



(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 I573305 B

(45)公告日：中華民國 106 (2017) 年 03 月 01 日

(21)申請案號：102106218

(22)申請日：中華民國 102 (2013) 年 02 月 22 日

(51)Int. Cl. : H01L51/05 (2006.01)

H01L51/40 (2006.01)

(30)優先權：2012/02/27 義大利

MI2012A000284

(71)申請人：E T C 公司(義大利)E. T. C. S.R.L. (IT)

義大利

(72)發明人：卡貝利 羅菲拉 CAPELLI, RAFFAELLA (IT)；托法寧 史帝法諾 TOFFANIN, STEFANO (IT)；潔納羅利 潔安路卡 GENERALI, GIANLUCA (IT)；慕奇尼 蜜雪兒 MUCCINI, MICHELE (IT)

(74)代理人：林志剛

(56)參考文獻：

R. Capelli et al., "Organic light-emitting transistors with an efficiency that outperform the equivalent light-emitting diodes", Nature Materials 9, pp. 496-503, 2010

R. Capelli et al., "Integration of silk protein in organic and light-emitting transistors", Organic Electronics 12, pp. 1146-1151, 2011

審查人員：孫建文

申請專利範圍項數：10 項 圖式數：8 共 41 頁

(54)名稱

具有分佈式發光性能之有機發光雙極性場效電晶體

ORGANIC LIGHT EMITTING AMBIPOLAR FIELD EFFECT TRANSISTOR WITH DISTRIBUTED LIGHT EMISSION

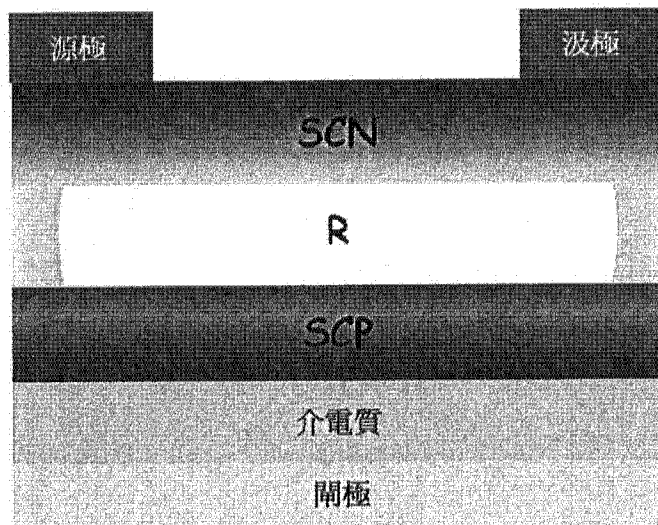
(57)摘要

一種具有一層堆疊於另一層上之多層構造且適於產生擴散性照明之有機雙極性發光場效電晶體，該電晶體包含：閘極；疊置於該閘極之介電層；疊置於該介電層之雙極性通道，該雙極性通道分別包含 P 型半導體層、N 型半導體層及發光層，該 P 型半導體層之能帶係由其最高佔用分子軌域 HOMO-SCp 和最低未佔用分子軌域 LUMO-SCp 測定，該 N 型半導體層之能帶係由其最高佔用分子軌域 HOMO-SCn 和最低未佔用分子軌域 LUMO-SCn 測定，且該發光層係適於使相反符號之電荷載子再結合且係插入於該 P 型半導體層與該 N 型半導體層之間，該發光層之能帶係由其最高佔用分子軌域 HOMO-R 和最低未佔用分子軌域 LUMO-R 測定；適於注入第一型電荷之源極和適於注入第二型電荷之汲極，該源極和汲極與該 P 型或 N 型半導體層之同一層接觸，且另一半導體層與該介電層接觸。

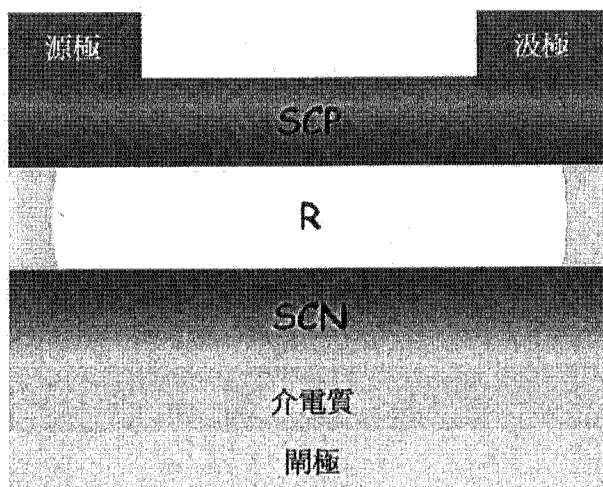
An organic ambipolar light emitting field effect transistor having an architecture with layers stacked one over the other, adapted to generate a diffused illumination, comprises: a gate electrode, a dielectric layer superposed to said gate electrode, an ambipolar channel superposed to said dielectric layer, comprising a P-type semiconductor layer whose energy band is determined by its highest occupied molecular orbital HOMO-SCp and lowest unoccupied molecular orbital LUMO-SCp, a N-type semiconductor layer whose

energy band is determined by its highest occupied molecular orbital HOMO-SCn and lowest unoccupied molecular orbital LUMO-SCn and a light emitting layer adapted to allow recombination of charge carriers of opposite sign, interposed between said P-type semiconductor layer and said N-type semiconductor layer, whose energy band is determined by its highest occupied molecular orbital HOMO-R and lowest unoccupied molecular orbital LUMO-R, respectively; a source electrode adapted to inject charges of a first type and a drain electrode adapted to inject charges of a second type, said source electrode and drain electrode being in contact with a same layer of said P-type or N-type semiconductor layers, the other of said semiconductor layers being in contact with the dielectric layer.

指定代表圖：



第 4A 圖



第 4B 圖

發明摘要

公告本

※申請案號：102106218

※申請日：102 年 02 月 22 日

※IPC 分類： H01L 51/05 (2006.1)
H01L 51/40 (2006.1)

【發明名稱】(中文/英文)

具有分佈式發光性能之有機發光雙極性場效電晶體

Organic light emitting ambipolar field effect transistor with distributed light emission

【中文】

一種具有一層堆疊於另一層上之多層構造且適於產生擴散性照明之有機雙極性發光場效電晶體，該電晶體包含：

閘極；

疊置於該閘極之介電層；

疊置於該介電層之雙極性通道，該雙極性通道分別包含 P 型半導體層、N 型半導體層及發光層，該 P 型半導體層之能帶係由其最高佔用分子軌域 HOMO-SC_p 和最低未佔用分子軌域 LUMO-SC_p 測定，該 N 型半導體層之能帶係由其最高佔用分子軌域 HOMO-SC_n 和最低未佔用分子軌域 LUMO-SC_n 測定，且該發光層係適於使相反符號之電荷載子再結合且係插入於該 P 型半導體層與該 N 型半導體層之間，該發光層之能帶係由其最高佔用分子軌域 HOMO-R 和最低未佔用分子軌域 LUMO-R 測定；

適於注入第一型電荷之源極和適於注入第二型電荷之汲極，該源極和汲極與該 P 型或 N 型半導體層之同一層接觸，且另一半導體層與該介電層接觸。

【英文】

An organic ambipolar light emitting field effect transistor having an architecture with layers stacked one over the other, adapted to generate a diffused illumination, comprises:

a gate electrode,

a dielectric layer superposed to said gate electrode,

an ambipolar channel superposed to said dielectric layer, comprising a P-type semiconductor layer whose energy band is determined by its highest occupied molecular orbital HOMO-SC_p and lowest unoccupied molecular orbital LUMO-SC_p, a N-type semiconductor layer whose energy band is determined by its highest occupied molecular orbital HOMO-SC_n and lowest unoccupied molecular orbital LUMO-SC_n and a light emitting layer adapted to allow recombination of charge carriers of opposite sign, interposed between said P-type semiconductor layer and said N-type semiconductor layer, whose energy band is determined by its highest occupied molecular orbital HOMO-R and lowest unoccupied molecular orbital LUMO-R, respectively;

a source electrode adapted to inject charges of a first type and a drain electrode adapted to inject charges of a second type, said source electrode and drain electrode being in contact with a same layer of said P-type or N-type semiconductor layers, the other of said semiconductor layers being in contact with the dielectric layer.

【代表圖】

【本案指定代表圖】：第(4A、4B)圖。

【本代表圖之符號簡單說明】：無

【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】：無

發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動)

【發明名稱】(中文/英文)

具有分佈式發光性能之有機發光雙極性場效電晶體

Organic light emitting ambipolar field effect transistor with distributed light emission

【技術領域】

本發明關於一種有機發光場效電晶體，其具有分佈式發光性。

【先前技術】

在此說明及後附申請專利範圍中，該措辭分佈式發光性表示發出長度大於等於 20 μm 之光。

有機電致發光場效電晶體（也稱作 OLET（有機發光電晶體））是最近之裝置類型，其具有使彼等特別令人感興趣之特徵和可能性。特別是，比起 OLED（有機發光二極體），雙極性 OLET 具有增進之效率及光度，且一旦彼等已經最佳化，也可使用低成本製程。

在歐洲專利第 EP 1609195 B1 號中可找到關於雙極性 OLET 裝置之構造的其他細節；關於這些裝置之潛力及功能特性，在文章“Organic light-emitting transistors with an efficiency that outperforms the equivalent light-emitting diodes” published in 2010 by Nature Materials, Volume 9,

pages 496-503 中可找到其他細節。

至今，所有研究及特徵顯示這些裝置具有增進之光度，但是專注於該雙極性（意指其攜帶兩種電荷載子）通道內一有限且非常小之區域中，其中彼等隨著發光輻射之放射相互再結合。特別是，至今製造之雙極性 OLET，例如上述文章例示者，具有達於 10 μm 寬之照明範圍。

此空間侷限之放射不會造成一整組有機電子裝置之問題，且其於，例如感測裝置領域中可能是一項優點。例如在國際專利案 WO2010049871 中有描述此用途。儘管如此，當需要的是大型或分佈式光源，例如在環境照明領域中、電致發光顯示技術、所謂照護點生醫應用、集積於光子晶片上之高亮度光源時，這將限制可能之應用領域。

在 Jung Hwa Seo 等人的文章“Solution-processed organic light-emitting transistors incorporating conjugated polyelectrolytes”, Adv. Funct. Mater. 2011, 21, pages 3667-3672，及 Edinazar B. Namdas 等人的文章“Organic light emitting complementary inverters”, Applied Physics Letters 96, 043304 (2010)中有揭示三層 OLET 裝置。這些在相同物件中有高亮度之裝置產生空間侷限照明且不適於產生擴散性照明，且這將相對地限制其可能之用途。

【發明內容】

因此本發明之目的在於克服先前技藝之問題，引用場效電晶體之照明區的有限延伸，且根據第一個觀點其在於

一種具有一層堆疊於另一層上之多層構造之有機雙極性發光場效電晶體，該電晶體包含：

閘極，

疊置於該閘極之介電層，

疊置於該介電層之雙極性通道，該雙極性通道分別包含 P 型半導體層、N 型半導體層及發光層，該 P 型半導體層之能帶係由其最高佔用分子軌域 HOMO-SC_p 和最低未佔用分子軌域 LUMO-SC_p 測定，該 N 型半導體層之能帶係由其最高佔用分子軌域 HOMO-SC_n 和最低未佔用分子軌域 LUMO-SC_n 測定，且該發光層係適於使相反符號之電荷載子再結合且係插入於該 P 型半導體層與該 N 型半導體層之間，其能帶係由其最高佔用分子軌域 HOMO-R 和最低未佔用分子軌域 LUMO-R 測定；

適於注入第一型電荷之源極及適於注入第二型電荷之汲極，該源極和汲極與該 P 型或 N 型半導體層之同一層接觸，另一半導體層與該介電層接觸。

新穎之場效電晶體能產生分佈式發光，因為據了解該雙極性通道之層使得

於該等半導體層（SC_n；SC_p）之一者與該發光層（R）之間的界面處的有效性場效移動率（ μ_2 ）之值與於該等半導體層（SC_n；SC_p）之另一者與該介電層（Die）之間的界面處的有效性場效移動率（ μ_1 ）之值的比率係介於 0.05 至 20；

在該 P 型半導體層（SC_p）與該介電層（Die）接觸之

情況下：

- 該等能階 HOMO-R 與 HOMO-SC_n 之間的差異係介於 0.2 eV 與 1 eV 之間，
- 該等能階 LUMO-R 與 LUMO-SC_n 之間的差異係介於 0.2 eV 與 0.8 eV 之間，
- 該等能階 HOMO-R 與 HOMO-SC_p 之間的差異係介於 0 eV 與 0.5 eV 之間，
- 該等能階 LUMO-R 與 LUMO-SC_p 之間的差異係介於 -1 eV 與 0 eV 之間；

在該 N 型半導體層（SC_n）與該介電層（Die）接觸之情況下：

- 該等能階 HOMO-R 與 HOMO-SC_n 之間的差異係介於 0 eV 與 1 eV 之間，
- 該等能階 LUMO-R 與 LUMO-SC_n 之間的差異係介於 -0.5 eV 與 0 eV 之間，
- 該等能階 HOMO-R 與 HOMO-SC_p 之間的差異係介於 -0.2 eV 與 -0.8 eV 之間，
- 該等能階 LUMO-R 與 LUMO-SC_p 之間的差異係介於 -0.2 eV 與 -1 eV 之間，

在較佳具體實施例中，該發光層係主體-客體（H-G）系統，由主體材料及一或多種客體材料構成，其各自之特徵為由其最高佔用分子軌域 HOMO-H（HOMO-G）和最低未佔用分子軌域 LUMO-H（LUMO-G）測定之能帶。使用多數客體材料可能便於改變該裝置放射之光的光譜。該發

光層是主體-客體系統之新穎場效電晶體能產生分佈式發光性，因為據了解該雙極性通道之層使得：

於該等半導體層（SC_n；SC_p）之一者與該發光層（R）之間的界面處的有效性場效移動率（ μ_2 ）之值與於該等半導體層（SC_n；SC_p）之另一者與該介電層（Die）之間的界面處的有效性場效移動率（ μ_1 ）之值的比率係介於 0.05 至 20，及

在該 P 型半導體層（SC_p）與該介電層（Die）接觸之情況下：

- 該等能階 HOMO-H 與 HOMO-SC_n 之間的差異係介於 0.2 eV 與 1 eV 之間，
- 該等能階 LUMO-H 與 LUMO-SC_n 之間的差異係介於 0.2 eV 與 3 eV 之間，
- 該等能階 HOMO-H 與 HOMO-SC_p 之間的差異係介於 0 eV 與 0.5 eV 之間，
- 該等能階 LUMO-H 與 LUMO-SC_p 之間的差異係介於 -1 eV 與 3 eV 之間，且

對於所有客體材料：

- 該等能階 LUMO-G 與 LUMO-SC_n 之間的差異係介於 0.3 eV 與 -1 eV 之間，
- 該等能階 HOMO-G 與 HOMO-H 之間的差異係介於 0 eV 與 1 eV 之間；

在該 N 型半導體層（SC_n）與該介電層（Die）接觸之情況下：

- 該等能階 HOMO-H 與 HOMO-SC_n 之間的差異係介於 -3 eV 與 1 eV 之間，
- 該等能階 LUMO-H 與 LUMO-SC_n 之間的差異係介於 -0.5 eV 與 0 eV 之間，
- 該等能階 HOMO-H 與 HOMO-SC_p 之間的差異係介於 -0.2 eV 與 -3 eV 之間，
- 該等能階 LUMO-H 與 LUMO-SC_p 之間的差異係介於 -0.2 eV 與 -1 eV 之間，且

對於所有客體材料：

- 該等能階 HOMO-G 與 HOMO-SC_p 之間的差異係介於 -0.3 eV 與 1 eV 之間，
- 該等能階 LUMO-G 與 LUMO-H 之間的差異係介於 0 eV 與 -1 eV 之間。

根據較佳具體實施例，上文界定之有效性場效移動率 m_1 和 m_2 的值之間的比率係介於 0.7 至 1.3。

除了以上條件以外，根據又另一較佳具體實施例，該等有效性場效移動率 m_1 和 m_2 之最小值係 $10^{-3} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 。

所申請之申請專利範圍是本說明書之一主要部分並以引用之方式併入本文。

【圖式簡單說明】

本發明將參照下列圖形例示：

第 1A 和 1B 圖概略顯示兩個創新之 OLET 裝置的具體實施例，

第 2A 和 2B 圖顯示於雙極性條件下操作之 2 不同 OLET 裝置之照明通道的 3D 數位描述，

第 3 圖顯示用於實現第 7 圖所示之比較例的 N 型半導體材料層之分子系統 SLV-131 的化學構造，

第 4A 和 4B 圖顯示創新之 OLET 裝置的其他具體實施例，其中分別以強光照射與該介電層接觸之 P 和 N 型傳導性 SCP 和 SCN 半導體層，

第 5 圖描繪 P 型半導體層與該介電層接觸且該發光層由主體-客體系統構成之本發明之 OLET 裝置的構造，及分別之光電子特徵圖形，

第 6 圖描繪 P 型半導體層與該介電層接觸，該發光層由具有相同主體材料之主體-客體系統構成且客體材料與第 5 圖所示之材料不同之本發明之 OLET 裝置的構造，及分別之光電子特徵圖形，

第 7 圖顯示 P 型半導體層 (DH4T) 與該介電層接觸，發光層由參 (8-羥基喹啉基) 鋁 (Alq_3) 製造，N 型半導體層 (SLV131) 位於該發光層上方之非本發明之 OLET 裝置的構造、所用材料之能帶及分別之光電子特徵圖形，

第 8A 至 8D 圖顯示於具有分佈式照明之 OLET 裝置創新構造的層中所用之可能材料的 LUMO 和 HOMO 能階。

【實施方式】

參照第 1A 和 1B 圖，據顯示本發明之電晶體的雙極性通道係由三層構造構成，其中最外層 SC1, SC2 係由半導體材料製造，相反符號之電荷載子於該發光層 R 中再結合，由於構成此層之材料之放射性質使得相應發光變得可能。

發明人已經發現以可再現方式獲得分佈式發光性，也就是說，如先前定義的，散布於至少 $20\text{ }\mu\text{m}$ 之散射（依照幾何含義）發光之 OLET 構造的某些特徵。聯合本發明之優點是在沿著數米微米照射該通道之雙極性 OLET 裝置具體實施例中又更加顯而易見。很清楚地，在這些裝置中該等雙極性通道必須夠寬，也就是說該等雙極性通道具有比照明區寬或同等之射程。該雙極性通道射程係由該電晶體之源極與汲極之間的距離測定。適當距離也由避免製造尺寸比所需大之裝置的需求測定，也將下列實情納入考慮，在本發明之較佳具體實施例中，可照亮該雙極性通道相當大部分，通常不小於 33% 且在特定情況下，尤其是在雙極性通道小於 $150\text{ }\mu\text{m}$ 之情況下，此部分也可接近其 100% 射程。再者，事實上在寬通道中之分散現象和有效性移動率之間的差異效應變得相關性更高，促成偏好具有分佈式發光之雙極性 OLET，該分佈式發光於源極和汲極之間的距離介於 20 與 $300\text{ }\mu\text{m}$ 之間。

該措辭總體移動率意指關於電荷載子類型之材料的固有輸送性質。

藉由於室溫下對半導體多晶性粉末進行脈波輻解時間

解析微波傳導性（pulse-radiolysis time-resolved microwave conductivity）測量（例如在 Synthetic Metals, volume 101, pages 534-535 出版之 Wegewijs 等人的科學文章中揭示的），可獲得材料之固有移動率，因為沒有結晶域尺寸或晶粒邊緣存在引起之效應且外加電場係於 10 V/cm 之等級。

該場效移動率表示於場效裝置中起作用之情況下輸送電荷載子之材料的性質；此值不受該總體移動率之值所束縛，的確在此情況下該移動率基本上被表面現象左右而非總體現象及外表交互作用。僅視為範例，考慮聚（3-己基噻吩）（P3HT）之案例，其具有等於 $9.3 \times 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 之總體移動率，以金屬-絕緣體-半導體（MIS）二極體測量，及於飽和條件下等於 $1.7 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 之場效移動率（參考：Organic Electronics, volume 7, pages 276-286 出版之文章）。

該 DH4T 之場效移動率測量係由依下列所示建構之單層有機場效電晶體（OFET）之軌跡電氣特性（ $V_{DS}=V_{GS}$ ， V_{DS} 介於 0 至 -100V）：由玻璃製造之裝置基材、由 150 nm ITO 層製造之閘極、由 450 nm PMMA 層製造之介電層、由 10 nm DH4T 層製造之半導體層及由 50 nm 金屬製造之源極和汲極。該場效移動率在約 -25V 閾電壓之情形下係約 $0.1 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ ；測量 DH4T 多晶性粉末之後，獲得 $0.015 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 之移動率值。

除上述之外，還能由該有效性場效移動率給電荷移動

率下另一層定義，此移動率係經熟慮之裝置在分析情形之下有效獲得者，並可由其電流-電位特性獲得。通常，其與簡化參考構造（即具有單一半導體層之場效電晶體（OFET））測量之場效移動率不同。

該場效移動率之值可與該經熟慮之裝置中的有效性場效移動率做比較，該有效性場效移動率係藉由在單極性輸送條件下對三層構造（例如，相同材料層扮作配置於金電極與 Alq_3 製造之再結合層 R 之間的半導體 SC2）加偏壓獲得。例如，在發明人測量之特定案例中，DH4T 之有效性場效移動率在約 -60V 閾電壓之情形下係約 $0.002 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 。

申請人進行之試驗顯示，爲了擁有具有分佈式發光性之雙極性電晶體，大體上必須確定兩個條件：

1) 該二不同類型之電荷載子於個別界面 SC1-Die 和 SC2-R 處之有效性場效移動率 m_1 和 m_2 之間的比率係介於 0.05 與 20 之間，

2) 在該發光層由單一材料構成之情況下，該雙極性通道層之材料的 LUMO 與 HOMO 值之間的差異應該滿足下列限制：

在該 P 型半導體層（SCp）與該介電層（Die）接觸之情況下：

- 該等能階 HOMO-R 與 HOMO-SCn 之間的差異係介於 0.2 eV 與 1 eV 之間，
- 該等能階 LUMO-R 與 LUMO-SCn 之間的差異係介

於 0.2 eV 與 0.8 eV 之間，

- 該等能階 HOMO-R 與 HOMO-SC_p 之間的差異係介於 0 eV 與 0.5 eV 之間，
- 該等能階 LUMO-R 與 LUMO-SC_p 之間的差異係介於 -1 eV 與 0 eV 之間；

在該 N 型半導體層（SC_n）與該介電層（Die）接觸之情況下：

- 該等能階 HOMO-R 與 HOMO-SC_n 之間的差異係介於 0 eV 與 1 eV 之間，
- 該等能階 LUMO-R 與 LUMO-SC_n 之間的差異係介於 -0.5 eV 與 0 eV 之間，
- 該等能階 HOMO-R 與 HOMO-SC_p 之間的差異係介於 -0.2 eV 與 -0.8 eV 之間，
- 該等能階 LUMO-R 與 LUMO-SC_p 之間的差異係介於 -0.2 eV 與 -1 eV 之間；

在該發光層係主體-客體（H-G）系統之情況下，該雙極性通道層之材料的 LUMO 與 HOMO 值之間的差異必須滿足下列限制：

在該 P 型半導體層（SC_p）與該介電層（Die）接觸之情況下：

- 該等能階 HOMO-H 與 HOMO-SC_n 之間的差異係介於 0.2 eV 與 1 eV 之間，
- 該等能階 LUMO-H 與 LUMO-SC_n 之間的差異係介於 0.2 eV 與 3 eV 之間，

- 該等能階 HOMO-H 與 HOMO-SC_p 之間的差異係介於 0 eV 與 0.5 eV 之間，
- 該等能階 LUMO-H 與 LUMO-SC_p 之間的差異係介於 -1 eV 與 3 eV 之間，且

對於所有客體材料：

- 該等能階 LUMO-G 與 LUMO-SC_n 之間的差異係介於 0.3 eV 與 -1 eV 之間，
- 該等能階 HOMO-G 與 HOMO-H 之間的差異係介於 0 eV 與 1 eV 之間；

在該 N 型半導體層（SC_n）與該介電層（Die）接觸之情況下：

- 該等能階 HOMO-H 與 HOMO-SC_n 之間的差異係介於 -3 eV 與 1 eV 之間，
- 該等能階 LUMO-H 與 LUMO-SC_n 之間的差異係介於 -0.5 eV 與 0 eV 之間，
- 該等能階 HOMO-H 與 HOMO-SC_p 之間的差異係介於 -0.2 eV 與 -3 eV 之間，
- 該等能階 LUMO-H 與 LUMO-SC_p 之間的差異係介於 -0.2 eV 與 -1 eV 之間，且

對於所有客體材料：

- 該等能階 HOMO-G 與 HOMO-SC_p 之間的差異係介於 -0.3 eV 與 1 eV 之間，
- 該等能階 LUMO-G 與 LUMO-H 之間的差異係介於 0 eV 與 -1 eV 之間。

於該雙極性通道層之間的界面處之有效性場效移動率
 的值受到不同因素影響，也能用這些因素控制該值。特別
 是，載子移動率可經由使所用材料之純度改善/變壞及經
 由增大/縮小晶粒尺寸而提高/降低。再者，爲了提高界面
 處之場效移動率，方便的是可降低層表面之粗糙度並選擇
 與其他物之物接觸時不會起化學反應之材料，藉以防止界
 面處形成電荷載子沿著界面遷移之阻礙。藉由根據此領域
 眾所周知之技術依適當方式單獨或聯合調整這些參數，技
 術純熟者可採用 OLET 裝置之製程以便使該二不同類型之
 電荷於個別界面 SC1-Die 和 SC2-R 處之有效性場效移動率
 m_1 和 m_2 之間的比率在上述範圍中。

條件 2) 可藉由適當選擇用以實現該雙極性通道之材
 料確定。技術純熟者能從適於製造 OLET 裝置之材料當中
 挑選供該層 SC_p 用之 P 型半導體性材料、供該層 SC_n 用之
 N 型半導體性材料及一或多種滿足條件 2) 之供再結合層 R
 用之材料。

至於非限定例，該層 SC_p 可由 DH-4T 製造，該層
 SC_n 可由 DHF-4T 製造且該再結合層 R 可爲由 Alq3-PtOEP
 或 TCTA-PtOEP 或還有由 TCTA-DCM2 製造或還有僅由
 Alq3，或僅由錯合物 1,3-二(2-吡啶基)-5-甲基苯氯化鉑
 (II) 製造之主體-客體系統。一般，可選擇其他材料，只
 要該等材料可用於 OLET 裝置並適於滿足條件 1) 和
 2)。

在一具體實施例中，爲了防止該有效性移動率受到過

度影響，該等半導體層 SC1 和 SC2 之間的界面處之粗糙度且該發光層 R 係介於 0.2 nm 與 10 nm 之間。在此說明及申請專利範圍中，以奈米表示之粗糙度度量單位表示從中線看表面實際外廓之偏差算術平均值。較佳地，界面處之粗糙度係介於 0.2 nm 與 5 nm 之間。

根據另一具體實施例，把材料純度控制於一定水準內。在此情況下，排除 100%純度理想材料之不可實現的理論之情況，也應該測定可用於實現具有分佈式放射之發光電晶體的純度間隔，換句話說以固定不夠純之材料的工業可行性（其可能由於必需使用具有非常高純度之材料而受危及）與用途之間的微妙折衷，妨礙該通道之分佈式照明的科技效應。特別是，當構成本發明電晶體之雙極性通道層的材料純度介於 99.8 與 99.999%之間且較佳地介於 99.99 與 99.999%之間時便滿足此微妙之均衡。

另一個顧慮應該要完成介於有效性移動率 m_1 和 m_2 之值之間的關係。如上所述，於該第一半導體層 SC1 與該介電層 Die 之間的界面處的場效移動率 m_1 之值與於該第二半導體層 SC2 與該發光層 R 之間的界面處的有效性場效移動率 m_2 之值的比率介於 0.05 與 20 之間。換句話說， m_1 和 m_2 之最大和最小值之間的比率係介於 20 與 1 之間。以 OLET 裝置甚至可以彼此相差甚大之有效性場效移動率 m_1 和 m_2 之值實現來看；特別是可獲得能具有良好發光效率且甚至是有效性場效移動率彼此相差 3 個數量級之 OLET 裝置，這是非常有限之條件。這可能是至今對

該等值 m_1 和 m_2 之間的比率之注目仍然不足的原因之一。此條件本身得視需要與該條件 2) 聯合揭露，以實現具有分佈式發光性之有機發光電晶體。

第 1 圖顯示用於實現具有分佈式發光性之 OLET 的先前教導適用之 OLET 可能構造。

在此特定具體實施例中，該發光電晶體 10 包含扮作支撐層之基材 11，該基材 11 上面有一個扮作控制或閘極之電極 12，及介電材料層 Die，該介電材料層 Die 上面有該電晶體之雙極性通道之二半導體層中的第一個半導體層 SC1。在該半導體層 SC1 上面有該發光層 R，依據其順序在該發光層 R 上面沉積該第二半導體層 SC2。在最後這層上面，有兩個電極 13 和 13' 分別扮作該電晶體之源極和汲極。

第 1B 圖顯示本發明之教導適合的第二個替代方案，在此情況中該 OLET 構造 20 考慮到該源極和汲極 13 和 13' 之沉積，該源極和汲極 13 和 13' 直接沉積於該基材 11 上。這些電極與該半導體層 SC2 接觸，該半導體層 SC2 上面放置該發光層 R，依據其順序在該發光層 R 上面沉積該半導體層 SC1，該半導體層 SC1 上面安裝該介電層 Die，該閘極 12 係沉積於該介電層 Die 上。

在第 1A 和 1B 圖中，多個不同元件之大小和尺寸比率均未依比例，因為為了促進該圖式之理解已經將彼等加以變化。再者，所描繪之構造僅為可實現之裝置類型範例，因為與本發明相關的是包含半導體層 SC1 和 SC2 及

發光層 R 之雙極性通道存在與否，該雙極性通道具有將有效性移動率稱作其特徵化要素之前述特性。例如，僅視為範例，第 1A 圖所示之構造的等效定義變體不使用元件 11 作為支撐基材，而是藉由該閘極本身執行其功能，在此情況中該變體具有比第 1 圖所描繪之構造高的射程，或呈單一元件 11 形式之指定基材事實上由多數元件構成。

一般，在 OLET 構造中構成該等電極 13 和 13' 之材料可依照應該射出之電荷類型（電子、電洞）的功能最佳化。

在射出電子之電極的情況下，較佳為使用鈣、鎂、鋁、金（方便的是覆以氧化鋅）。

在射出電洞之電極的情況下，較佳為使用金、銀、鉑、銅。

也可使用相同材料實現二電極，在此情況下僅操作條件（外加電壓）決定射出電荷載子之類型。在其優點當中，此類型構造具有增進之多用途及需要較簡單且較快速製程之事實。在此情況中，適於獲得電極之特別適合材料是例如金、鋁，其中較佳為金。

可用於獲得帶電洞之半導體層的材料有寡並苯類、寡聚合噻吩類及寡聚合茚類、寡聚合噻吩類之嘧啶衍生物、位置 α 和 ω 被烷基鏈取代之四噻吩類，後者由於小表面粗糙度及大場效移動率所以較佳。

可用於獲得帶電子之半導體層的材料有茈類和寡聚合噻吩類之二噻亞胺衍生物、寡聚合噻吩類之嘧啶衍生物、

帶噻唑核心之寡聚合噻吩類、位置 α 和 ω 被全氟化鏈取代之蒽衍生物和四噻吩衍生物，後者由於大場效移動率所以較佳。

就發生電子和電洞之再結合及後續發光輻射之放射的發光層 R 之材料而言，適於實現本發明之特別適合的材料是 Alq_3 、1,3-二(2-吡啶基)-5-甲基苯氯化鉑(II)類型之環金屬化鉑錯合物或帶有以多種不同方式摻雜，例如，4-(二氰基亞甲基)-2-甲基-6-(對-二甲基胺基苯乙烯基)-4H-吡喃、八乙基卟啉鉑、乙醯基丙酮酸銦之苯基異喹啉之喹啉鋁晶格的主體-客體系統，或帶有摻雜這些分子之組合之喹啉鋁晶格的主體-客體系統。

後文中透過具體實施例之非限定例(實施例 1)更充分地描述本發明。也有提供相反實施例，其中因為並未同時確認上述條件 1 和 2 使發光受到空間限制(實施例 2、實施例 3 及實施例 4)。

實施例 1

具有分佈式發光性之有機雙極性發光場效電晶體係由包含第一層玻璃的基材，在該基材上面之 ITO(氧化銦錫)層及在該 ITO 層上面當介電層 Die 之聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)層實現。第一層半導體材料 SC1 係沉積於該 PMMA 層上，在此情況下是作為用於攜帶電洞之層的 15 nm 之二己基四噻吩(DH4T)層。與此層接觸的是 40 nm 之發光材料層，由含有 8 重量%之八乙基卟啉鉑

(PtOEP) 之參 (8-羥基喹啉基) 鋁 (Alq_3) 的主體-客體混合物構成，及最終地該三層堆疊體之最後元件，用於攜帶電子之半導體 SC2，由二全氟己基四噻吩 (DHF4T) 構成，具有 20 nm 之厚度。在此最終階段有兩個金電極，其具有 50 nm 之厚度並相互間隔 70 μm 。該三層 (DH4T、 Alq_3 + PtOEP 及 DHF4T) 之堆疊體構成該電晶體之雙極性通道。

用於生長此構造之程序使用在此領域中流傳甚廣且技巧純熟者周知之技術最佳化，以便不影響該等電荷載子之場效移動率，特別是該二層 DH4T 和 DFH4T 之生長速度係加以控制並設定於 0.15 埃/秒，該 Alq_3 層之生長速度係設定於 5 埃/秒。再者，PtOEP 插入於 Alq_3 透過此最後元件於預期百分比 (8%) 之經控制的共沉積進行。

就材料純度而言，對 DH4T 進行兩次再結晶化程序，且於具有控制梯度之溫度下對該 DHF4T 進行兩次昇華程序。所實行之程序讓兩種材料獲得介於 0.02 至 0.001% 之雜質減量； Alq_3 純度係 99.99%。

在此指定實施例中，材料之純度保證兩種載子之有效性場效移動率彼此充分接近以便得到該通道之寬廣照明，使用能以工業規模獲得裝置之材料及相關純化程序。

特別是，爲了測量該有效性場效移動率，依單極性模式操作該電晶體。利用此裝置配合相當於 $V_T^N = 50\text{V}$ 和 $V_T^P = -60\text{V}$ 之閾電壓分別獲得負電荷之移動率 $m_2 = 0.2 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 及正電荷之移動率 $m_1 = 0.28 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 。

就關於能階值之不同限制的條件 2) 而言，因為可從第 8A 圖描繪之方案推測，使該等能階值均獲得確認。

實施例 1 獲得之電晶體係經由設定 -60V 之閘極和源極之間的電位差 V_{gs} ，及 -100V 之汲極和源極之間的電位差 V_{ds} 依照雙極性運行條件操作，且透過具有 60x 放大倍率及 0.7 數值孔徑之 Nikon Eclipse 2000-E 顯微鏡收集發光。

以該電晶體通道中之放射之 3D 數位描述顯示獲得之結果（第 2A 圖）。在此實施例中，以及在後續實施例 3 中，獲得之影像的數位描述已經依照黑白格式轉換使其更清晰易讀。

實施例 2（比較性）

正確地以實施例 1 所用之相同材料、相同構造及相同厚度獲得有機雙極性發光場效電晶體。然而，在此實施例中，該二層 DH4T 和 DFH4T 之生長速度係加以控制並設定於 0.1 埃/秒，且該 Alq₃ 層之生長速度係設定於 2 埃/秒。該裝置之所有其他特徵，包括透過 8% 百分比之經控制的共沉積進行 PtOEP 插入於 Alq₃，保持不變。該裝置整個構造因此為 ITO/PMMA/DH4T (15 nm, 0.1 A/s) /Alq₃: PtOEP 8% (40 nm, 2 A/s) /DHF4T (20 nm, 0.1 A/s) /Au (50 nm)。該等有機層具有改良生長速率之事實造成該有效性移動率配合相當於 $V_T^N=30V$ 和 $V_T^P=-57V$ 之閾電壓，分別變成負電荷之 $m_2 = 0.006 \text{ cm}^2/Vs$ 及正電

荷之 $m1 = 0.38 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 。如果有效性移動率之值之間的比率不遵守條件 1)，該雙極性發光電晶體之放射受到空間限制。因此關於該有效性移動率之條件是爲了達成比較例 2 清楚顯示之分佈式發光性的基本要件。在已經引用之 2010 Nature Materials paper “Organic light-emitting transistors with an efficiency that outperforms the equivalent light-emitting diodes”中沒有揭示或描述此條件，該論文顯示具有窄且清晰之光空間放射的 OLET 而沒教導或聯想到如何改變或達成分佈式發光性。

實施例 3（比較性）

與以上討論之實施例不同，OLET 構造之示意圖係描繪於第 7 圖，其中具有 P 型移動率之半導體材料 DH4T 層（30 nm 厚）係沉積於 PMMA 介電質上。在該半導體 SC1 上沉積具有 30 nm 厚度之 Alq_3 層，該 Alq_3 層扮作發光層。與該等金電極接觸之具有 N 型移動率的層 SC2 係由具有 30 nm 厚之四噻吩之芳羰基衍生物層（SLV-131）構成，該芳羰基衍生物具有實驗式 $\text{C}_{30}\text{H}_{14}\text{O}_2\text{S}_4\text{F}_4$ 並具有第 3 圖所描繪之分子結構。

第 7 圖之構造顯示關於能階遵守之條件 2)，但是此實施例之構造的特徵爲於 SC1 和 SC2 之個別界面處的有效性場效移動率值之間的兩個數量級之比率。即使僅條件 1) 不滿足之事實造成發光區之射程降至約 $10\mu\text{m}$ ，如第 2B 圖證明的，其中描繪依照雙極性運行條件之照明通道

的 3D 數位描述。

實施例 4（比較性）

有機雙極性發光場效電晶體係由包含第一層玻璃的基材，在該基材上面之 ITO（氧化銦錫）層及在該 ITO 層上面當介電層 Die 之聚甲基丙烯酸甲酯（PMMA）層開始實現。第一層半導體材料 SC1 係沉積於該 PMMA 層上，在此情況下是作為用於攜帶電子之層的 10 nm 之二己基四噻吩（DH4T）層。與此層接觸的是 40 nm 之發光材料層，由參（4-吡啶基-9-苯基）胺（TCTA）構成，及該三層堆疊體之最上層元件，用於攜帶電子之半導體 SC2，由二全氟己基四噻吩（DHF4T）構成，具有 15 nm 之厚度。在此最終階段有兩個金電極，其具有 50 nm 之厚度並相互間隔 70 μm 。該三層 DH4T、TCTA 及 DHF4T 之堆疊體構成該電晶體之雙極性通道。

用於生長此構造之程序使用在此領域中流傳甚廣且技巧純熟者周知之技術最佳化，以便不影響該等電荷載子之場效移動率，特別是該二層 DH4T 和 DFH4T 之生長速度係加以控制並設定於 0.1 埃/秒，該 TCTA 層之生長速度係設定於 5 埃/秒。利用此裝置，配合相當於 $V_T^N=69\text{V}$ 和 $V_T^P=-32\text{V}$ 之閾電壓分別獲得負載子之移動率 $m_2 = 0.22 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 及正載子之移動率 $m_1 = 0.085 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 。關於有效性移動率之值之間的比率之條件 1) 已經符合。然而，所用之材料的階層 HOMO 和 LUMO 之能階不符合條件 2)

且該發光雙極性電晶體之放射受到空間限制。的確，因為可從第 8C 和 8D 圖推測，關於 LUMO-R 和 LUMO-SC_n 之間的能量差之條件，也就是 0.9 eV，因此超出要求之範圍 [從 0.2 eV 至 0.8 eV]，並不相符。

第 4A 和 4B 圖描繪 OLET 裝置之可能構造，其中與該介電質接觸之層分別為 P 型 (SCP) 或 N 型 (SCN)。

實施例 5

第 5 圖顯示經實驗測試，具有分佈式照明之 OLET 裝置的構造之實施例，及以所述構造特徵獲得之電壓-電流和電壓-放射特徵的相關圖形。在此情況下該再結合層係由 TCTA:DCM2 構成。已注意到彼等之間的有效性移動率相差小於 20 倍，即最大值（負載子之 $0.28 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ ）與最小值（正載子之 $0.11 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ ）之比率係 2.54，完全在條件 1）施加之極限值 20 以內。如第 8D 圖所示也遵守條件 2）。

實施例 6

第 6 圖類似於第 5 圖並顯示具有分佈式照明之 OLET 裝置的另一示範構造及電壓-電流和電壓-放射特徵的相關圖形。在此情況下，該再結合層係由 TCTA-PtOEP 構成。有關遵守關於有效性移動率之條件，負載子之有效移動率是最低者， $0.051 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ ，而正載子之有效移動率是 $0.7 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ ，造成 13.7 之比率。如第 8C 圖所示也遵守條件

2) 。

實施例 7 (比較性)

第 7 圖顯示具有與該介電質接觸之 P 型半導體層 (DH4T)、由參 (8-羥基喹啉基) 鋁 (Alq_3) 製造之發光層、置於該發光層上之 N 型半導體層 (SLV131) 的非本發明 OLET 裝置之構造。由於可能看得見，所以所用之材料的 HOMO 和 LUMO 階層遵守上述條件 2)。發明人已經以實驗證實關於界面處之有效性移動率之間的比率之條件 1) 並未滿足。正載子有效性移動率係 $2 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ ，負載子有效性移動率係 $2 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ ，造成彼等之間的比率為 100，因此超出關於該有效性移動率比率之條件。

第 7 圖之 OLET 裝置因此具有空間限制之照明。

第 8A 至 8D 圖例示可用於實現新穎裝置之材料的 LUMO 和 HOMO 能階，連同該源極和汲極之費米能階 (Fermi level)。由於可能輕易推測到，這些材料能滿足條件 2) 因此彼等適用於實現具有分佈式照明之新穎 OLET 裝置，附帶條件為彼等係以使界面處之有效性場效移動率相差多於 20 倍之方式沉積。

【符號說明】

Die：介電材料層

R：發光層

SC1：第一層半導體材料

SC2：第二層半導體材料

SCN：N 型半導體層

SCP：P 型半導體層

10：發光電晶體

11：基材

12：閘極

13：源極

13'：汲極

20：有機發光電晶體構造

申請專利範圍

1. 一種具有堆疊層之構造之電致發光雙極性有機場效電晶體，該電晶體包含：

- 閘極（G），
- 疊置於該閘極（G）之介電層（Die），
- 疊置於該介電層（Die）之雙極性通道，該雙極性通道包含 P 型半導體層（SCp）、N 型半導體層（SCn）及發光層（R），該 P 型半導體層（SCp）之能帶係由其最高佔用分子軌域 HOMO-SCp 和最低未佔用分子軌域 LUMO-SCp 測定，該 N 型半導體層（SCn）之能帶係由其最高佔用分子軌域 HOMO-SCn 和最低未佔用分子軌域 LUMO-SCn 測定，且該發光層（R）係適於使相反符號之電荷載子再結合且係插入於該 P 型半導體層（SCp）與該 N 型半導體層（SCn）之間，該發光層（R）係選擇性地由單一材料或主體-客體系統構成，該單一材料之能帶係由其最高佔用分子軌域 HOMO-R 和最低未佔用分子軌域 LUMO-R 測定，且該主體-客體系統係由主體材料和一或多種客體材料構成，該主體材料具有由其最高佔用分子軌域 HOMO-H 和最低未佔用分子軌域 LUMO-H 測定之能帶且該一或多種客體材料各自具有由其個別之最高佔用分子軌域 HOMO-G 和最低未佔用分子軌域 LUMO-G 測定之能帶，

- 適於注入第一型電荷之源極（S）和適於注入第二型電荷之汲極（D），該源極（S）和汲極（D）與該 P 型

(SCp) 或 N 型 (SCn) 半導體層之同一層接觸，且另一半導體層 (SCp; SCn) 與該介電層 (Die) 接觸，

其特徵為

- 於該等半導體層 (SCn; SCp) 之一者與該發光層 (R) 之間的界面處的有效性場效移動率 (m_2) 之值與於該等半導體層 (SCn; SCp) 之另一者與該介電層 (Die) 之間的界面處的有效性場效移動率 (m_1) 之值的比率係介於 0.05 至 20；

- 在該 P 型半導體層 (SCp) 與該介電層 (Die) 接觸且該發光層 (R) 係由單一材料構成之情況下：

- 該等能階 HOMO-R 與 HOMO-SCn 之間的差異係介於 0.2 eV 與 1 eV 之間，
- 該等能階 LUMO-R 與 LUMO-SCn 之間的差異係介於 0.2 eV 與 0.8 eV 之間，
- 該等能階 HOMO-R 與 HOMO-SCp 之間的差異係介於 0 eV 與 0.5 eV 之間，
- 該等能階 LUMO-R 與 LUMO-SCp 之間的差異係介於 -1 eV 與 0 eV 之間，

- 在該 N 型半導體層 (SCn) 與該介電層 (Die) 接觸且該發光層 (R) 係由單一材料構成之情況下：

- 該等能階 HOMO-R 與 HOMO-SCn 之間的差異係介於 0 eV 與 1 eV 之間，
- 該等能階 LUMO-R 與 LUMO-SCn 之間的差異係介於 -0.5 eV 與 0 eV 之間，

- 該等能階 HOMO-R 與 HOMO-SC_p 之間的差異係介於 -0.2 eV 與 -0.8 eV 之間，
- 該等能階 LUMO-R 與 LUMO-SC_p 之間的差異係介於 -0.2 eV 與 -1 eV 之間，

○ 在該 P 型半導體層 (SC_p) 與該介電層 (Die) 接觸且該發光層 (R) 係由主體-客體系統構成之情況下：

- 該等能階 HOMO-H 與 HOMO-SC_n 之間的差異係介於 0.2 eV 與 1 eV 之間，
- 該等能階 LUMO-H 與 LUMO-SC_n 之間的差異係介於 0.2 eV 與 3 eV 之間，
- 該等能階 HOMO-H 與 HOMO-SC_p 之間的差異係介於 0 eV 與 0.5 eV 之間，
- 該等能階 LUMO-H 與 LUMO-SC_p 之間的差異係介於 -1 eV 與 3 eV 之間，且

對於所有客體材料：

- 該等能階 LUMO-G 與 LUMO-SC_n 之間的差異係介於 0.3 eV 與 -1 eV 之間，
- 該等能階 HOMO-G 與 HOMO-H 之間的差異係介於 0 eV 與 1 eV 之間；

○ 在該 N 型半導體層 (SC_n) 與該介電層 (Die) 接觸且該發光層 (R) 係由主體-客體系統構成之情況下：

- 該等能階 HOMO-H 與 HOMO-SC_n 之間的差異係介於 -3 eV 與 1 eV 之間，
- 該等能階 LUMO-H 與 LUMO-SC_n 之間的差異係介

於 -0.5 eV 與 0 eV 之間，

- 該等能階 HOMO-H 與 HOMO-SCp 之間的差異係介於 -0.2 eV 與 -3 eV 之間，
- 該等能階 LUMO-H 與 LUMO-SCp 之間的差異係介於 -0.2 eV 與 -1 eV 之間，且

對於所有客體材料：

- 該等能階 HOMO-G 與 HOMO-SCp 之間的差異係介於 -0.3 eV 與 1 eV 之間，
- 該等能階 LUMO-G 與 LUMO-H 之間的差異係介於 0 eV 與 -1 eV 之間。

2.如申請專利範圍第 1 項之電晶體，其中於該另一半導體層（SCp; SCn）與該介電層（Die）之間的界面處的有效性場效移動率（ m_1 ）之值與於該半導體層（SCn; SCp）與該發光層（R）之間的界面處的有效性場效移動率（ m_2 ）之值的比率係介於 0.7 至 1.3。

3.如申請專利範圍第 1 項之電晶體，其中該等有效性場效移動率（ m_1, m_2 ）之值係大於 $10^{-3} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 。

4.如申請專利範圍第 1 項之電晶體，其中該源極（S）與該汲極（D）之間的距離係介於 20 與 300 μm 之間。

5.如申請專利範圍第 1 項之電晶體，其中於該發光層（R）與該等半導體層（SCn, SCp）各別之間的界面處之表面粗糙度係介於 0.2 至 10 nm。

6.如申請專利範圍第 5 項之電晶體，其中該表面粗糙

度係介於 0.2 至 5 nm。

7.如申請專利範圍第 1 項之電晶體，其中形成該雙極性通道之材料具有介於 99.8%與 99.999%之間的純度。

8.如申請專利範圍第 7 項之電晶體，其中該純度係介於 99.99%與 99.999%之間。

9.如申請專利範圍第 1 項之電晶體，其中該源極 (S) 和汲極 (D) 係由相同材料製造。

10.如申請專利範圍第 1 至 9 項中任一項之電晶體，其中

在該 P 型半導體層 (SC_p) 與該介電層 (Die) 接觸且該發光層 (R) 係由單一材料構成之情況下：

- 該等能階 LUMO-R 與 LUMO-SC_n 之間的差異係介於 0.2 eV 與 0.6 eV 之間，
- 該等能階 HOMO-R 與 HOMO-SC_p 之間的差異係介於 0.2 eV 與 0.5 eV 之間，
- 該等能階 LUMO-R 與 LUMO-SC_p 之間的差異係介於 -1 eV 與 -0.2 eV 之間；

在該 N 型半導體層 (SC_n) 與該介電層 (Die) 接觸且該發光層 (R) 係由單一材料構成之情況下：

- 該等能階 HOMO-R 與 HOMO-SC_n 之間的差異係介於 0.2 eV 與 1 eV 之間，
- 該等能階 LUMO-R 與 LUMO-SC_n 之間的差異係介於 -0.5 eV 與 -0.2 eV 之間，
- 該等能階 HOMO-R 與 HOMO-SC_p 之間的差異係介於 -0.2 eV 與 -0.6 eV 之間。