一下疏水層 5、一流體 1、一用以容納該流體 1 且界定一腔室之圍壁 7、一上疏水層 5'、一上導體 2'、一上基板 4'，及一用以電連接該下導體 2 與該上導體 2' 之導線 6。該介電層 3 包含一基體 31 以及限制於該基體 31 內之液晶 32。該流體 1 是由一導電性液滴所構成。

於圖 3(a)中，箭頭代表入射光線，在施加電壓前，該介電層 3 之覆蓋區域的穿透率與未覆蓋區域的穿透率約為相同。如圖 3(b)所示，在施加電壓後，該覆蓋區域內的液晶重取向為平行於入射光線之方向，致使入射光線的通過量增加，進而讓覆蓋區域的穿透率與未覆蓋區域的穿透率產生不同，藉此使光電裝置之對比增加。此外，同樣可發現該流體 1 的表面形態改變，使得覆蓋區域的面積擴大。

在本發明之第三較佳具體例中，如圖 4 及圖 5 所示，該光電裝置由下至上依序包含一下基板 4、一由 12 個水平間隔設置之方形電極所構成且此等電極構成一環圈(loop，如圖 5 所示)之下導體 2、一介電層 3、一下疏水層 5、一流

體 1、一用以容納該流體 1 且界定一腔室之圍壁 7、一上疏水層 5'、一上導體 2'、一上基板 4'，及多數條分別用以電連接該下導體 2 之一電極與該上導體 2'之導線 6(圖 4 中以二條導線表示)。該介電層 3 包含一基體 31 以及限制於該基體 31 內之液晶 32。該流體 1 是由一不具導電性之第一液滴 11 以及一具導電性之第二液滴 12 所構成。

於圖 4 中，當在該光電裝置之二導線 6 上分別連接不同電壓時，上導體 2'、下導體 2 之一電極與第一液滴 11 之間將形成一頻率之交流電場，透過介電泳方式，驅使第一液滴 11 的表面形態改變，接著可藉由對連接至其他各個電極之其他導線 6 提供不同電壓而驅使油滴 11 循著環圈(如圖 5)移動；同樣地，上導體 2'、下導體 2 之另一電極與第二液滴 12 之間將形成具有另一頻率之交流電場，透過介電濕潤方式，將驅使第二液滴 12 的表面形態改變，且同樣可再藉由對連接至其他各個電極之其他導線 6 提供不同電壓而驅使第二液滴 12 循著環圈移動。隨著電場的移動，除了第一液滴及第二液滴會隨著移動之外，介電層 3 中由第一液滴及第二液滴所各自覆蓋的兩個覆蓋區域也會隨著移動，當電場存在時，液滴所覆蓋之覆蓋區域下存在介電層內之液晶指向也會同時改變並獲致不同的光穿透率。

在本發明之第四較佳具體例中，如圖 6 所示，該光電裝置由下至上依序包含一下基板 4、一下導體 2、一介電層 3、一下疏水層 5、一流體 1、一用以容納該流體 1 且界定

一腔室之圍壁 7、一上疏水層 5'、一上導體 2'、一上基板 4'，及一用以電連接該下導體 2 與該上導體 2' 之導線 6。該介電層 3 包含一基體 31 以及限制於該基體 31 內之液晶 32。該流體 1 係填滿該腔室，且由一不具有導電性之第一液體 11 以及一具導電性之第二液體 12 所構成，該第一液體 11 與第二液體 12 彼此不互溶，以及該第二液體 12 係被該第一液體 11 所包圍。

如圖 6 所示，當對此光電裝置施加特定頻率的電壓時，具導電性之第二液體 12 因為具有較高的介電常數，將會朝著不具導電性之第一液體 11 移動並取代第一液體 11 存在於具有電場的位置，在此設計中，當施加電壓時，第二液體 12 會將第一液體 11 排開而覆蓋第一液體 11 原覆蓋之區域，在第二液體 12 所覆蓋之覆蓋區域內之液晶指向會隨電場而重取向並獲致不同的光穿透率。值得一提的是，透過導體之形狀的設計變化，該第二液體 12 將依循導體形狀而移動。

此外，本發明光電裝置所展現之光穿透率尚可透過調整介電層的組成，也就是改變液晶材料、液晶使用量以及介電層厚度等等方式加以調控。

本發明將就以下實施例來作進一步說明，但應瞭解的是，該實施例僅為例示說明之用，而不應被解釋為本發明實施之限制。

< 實施例 >

[實施例 1]

首先，將 8.3 wt%之液晶(購自默克公司，商品名 E7)及 91.7 wt%之聚二甲基矽氧烷(購自道康寧公司，型號為 Sylgard 184)予以混合，以獲得一混合物。將此混合物旋塗於一導電玻璃基板[含有 100 nm 厚之氧化銻錫層(導體 2)以及 0.7 mm 厚之玻璃基板(基板 4)]上，接著於 60°C 下進行烘烤，而於導電玻璃基板上形成 10 μm 厚且由高分子分散液晶所構成之介電層 3。將鐵氟龍旋塗於介電層 3 上，以形成 50 nm 厚之疏水層 5。最後在疏水層 5 上放置 2 μL 之去離子水滴 1，再以導線 6 連接氧化銻錫層與去離子水滴，即製得一可變焦透鏡(如圖 2 所示)。

[實施例 2]

依據實施例 1 之相同製備方式，製得一下部元件(由下至上依序含有下基板 4、下導體 2、介電層 3、下疏水層 5 及水滴 1)以及一上部元件(由下至上依序含有上疏水層 5'、上導體 2'及上基板 4')，接著在下部元件之疏水層 5 上設置一圍壁 7，再如圖 3 所示，將上部元件之上疏水層 5'與該圍壁 7 予以結合，即製得如圖 3 所示之光電裝置。

[比較例 1]

除了將介電層 3 的材料改變為 E7 液晶材料與 NOA65(購自 Norland Products Inc，型號為 NOA65)之外，比較例 1 之製備方式與實施例 1 之方式相同，最後同樣製得一可變焦透鏡。

[測試]

1. 接觸角變化：

對實施例 1 之可變焦透鏡施加不同電壓(0~200 V_{rms})，再利用電荷耦合裝置(charge coupled device, CCD)量測水滴 1 與疏水層 5 之間的接觸角，所得結果如圖 7 所示，圓圈所構成之曲線代表實施例 1 之透鏡在不同電壓下所測得之接觸角實驗值，虛線所構成之曲線代表依據 Lippmann-Young 方程式及不同電壓值所計算出之接觸角理論值。

(結果)

於圖 7 中，在施加電壓前，實施例 1 之可變焦透鏡的接觸角約為 104° ；在施加電壓後，接觸角隨著電壓增加而變小，而當施加 170 V_{rms} 以上之電壓時，接觸角則趨近 80° 。然而，實施例 1 所測得結果與理論接觸角之結果可明顯發現在電壓值約 80 V_{rms} 以上時，實施例 1 所測得之接觸角結果與理論值有些偏差，推測是因為電場所提供之一部分靜電能是用以供液晶進行重取向，因而降低電濕潤現象的產生，使所測得的接觸角較大。由此可發現本發明之光電裝置已展現不同於習知電濕潤裝置之性質。

2. 施加電壓前後的影像變化

於實施例 1 之光電裝置的下方放置一背景文件，接著於施加電壓前以及施加電壓後進行拍照，所獲得的結果分別如附件一(a)及附件一(b)所示。運用上述同樣方式進行比較例 1 之光電裝置的測試，施加電壓前以及施加電壓後所

得之結果分別如附件一(c)及附件一(d)所示。

(結果)

在附件一(a)中，可發現背景文件在水滴下被介電層內之液晶所散射及反射，而呈現模糊且微暗的影像。在附件一(b)中，由於水滴向外橫向擴散以及介電層中之水滴所覆蓋的覆蓋區域內之液晶重取向，使影像的顯示面積變大且變得更加清晰及明亮。

將附件一(a)與附件一(c)進行比較，可發現附件一(a)之影像較暗，這是因為光線受到介電層內之液晶的影響而發生散射或反射，使得影像較暗；而進一步將附件一(b)與附件一(d)進行比較，則發現附件一(b)之液滴所覆蓋區域明顯較未覆蓋區域為明亮，顯示附件一(b)的對比相當明顯。

3. 穿透率變化測試

將電荷耦合裝置放置在實施例 2 之光電裝置的上方，並在實施例 2 之光電裝置之下方放置一鹵素燈，利用電荷耦合裝置分別偵測施加電壓為 0 及 120 V_{rms} 之影像，所獲得之影像照片如圖 8 所示。

接著以積分球(integrating sphere)與分光光譜儀(Ocean Optics, USB4000)取代電荷耦合裝置，並在不同電壓施加下偵測波長為 400~800 nm 之入射光的穿透率，所獲得的結果如圖 8 所示。

(結果)

在圖 8 之兩個影像照片中，當施加電壓為 $0 V_{rms}$ (即施加電壓前)，入射光被散射，而顯示如右下方之全暗影像；當施加電壓為 $120 V_{rms}$ ，可明顯看到亮點，這是因為水滴所覆蓋之介電層內之液晶的指向重取向而讓入射光得以穿透所致。

在圖 8 之曲線圖中，當施加電壓為 $0 V_{rms}$ ，各個波長之穿透率約為 25~30%，而隨著施加電壓越大，各個波長之穿透率也隨著提昇，由此顯示本發明之光電裝置可透過控制施加電壓，調整裝置之光穿透率，進而同時調整所呈現影像之對比值。

綜上所述，本發明光電裝置由於含有該流體及該含有液晶之介電層，而可透過控制電壓，改變流體的狀態及流體所覆蓋之介電層內的液晶指向，進而可有效調控焦距長度、光穿透率及影像對比值。

惟以上所述者，僅為本發明之較佳實施例而已，當不能以此限定本發明實施之範圍，即大凡依本發明申請專利範圍及發明說明內容所作之簡單的等效變化與修飾，皆仍屬本發明專利涵蓋之範圍內。

【圖式簡單說明】

圖 1 是一示意圖，說明習知電濕潤裝置之結構其中，圖 1(a)為施加電壓前的狀態，圖 1(b)為施加電壓後的狀態；

圖 2 是一示意圖，說明本發明之光電裝置之第一較佳具體例的結構，其中，圖 2(a)為施加電壓前的狀態，圖 2(b)

為施加電壓後的狀態，黑色條紋小球表示未重取向前之液晶液滴及白色條紋小球表示重取向後之液晶；

圖 3 是一示意圖，說明本發明之光電裝置之第二較佳具體例的結構，其中，圖 3(a)為施加電壓前的狀態，圖 3(b)為施加電壓後的狀態，箭頭表示入射光；

圖 4 是一示意圖，說明本發明之光電裝置之第三較佳具體例的結構；

圖 5 是一俯視圖，說明本發明之光電裝置之第三較佳具體例的結構；

圖 6 是一示意圖，說明本發明之光電裝置之第四較佳具體例的結構；

圖 7 是一曲線圖，說明實施例 1 之可變焦透鏡之接觸角測試結果，其中，圓圈所構成之曲線代表實施例 1 之透鏡在不同電壓下所測得之接觸角，及虛線所構成之曲線代表依據 Lippmann-Young 方程式及不同電壓值所計算出之理論接觸角；及

圖 8 是一曲線圖，說明實施例 2 之光電裝置於不同施加電壓下之穿透率測試結果。

附件一是一照片，說明實施例 1 及比較例 1 之可變焦透鏡於施加電壓前後的影像差異，其中，附件一(a)為實施例 1 之可變焦透鏡於施加電壓前之影像結果，附件一(b)為實施例 1 之可變焦透鏡於施加電壓後之影像結果，附件一(c)為比較例 1 之可變焦透鏡於施加電壓前之影像結果，及附

件一(d)為比較例 1 之可變焦透鏡於施加電壓後之影像結果。

【主要元件符號說明】

1	……	流體	4	……	基板/下基板
11	……	第一液體	5	……	疏水層/下疏水層
12	……	第二液體	6	……	導線
2	……	導體/下導體	7	……	圍壁
3	……	介電層	2'	……	上導體
31	……	基體	4'	……	上基板
32	……	液晶	5'	……	上疏水層

替換版

第098135777號專利申請案補充、修正後無劃線之說明書替換頁

替換日期：102年2月

七、申請專利範圍：

1. 一種光電裝置，包含：

一流體；

一導體，是由多數個水平間隔設置之電極所構成；

及

一設置在該導體與該流體之間並與該導體及該流體連接的介電層，使得該介電層的一區域是受該流體所覆蓋，該介電層包含一高分子及限制於該高分子內之液晶，該液晶是以多數液晶液滴形式分散於該高分子內；

藉此，當對該光電裝置施加一電壓時，該流體及該導體之間形成一電場並通過該介電層之該區域，使得該流體的狀態及位於該介電層之該區域內之液晶的指向同時被改變，其中，該流體的狀態是透過電濕潤或介電泳機制而改變。

2. 根據申請專利範圍第 1 項所述之光電裝置，其中，該流體是由一導電性液滴所構成，當對該光電裝置施加一電壓時，透過該電濕潤機制，該導電性液滴與該介電層的接觸角降低，使得該導電性液滴向外橫向擴散，而進一步擴大該介電層之該區域的面積。

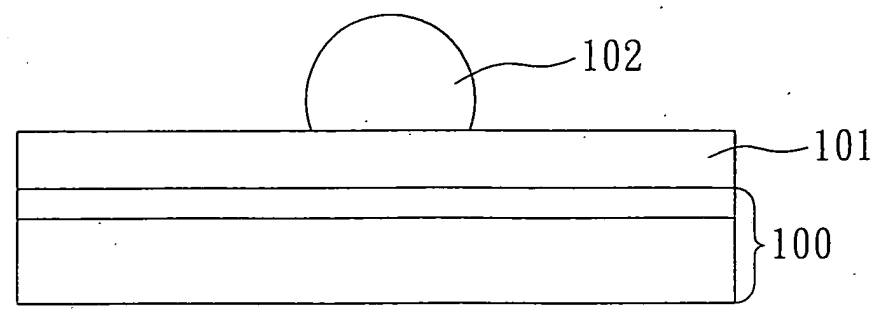
3. 根據申請專利範圍第 1 項所述之光電裝置，還包含一設於該介電層上且界定一腔室之圍壁，該流體是容納於該腔室內且含有一不具導電性之第一液體及一具導電性之第二液體，該第一液體與第二液體不互溶，其中，該第

一液體的狀態是透過介電泳機制而改變，以及該第二液體的狀態是透過電濕潤機制而改變。

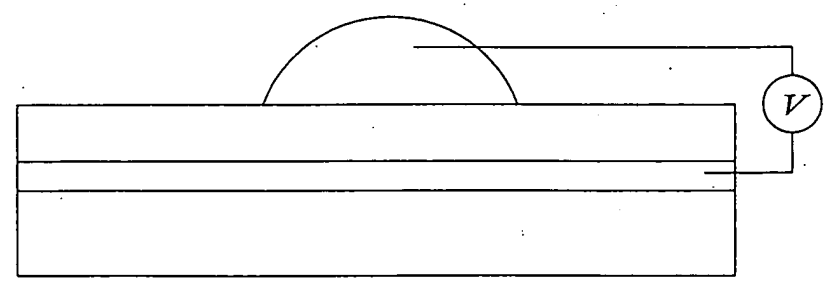
4. 根據申請專利範圍第 3 項所述之光電裝置，其中，該流體是填滿該腔室且該第一液體是包圍該第二液體。
5. 根據申請專利範圍第 4 項所述之光電裝置，其中，該第一液體為一染料。
6. 根據申請專利範圍第 1 項所述之光電裝置，還包含一形成在該流體上方之導體。
7. 根據申請專利範圍第 1 項所述之光電裝置，其中，該流體不具有導電性。
8. 根據申請專利範圍第 7 項所述之光電裝置，還包含一形成在該流體上方之導體。

八、圖式

98年11月2日修正本

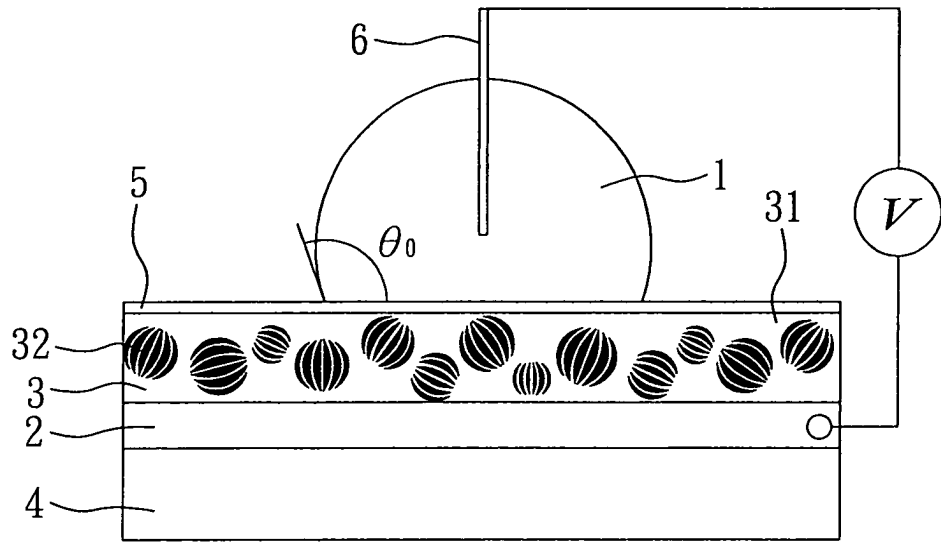


(a)

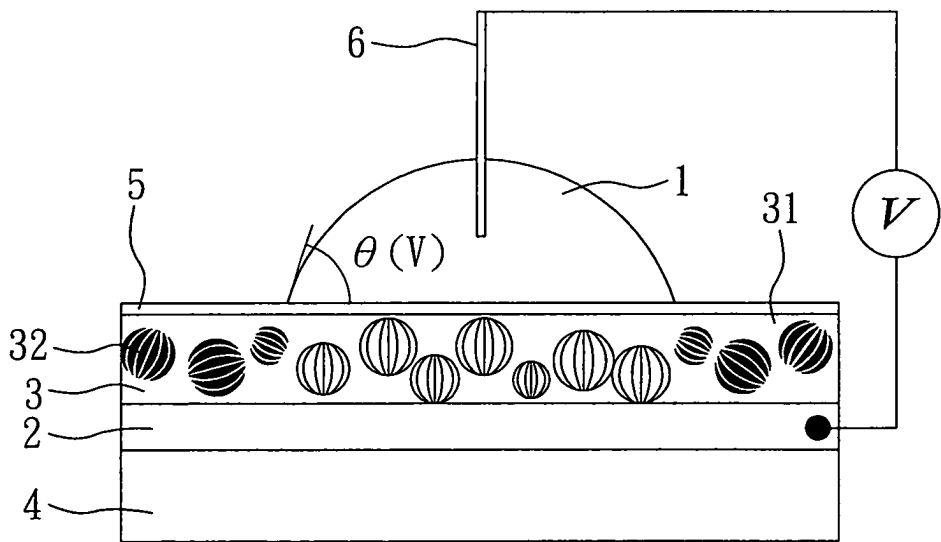


(b)

圖 1

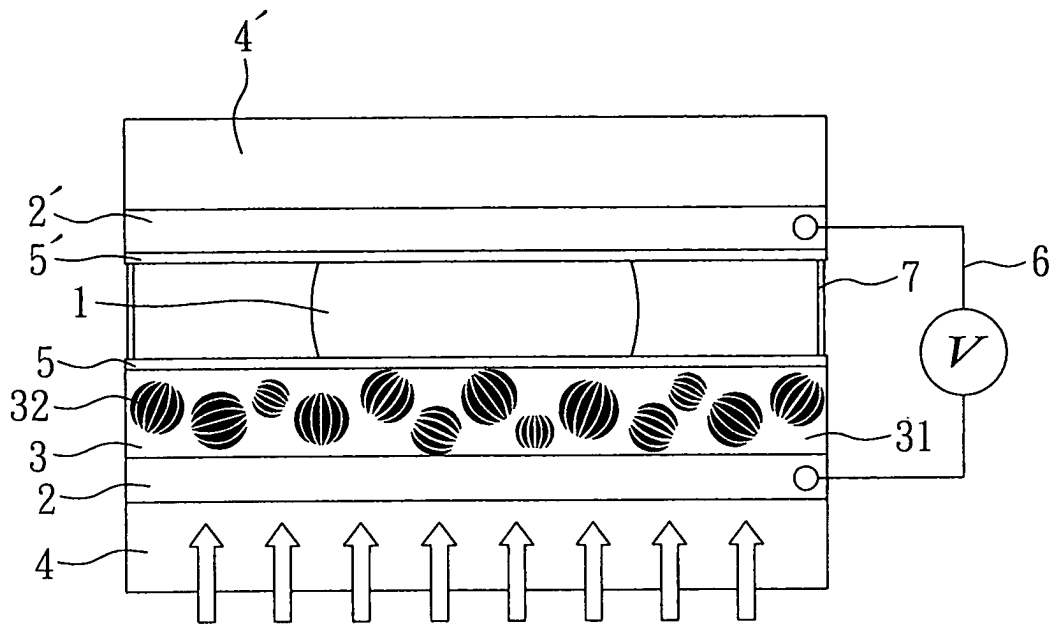


(a)

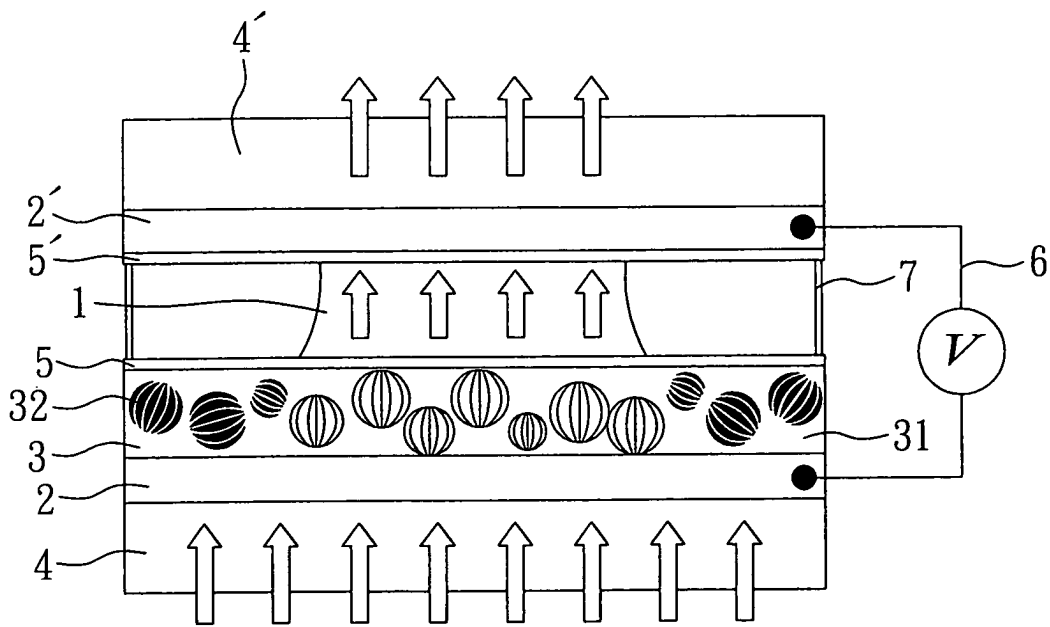


(b)

圖2



(a)



(b)

圖3

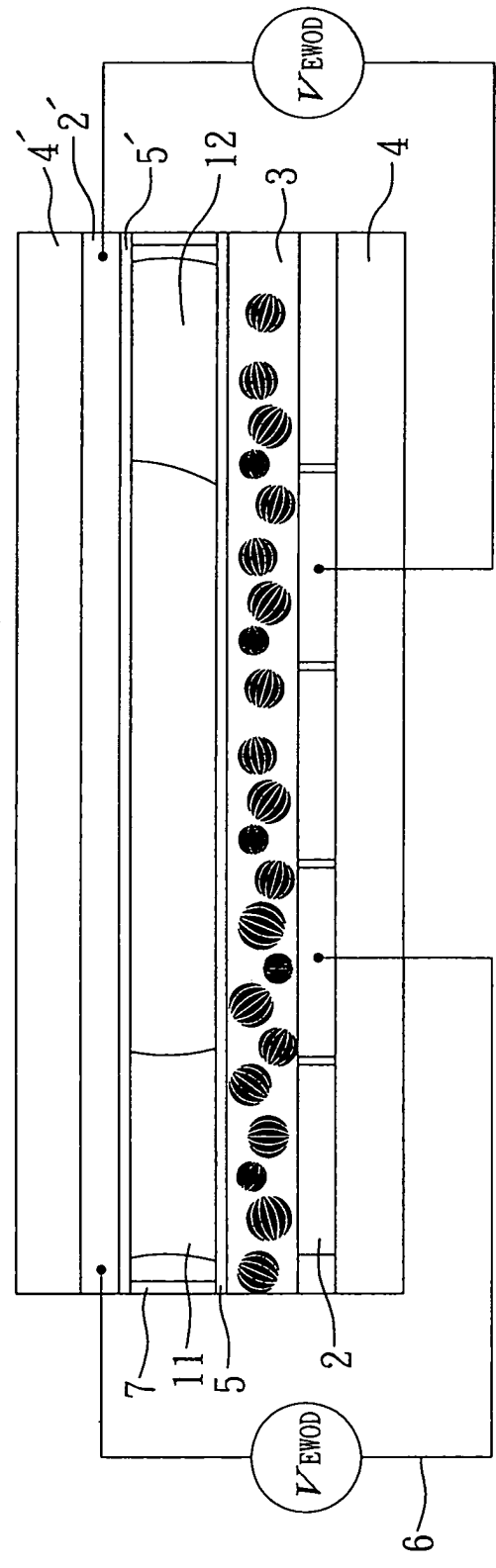


圖4

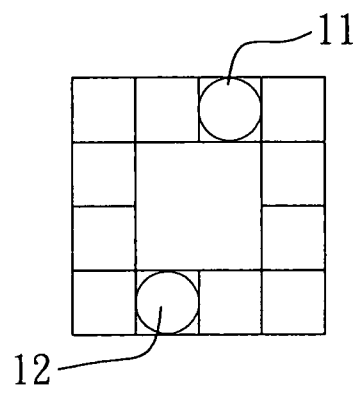


圖5

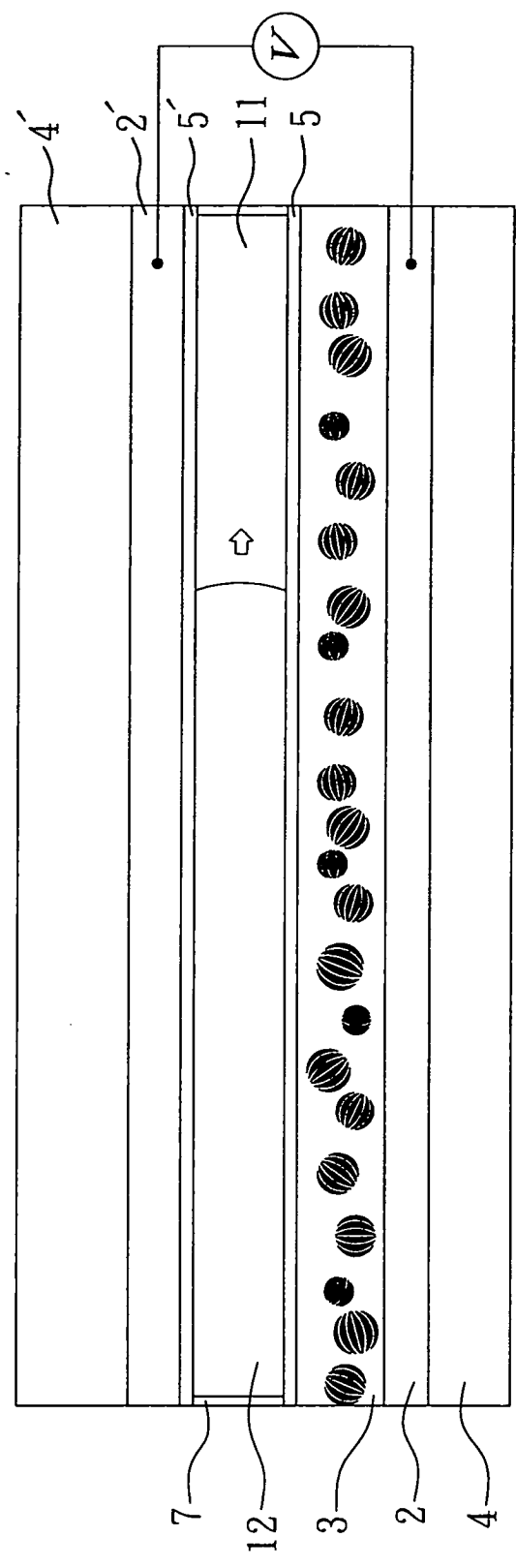
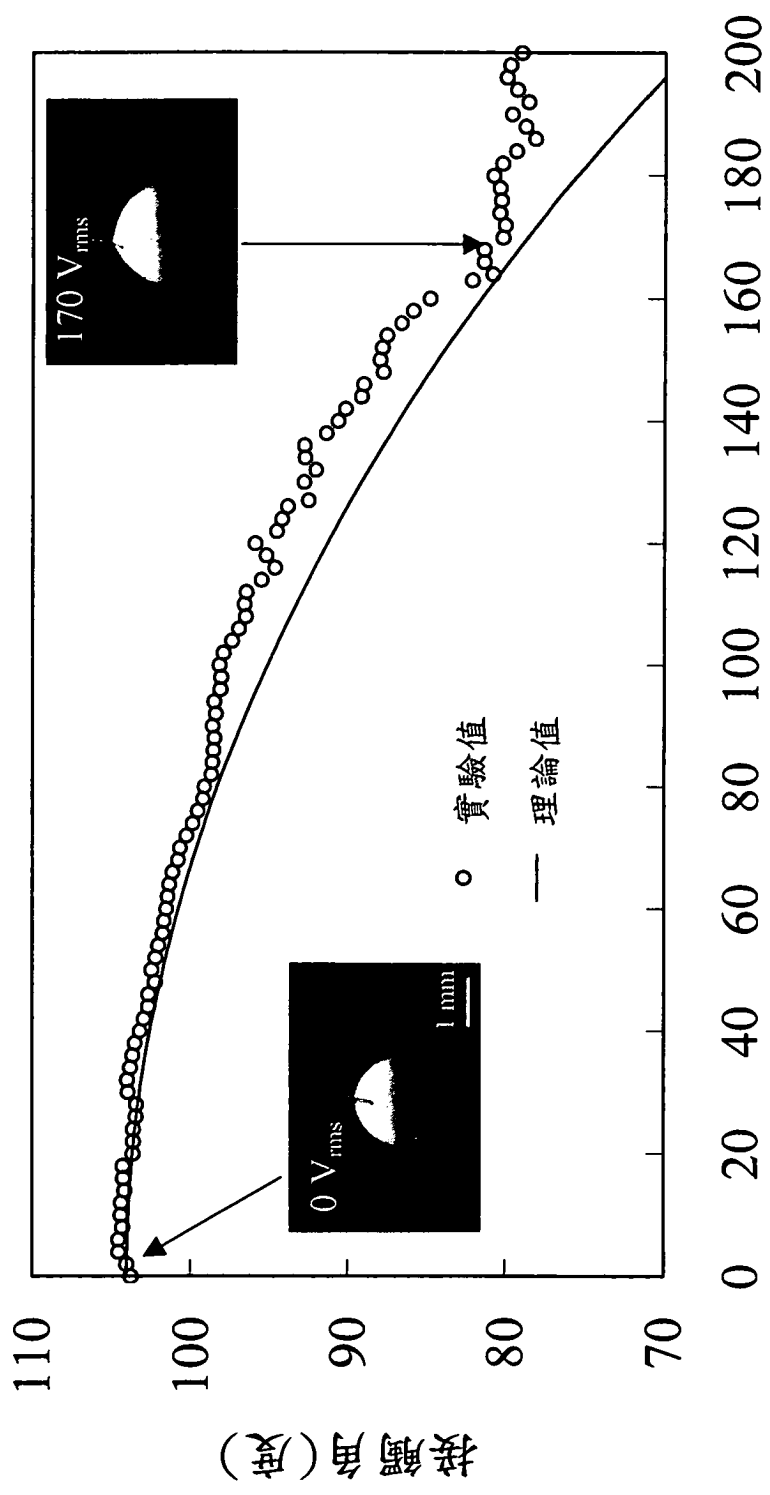


圖6



施加電壓(V_{rms})

圖 7

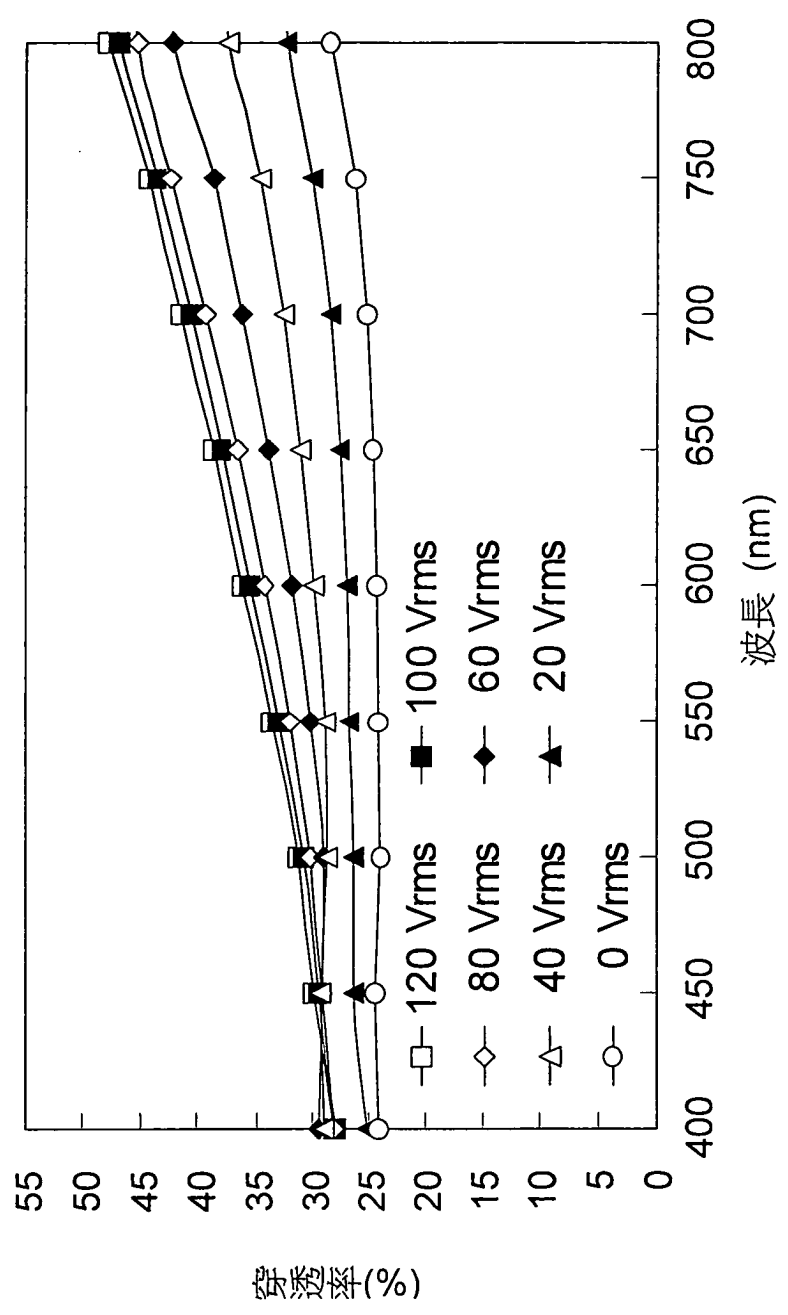


圖8