



(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 I614924 B

(45)公告日：中華民國 107(2018)年02月11日

(21)申請案號：102113801

(22)申請日：中華民國 102(2013)年04月18日

(51)Int. Cl. : **H01L51/50 (2006.01)**

(30)優先權：2012/04/20 日本 2012-096883

(71)申請人：半導體能源研究所股份有限公司(日本) SEMICONDUCTOR ENERGY
LABORATORY CO., LTD. (JP)
日本(72)發明人：瀬尾哲史 SEO, SATOSHI (JP) ; 瀬尾広美 SEO, HIROMI (JP) ; 下垣智子
SHITAGAKI, SATOKO (JP)

(74)代理人：林志剛

(56)參考文獻：

WO 2011/042443A1

YUICHI HINO ET AL., "Red Phosphorescent Organic Light-Emitting
Diodes Using Mixture System of Small-Molecule and Polymer Host",
JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, VOL.44, No.4B, pp.2790~2794,
2005/04/21

審查人員：徐孝倫

申請專利範圍項數：8 項 圖式數：55 共 187 頁

(54)名稱

發光元件，發光裝置，電子裝置及照明設備

LIGHT-EMITTING ELEMENT, LIGHT-EMITTING DEVICE, ELECTRONIC APPLIANCE, AND
LIGHTING DEVICE

(57)摘要

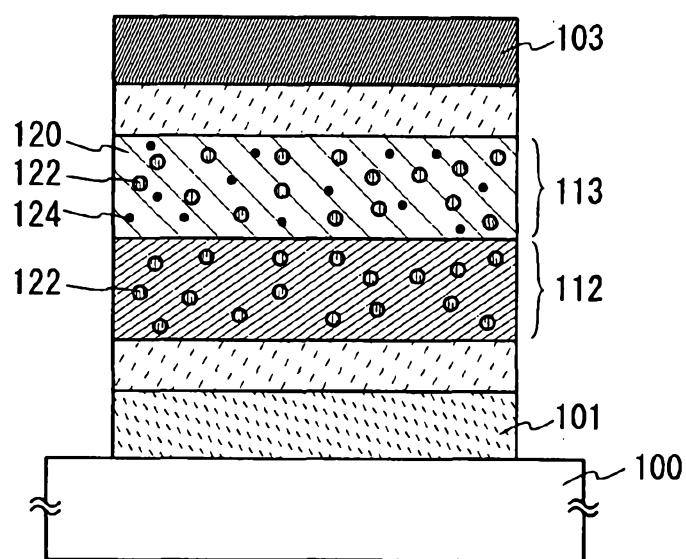
本發明的目的之一是提供一種驅動電壓低且發光效率高的發光元件。本發明的一個方式在一對電極之間包括電洞傳輸層以及形成在電洞傳輸層上的發光層。該發光層包括具有電子傳輸性的第一有機化合物、具有電洞傳輸性的第二有機化合物以及將三重激發態能轉換成發光並具有發光性的第三有機化合物。第一有機化合物和第二有機化合物是形成激態複合物的組合。而且，電洞傳輸層使用兩種以上的有機化合物形成並至少具有第二有機化合物。

A light-emitting element which has low driving voltage and high emission efficiency is provided. The light-emitting element includes, between a pair of electrodes, a hole-transport layer and a light-emitting layer over the hole-transport layer. The light-emitting layer contains a first organic compound having an electron-transport property, a second organic compound having a hole-transport property, and a light-emitting third organic compound converting triplet excitation energy into light emission. A combination of the first organic compound and the second organic compound forms an exciplex. The hole-transport layer is formed using two or more kinds of organic compounds and contains at least the second organic compound.

指定代表圖：

符號簡單說明：

圖 1



- 100 · · · 基板
- 101 · · · 第一電極
- 103 · · · 第二電極
- 112 · · · 電洞傳輸層
- 113 · · · 發光層
- 120 · · · 第一有機化合物
- 122 · · · 第二有機化合物
- 124 · · · 第三有機化合物

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)

發光元件，發光裝置，電子裝置及照明設備

Light-emitting element, light-emitting device, electronic appliance, and lighting device

【技術領域】

本發明的一個方式係關於一種在一對電極之間夾有藉由施加電場來得到發光的有機化合物而成的發光元件，或者一種具有這種發光元件的發光裝置、電子裝置以及照明設備。

【先前技術】

將具有薄型輕量、高速回應性及直流低電壓驅動等的特徵的有機化合物用作發光體的發光元件被期待應用於下一代平板顯示器。一般認為：尤其是將發光元件配置為矩陣狀的顯示裝置與習知的液晶顯示裝置相比具有視角寬且可見度優異的優點。

一般認為發光元件的發光機制是如下：藉由在一對電極之間夾著包含發光體的發光層並對該一對電極施加電壓，從陰極注入的電子和從陽極注入的電洞在發光層的發光中心再結合而形成分子激子，當該分子激子返回到基態時釋放出能量而發光。已知激發態有單重激發態和三重激

發態，並且無論經過上述任一種激發態都可以實現發光，並且由單重激發態（S[•]）的發光被稱為螢光，而由三重激發態（T[•]）的發光被稱為磷光。

關於這種發光元件，為了提高其元件特性，積極地進行元件結構的改良、材料的開發等（例如，參照專利文獻1）。

[專利文獻 1] 日本專利申請公開第 2010-182699 號公報

雖然如專利文獻 1 所報告那樣元件結構的改良等有進步，但是在發光效率、可靠性、發光特性等的方面上還有改良的餘地，因此需要研發更優越的發光元件。

【發明內容】

於是，本發明的一個方式的目的之一是提供一種驅動電壓低且發光效率高的發光元件。

本發明的一個方式是一種如下發光元件：在一對電極之間包括電洞傳輸層和形成在電洞傳輸層上的發光層；該發光層包括具有電子傳輸性的第一有機化合物、具有電洞傳輸性的第二有機化合物以及將三重激發態能轉換成發光並具有發光性的第三有機化合物；第一有機化合物和第二有機化合物是形成激態複合物的組合；電洞傳輸層使用兩種以上的有機化合物（例如，第二有機化合物以及具有電

洞傳輸性的第五有機化合物)形成並至少具有第二有機化合物。

本發明的另一個方式是一種如下發光元件：在一對電極之間包括電洞注入層、形成在電洞注入層上的電洞傳輸層、形成在電洞傳輸層上的發光層、形成在發光層上的電子傳輸層以及形成在電子傳輸層上的電子注入層；該發光層包括具有電子傳輸性的第一有機化合物、具有電洞傳輸性的第二有機化合物以及將三重激發態能轉換成發光並具有發光性的第三有機化合物；第一有機化合物和第二有機化合物是形成激態複合物的組合；電洞傳輸層使用兩種以上的有機化合物（例如，第二有機化合物以及具有電洞傳輸性的第五有機化合物）形成並至少具有第二有機化合物。

此外，在上述各結構中，較佳為將第一有機化合物用作主體材料，將第二有機化合物用作輔助材料，並且將第三有機化合物用作客體材料。就是說，發光層中的第三有機化合物的質量分數（或者體積分數）較佳比第一有機化合物及第二有機化合物少。

此外，在上述各結構中，由第一有機化合物（主體材料）和第二有機化合物（輔助材料）形成的激態複合物的發射波長與第一有機化合物（主體材料）和第二有機化合物（輔助材料）的各個發射波長（螢光波長）相比存在於長波長一側，因此可以將第一有機化合物（主體材料）的螢光光譜和第二有機化合物（輔助材料）的螢光光譜變換

為位於更長波長一側的發射光譜。

因此，本發明的一個方式的發光元件藉由在發光層中形成激態複合物，可以進行利用激態複合物的發射光譜與第三有機化合物（客體材料）的吸收光譜的重疊的能量轉移來提高能量轉移效率，該發射光譜與第一有機化合物（主體材料）和第二有機化合物（輔助材料）的各個發射波長（螢光波長）相比，存在於長波長一側。由此，可以實現發光效率高的發光元件。

此外，由於電洞傳輸層使用兩種以上的有機化合物形成並至少具有第二有機化合物（輔助材料），因此可以提高發光層的發光效率，並且可以降低發光層的驅動電壓。首先，由於電洞傳輸層具有用於發光層的第二有機化合物（輔助材料），在電洞傳輸層與發光層之間藉由相同HOMO能階進行電洞傳輸，因此使從電洞傳輸層到發光層的電洞注入勢壘極小。由此，降低元件的驅動電壓。此外，藉由電洞傳輸層具有第二有機化合物（輔助材料）以外的有機化合物，可以抑制發光層的三重激發態能擴散到電洞傳輸層。由此，可以提高元件的發光效率。

該效果是只在電洞傳輸層使用兩種以上的有機化合物形成並至少具有第二有機化合物（輔助材料）的情況下獲得的效果。例如，當電洞傳輸層不具有第二有機化合物時，在電洞傳輸層與發光層之間藉由不同HOMO能階進行電洞傳輸，因此驅動電壓上升。另一方面，當電洞傳輸層是只由第二有機化合物構成的層時，藉由包括在發光層

和電洞傳輸層的兩者的第二有機化合物，發光層的三重激發態能擴散到電洞傳輸層，因此發光效率降低。

此外，在上述各結構中，電洞傳輸層較佳為具有其最低三重激發能階（ T_1 能階）高於第一有機化合物（主體材料）的第四有機化合物。此外，電洞傳輸層較佳為具有其 T_1 能階高於第二有機化合物（輔助材料）的第四有機化合物。

此時，為了獲得驅動電壓降低的效果，電洞傳輸層中的第二有機化合物（輔助材料）的質量分數（或者體積分數）較佳為 20%以上。此外，為了防止發光層的三重激發態能擴散到電洞傳輸層，電洞傳輸層中的第二有機化合物（輔助材料）的質量分數（或者體積分數）較佳為 80%以下。因此，電洞傳輸層中的第四有機化合物的質量分數（或者體積分數）也較佳為 20%以上且 80%以下。

此外，在上述各結構中，較佳第一有機化合物（主體材料）為缺 π 型雜芳族化合物，第二有機化合物（輔助材料）為富 π 型雜芳族化合物或芳香胺化合物，並且第三有機化合物（客體材料）為磷光有機金屬錯合物。

此外，本發明的一個方式包括具有發光元件的發光裝置、具有發光裝置的電子裝置以及照明設備。因此，本說明書中的發光裝置是指影像顯示裝置或光源（包括照明設備）。另外，發光裝置還包括如下模組：在發光裝置中安裝有連接器諸如 FPC（Flexible printed circuit：撓性印刷電路）、TCP（Tape Carrier Package：載帶封裝）的模

組；將印刷線路板設置於 TCP 端部的模組；或者藉由 COG (Chip On Glass：玻璃上晶片) 方式將 IC (積體電路) 直接安裝到發光元件上的模組。

另外，本發明的一個方式的發光元件藉由在發光層中形成激態複合物，可以進行利用激態複合物的發射光譜與第三有機化合物（客體材料）的吸收光譜的重疊的能量轉移來能量轉移效率高，該發射光譜與第一有機化合物（主體材料）和第二有機化合物（輔助材料）的各個發射波長（螢光波長）相比，存在於長波長一側。由此，可以實現發光效率高的發光元件。

而且，本發明的一個方式的發光元件藉由在電洞傳輸層中具有用於發光層的第二有機化合物（輔助材料），可以一邊維持高發光效率一邊可以降低發光元件的驅動電壓（尤其是，驅動開始電壓）。

【圖式簡單說明】

在圖式中：

圖 1 是說明本發明的一個方式的發光元件的圖；

圖 2A 和圖 2B 是說明本發明的一個方式的概念的圖；

圖 3 是說明 DBq (簡稱) 的一個分子、TPA (簡稱) 的一個分子以及 DBq (簡稱) 和 TPA (簡稱) 的二聚體的能量階的圖；

圖 4A 至圖 4F 是說明 DBq (簡稱) 的一個分子、TPA

(簡稱)的一個分子以及 DBq (簡稱) 和 TPA (簡稱) 的二聚體的 HOMO 及 LUMO 的分佈的圖；

圖 5A 至圖 5C 是說明本發明的一個方式的概念的圖；

圖 6 是說明本發明的一個方式的發光元件的圖；

圖 7A 和圖 7B 是說明發光元件的結構的圖；

圖 8 是說明發光元件的結構的圖；

圖 9A 和圖 9B 是說明發光裝置的圖；

圖 10A 至圖 10D 是說明電子裝置的圖；

圖 11A 至圖 11D 是說明電子裝置的圖；

圖 12A 至圖 12C 是說明照明設備的圖；

圖 13 是說明實施例中的發光元件的結構的圖；

圖 14 是示出實施例 1 所示的發光元件的電流密度-亮度特性的圖；

圖 15 是示出實施例 1 所示的發光元件的電壓-亮度特性的圖；

圖 16 是示出實施例 1 所示的發光元件的亮度-電流效率特性的圖；

圖 17 是示出實施例 1 所示的發光元件的電壓-電流特性的圖；

圖 18 是示出實施例 1 所示的發光元件的發射光譜的圖；

圖 19 是示出實施例 2 所示的發光元件的電流密度-亮度特性的圖；

圖 20 是示出實施例 2 所示的發光元件的電壓-亮度特性的圖：

圖 21 是示出實施例 2 所示的發光元件的亮度-電流效率特性的圖：

圖 22 是示出實施例 2 所示的發光元件的電壓-電流特性的圖：

圖 23 是示出實施例 2 所示的發光元件的發射光譜的圖：

圖 24 是示出實施例 3 所示的發光元件的電流密度-亮度特性的圖：

圖 25 是示出實施例 3 所示的發光元件的電壓-亮度特性的圖：

圖 26 是示出實施例 3 所示的發光元件的亮度-電流效率特性的圖：

圖 27 是示出實施例 3 所示的發光元件的電壓-電流特性的圖：

圖 28 是示出實施例 3 所示的發光元件的發射光譜的圖：

圖 29 是示出實施例 4 所示的發光元件的電流密度-亮度特性的圖：

圖 30 是示出實施例 4 所示的發光元件的電壓-亮度特性的圖：

圖 31 是示出實施例 4 所示的發光元件的亮度-電流效率特性的圖：

圖 32 是示出實施例 4 所示的發光元件的電壓-電流特性的圖；

圖 33 是示出實施例 4 所示的發光元件的發射光譜的圖；

圖 34 是示出實施例 4 所示的發光元件的驅動時間-歸一化亮度特性的圖；

圖 35 是示出實施例 5 所示的發光元件的電流密度-亮度特性的圖；

圖 36 是示出實施例 5 所示的發光元件的電壓-亮度特性的圖；

圖 37 是示出實施例 5 所示的發光元件的亮度-電流效率特性的圖；

圖 38 是示出實施例 5 所示的發光元件的電壓-電流特性的圖；

圖 39 是示出實施例 5 所示的發光元件的發射光譜的圖；

圖 40 是示出實施例 5 所示的發光元件的驅動時間-歸一化亮度特性的圖；

圖 41 是示出實施例 6 所示的發光元件的電流密度-亮度特性的圖；

圖 42 是示出實施例 6 所示的發光元件的電壓-亮度特性的圖；

圖 43 是示出實施例 6 所示的發光元件的亮度-電流效率特性的圖；

圖 44 是示出實施例 6 所示的發光元件的電壓-電流特性的圖；

圖 45 是示出實施例 6 所示的發光元件的發射光譜的圖；

圖 46 是示出實施例 7 所示的發光元件的電流密度-亮度特性的圖；

圖 47 是示出實施例 7 所示的發光元件的電壓-亮度特性的圖；

圖 48 是示出實施例 7 所示的發光元件的亮度-電流效率特性的圖；

圖 49 是示出實施例 7 所示的發光元件的電壓-電流特性的圖；

圖 50 是示出實施例 7 所示的發光元件的發射光譜的圖；

圖 51 是示出 2mDBTPDBq-II (簡稱) 的磷光發射光譜的圖；

圖 52 是示出 PCzPCN1 (簡稱) 的磷光發射光譜的圖；

圖 53 是示出 DPA2SF (簡稱) 的磷光發射光譜的圖；

圖 54 是示出 BPAFLP (簡稱) 的磷光發射光譜的圖；

圖 55 是示出 PCPPn (簡稱) 的磷光發射光譜的圖。

【實施方式】

下面，參照圖式詳細地說明本發明的實施方式。但是，本發明不侷限於以下說明的內容，其方式及詳細內容在不脫離本發明的宗旨及其範圍的情況下可以被變換為各種各樣的形式。因此，本發明不應該被解釋為僅限定在下面所示的實施方式所記載的內容中。

注意，為了便於理解，圖式等所示出的各結構的位置、大小和範圍等有時不表示實際上的位置、大小和範圍等。因此，所公開的發明不一定侷限於圖式等所公開的位置、大小、範圍等。

另外，在本說明書等中使用的“第一”、“第二”、“第三”等序數詞是為了方便識別構成要素而附的，而不是為了在數目方面上進行限定的。

實施方式 1

在本實施方式中，說明本發明的一個方式的發光元件的結構概念及具體發光元件的結構。首先，使用圖 1 說明本發明的一個方式的發光元件的元件結構。

在圖 1 所示的元件結構中，在一對電極（第一電極 101、第二電極 103）之間包括電洞傳輸層 112 和形成在電洞傳輸層 112 上的發光層 113，發光層 113 包括具有電子傳輸性的第一有機化合物 120、具有電洞傳輸性的第二有機化合物 122 以及將三重激發態能轉換成發光並具有發光性的第三有機化合物 124，第一有機化合物 120 和第二

有機化合物 122 是形成激態複合物的組合，並且電洞傳輸層 112 使用兩種以上的有機化合物（例如，第二有機化合物 122 以及具有電洞傳輸性的第五有機化合物）形成並至少具有第二有機化合物 122。

此外，在圖 1 中，在設置在第一電極 101 與電洞傳輸層 112 之間的區域中，根據需要可以形成電洞注入層或電洞傳輸層。此外，在圖 1 中的設置在第二電極 103 與發光層 113 之間的區域中，根據需要可以形成電子注入層或電子傳輸層。

此外，較佳為將第一有機化合物 120 用作主體材料，將第二有機化合物 122 用作輔助材料，並且將第三有機化合物 124 用作客體材料。就是說，發光層中的第三有機化合物的質量分數（或者體積分數）較佳為比第一有機化合物及第二有機化合物少。在以下的說明中，有時將第一有機化合物 120 稱為主體材料，將第二有機化合物 122 稱為輔助材料，並且將第三有機化合物 124 稱為客體材料。

第一有機化合物 120（主體材料）例如可以使用具有 $10^{-6} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 以上的電子遷移率的電子傳輸性材料。此外，第二有機化合物 122（輔助材料）例如可以使用具有 $10^{-6} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 以上的電洞遷移率的電洞傳輸性材料。

此外，在上述結構中，較佳為第一有機化合物 120（主體材料）和第二有機化合物 122（輔助材料）的每一個的最低三重激發能階（ T_1 能階）高於第三有機化合物 124（客體材料）的 T_1 能階。這是因為如下緣故：當第一有

機化合物 120（主體材料）和第二有機化合物 122（輔助材料）的各個 T_1 能階低於第三有機化合物 124（客體材料）的 T_1 能階時，第一有機化合物 120（主體材料）及第二有機化合物 122（輔助材料）使有助於發光的第三有機化合物 124（客體材料）的三重激發態能淬滅（quench），而導致發光效率的降低。

此外，為了提高從主體材料到客體材料的能量轉移效率，較佳為的是，考慮到作為分子之間的轉移機制周知的福斯特（Förster）機制（偶極-偶極相互作用）及德克斯特（Dexter）機制（電子交換相互作用），主體材料的發射光譜（在考慮由單重激發態的能量轉移的情況下是指螢光光譜，而在考慮由三重激發態的能量轉移的情況下是指磷光光譜）與客體材料的吸收光譜（更詳細地說，最長波長（低能量）一側的吸收帶中的光譜）的重疊變大。

但是，當作為客體材料例如使用磷光化合物時，難以使主體材料的螢光光譜與客體材料的最長波長（低能量）一側的吸收帶中的光譜重疊。這是因為如下緣故：因為主體材料的磷光光譜位於比螢光光譜長的波長（低能量）一側，所以如果那樣做，則主體材料的 T_1 能階低於磷光化合物的 T_1 能階，而導致上述淬滅的問題。另一方面，為了避免淬滅的問題，當將主體材料的 T_1 能階設定為高於用作客體材料的磷光化合物的 T_1 能階時，主體材料的螢光光譜漂移到短波長（高能量）一側，因此該螢光光譜不與客體材料的最長波長（低能量）一側的吸收帶中的吸收

光譜重疊。從而，通常，難以使主體材料的螢光光譜與客體材料的最長波長（低能量）一側的吸收帶中的吸收光譜重疊以使主體材料的由單重激發態的能量轉移增加到最大限度。

於是，在本發明中，第一有機化合物 120 和第二有機化合物 122 是形成激態複合物（也稱為“exciplex”）的組合。以下，使用圖 2A 和圖 2B 說明激態複合物。

圖 2A 是示出激態複合物的概念的模式圖，其示出第一有機化合物 120（或第二有機化合物 122）的螢光光譜、第一有機化合物 120（或第二有機化合物 122）的磷光光譜、第三有機化合物 124 的吸收光譜以及激態複合物的發射光譜。

例如，在發光層 113 中，第一有機化合物 120（主體材料）的螢光光譜及第二有機化合物 122（輔助材料）的螢光光譜轉換為位於更長波長一側的激態複合物的發射光譜。並且，藉由以使激態複合物的發射光譜與第三有機化合物 124（客體材料）的吸收光譜的重疊變大的方式選擇第一有機化合物 120（主體材料）和第二有機化合物 122（輔助材料），可以最大限度地提高由單重激發態的能量轉移（參照圖 2A）。

另外，關於三重激發態，也可以認為發生從激態複合物的能量轉移，而不發生從主體材料的能量轉移。

因此，因為與第一有機化合物 120（主體材料）和第二有機化合物 122（輔助材料）的各個發射波長（螢光波

長)相比，所形成的激態複合物的發射波長存在於長波長一側，所以可以使第一有機化合物 120(主體材料)的螢光光譜或第二有機化合物 122(輔助材料)的螢光光譜為存在於更長波長一側的發射光譜。

此外，可以認為激態複合物的單重激發態能與三重激發態能之間的差異極小。換言之，由激態複合物的單重態的發射光譜與由三重激發態的發射光譜極為接近。從而，如上所述那樣，在將激態複合物的發射光譜(一般認為，由激態複合物的單重態的發射光譜)設計為與位於第三有機化合物 124(客體材料)的最長波長一側的吸收帶重疊時，從激態複合物的三重態的發射光譜(在常溫下觀察不到，在很多情況下在低溫下也觀察不到)也與位於第三有機化合物 124(客體材料)的最長波長一側的吸收帶重疊。就是說，除了由單重態的能量轉移的效率以外，由三重態的能量轉移的效率也得到提高，其結果是，在單重態和三重態下都得到高效的發光。

這樣，本發明的一個方式的發光元件因為利用形成在發光層 113 中的激態複合物的發射光譜與第三有機化合物 124(客體材料)的吸收光譜的重疊而進行能量轉移，所以具有高能量轉移效率。

此外，激態複合物由於只在激發態下存在，所以沒有吸收能量的基態。因此，可以認為在原理上不發生如下現象：由於第三有機化合物 124(客體材料)的從單重激發態和三重激發態到激態複合物的能量轉移，在發光之前第

三有機化合物 124 (客體材料) 失活 (即，損失發光效率) 的現象。

此外，上述激態複合物藉由激發態下的異種分子間的相互作用形成。一般已知激態複合物在具有相對低的 LUMO (LUMO : Lowest Unoccupied Molecular Orbital : 最低未佔據分子軌域) 能階的材料和具有相對高的 HOMO (HOMO : Highest Occupied Molecular Orbital : 最高佔據分子軌域) 能階的材料之間容易形成。

在此，使用圖 2B 說明第一有機化合物 120、第二有機化合物 122 和激態複合物的能階的概念。此外，圖 2B 是示意性地示出第一有機化合物 120、第二有機化合物 122 和激態複合物的能階的圖。

第一有機化合物 120 (主體材料) 和第二有機化合物 122 (輔助材料) 的 HOMO 能階和 LUMO 能階彼此不同。明確地說，按如下順序能階不同：第一有機化合物 120 的 HOMO 能階 < 第二有機化合物 122 的 HOMO 能階 < 第一有機化合物 120 的 LUMO 能階 < 第二有機化合物 122 的 LUMO 能階。而且，在使用上述兩個有機化合物形成激態複合物時，激態複合物的 LUMO 能階來源於第一有機化合物 120 (主體材料)，而 HOMO 能階來源於第二有機化合物 122 (輔助材料) (參照圖 2B)。

此外，激態複合物的發射波長依賴於 HOMO 能階與 LUMO 能階之間的能量差。作為一般傾向，當能量差較大時發射波長變短，並且當能量差較小時發射波長變長。

因此，激態複合物的能量差比第一有機化合物 120（主體材料）的能量差及第二有機化合物 122（輔助材料）的能量差小。換言之，與第一有機化合物 120 和第二有機化合物 122 的各個發射波長相比，激態複合物的發射波長成為長波長。

在此，關於激態複合物實際上是否具有上述特性，以下使用分子軌域計算來檢查。一般來說，在很多情況下，雜芳族化合物和芳香胺的組合受到比芳香胺的 LUMO 能階低的雜芳族化合物的 LUMO 能階（電子容易進入的性質）以及比雜芳族化合物的 HOMO 能階高的芳香胺的 HOMO 能階（電洞容易進入的性質）的影響而形成激態複合物。於是，作為本發明的一個方式中的第一有機化合物 120 的模型，使用構成雜芳族化合物的 LUMO 的典型骨架的二苯並[f, h]喹喔啉（簡稱：DBq），作為本發明的一個方式中的第二有機化合物 122 的模型，使用構成芳香胺的 HOMO 的典型骨架的三苯胺（簡稱：TPA），組合它們而進行計算。

首先，使用時間依賴密度泛函理論（TD-DFT）計算出 DBq（簡稱）的一個分子和 TPA（簡稱）的一個分子的最低激發單重態（S₁）和最低激發三重態（T₁）中的最佳分子結構及激發能量。再者，計算出 DBq（簡稱）和 TPA（簡稱）的二聚體的激發能量。

電勢能、電子間靜電能、電子的運動能及包括所有的其他複雜的電子間的互相作用的交換相關能的總和表示

DFT（密度泛函理論）的總能量。在 DFT 中，由於使用以電子密度表示的單電子勢的泛函（函數的函數之意）來近似表示交換相關作用，所以計算速度快且精度高。在此，利用作為混合泛函的 B3LYP 來規定涉及交換和相關能的各參數的權重。

此外，作為基底函數使用 6-311（對每個原子價軌道使用三個縮短函數的三重分裂價層（triple split valence）基底類的基底函數）而將它應用到所有原子上。

藉由上述基底函數，例如關於氫原子，考慮到 1s 至 3s 的軌道，而關於碳原子，考慮到 1s 至 4s、2p 至 4p 的軌道。再者，為了提高計算精度，作為極化基底類，對氫原子加上 p 函數，對氫原子以外的原子加上 d 函數。

此外，作為量子化學計算程式，使用 Gaussian09。使用高性能電腦（SGI 株式會社製造，Altix4700）來進行計算。

首先，關於 DBq（簡稱）的一個分子、TPA（簡稱）的一個分子及 DBq（簡稱）和 TPA（簡稱）的二聚體算出了 HOMO 能階及 LUMO 能階。圖 3 示出 HOMO 能階及 LUMO 能階。

如圖 3 所示，DBq（簡稱）和 TPA（簡稱）的二聚體受到比 TPA（簡稱）的 LUMO 能階低的 DBq（簡稱）的 LUMO 能階 (-1.99 eV) 和比 DBq（簡稱）的 HOMO 能階高的 TPA（簡稱）的 HOMO 能階 (-5.21 eV) 的影響而形成 DBq（簡稱）和 TPA（簡稱）的激態複合物。

接著，圖 4A 至圖 4F 示出 DBq（簡稱）的一個分子、TPA（簡稱）的一個分子及 DBq（簡稱）和 TPA（簡稱）的二聚體的 HOMO 和 LUMO 的分佈。

此外，圖 4A 示出 DBq（簡稱）的一個分子的 LUMO 分佈，圖 4B 示出 DBq（簡稱）的一個分子的 HOMO 分佈，圖 4C 示出 TPA（簡稱）的一個分子的 LUMO 分佈，圖 4D 示出 TPA（簡稱）的一個分子的 HOMO 分佈，圖 4E 示出 DBq（簡稱）和 TPA（簡稱）的二聚體的 LUMO 分佈，並且圖 4F 示出 DBq（簡稱）和 TPA（簡稱）的二聚體的 HOMO 分佈。

如圖 4E 和圖 4F 所示那樣，DBq（簡稱）和 TPA（簡稱）的二聚體的 LUMO 分佈在 DBq（簡稱）一側，而 HOMO 分佈在 TPA（簡稱）一側，可知圖 3 所示的結果。

此外，作為本發明的一個方式的激態複合物的形成過程，可以考慮如下兩個過程。

激態複合物的形成過程的一個是如下：由具有載流子的第一有機化合物 120（主體材料）和第二有機化合物 122（輔助材料）（陽離子或陰離子）形成激態複合物的形成過程。

一般來說，當在主體材料中電子和電洞再結合時，從激發態的主體材料到客體材料激發能量轉移，客體材料成為激發態而發光，但是當在從主體材料到客體材料激發能量轉移之前，主體材料本身發光或激發能量變為熱能時，激發能量的一部分失活。

但是，在本發明的一個方式中，從第一有機化合物 120（主體材料）和第二有機化合物 122（輔助材料）具有載流子的狀態（陽離子或陰離子）形成激態複合物，因此可以抑制第一有機化合物 120（主體材料）的單重態激子的形成。換言之，可以存在有在不形成單重態激子的狀態下直接形成激態複合物的過程。由此，還可以抑制上述單重態能的失活。從而，可以實現使用壽命長的發光元件。

例如，當第一有機化合物 120 是電子傳輸性材料中的具有容易俘獲電子（載流子）的性質（LUMO 能階低）的電子俘獲性的化合物，並且第二有機化合物 122 是電洞傳輸性材料中的具有容易俘獲電洞（載流子）的性質（HOMO 能階高）的電洞俘獲性的化合物時，由第一有機化合物 120 的陰離子和第二有機化合物 122 的陽離子直接形成激態複合物。將藉由這種過程形成的激態複合物特別稱為電致激態複合物（electroplex）。

如此，藉由抑制第一有機化合物 120（主體材料）的單重激發態的發生且從電致激態複合物到第三有機化合物 124（客體材料）能量轉移，可以得到發光效率高的發光元件。此外，在此情況下，同樣地抑制第一有機化合物 120（主體材料）的三重激發態的發生，而直接形成激態複合物，因此發生從激態複合物到第三有機化合物 124（客體材料）的能量轉移。

激態複合物的形成過程的另一個是如下：在第一有機

化合物 120（主體材料）和第二有機化合物 122（輔助材料）中的一方形成單重態激子之後，與基態的另一方相互作用而形成激態複合物的基本過程。與電致激態複合物不同，在此情況下，一旦生成第一有機化合物 120（主體材料）或第二有機化合物 122（輔助材料）的單重激發態，但是由於該單重激發態迅速地變換為激態複合物，所以可以抑制單重激發態能的失活。因此，可以抑制第一有機化合物 120 或第二有機化合物 122 失活激發能量。此外，在此情況下，被認為第一有機化合物 120（主體材料）的三重激發態也迅速地變換為激態複合物，發生從激態複合物到第三有機化合物 124（客體材料）的能量轉移。

另外，在第一有機化合物 120（主體材料）為具有電子俘獲性的化合物，而第二有機化合物 122（輔助材料）為具有電洞俘獲性的化合物，這些化合物的 HOMO 能階的差異及 LUMO 能階的差異大時（明確而言，差異為 0.3eV 以上），電子選擇性地進入第一有機化合物 120（主體材料），且電洞選擇性地進入第二有機化合物 122（輔助材料）。此時，可以認為與經過單態激子形成激態複合物的過程相比，優先進行形成電致激態複合物的過程。

接著，示出激發能量的計算結果。DBq（簡稱）的一個分子的 S_1 的激發能量為 3.294eV，螢光波長為 376.4nm。此外，DBq（簡稱）一個分子的 T_1 的激發能量為 2.460eV，磷光波長為 504.1nm。另外，TPA（簡稱）的一個分子的 S_1 的激發能量為 3.508eV，螢光波長為

353.4nm。此外，TPA（簡稱）一個分子的 T_1 的激發能量為 2.610eV，磷光波長為 474.7nm。

在此，示出從 DBq（簡稱）和 TPA（簡稱）的二聚體的 S_1 和 T_1 的最佳分子結構獲得的激發能量。DBq（簡稱）和 TPA（簡稱）的二聚體的 S_1 的激發能量為 2.036eV，螢光波長為 609.1nm。此外，DBq（簡稱）和 TPA（簡稱）的二聚體的 T_1 的激發能量為 2.030eV，磷光波長為 610.0nm。

從上述可知：DBq（簡稱）和 TPA（簡稱）的二聚體的螢光波長與 DBq（簡稱）的一個分子或 TPA（簡稱）一個分子的螢光波長相比位於長波長一側。另外，從上述可知：DBq（簡稱）和 TPA（簡稱）的二聚體的螢光波長和磷光波長的差異只為 0.9nm，並這些波長幾乎相同。

從上述結果可以說激態複合物可以將單重激發態能和三重激發態能積體在大致相同的能量。從而，如上所述，激態複合物可以由單重激發態和三重激發態的兩者，高效地將能量轉移到磷光化合物。

這種效果是藉由將激態複合物用於能量轉移的介質而獲得的特殊效果。一般而言，考慮到從主體材料的單重激發態或三重激發態到磷光化合物的能量轉移。另一方面，本發明的一個方式與現有技術的不同之處在於：首先形成由主體材料和其他材料而成的激態複合物，使用由該激態複合物的能量轉移。而且，上述不同之處可以提供以往沒有的高發光效率。

另外，一般而言，在很多情況下，在將激態複合物用於發光元件的發光層時，可以抑制發光顏色，但是發光效率大幅度地降低。從而，以往被認為不適合使用激態複合物的發光元件以獲得高效率的發光元件。然而，如本發明的一個方式所示，本發明人等發現藉由將激態複合物用於能量轉移的介質，可以使發光效率提高到極限。這是與習知的固定概念相反的技術思想。

此外，為了使激態複合物的發射光譜與第三有機化合物 124（客體材料）的吸收光譜充分地重疊，較佳發射光譜的峰值的能量值與吸收光譜的最低能量一側的吸收帶的峰值的能量值之間的差異為 0.3 eV 以內。更佳為 0.2 eV 以內，進一步佳為 0.1 eV 以內。

此外，在本發明的一個方式的發光元件中，較佳激態複合物的激發能量充分地轉移到第三有機化合物 124（客體材料），實質上觀察不到來自激態複合物的發光。因此，較佳為藉由激態複合物將能量轉移到第三有機化合物 124（客體材料），第三有機化合物 124 發射磷光。此外，作為第三有機化合物 124，只要是將三重激發態能變換為發光的發光性材料即可，特別較佳為磷光有機金屬錯合物。

接著，使用圖 5A、圖 5B 和圖 5C 說明本發明的一個方式的電洞傳輸層 112 和發光層 113 的能階概念。此外，圖 5A、圖 5B 和圖 5C 是示意性地示出電洞傳輸層 112（電洞傳輸層 112a、電洞傳輸層 112b、電洞傳輸層

112c) 與發光層 113 的能階的圖。

此外，圖 5A、圖 5B 和圖 5C 所示的發光層 113 是形成上述所說明的激態複合物的第一有機化合物 120 和第二有機化合物 122 的組合。

圖 5A 例示出使用其 T_1 能階比第二有機化合物 122 (輔助材料) 高且其 HOMO 能階比第二有機化合物 122 (輔助材料) 低的一種有機化合物形成的電洞傳輸層 112a 的能階。

在採用圖 5A 所示的結構時，電洞傳輸層 112a 的 T_1 能階比第二有機化合物 122 (輔助材料) 高，因此從發光層 113 到電洞傳輸層 112a 激發能量不容易擴散，而可以提高發光層 113 的發光效率。此外，藉由適當地選擇第二有機化合物 (藉由適當地控制激態複合物的發射波長)，可以充分地降低驅動開始電壓。但是，實用亮度區域中的元件的驅動電壓還受到電洞傳輸層 112a 的 HOMO 能階的影響。就是說，因為電洞傳輸層 112a 的 HOMO 能階比發光層 113 低，因此從電洞傳輸層 112a 到發光層 113 的電洞轉移不順利，尤其高亮度 (實用亮度) 區域中的 I-V 特性降低。其結果是，降低驅動電壓變困難。

接著，圖 5B 例示出使用其 T_1 能階和 HOMO 能階與第二有機化合物 122 (輔助材料) 相同的一種有機化合物形成的電洞傳輸層 112b 的能階。就是說，例示出電洞傳輸層 112b 由與第二有機化合物 122 (輔助材料) 同一的材料形成的情況。

在採用圖 5B 所示的結構時，因為形成激態複合物的發光層 113 的 HOMO 能階和電洞傳輸層 112b 的 HOMO 能階相同，所以可以將發光層 113 的驅動電壓降低到極限。但是，有發光層 113 的發光效率降低的現象。該現象被認為因如下原因而發生：因為將與發光層 113 中的第二有機化合物 122（輔助材料）同一的材料用於電洞傳輸層 112b，所以發光層 113 的三重激發態能擴散到電洞傳輸層 112b。

接著，圖 5C 中的電洞傳輸層 112c 的能階例示出形成本發明的一個方式的使用兩種以上的有機化合物形成的至少包括第二有機化合物 122（輔助材料）的電洞傳輸層 112c 的結構。此外，圖 5C 示出電洞傳輸層 112c 的能階，該電洞傳輸層 112c 具有如下結構：具有其 T_1 能階比第一有機化合物 120 及第二有機化合物 122 的 T_1 能階高且其 HOMO 能階比第二有機化合物 122 的 HOMO 能階低的第四有機化合物 126。

在採用圖 5C 所示的結構時，由於 T_1 能階高的第四有機化合物 126 的影響，可以使第四有機化合物 126 的 HOMO 能階低於第二有機化合物 122。因此，激發能量不容易從發光層 113 到電洞傳輸層 112c 擴散，而可以提高發光層 113 的發光效率。此外，雖然電洞傳輸層 112c 具有 HOMO 能階低的第四有機化合物 126，但是還具有第二有機化合物 122，因此除了元件的驅動開始電壓以外，還可以降低實用亮度區域中的驅動電壓。

此外，在本發明的一個方式所示的發光元件中，當將磷光化合物用於第一有機化合物 120（主體材料）時，第一有機化合物 120 本身容易發光，因此能量不容易轉移到第三有機化合物 124（客體材料）。此時，第一有機化合物 120 若能高效地發光就好，但是由於第一有機化合物 120（主體材料）發生濃度淬滅的問題，所以難以實現高發光效率。因此，第一有機化合物 120（主體材料）和第二有機化合物 122（輔助材料）中的至少一方為螢光化合物（即，容易發生由單重激發態的發光或熱失活的化合物）的情況是有效的。從而，第一有機化合物 120 和第二有機化合物 122 中的至少一方較佳為螢光化合物。

如上所述，本實施方式的發光元件能夠由於利用激態複合物的發射光譜與第三有機化合物（客體材料）的吸收光譜的重疊的能量轉移而提高能量轉移效率，所以可以實現發光效率高的發光元件。

此外，本實施方式所示的發光元件具有用於發光層的具有電洞傳輸性的第二有機化合物也包括在電洞傳輸層中的元件結構。藉由採用這種結構，可以降低發光元件的驅動電壓，尤其可以由電洞傳輸層所具有的第二有機化合物降低驅動開始電壓。此外，與只使用第二有機化合物形成的電洞傳輸層相比，本發明的一個方式的發光元件具有第二有機化合物以外的材料，因此可以由第二有機化合物以外的材料抑制從發光層的三重激發態能的擴散，而可以實現發光效率高的良好的發光元件。

本實施方式所示的結構可以與其他實施方式所示的結構適當地組合而使用。

實施方式 2

在本實施方式中，使用圖 6 說明實施方式 1 所示的發光元件的變形例子。此外，對具有與實施方式 1 中說明的發光元件相同功能的部分使用同一元件符號來表示，省略其重複說明。

在本實施方式所示的發光元件中，如圖 6 所示那樣，在一對電極（第一電極 101、第二電極 103）之間包括電洞注入層 111、形成在電洞注入層 111 上的電洞傳輸層 112、形成在電洞傳輸層 112 上的發光層 113、形成在發光層 113 上的電子傳輸層 114 以及形成在電子傳輸層 114 上的電子注入層 115，發光層 113 包括具有電子傳輸性的第一有機化合物 120、具有電洞傳輸性的第二有機化合物 122 以及將三重激發態能轉換成發光並具有發光性的第三有機化合物 124，第一有機化合物 120 和第二有機化合物 122 是形成激態複合物的組合，並且電洞傳輸層 112 使用兩種以上的有機化合物形成並至少具有第二有機化合物 122。

此外，在發光層 113 中，藉由採用將第三有機化合物 124（客體材料）分散到第一有機化合物 120（主體材料）及第二有機化合物 122（輔助材料）的結構，可以抑制因發光層 113 的高濃度而發生濃度淬滅，而提高發光元

件的發光效率。

此外，第一有機化合物 120（主體材料）和第二有機化合物 122（輔助材料）是形成激態複合物的組合。

以下，對製造本實施方式所示的發光元件時的具體例子進行說明。

基板 100 用作發光元件的支承體。例如，可以使用玻璃、石英或塑膠等作為基板 100。或者，可以使用撓性基板。撓性基板是可以彎曲的基板，例如可以舉出由聚碳酸酯、聚芳酯或者聚醚酮製成的塑膠基板等。或者，可以使用薄膜（由聚丙烯、聚酯、聚氟乙烯、聚氯乙烯等構成）、藉由蒸鍍形成的無機薄膜等。注意，可以使用其他材料，只要其在發光元件的製造過程中起到支承體的作用。

作為第一電極 101 及第二電極 103，可以使用金屬、合金、導電化合物及它們的混合物等。明確而言，除了氧化銦-氧化錫（ITO：Indium Tin Oxide）、包含矽或氧化矽的氧化銦-氧化錫、氧化銦-氧化鋅、包含氧化鎢及氧化鋅的氧化銦、金（Au）、鉑（Pt）、鎳（Ni）、鎢（W）、鉻（Cr）、鉬（Mo）、鐵（Fe）、鈷（Co）、銅（Cu）、鈀（Pd）、鈦（Ti）之外，還可以使用屬於元素週期表中第 1 族或第 2 族的元素，即鹼金屬諸如鋰（Li）和铯（Cs）等、鹼土金屬諸如鎂（Mg）、鈣（Ca）和锶（Sr）等、包含它們的合金（MgAg、AlLi）、稀土金屬諸如铕（Eu）和镱（Yb）等、包含它們的合金及石墨烯等。

另外，第一電極 101 及第二電極 103 例如可以藉由濺射法或蒸鍍法（包括真空蒸鍍法）等來形成。此外，在本實施方式中，將第一電極 101 用作陽極，而將第二電極 103 用作陰極。

作為用於電洞注入層 111 及電洞傳輸層 112 的電洞傳輸性高的物質，例如可以舉出：4,4'-雙[N-(1-萘基)-N-苯基氨基]聯苯（簡稱：NPB 或 α -NPD）、N,N'-雙(3-甲基苯基)-N,N'-二苯基-[1,1'-聯苯]-4,4'-二胺（簡稱：TPD）、4,4',4"-三(咔唑-9-基)三苯胺（簡稱：TCTA）、4,4',4"-三(N,N-二苯基氨基)三苯胺（簡稱：TDATA）、4,4',4"-三[N-(3-甲基苯基)-N-苯基氨基]三苯胺（簡稱：MTDATA）、4,4'-雙[N-(螺環-9,9'-聯茀-2-基)-N-苯基氨基]聯苯（簡稱：BSPB）等芳香胺化合物；3-[N-(9-苯基咔唑-3-基)-N-苯基氨基]-9-苯基咔唑（簡稱：PCzPCA1）、3,6-雙[N-(9-苯基咔唑-3-基)-N-苯基氨基]-9-苯基咔唑（簡稱：PCzPCA2）、3-[N-(1-萘基)-N-(9-苯基咔唑-3-基)氨基]-9-苯基咔唑（簡稱：PCzPCN1）等。除了上述以外，還可以使用 4,4'-二(N-咔唑基)聯苯（簡稱：CBP）、1,3,5-三[4-(N-咔唑基)苯基]苯（簡稱：TCPB）、9-[4-(10-苯基-9-蒽基)苯基]-9H-咔唑（簡稱：CzPA）等的咔唑衍生物等。此外，也可以使用後述的電洞傳輸性材料。這些物質主要是主要具有 10^{-6} cm^2/Vs 以上的電洞遷移率的物質。然而，只要是電洞傳輸性高於電子傳輸性的物質，則也可以使用上述材料之外

的物質。

再者，作為電洞注入層 111 及電洞傳輸層 112，也可以使用聚 (N-乙稀咔唑) (簡稱：PVK)、聚 (4-乙稀三苯胺) (簡稱：PVTPA)、聚 [N-(4-{N'-(4-(4-二苯基氨基)苯基)-N'-苯基氨基}苯基)甲基丙烯醯胺] (簡稱：PTPDMA)、聚 [N,N'-雙(4-丁基苯基)-N,N'-雙(苯基)聯苯胺] (簡稱：Poly-TPD) 等高分子化合物。

另外，作為可以用於電洞注入層 111 的受體物質，可以舉出過渡金屬氧化物或屬於元素週期表中第 4 族至第 8 族的金屬的氧化物。明確地說，氧化鋁是特別較佳的。

此外，發光層 113 包括第一有機化合物 120 (主體材料)、第二有機化合物 122 (輔助材料) 以及第三有機化合物 124 (客體材料)。

作為第一有機化合物 120 (主體材料)，較佳為使用電子傳輸性材料。作為第二有機化合物 122 (輔助材料)，較佳為使用電洞傳輸性材料。此外，作為第三有機化合物 124 (客體材料)，較佳為使用將三重激發態能轉換成發光的發光性材料。

作為上述電子傳輸性材料，較佳為使用含氮雜芳族化合物等缺 π 型雜芳族化合物，例如可以舉出：2-(4-聯苯基)-5-(4-叔丁基苯基)-1,3,4-噁二唑 (簡稱：PBD)、3-(4-聯苯基)-4-苯基-5-(4-叔丁基苯基)-1,2,4-三唑 (簡稱：TAZ)、1,3-雙[5-(對叔丁基苯基)-1,3,4-噁二唑-2-基]苯 (簡稱：OXD-7)、9-[4-(5-苯基-1,3,4-噁二

唑 -2- 基) 苯 基]-9H- 咪 唑 (簡 稱 : CO11) 、 2,2',2"- (1,3,5- 苯 三 基) 三 (1- 苯 基 -1H- 苯 並 咪 唇) (簡 稱 : TPBI) 、 2-[3- (二 苯 並 噻 吩 -4- 基) 苯 基]-1- 苯 基 -1H- 苯 並 咪 唇 (簡 稱 : mDBTBIm-II) 等 的 具 有 多 咪 唇 骨 架 的 雜 環 化 合 物 (噻 二 咪 唇 衍 生 物 、 咪 唇 衍 生 物 、 三 咪 唇 衍 生 物 等) ; 2-[3- (二 苯 並 噻 吩 -4- 基) 苟 基] 二 苟 並 [f, h] 咪 唇 嘴 咪 (簡 稱 : 2mDBTPDBq-II) 、 2-[3'- (二 苟 並 噻 吩 -4- 基) 聯 苟 -3- 基] 二 苟 並 [f, h] 咪 唇 嘴 咪 (簡 稱 : 2mDBTBPDBq-II) 、 2-[3'- (9H- 咪 唇 -9- 基) 聯 苟 -3- 基] 二 苟 並 [f, h] 咪 唇 嘴 咪 (簡 稱 : 2mCzBPDBq) 、 4,6- 雙 [3- (菲 -9- 基) 苟 基] 嘧 咪 (簡 稱 : 4,6mPnP2Pm) 、 4,6- 雙 [3- (4- 二 苟 並 噻 吩 基) 苟 基] 嘧 咪 (簡 稱 : 4,6mDBTP2Pm-II) 等 的 具 有 二 噻 骨 架 的 雜 環 化 合 物 (吡 噻 衍 生 物 、 嘧 咪 衍 生 物 、 噻 噻 衍 生 物 、 咪 唇 衍 生 物 、 苟 並 咪 唇 衍 生 物 等) 以 及 3,5- 雙 [3- (9H- 咪 唇 -9- 基) 苟 基] 吡 咪 (簡 稱 : 35DCzPPy) 、 1,3,5- 三 [3- (3- 吡 咪 基) 苟 基] 苟 (簡 稱 : TmPyPB) 等 的 具 有 吡 咪 骨 架 的 雜 環 化 合 物 (吡 咪 骨 架 、 咪 唇 衍 生 物 、 苟 並 咪 唇 衍 生 物 等) 。 其 中 , 具 有 二 噻 骨 架 的 雜 環 化 合 物 或 具 有 吡 咪 骨 架 的 雜 環 化 合 物 具 有 良 好 的 可 靠 性 , 所 以 是 較 佳 的 。 尤 其 是 , 具 有 二 噻 骨 架 (嘧 咪 或 吡 噻) 骨 架 的 雜 環 化 合 物 具 有 高 電 子 傳 輸 性 , 也 有 助 於 降 低 驅 動 電 壓 。

另 外 , 作 為 上 述 電 洞 傳 輸 性 材 料 , 較 佳 為 使 用 富 π 型 雜 芳 族 化 合 物 (例 如 , 咪 唇 衍 生 物 或 呋 噻 衍 生 物) 或 芳 香 胺 化 合 物 , 例 如 可 以 舉 出 : 4,4'- 雙 [N- (1- 萘 基) -N- 苟 基

氨基]聯苯（簡稱：NPB）、N,N'-雙（3-甲基苯基）-N,N'-二苯基-[1,1'-聯苯]-4,4'-二胺（簡稱：TPD）、4,4'-雙[N-（螺-9,9'-聯茀-2-基）-N-苯基氨基]聯苯（簡稱：BSPB）、4-苯基-4'-（9-苯基茀-9-基）三苯胺（簡稱：BPAFLP）、4-苯基-3'-（9-苯基茀-9-基）三苯胺（簡稱：mBPAFLP）、4-苯基-4'-（9-苯基-9H-咔唑-3-基）三苯胺（簡稱：PCBA1BP）、4,4'-二苯基-4"-（9-苯基-9H-咔唑-3-基）三苯胺（簡稱：PCBBi1BP）、4-（1-萘基）-4'-（9-苯基-9H-咔唑-3-基）三苯胺（簡稱：PCBANB）、4,4'-二（1-萘基）-4"-（9-苯基-9H-咔唑-3-基）三苯胺（簡稱：PCBNBB）、9,9-二甲基-N-苯基-N-[4-（9-苯基-9H-咔唑-3-基）苯基]茀-2-胺（簡稱：PCBAF）、N-苯基-N-[4-（9-苯基-9H-咔唑-3-基）苯基]螺-9,9-聯茀-2-胺（簡稱：PCBASF）等的具有芳香胺骨架的化合物；1,3-雙（N-咔唑基）苯（簡稱：mCP）、4,4'-二（N-咔唑基）聯苯（簡稱：CBP）、3,6-雙（3,5-二苯基苯基）-9-苯基咔唑（簡稱：CzTP）、3,3'-雙（9-苯基-9H-咔唑）（簡稱：PCCP）等的具有咔唑骨架的化合物；4,4',4"-（苯-1,3,5-三基）三（二苯並噻吩）（簡稱：DBT3P-II）、2,8-二苯基-4-[4-（9-苯基-9H-茀-9-基）苯基]二苯並噻吩（簡稱：DBTFLP-III）、4-[4-（9-苯基-9H-茀-9-基）苯基]-6-苯基二苯並噻吩（簡稱：DBTFLP-IV）等的具有噻吩骨架的化合物；以及4,4',4"-（苯-1,3,5-三基）三（二苯並呋喃）（簡稱：DBF3P-II）、4-{3-[3-（9-苯基-9H-茀-9-基）苯

基]苯基}二苯並呋喃（簡稱：mmDBFFLBi-II）等的具有呋喃骨架的化合物。其中，具有芳香胺骨架的化合物、具有咔唑骨架的化合物具有良好的可靠性和高電洞傳輸性並有助於降低驅動電壓，所以是較佳的。

此外，這些電子傳輸性材料及電洞傳輸性材料較佳為在藍色區域不具有吸收光譜。明確地說，吸收光譜的吸收端較佳為 440nm 以下。

另一方面，作為將三重激發態能轉換成發光的發光性材料，例如可以舉出磷光材料或呈現熱活化延遲螢光的熱活化延遲螢光（TADF）材料。

作為磷光材料，例如在 440nm 至 520nm 具有發光的峰值的磷光材料，可以舉出：三{2-[5-(2-甲基苯基)-4-(2,6-二甲基苯基)-4H-1,2,4-三唑-3-基-κN²]苯基-κC}銻（III）（簡稱：[Ir(mpptz-dmp)₃]）、三(5-甲基-3,4-二苯基-4H-1,2,4-三唑(triazolato))銻（III）（簡稱：Ir(Mptz)₃）、三[4-(3-聯苯)-5-異丙基-3-苯基-4H-1,2,4-三唑]銻（III）（簡稱：Ir(iPrptz-3b)₃）等的具有 4H-三唑骨架的有機金屬銻錯合物；三[3-甲基-1-(2-甲基苯基)-5-苯基-1H-1,2,4-三唑(triazolato)]銻（III）（簡稱：[Ir(Mptz1-mp)₃]）、三(1-甲基-5-苯基-3-丙基-1H-1,2,4-三唑)銻（III）（簡稱：Ir(Prptz1-Me)₃）等的具有 1H-三唑骨架的有機金屬銻錯合物；fac-三[1-(2,6-二異丙基苯基)-2-苯基-1H-咪唑]銻（III）（簡稱：Ir(iPrpmi)₃）、三[3-(2,6-二甲基苯基)-7-甲基咪唑並[1,2-f]菲啶根

(phenanthridinato)] 銥 (III) (簡稱：
 $\text{Ir}(\text{dmpimpt-Me})_3$) 等的具有咪唑骨架的有機金屬銥錯合物；以及雙[2-(4',6'-二氟苯基)呪啶根- $\text{N},\text{C}^{2'}$]銥 (III) 四(1-呪唑基)硼酸鹽 (簡稱：FIr6)、雙[2-(4',6'-二氟苯基)呪啶根- $\text{N},\text{C}^{2'}$]銥 (III) 呪啶甲酸酯 (簡稱：FIrpic)、雙{2-[3',5'-雙(三氟甲基)苯基]呪啶根- $\text{N},\text{C}^{2'}$ }銥 (III) 呪啶甲酸酯 (簡稱： $\text{Ir}(\text{CF}_3\text{ppy})_2(\text{pic})$)、雙[2-(4',6'-二氟苯基)呪啶根- $\text{N},\text{C}^{2'}$]銥 (III) 乙醯丙酮 (簡稱：FIr(acac)) 等的以具有拉電子基的苯基呪啶衍生物為配體的有機金屬銥錯合物。在上述金屬錯合物中，由於具有 4H-三唑骨架的有機金屬銥錯合物具有優異的可靠性及發光效率，所以是特別較佳的。

此外，例如作為在 520nm 至 600nm 具有發光峰值的磷光材料，可以舉出：三(4-甲基-6-苯基嘧啶根)銥 (III) (簡稱： $\text{Ir}(\text{mppm})_3$)、三(4-叔丁基-6-苯基嘧啶根)銥 (III) (簡稱： $\text{Ir}(\text{tBuppm})_3$)、(乙醯丙酮根)雙(6-甲基-4-苯基嘧啶根)銥 (III) (簡稱： $\text{Ir}(\text{mppm})_2(\text{acac})$)、(乙醯丙酮根)雙(6-叔丁基-4-苯基嘧啶根)銥 (III) (簡稱： $\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})$)、(乙醯丙酮根)雙[4-(2-降冰片基)-6-苯基嘧啶基]銥 (III) (內型、外型混合物) (縮寫： $\text{Ir}(\text{nbppm})_2(\text{acac})$)、(乙醯丙酮根)雙[5-甲基-6-(2-甲基)-4-苯基嘧啶根]銥 (III) (簡稱： $\text{Ir}(\text{mpmppm})_2(\text{acac})$)、(乙醯丙酮根)雙(4,6-二苯基嘧啶根)銥 (III) (簡稱： $\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})$) 等的具有嘧啶

骨架的有機金屬鉻錯合物；（乙醯丙酮根）雙（3,5-二甲基-2-苯基吡嗪根）鉻（III）（簡稱： $\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{acac})$ ）；（乙醯丙酮根）雙（5-異丙基-3-甲基-2-苯基吡嗪根）鉻（III）（簡稱： $\text{Ir}(\text{mppr-iPr})_2(\text{acac})$ ）等的具有吡嗪骨架的有機金屬鉻錯合物；三（2-苯基吡啶根-N,C^{2'}）鉻（III）（簡稱： $\text{Ir}(\text{ppy})_3$ ）；雙（2-苯基吡啶根-N,C^{2'}）鉻（III）乙醯丙酮（簡稱： $\text{Ir}(\text{ppy})_2\text{acac}$ ）；雙（苯並[h]喹啉）鉻（III）乙醯丙酮（簡稱： $\text{Ir}(\text{bzq})_2(\text{acac})$ ）；三（苯並[h]喹啉）鉻（III）（簡稱： $\text{Ir}(\text{bzq})_3$ ）；三（2-苯基喹啉-N,C^{2'}）鉻（III）（簡稱： $\text{Ir}(\text{pq})_3$ ）；雙（2-苯基喹啉-N,C^{2'}）鉻（III）乙醯丙酮（簡稱： $\text{Ir}(\text{pq})_2(\text{acac})$ ）等的具有吡啶骨架的有機金屬鉻錯合物；以及三（乙醯丙酮根）（單啡啉）鉻（III）（簡稱： $\text{Tb}(\text{acac})_3(\text{Phen})$ ）等的稀土金屬錯合物。在上述金屬錯合物中，由於具有嘧啶骨架的有機金屬鉻錯合物具有特別優異的可靠性及發光效率，所以是特別較佳的。

此外，例如作為在600nm至700nm具有發光峰值的磷光材料，可以舉出：雙[4,6-雙（3-甲基苯基）嘧啶根]（二異丁醯甲橋）鉻（III）（簡稱： $\text{Ir}(5\text{mdppm})_2(\text{dibm})$ ）；雙[4,6-雙（3-甲基苯基）嘧啶根]（二新戊醯基甲烷根）鉻（III）（簡稱： $[\text{Ir}(5\text{mdppm})_2(\text{dpm})]$ ）；雙[4,6-二（萘-1-基）嘧啶根]（二新戊醯基甲烷根）鉻（III）（簡稱： $\text{Ir}(\text{d1npm})_2(\text{dpm})$ ）等的具有嘧啶骨架的有機金屬鉻錯合物；（乙醯丙酮根）雙（2,3,5-三苯基吡嗪根）鉻（III）

(簡稱： $[Ir(tppr)_2(acac)]$ ）、雙(2,3,5-三苯基吡嗪根)(二新戊醯基甲烷根)鉢(III)(簡稱： $Ir(tppr)_2(dpm)$)、(乙醯丙酮根)雙[2,3-雙(4-氟苯基)喹喔啉合]鉢(III)(簡稱： $Ir(Fdpq)_2(acac)$)等的具有吡嗪骨架的有機金屬鉢錯合物；三(1-苯基異喹啉-N,C^{2'})鉢(III)(簡稱： $Ir(piq)_3$)、雙(1-苯基異喹啉-N,C^{2'})鉢(III)乙醯丙酮(簡稱： $Ir(piq)_2acac$)等的具有吡啶骨架的有機金屬鉢錯合物；2,3,7,8,12,13,17,18-八乙基-21H,23H-卟啉鉑(II)(簡稱： $PtOEP$)等的鉑錯合物；以及三(1,3-二苯基-1,3-丙二酮(propanedionato))(單啡啉)銣(III)(簡稱： $Eu(DBM)_3(Phen)$)、三[1-(2-噻吩甲醯基)-3,3,3-三氟丙酮](單啡啉)銣(III)(簡稱： $Eu(TTA)_3(Phen)$)等的稀土金屬錯合物。在上述金屬錯合物中，由於具有嘧啶骨架的有機金屬鉢錯合物具有特別優異的可靠性及發光效率，所以是特別較佳的。另外，具有吡嗪骨架的有機金屬鉢錯合物可以提供色度良好的紅色發光。

此外，TADF材料中的延遲螢光是指雖然具有與通常的螢光相同的光譜，但是具有非常長的壽命的發光。該壽命為 10^{-6} 秒以上，較佳為 10^{-3} 秒以上。作為TADF材料，可以具體地舉出富勒烯或其衍生物、硫酸原黃素等吖啶衍生物、曙紅(eosin)等。此外，可以舉出包含鎂(Mg)、鋅(Zn)、鎘(Cd)、錫(Sn)、鉑(Pt)、銦(Indium)或鈀(Pd)等的含金屬卟啉。此外，作為該含金

屬卟啉，例如可以舉出原卟啉-氟化錫錯合物（ SnF_2 （Proto IX））、中卟啉-氟化錫錯合物（ SnF_2 （Meso IX））、血卟啉-氟化錫錯合物（ SnF_2 （Hemato IX））、糞卟啉四甲基酯-氟化錫錯合物（ SnF_2 （Copro III-4Me））、八乙基卟啉-氟化錫錯合物（ SnF_2 （OEP））、初卟啉-氟化錫錯合物（ SnF_2 （Etio I））、八乙基卟啉-氯化鉑錯合物（ PtCl_2 （OEP））等。並且，可以使用 2-聯苯-4,6-雙（12-苯基吲哚[2,3-a]咔唑-11-基）-1,3,5-三嗪（簡稱：PIC-TRZ）等具有缺 π 型雜芳環及富 π 型雜芳環的雜環化合物。另外，在富 π 型雜芳環和缺 π 型雜芳環的雜環化合物直接結合的物質中，富 π 型雜芳環的施體性和缺 π 型雜芳環的受體性都強，而 S_1 和 T_1 的能階差變小，所以是特別較佳的。

此外，可以用於上述第一有機化合物 120（主體材料）、第二有機化合物 122（輔助材料）以及第三有機化合物 124（客體材料）的每一個的材料不侷限於此，只要是能夠形成激態複合物的組合，該激態複合物的發射光譜與第三有機化合物 124（客體材料）的吸收光譜重疊，與第三有機化合物 124（客體材料）的吸收光譜的峰值相比，且該激態複合物的發射光譜的峰值位於長波長，即可。

此外，當將電子傳輸性材料用於第一有機化合物 120（主體材料）並且將電洞傳輸性材料用於第二有機化合物 122（輔助材料）時，根據該混合比可以控制載流子平

衡。明確地說，較佳第一有機化合物 120 與第二有機化合物 122 的比例為 1:9 至 9:1 的範圍內。

電子傳輸層 114 是包含電子傳輸性高的物質的層。作為電子傳輸層 114，可以使用三（8-喹啉醇合）鋁（簡稱：Alq₃）、三（4-甲基-8-羥基喹啉）鋁（簡稱：Almq₃）、雙（10-羥基苯並[h]喹啉）鉑（簡稱：BeBq₂）、BAIq、Zn(BOX)₂、雙[2-（2-羥基苯基）-苯並噻唑]鋅（簡稱：Zn(BTZ)₂）等的金屬錯合物。此外，也可以使用 2-（4-聯苯基）-5-（4-叔丁基苯基）-1,3,4-噁二唑（簡稱：PBD）、1,3-雙[5-（對叔丁基苯基）-1,3,4-噁二唑-2-基]苯（簡稱：OXD-7）、3-（4-叔丁基苯基）-4-苯基-5-（4-聯苯基）-1,2,4-三唑（簡稱：TAZ）、3-（4-叔丁基苯基）-4-（4-乙基苯基）-5-（4-聯苯基）-1,2,4-三唑（簡稱：p-EtTAZ）、紅啡啉（簡稱：BPhen）、浴銅靈（簡稱：BCP）、4,4'-雙（5-甲基苯並噁唑-2-基）二苯乙烯（簡稱：BzOs）等的雜芳族化合物。另外，也可以使用高分子化合物諸如聚（2,5-吡啶二基）（簡稱：PPy）、聚[（9,9-二己基茀-2,7-二基）-共-（吡啶-3,5-二基）]（簡稱：PF-Py）、聚[（9,9-二辛基茀-2,7-二基）-共-（2,2'-聯吡啶-6,6'-二基）]（簡稱：PF-BPy）。在此所述物質是主要具有 $10^{-6} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 以上的電子遷移率物質。另外，只要是電子傳輸性比電洞傳輸性高的物質，就可以將上述物質之外的物質用作電子傳輸層 114。

另外，作為電子傳輸層 114，不僅可以採用單層，而

且可以採用由上述物質構成的層的兩層以上的疊層。

電子注入層 115 是包含電子注入性高的物質的層。作為電子注入層 115，可以使用氟化鋰（LiF）、氟化銫（CsF）、氟化鈣（CaF₂）及鋰氧化物（LiO_x）等鹼金屬或鹼土金屬化合物。此外，可以使用氟化鋨（ErF₃）等稀土金屬化合物。另外，也可以使用上述構成電子傳輸層 114 的物質。

或者，也可以作為電子注入層 115 使用混合有機化合物與電子給體（施體）而成的複合材料。這種複合材料的電子注入性及電子傳輸性高，因為電子給體使得電子產生在有機化合物中。在此情況下，有機化合物較佳是在傳輸所產生的電子方面性能優異的材料。具體地，例如，可以使用如上所述的構成電子傳輸層 114 的物質（金屬錯合物和雜芳族化合物等）。作為電子給體，只要使用對有機化合物呈現電子給體性的物質，即可。具體地，較佳為使用鹼金屬、鹼土金屬和稀土金屬，可以舉出鋰、銫、鎂、鈣、鋯、鎇等。另外，較佳為使用鹼金屬氧化物或鹼土金屬氧化物，例如可以舉出鋰氧化物、鈣氧化物、鋇氧化物等。此外，也可以使用氧化鎂等路易士鹼。或者，也可以使用四硫富瓦烯（簡稱：TTF）等有機化合物。

另外，上述電洞注入層 111、電洞傳輸層 112、發光層 113、電子傳輸層 114、電子注入層 115 分別可以藉由蒸鍍法（包括真空蒸鍍法）、噴墨法、塗敷法等的方法形成。

此外，在上述發光元件的發光層 113 中得到的發光穿過第一電極 101 和第二電極 103 中的任一者或兩者取出到外部。因此，本實施方式中的第一電極 101 和第二電極 103 中的任一者或兩者為具有透光性的電極。

如上所述，本實施方式所示的發光元件由於能夠利用激態複合物的發射光譜與第三有機化合物（客體材料）的吸收光譜的重疊的能量轉移而可以提高能量轉移效率，所以可以實現發光效率高的發光元件。

此外，本實施方式所示的發光元件具有用於發光層的具有電洞傳輸性的第二有機化合物也包括在電洞傳輸層的元件結構。藉由採用這種結構，可以降低發光元件的驅動電壓，尤其可以由電洞傳輸層所具有的第二有機化合物降低驅動開始電壓。此外，與只使用第二有機化合物形成的電洞傳輸層相比，本發明的一個方式的發光元件具有第二有機化合物以外的材料，因此可以由第二有機化合物以外的材料抑制從發光層的三重激發態能的擴散，而可以實現發光效率高的良好的發光元件。

另外，本實施方式所示的發光元件是本發明的一個方式，且尤其在電洞傳輸層和發光層的結構具有特徵。因此，藉由應用本實施方式所示的結構，可以製造被動矩陣型發光裝置或主動矩陣型發光裝置等，上述發光裝置都包括在本發明中。

另外，在主動矩陣型發光裝置的情況下，對 TFT 的結構沒有特別的限制。例如，可以適當地使用交錯型 TFT

或反交錯型 TFT。此外，形成在 TFT 基板上的驅動用電路可以由 N 型 TFT 和 P 型 TFT 中的一者或兩者形成。並且，對用於 TFT 的半導體膜的結晶性也沒有特別的限制。例如，可以使用非晶半導體膜、結晶半導體膜和氧化物半導體膜等。

另外，本實施方式所示的結構可以與其他實施方式所示的結構適當地組合而實施。

實施方式 3

在本實施方式中，作為本發明的一個方式，對具有隔著電荷產生層具有多個發光層的結構的發光元件（以下，稱為串聯型發光元件）進行說明。

本實施方式所示的發光元件是如圖 7A 所示那樣的串聯型發光元件，其中在一對電極（第一電極 301 與第二電極 303）之間具有多個發光層（第一發光層 311、第二發光層 312）。

在本實施方式中，第一電極 301 是用作陽極的電極，第二電極 303 是用作陰極的電極。另外，第一電極 301 及第二電極 303 可以採用與實施方式 2 相同的結構。此外，雖然多個發光層（第一發光層 311 和第二發光層 312）可以具有與實施方式 1 或實施方式 2 所示的發光層相同的結構，但是也可以多個發光層中的任一個具有與實施方式 1 或實施方式 2 所示的結構相同的結構。換言之，第一發光層 311 和第二發光層 312 既可以具有相同結構又可以具有

不同的結構，並且作為其結構可以使用與實施方式 1 或實施方式 2 相同的結構。

另外，在多個發光層（第一發光層 311 和第二發光層 312）之間設置有電荷產生層 313。電荷產生層 313 具有如下功能：當對第一電極 301 和第二電極 303 施加電壓時，將電子注入到一方的發光層中，且將電洞注入到另一方的發光層中。在本實施方式中，當以第一電極 301 的電位高於第二電極 303 的方式對第一電極 301 施加電壓時，電荷產生層 313 將電子注入到第一發光層 311 中並將電洞注入到第二發光層 312 中。

另外，考慮到光提取效率，較佳為使電荷產生層 313 具有透射可見光的性質（明確而言，對於電荷產生層 313 的可見光的透射率為 40%以上）。另外，即使電荷產生層 313 的導電率低於第一電極 301 或第二電極 303 的導電率，電荷產生層 313 也發揮其作用。

電荷產生層 313 既可以具有電洞傳輸性高的有機化合物添加有電子受體（受體）的結構又可以具有電子傳輸性高的有機化合物添加有電子給體（施體）的結構。或者，也可以層疊有這兩種結構。

在採用電洞傳輸性高的有機化合物添加有電子受體的結構的情況下，作為電洞傳輸性高的有機化合物，例如可以使用芳族胺化合物等諸如 NPB、TPD、TDATA、MTDATA 或 4,4'-雙[N-(螺環-9,9'-聯茀-2-基)-N-苯基氨基]聯苯（簡稱：BSPB）等。在此所述的物質是主要具有

$10^{-6}\text{cm}^2/\text{Vs}$ 以上的電洞遷移率的物質。但是，只要是電洞傳輸性比電子傳輸性高的有機化合物，就可以使用上述物質之外的物質。

另外，作為電子受體，可以舉出 7,7,8,8-四氟基-2,3,5,6-四氟喹啉並二甲烷（簡稱：F₄-TCNQ）、氯醌等。另外，還可以舉出過渡金屬氧化物。另外，可以舉出屬於元素週期表中第 4 族至第 8 族的金屬的氧化物。明確而言，較佳為使用氧化釩、氧化銻、氧化鉑、氧化鉻、氧化鋁、氧化鎢、氧化錳和氧化銻，這是因為它們具有高電子接受性。尤其，較佳為使用氧化鉑，因為氧化鉑在大氣中穩定且其吸濕性低，所以容易進行處理。

另一方面，在採用電子傳輸性高的有機化合物添加有電子給體的結構的情況下，作為電子傳輸性高的有機化合物，例如可以使用具有喹啉骨架或苯並喹啉骨架的金屬錯合物等諸如 Alq、Almq₃、BeBq₂、BAIq 等。此外，除此之外，還可以使用具有噁唑基配體或噻唑基配體的金屬錯合物等諸如 Zn(BOX)₂ 或 Zn(BTZ)₂ 等。再者，除了金屬錯合物之外，還可以使用 PBD、OXD-7、TAZ、BPhen、BCP 等。在此所述的物質是主要具有 $10^{-6}\text{cm}^2/\text{Vs}$ 以上的電子遷移率的物質。另外，只要是電子傳輸性比電洞傳輸性高的有機化合物，就可以使用上述物質之外的物質。

另外，作為電子給體，可以使用鹼金屬、鹼土金屬、稀土金屬、屬於元素週期表中第 13 族的金屬及它們的氧化物和碳酸鹽。明確而言，較佳為使用鋰（Li）、鋯

(Cs)、鎂(Mg)、鈣(Ca)、鎇(Yb)、銦(Indium)、氧化鋰、碳酸鉻等。此外，也可以將如四硫萘並萘(tetrathianaphthacene)那樣的有機化合物用作電子給體。

另外，藉由使用上述材料形成電荷產生層313，可以抑制層疊發光層時驅動電壓增大。

雖然在圖7A中對具有兩個發光層的發光元件進行說明，但是如圖7B所示那樣，本發明的一個方式也可以同樣地應用於層疊有n個（注意，n是3以上）發光層的發光元件。如根據本實施方式的發光元件的那樣，當在一對電極之間具有多個發光層時，藉由將電荷產生層313配置在發光層與發光層之間，可以在保持低電流密度的同時實現高亮度區域中的發光。因為可以保持低電流密度，所以可以實現長使用壽命元件。另外，當作為應用例子採用照明時，因為可以減少由於電極材料的電阻導致的電壓下降，所以可以實現大面積的均勻發光。此外，可以實現能夠進行低電壓驅動且低耗電量的發光裝置。

此外，藉由使各發光層發射互不相同顏色的光，可以使發光元件整體發射所需顏色的光。例如，在具有兩個發光層的發光元件中，藉由使第一發光層的發光顏色和第二發光層的發光顏色處於補色關係，可以使發光元件整體發射白色光。注意，“補色”是指當顏色混合時得到非彩色的顏色關係。也就是說，藉由將從發射處於補色關係的顏色的物質得到的光混合，可以得到白色發光。

另外，具有三個發光層的發光元件的情況也與此同樣，例如，當第一發光層的發光顏色是紅色，第二發光層的發光顏色是綠色且第三發光層的發光顏色是藍色時，可以使發光元件整體發射白色光。

注意，本實施方式所示的結構可以與其他實施方式所示的結構適當地組合而實施。

實施方式 4

在本實施方式中，說明本發明的一個方式的發光裝置。

本實施方式所示的發光裝置具有利用一對電極之間的光的共振效應的光學微共振器（micro optical resonator）（微腔）結構，如圖 8 所示那樣具有多個發光元件，該發光元件在一對電極（反射電極 451 與半透射·半反射電極 452）之間至少具有 EL 層 455。另外，EL 層 455 至少具有電洞傳輸層（未圖示）和發光層 454（發光層 454R、發光層 454G、發光層 454B），除此之外，EL 層 455 還可以包括電洞注入層、電子傳輸層、電子注入層、電荷產生層等。

第一發光元件 450R 具有在反射電極 451 上依次層疊有如下層的結構：第一透明導電層 453a；其一部分包括第一發光層 454B、第二發光層 454G 和第三發光層 454R 的 EL 層 455；以及半透射·半反射電極 452。另外，第二發光元件 450G 具有在反射電極 451 上依次層疊有第二透

明導電層 453b、EL 層 455 以及半透射·半反射電極 452 的結構。另外，第三發光元件 450B 具有在反射電極 451 上依次層疊有 EL 層 455 及半透射·半反射電極 452 的結構。

另外，上述發光元件（第一發光元件 450R、第二發光元件 450G、第三發光元件 450B）都具有反射電極 451、EL 層 455 以及半透射·半反射電極 452。此外，在第一發光層 454B 中發射在 420nm 以上且 480nm 以下的波長區域中具有峰值的光 (λ_B)，在第二發光層 454G 中發射在 500nm 以上且 550nm 以下的波長區域中具有峰值的光 (λ_G)，而在第三發光層 454R 中發射在 600nm 以上且 760nm 以下的波長區域中具有峰值的光 (λ_R)。由此，可以使任何發光元件（第一發光元件 450R、第二發光元件 450G 及第三發光元件 450B）都發射使來自第一發光層 454B、第二發光層 454G 及第三發光層 454R 的發光重疊而成的光，即及於可見光區的寬（broad）的光。注意，根據上述記載，波長的長度滿足 $\lambda_B < \lambda_G < \lambda_R$ 的關係。

本實施方式所示的各發光元件分別具有在反射電極 451 與半透射·半反射電極 452 之間夾有 EL 層 455 的結構，並且從包括在 EL 層 455 中的各發光層向全方向射出的發光由具有光學微共振器（微腔）的功能的反射電極 451 和半透射·半反射電極 452 共振。另外，反射電極 451 使用具有反射性的導電材料形成，可見光的對該膜的反射率為 40% 至 100%，較佳為 70% 至 100%，並且該膜的電阻率為 $1 \times 10^{-2} \Omega \text{cm}$ 以下。另外，半透射·半反射電極 452 使

用具有反射性的導電材料和具有透光性的導電材料形成，可見光的對該膜的反射率為 20% 至 80%，較佳為 40% 至 70%，並且該膜的電阻率為 $1 \times 10^{-2} \Omega \text{cm}$ 以下。

另外，在本實施方式中，藉由使分別設置在第一發光元件 450R 和第二發光元件 450G 中的透明導電層（第一透明導電層 453a、第二透明導電層 453b 的厚度彼此不同，來根據每個發光元件改變反射電極 451 與半透射·半反射電極 452 之間的光學距離。換言之，在反射電極 451 與半透射·半反射電極 452 之間，可以使從各發光元件的各發光層發射的寬的光中的共振的波長的光變強並可以使其中的不共振的波長的光衰減，所以藉由根據每個元件改變反射電極 451 與半透射·半反射電極 452 之間的光學距離，可以取出不同波長的光。

另外，光學距離（也稱為光徑長）是指實際上的距離乘以折射率而求得的值，在本實施方式中其是指實際上的厚度乘以 n （折射率）而求得的值。換言之，“光學距離 = 實際上的厚度 $\times n$ ”。

另外，在第一發光元件 450R 中從反射電極 451 到半透射·半反射電極 452 的光學距離為 $m\lambda_R/2$ （注意， m 是 1 以上的自然數），在第二發光元件 450G 中從反射電極 451 到半透射·半反射電極 452 的光學距離為 $m\lambda_G/2$ （注意， m 是 1 以上的自然數），並且在第三發光元件 450B 中從反射電極 451 到半透射·半反射電極 452 的光學距離為 $m\lambda_B/2$ （注意， m 是 1 以上的自然數）。

如上所述，從第一發光元件 450R 主要取出在包括於 EL 層 455 中的第三發光層 454R 中發射的光 (λ_R)，從第二發光元件 450G 主要取出在包括於 EL 層 455 中的第二發光層 454G 中發射的光 (λ_G)，並且從第三發光元件 450B 主要取出在包括於 EL 層 455 中的第一發光層 454B 中發射的光 (λ_B)。另外，從各發光元件取出的光分別從半透射·半反射電極 452 一側射出。

另外，在上述結構中，嚴格而言，可以從反射電極 451 到半透射·半反射電極 452 的光學距離為從反射電極 451 中的反射區域到半透射·半反射電極 452 中的反射區域的光學距離。但是，難以嚴格地決定反射電極 451 或半透射·半反射電極 452 中的反射區域的位置，所以藉由假定反射電極 451 和半透射·半反射電極 452 中的任意的位置為反射區域來可以充分地獲得上述效果。

接著，在第一發光元件 450R 中，因為來自第三發光層 454R 的發光中的由反射電極 451 反射而回來的光（第一反射光）與從第三發光層 454R 直接入射到半透射·半反射電極 452 的光（第一入射光）發生干擾，所以將反射電極 451 與第三發光層 454R 的光學距離調節為 $(2n_R - 1) \lambda_R / 4$ （注意， n_R 是 1 以上自然數）。藉由調節光學距離，可以使第一反射光與第一入射光的相位一致，從而可以放大來自第三發光層 454R 的發光。

另外，嚴格而言，可以將反射電極 451 與第三發光層 454R 之間的光學距離稱為反射電極 451 中的反射區域與

第三發光層 454R 中的發光區域之間的光學距離。但是，難以嚴格地決定反射電極 451 中的反射區域或第三發光層 454R 中的發光區域的位置，所以藉由將反射電極 451 和第三發光層 454R 中的任意的位置分別假定為反射區域、發光區域來可以充分地獲得上述效果。

接著，在第二發光元件 450G 中，因為來自第二發光層 454G 的發光中的由反射電極 451 反射而回來的光（第二反射光）與從第二發光層 454G 直接入射到半透射·半反射電極 452 的光（第二入射光）發生干擾，所以將反射電極 451 與第二發光層 454G 的光學距離調節為 $(2n_G - 1) \lambda_G / 4$ （注意， n_G 是 1 以上自然數）。藉由調節光學距離，可以使第二反射光與第二入射光的相位一致，從而可以放大來自第二發光層 454G 的發光。

另外，嚴格而言，可以將反射電極 451 與第二發光層 454G 之間的光學距離稱為反射電極 451 中的反射區域與第二發光層 454G 中的發光區域之間的光學距離。但是，難以嚴格地決定反射電極 451 中的反射區域或第二發光層 454G 中的發光區域的位置，所以藉由將反射電極 451 和第二發光層 454G 中的任意的位置分別假定為反射區域、發光區域來可以充分地獲得上述效果。

接著，在第三發光元件 450B 中，因為來自第一發光層 454B 的發光中的由反射電極 451 反射而回來的光（第三反射光）與從第一發光層 454B 直接入射到半透射·半反射電極 452 的光（第三入射光）發生干擾，所以將反射電

極 451 與第一發光層 454B 的光學距離調節為 ($2n_B - 1$) $\lambda_B/4$ (注意， n_B 是 1 以上自然數)。藉由調節光學距離，可以使第三反射光與第三入射光的相位一致，從而可以放大來自第一發光層 454B 的發光。

另外，嚴格而言，可以將反射電極 451 與第一發光層 454B 之間的光學距離稱為反射電極 451 中的反射區域與第一發光層 454B 中的發光區域之間的光學距離。但是，難以嚴格地決定反射電極 451 中的反射區域或第一發光層 454B 中的發光區域的位置，所以藉由將反射電極 451 和第一發光層 454B 中的任意的位置分別假定為反射區域、發光區域來可以充分地獲得上述效果。

另外，在上述結構中，示出每個發光元件都具有在 EL 層中包括多個發光層的結構，但是本發明不侷限於此。例如，也可以採用如下結構：將上述結構與實施方式 3 所說明的串聯型（疊層型）發光元件組合，在一個發光元件中隔著電荷產生層而形成多個發光層。

本實施方式所示的發光裝置具有微腔結構，即使具有相同結構的 EL 層，也能夠提取根據發光元件不同的波長的光，因此不需要 RGB 的分別塗敷。因此，由於容易實現高精細化等，有利於實現全彩色化。另外，因為能夠加強特定波長的正面方向的發光強度，所以可以實現低耗電量化。該結構是當將其應用於使用三種顏色以上的像素的彩色顯示器（影像顯示裝置）時特別有效的，但是也可以將其用於照明等的用途。

注意，本實施方式所示的結構可以與其他實施方式所示的結構適當地組合而實施。

實施方式 5

在本實施方式中，說明具有本發明的一個方式的發光元件的發光裝置。

另外，上述發光裝置既可以是被動矩陣型發光裝置，又可以是主動矩陣型發光裝置。此外，可以將其他實施方式所示的發光元件應用於本實施方式所示的發光裝置。

在本實施方式中，參照圖 9A 和圖 9B 對主動矩陣型發光裝置進行說明。

另外，圖 9A 是示出發光裝置的俯視圖，圖 9B 是沿圖 9A 中的虛線 A-B 切割的剖面圖。根據本實施方式的主動矩陣型發光裝置具有設置在元件基板 501 上的像素部 502、驅動電路部（源極線驅動電路）503 以及驅動電路部（閘極線驅動電路）504（504a 及 504b）。將像素部 502、驅動電路部 503 及驅動電路部 504 由密封材料 505 密封在元件基板 501 與密封基板 506 之間。

此外，在元件基板 501 上設置用來連接對驅動電路部 503 及驅動電路部 504 傳達來自外部的信號（例如，視頻信號、時脈信號、起始信號或重設信號等）或電位的外部輸入端子的引導佈線 507。在此，示出作為外部輸入端子設置 FPC（撓性印刷電路板）508 的例子。另外，雖然在此只表示 FPC，但是該 FPC 也可以安裝有印刷線路板

(PWB)。本說明書中的發光裝置不僅包括發光裝置本體，而且還包括安裝有FPC或PWB的發光裝置。

接著，參照圖9B說明剖面結構。在元件基板501上形成有驅動電路部及像素部，但是在此示出作為源極線驅動電路的驅動電路部503及像素部502。

驅動電路部503示出形成有將n通道型TFT509和p通道型TFT510組合而成的CMOS電路的例子。另外，形成驅動電路部的電路也可以使用各種CMOS電路、PMOS電路或NMOS電路形成。此外，在本實施方式中，雖然示出將驅動電路形成在基板上的驅動器一體型，但是不一定需要如此，也可以將驅動電路形成在外部而不形成在基板上。

此外，像素部502包括多個像素，該像素包括開關用TFT511、電流控制用TFT512及與電流控制用TFT512的佈線（源極電極或汲極電極）電連接的第一電極513。另外，以覆蓋第一電極513的端部的方式形成有絕緣物514。在此，使用正型的光敏丙烯酸樹脂形成絕緣物514。此外，在本實施方式中，將第一電極513用作陽極。

另外，為了提高層疊在絕緣物514上的膜的覆蓋率，較佳為在絕緣物514的上端部或下端部形成具有曲率的曲面。例如，在作為絕緣物514的材料使用正型的光敏丙烯酸樹脂的情況下，較佳為使絕緣物514的上端部具備具有曲率半徑（ $0.2\mu m$ 至 $3\mu m$ ）的曲面。此外，作為絕緣物

514，可以使用負性感光性樹脂和正性感光性樹脂的兩者，可以使用有機化合物、無機化合物諸如氧化矽、氮化矽等。

在第一電極 513 上層疊形成有 EL 層 515 及第二電極 516。在 EL 層 515 中至少設置有電洞傳輸層和發光層。電洞傳輸層及發光層可以應用實施方式 1 或實施方式 2 所示的結構。此外，在本實施方式中，將第二電極 516 用作陰極。

另外，發光元件 517 具有第一電極 513、EL 層 515 及第二電極 516 的疊層結構。作為用於第一電極 513、EL 層 515 及第二電極 516 所使用的材料，可以使用實施方式 2 所示的材料。此外，雖然在此未圖示，但是第二電極 516 與作為外部輸入端子的 FPC508 電連接。

此外，雖然在圖 9B 所示的剖面圖中僅示出一個發光元件 517，但是，在像素部 502 中以矩陣形狀配置有多個發光元件。在像素部 502 中分別選擇性地形成能夠得到三種（R、G、B）發光的發光元件，而可以形成能夠進行全彩色顯示的發光裝置。此外，也可以藉由與濾色片組合來實現能夠進行全彩色顯示的發光裝置。

再者，藉由利用密封材料 505 將密封基板 506 與元件基板 501 貼合在一起，得到在由元件基板 501、密封基板 506 及密封材料 505 圍繞的空間 518 中具備發光元件 517 的結構。另外，除了空間 518 填充有惰性氣體（氮、氬等）的結構以外，還有空間 518 填充有密封材料 505 的結

構。

另外，作為密封材料 505，較佳為使用環氧類樹脂。另外，這些材料較佳是儘量不透過水分、氣的材料。此外，作為用於密封基板 506 的材料，除了玻璃基板、石英基板之外，還可以使用由 FRP (Fiberglass-Reinforced Plastics：玻璃纖維強化塑膠)、PVF (聚氟乙烯)、聚酯或丙烯酸樹脂等構成的塑膠基板。

藉由上述步驟，可以得到主動矩陣型發光裝置。

另外，本實施方式所示的結構可以與其他實施方式所示的結構適當地組合而實施。

實施方式 6

在本實施方式中，說明一種電子裝置，該電子裝置包括上述實施方式所示的本發明的一個方式的發光裝置。作為這種電子裝置，可以舉出影像拍攝裝置如攝影機及數位相機等、護目鏡型顯示器、導航系統、音頻再生裝置（車載音響、身歷聲組合音響等）、電腦、遊戲機、可攜式資訊終端（可攜式電腦、行動電話、智慧手機、可攜式遊戲機、電子書閱讀器或平板終端等）、具有儲存介質的影像再現裝置（具體為再現數位影音光碟（DVD：Digital Versatile Disc）等儲存介質且具有可以顯示其影像的顯示裝置的裝置）等。參照圖 10A 至圖 10D、圖 11A 至圖 11D 對上述電子裝置的具體例子進行說明。

圖 10A 是本發明的一個方式的電視機，該電視機包括

外殼 611、支撐台 612、顯示部 613、揚聲器部 614、視頻輸入端子 615 等。在該電視機中，顯示部 613 可以應用本發明的一個方式的發光裝置。因為本發明的一個方式的發光裝置可以實現低驅動電壓且高電流效率，所以藉由應用本發明的一個方式的發光裝置，可以獲得低耗電量的電視機。

圖 10B 是本發明的一個方式的電腦，該電腦包括主體 621、外殼 622、顯示部 623、鍵盤 624、外部連接埠 625、指向裝置 626 等。在該電腦中，顯示部 623 可以應用本發明的一個方式的發光裝置。因為本發明的一個方式的發光裝置可以實現低驅動電壓且高電流效率，所以藉由應用本發明的一個方式的發光裝置，可以獲得低耗電量的電腦。

圖 10C 是本發明的一個方式的行動電話，該行動電話包括主體 631、外殼 632、顯示部 633、聲音輸入部 634、聲音輸出部 635、操作鍵 636、外部連接埠 637、天線 638 等。在該行動電話中，顯示部 633 可以應用本發明的一個方式的發光裝置。因為本發明的一個方式的發光裝置可以實現低驅動電壓且高電流效率，所以藉由應用本發明的一個方式的發光裝置，可以獲得低耗電量的行動電話。

圖 10D 是本發明的一個方式的攝影機，該攝影機包括主體 641、顯示部 642、外殼 643、外部連接埠 644、遙控接收部 645、影像接收部 646、電池 647、聲音輸入部 648、操作鍵 649、取景部 650 等。在該攝影機中，顯示

部 642 可以應用本發明的一個方式的發光裝置。因為本發明的一個方式的發光裝置可以實現低驅動電壓且高電流效率，所以藉由應用本發明的一個方式的發光裝置，可以獲得低耗電量的攝影機。

圖 11A 至圖 11D 是根據本發明的一個方式的可攜式終端的一個例子，圖 11A、圖 11B、圖 11C 示出可攜式終端 5000，圖 11D 示出可攜式終端 6000。

圖 11A 示出可攜式終端 5000 的正視圖，圖 11B 示出可攜式終端 5000 的側面圖，圖 11C 示出可攜式終端 5000 的後視圖。另外，圖 11D 示出可攜式終端 6000 的正視圖。

可攜式終端 5000 包括外殼 5001、顯示部 5003、電源按鈕 5005、正面相機 5007、背面相機 5009、第一外部連接端子 5011 以及第二外部連接端子 5013 等。

另外，顯示部 5003 被安裝在外殼 5001 中，也可以用作觸摸屏。例如，可以在顯示部 5003 上顯示圖示 5015 等以管理電子郵件、日程。另外，在外殼 5001 的正面一側組裝有正面相機 5007，利用該正面相機 5007 可以拍攝使用者一側的影像。另外，在外殼 5001 的背面一側組裝有背面相機 5009，利用該背面相機 5009 可以拍攝與使用者相反一側的影像。另外，外殼 5001 具備第一外部連接端子 5011 及第二外部連接端子 5013，例如，可以藉由第一外部連接端子 5011 將聲音輸出到耳機等，藉由第二外部連接端子 5013 進行資料的移動等。

另外，圖 11D 所示的可攜式終端 6000 包括第一外殼 6001、第二外殼 6003、鉸鏈部 6005、第一顯示部 6007、第二顯示部 6009、電源按鈕 6011、第一相機 6013、第二相機 6015 等。

另外，第一顯示部 6007 被安裝在第一外殼 6001 中，第二顯示部 6009 被安裝在第二外殼 6003 中。在第一顯示部 6007 及第二顯示部 6009 中，例如可以將第一顯示部 6007 用作顯示用面板，將第二顯示部 6009 用作觸摸屏。藉由邊看第一顯示部 6007 所顯示的文字圖示 6017 邊利用第二顯示部 6009 所顯示的圖示 6019 或鍵盤 6021（第二顯示部 6009 所顯示的鍵盤影像），可以進行影像的選擇或文字的輸入等。當然還可以採用如下結構：將第一顯示部 6007 用作觸摸屏，將第二顯示部 6009 用作顯示用面板；將第一顯示部 6007 及第二顯示部 6009 都用作觸摸屏。

另外，第一外殼 6001 及第二外殼 6003 由鉸鏈部 6005 相連接而可以進行開閉動作。藉由採用上述結構，當攜帶可攜式終端 6000 時第一外殼 6001 中組裝的第一顯示部 6007 與第二外殼 6003 中組裝的第二顯示部 6009 合在一起，由此可以保護第一顯示部 6007 和第二顯示部 6009 的表面（例如塑膠基板等），所以是較佳的。

另外，作為第一外殼 6001 及第二外殼 6003 可以採用由鉸鏈部 6005 分離的結構（所謂可轉換型）。藉由採用上述結構，例如，如在縱向放置第一外殼 6001 且橫向放

置第二外殼 6003 的狀態下使用可攜式終端那樣的使用範圍擴大，所以是較佳的。

另外，使用第一相機 6013 及第二相機 6015 可以進行 3D 影像的拍攝。

另外，作為可攜式終端 5000 及可攜式終端 6000 也可以採用能夠進行無線資訊收發的結構。例如，還可以採用如下結構：藉由進行無線上網等，購買所希望的資訊並下載。

此外，可攜式終端 5000 及可攜式終端 6000 還可以具有如下功能：顯示各種各樣的資訊（靜態影像、動態影像、文字影像等）；將日曆、日期或時刻等顯示在顯示部上；對顯示部上顯示的資訊進行操作或編輯的觸摸輸入；藉由各種各樣的軟體（程式）控制處理等。此外，也可以內置檢測裝置諸如根據外光的光量可以將顯示的亮度設定為最適合的亮度的光感測器、陀螺儀和加速度感測器等檢測傾斜度的感測器。

在可攜式終端 5000 的顯示部 5003 和可攜式終端 6000 的第一顯示部 6007 或/及第二顯示部 6009 中，可以應用本發明的一個方式的發光裝置。因為本發明的一個方式的發光裝置可以實現低驅動電壓且高電流效率，所以藉由應用本發明的一個方式的發光裝置，可以獲得低耗電量的可攜式終端。

如上所述，本發明的一個方式的發光裝置的應用範圍非常廣泛，並且可以將該發光裝置用於各種領域的電子裝

置。藉由使用本發明的一個方式的發光裝置，可以獲得減少了耗電量的電子裝置。

此外，也可以將本發明的一個方式的發光裝置用作照明設備。參照圖 12A 至圖 12C 對照明設備的具體例子進行說明。

圖 12A 是將本發明的一個方式的發光裝置用作背光的液晶顯示裝置的一個例子。圖 12A 所示的液晶顯示裝置包括外殼 701、液晶面板 702、背光 703 以及外殼 704，該液晶面板 702 與驅動器 IC705 連接。此外，作為背光 703 使用本發明的一個方式的發光裝置，藉由端子 706 向背光 703 供應電流。如上所述，藉由將本發明的一個方式的發光裝置用作液晶顯示裝置的背光，可以獲得耗電量低的背光。另外，本發明的一個方式的發光裝置是面發光的照明設備，由此也可以實現大面積化，所以還可以實現背光的大面積化。因此，可以獲得實現低耗電量和大面積的液晶顯示裝置。

圖 12B 是將本發明的一個方式的發光裝置用作照明設備的檯燈的例子。圖 12B 所示的檯燈包括外殼 801 和光源 802，將本發明的一個方式的發光裝置用作光源 802。因為可以實現低驅動電壓且高電流效率，所以藉由應用本發明的一個方式的發光裝置，可以獲得低耗電量的檯燈。

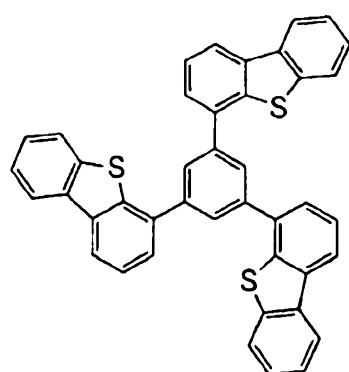
圖 12C 是將本發明的一個方式的發光裝置用作室內照明設備 901 的例子。由於本發明的一個方式的發光裝置也可以實現大面積化，所以可以用作大面積的照明設備。另

外，因為本發明的一個方式的發光裝置可以實現低驅動電壓且高電流效率，所以藉由應用本發明的一個方式的發光裝置，可以獲得低耗電量的照明設備。如此，可以在將本發明的一個方式的發光裝置用作室內照明設備 901 的房間內設置如圖 10A 所說明的本發明的一個方式的電視機 902，來看公共廣播或電影。

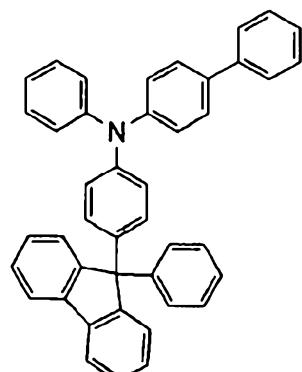
另外，本實施方式可以與其他實施方式適當地組合。

實施例 1

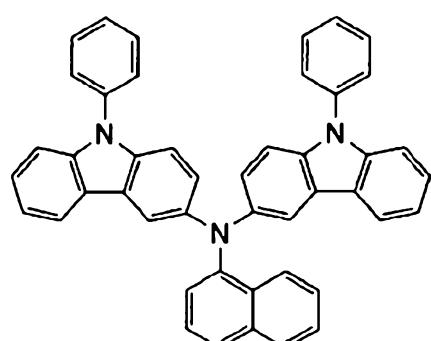
在本實施例中，使用圖 13 說明本發明的一個方式的發光元件（發光元件 1）以及比較用發光元件（比較發光元件 2、比較發光元件 3、比較發光元件 4）。此外，以下示出在本實施例中使用的材料的化學式。



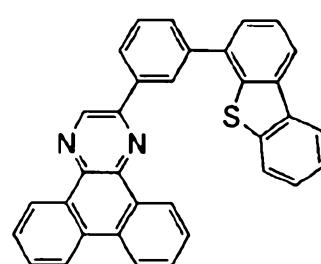
DBT3P-II



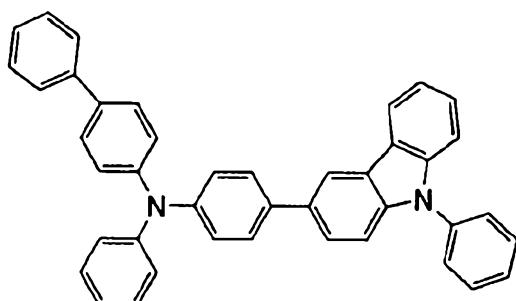
BPAFLP



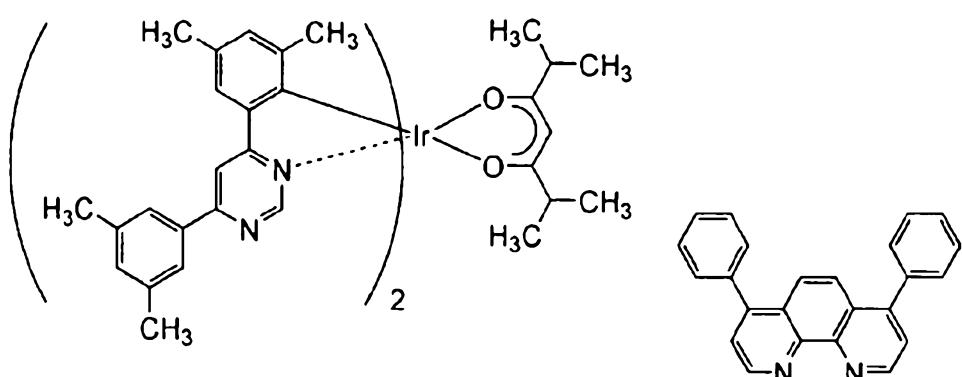
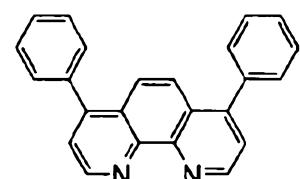
PCzPCN1



2mDBTPDBq-II



PCBA1BP

[Ir(dmdppm)₂(dibm)]

BPhen

以下，示出本實施例的發光元件 1、比較發光元件 2、比較發光元件 3 以及比較發光元件 4 的製造方法。

(發光元件 1)

首先，在基板 1100 上藉由濺射法形成包含矽或氧化矽的氧化銦-氧化錫化合物 (ITO-SiO₂，以下簡稱為 ITSO) 膜，由此形成第一電極 1101。另外，所使用的靶材的成分比為 In₂O₃:SnO₂:SiO₂=85:10:5 [wt.%]。另外，將第一電極 1101 的厚度設定為 110nm，且將其電極面積設定為 2mm×2mm。在此，第一電極 1101 是用作發光元件的陽極的電極。

接著，作為用來在基板 1100 上形成發光元件的預處理，在用水洗滌基板 1100 表面並在 200°C 下進行焙燒 1 小時之後，對該基板 1100 進行 UV 臭氧處理 370 秒。

然後，將基板放進到真空蒸鍍裝置中，其內部被減壓到 10⁻⁴Pa 左右。在真空蒸鍍裝置內的加熱室中，在 170°C 下進行 30 分鐘的真空焙燒，然後使基板 1100 冷卻 30 分鐘左右。

接著，以使形成有第一電極 1101 的面朝下的方式將形成有第一電極 1101 的基板 1100 固定在設置在真空蒸鍍裝置內的基板支架上，並將壓力降低到 10⁻⁴Pa 左右，然後在第一電極 1101 上藉由使用電阻加熱的蒸鍍法共蒸鍍 4,4',4"- (苯-1,3,5-三基) 三(二苯並噁吩) (簡稱：

DBT3P-II) 和氧化鋁，從而形成電洞注入層 1111。將電洞注入層 1111 的厚度設定為 40nm，將 DBT3P-II (簡稱) 與氧化鋁的重量比調節為 4:2 (=DBT3P-II:氧化鋁)。另外，共蒸鍍法是指在一個處理室中從多個蒸發源同時進行蒸鍍的蒸鍍法。

接著，在電洞注入層 1111 上共蒸鍍 4-苯基-4'-(9-苯基茀-9-基)三苯胺 (簡稱：BPAFLP) 與 3-[N-(1-萘基)-N-(9-苯基咔唑-3-基)氨基]-9-苯基咔唑 (簡稱：PCzPCN1)，來形成電洞傳輸層 1112。將電洞傳輸層 1112 的厚度設定為 20nm，將 BPAFLP (簡稱) 與 PCzPCN1 (簡稱) 的重量比調節為 0.5:0.5 (=BPAFLP:PCzPCN1)。

接著，在電洞傳輸層 1112 上共蒸鍍 2-[3-(二苯並噁吩-4-基)苯基]二苯並[f,h]喹喔啉 (簡稱：2mDBTPDBq-II)、PCzPCN1 (簡稱) 和雙{2-[6-(3,5-二甲基苯基)-4-嘧啶基-κN3]-4,6-二甲基苯基-κC} (2,6-二甲基-3,5-庚二酮-κ²O,O') 銻 (III) (簡稱：[Ir(dmdppm)₂(dibm)])，來形成第一發光層 1113a。在此，將 2mDBTPDBq-II (簡稱)、PCzPCN1 (簡稱) 和 [Ir(dmdppm)₂(dibm)] (簡稱) 的重量比調節為 0.7:0.3:0.06 (=2mDBTPDBq-II:PCzPCN1:[Ir(dmdppm)₂(dibm)])。此外，將第一發光層 1113a 的厚度設定為 20nm。

此外，在第一發光層 1113a 中，2mDBTPDBq-II (簡稱) 是第一有機化合物 (主體材料)，PCzPCN1 (簡稱)

是第二有機化合物（輔助材料），並且 $[\text{Ir}(\text{dmddppm})_2(\text{dibm})]$ （簡稱）是第三有機化合物（客體材料）。

接著，在第一發光層 1113a 上共蒸鍍 2mDBTPDBq-II（簡稱）、PCzPCN1（簡稱）和 $[\text{Ir}(\text{dmddppm})_2(\text{dibm})]$ （簡稱），來形成第二發光層 1113b。在此，將 2mDBTPDBq-II（簡稱）、PCzPCN1（簡稱）和 $[\text{Ir}(\text{dmddppm})_2(\text{dibm})]$ （簡稱）的重量比調節為 0.8:0.2:0.05 (=2mDBTPDBq-II:PCzPCN1:[Ir(dmddppm)_2(dibm)])。此外，將第二發光層 1113b 的厚度設定為 20nm。

此外，在第二發光層 1113b 中，2mDBTPDBq-II（簡稱）是第一有機化合物（主體材料），PCzPCN1（簡稱）是第二有機化合物（輔助材料），並且 $[\text{Ir}(\text{dmddppm})_2(\text{dibm})]$ （簡稱）是第三有機化合物（客體材料）。

接著，在第二發光層 1113b 上形成厚度為 10nm 的 2mDBTPDBq-II（簡稱），來形成第一電子傳輸層 1114a。

接著，在第一電子傳輸層 1114a 上形成厚度為 20nm 的紅啡啉（簡稱：BPhen），來形成第二電子傳輸層 1114b。

接著，在第二電子傳輸層 1114b 上蒸鍍 1nm 的氟化鋰（LiF），來形成電子注入層 1115。

最後，作為用作陰極的第二電極 1103 藉由以 200nm

的厚度蒸鍍鋁（Al）來製造本實施例的發光元件1。

此外，作為上述蒸鍍過程中的蒸鍍，都採用電阻加熱法。

（比較發光元件2）

比較發光元件2的電洞傳輸層1112、第一發光層1113a以及第二發光層1113b的結構與發光元件1不同，而比較發光元件2的其他結構與發光元件1相同。以下，只記載不同結構。

藉由在電洞注入層1111上蒸鍍BPAFLP（簡稱）形成電洞傳輸層1112。將電洞傳輸層1112的厚度設定為20nm。

在電洞傳輸層1112上共蒸鍍2mDBTPDBq-II（簡稱）、4-苯基-4'-(9-苯基-9H-咔唑-3-基)三苯基胺（簡稱：PCBA1BP）和[Ir(dmdppm)₂(dibm)]（簡稱），來形成第一發光層1113a。在此，將2mDBTPDBq-II（簡稱）、PCBA1BP（簡稱）和[Ir(dmdppm)₂(dibm)]（簡稱）的重量比調節為0.7:0.3:0.06（=2mDBTPDBq-II:PCBA1BP:[Ir(dmdppm)₂(dibm)])。此外，將第一發光層1113a的厚度設定為20nm。

此外，在第一發光層1113a中，2mDBTPDBq-II（簡稱）是第一有機化合物（主體材料），PCBA1BP（簡稱）是第二有機化合物（輔助材料），並且[Ir(dmdppm)₂(dibm)]（簡稱）是第三有機化合物（客體材

料)。

接著，在第一發光層 1113a 上共蒸鍍 2mDBTPDBq-II (簡稱)、PCBA1BP (簡稱) 和 $[Ir(dmddppm)_2(dibm)]$ (簡稱)，來形成第二發光層 1113b。在此，將 2mDBTPDBq-II (簡稱)、PCBA1BP (簡稱) 和 $[Ir(dmddppm)_2(dibm)]$ (簡稱) 的重量比調節為 0.8:0.2:0.05 (=2mDBTPDBq-II:PCBA1BP:[Ir(dmddppm)_2(dibm)])。此外，將第二發光層 1113b 的厚度設定為 20nm。

此外，在第二發光層 1113b 中，2mDBTPDBq-II (簡稱) 是第一有機化合物 (主體材料)，PCBA1BP (簡稱) 是第二有機化合物 (輔助材料)，並且 $[Ir(dmddppm)_2(dibm)]$ (簡稱) 是第三有機化合物 (客體材料)。

(比較發光元件 3)

比較發光元件 3 的電洞傳輸層 1112 的結構與發光元件 1 不同，而比較發光元件 3 的其他結構與發光元件 1 相同。以下只記載不同結構。

藉由在電洞注入層 1111 上蒸鍍 BPAFLP (簡稱) 形成電洞傳輸層 1112。將電洞傳輸層 1112 的厚度設定為 20nm。

(比較發光元件 4)

比較發光元件 4 的電洞傳輸層 1112 的結構與發光元

件 1 不同，而比較發光元件 4 的其他結構與發光元件 1 相同。以下只記載不同結構。

藉由在電洞注入層 1111 上蒸鍍 PCzPCN1 (簡稱) 形成電洞傳輸層 1112。將電洞傳輸層 1112 的厚度設定為 20nm。

表 1 示出藉由上述步驟得到的發光元件 1、比較發光元件 2、比較發光元件 3 以及比較發光元件 4 的元件結構。

[表 1]

| | 第一電極 | 電洞注入層 | 電洞傳輸層 | 第一發光層 | 第二發光層 | 第一電子傳輸層 | 第二電子傳輸層 | 電子注入層 | 第二電極 |
|-------------|--------------|---|--|-------|-------|----------------------|---------------|------------|-------------|
| 發光元件1 | ITO 110nm | DBT3P-II : MoO _x (=4.2) 40nm | BPAFLP : PCzPCN1 (0.5 : 0.5) 20nm | 見下表 | 見下表 | 2mDBTPDBq-II 10nm | BPhen 20nm | LiF 1nm | Al 200nm |
| 比較 發光元件2 | ITO 110nm | DBT3P-II:MoO _x (=4.2) 40nm | BPAFLP 20nm | 見下表 | 見下表 | 2mDBTPDBq-II 10nm | BPhen 20nm | LiF 1nm | Al 200nm |
| 比較 發光元件3 | ITO 110nm | DBT3P-II:MoO _x (=4.2) 40nm | BPAFLP 20nm | 見下表 | 見下表 | 2mDBTPDBq-II 10nm | BPhen 20nm | LiF 1nm | Al 200nm |
| 比較 發光元件4 | ITO 110nm | DBT3P-II:MoO _x (=4.2) 40nm | PCzPCN1 20nm | 見下表 | 見下表 | 2mDBTPDBq-II 10nm | BPhen 20nm | LiF 1nm | Al 200nm |

| | 第一發光層 | 第二發光層 |
|-------------|--|--|
| 發光元件1 | 2mDBTPDBq-II : PCzPCN1 : Ir(dmdppm) ₂ (dibm) (=0.7 : 0.3 : 0.06) 20nm | 2mDBTPDBq-II : PCzPCN1 : Ir(dmdppm) ₂ (dibm) (=0.8 : 0.2 : 0.05) 20nm |
| 比較 發光元件2 | 2mDBTPDBq-II : PCBA1BP : Ir(dmdppm) ₂ (dibm) (=0.7 : 0.3 : 0.06) 20nm | 2mDBTPDBq-II : PCBA1BP : Ir(dmdppm) ₂ (dibm) (=0.8 : 0.2 : 0.05) 20nm |
| 比較 發光元件3 | 2mDBTPDBq-II : PCzPCN1 : Ir(dmdppm) ₂ (dibm) (=0.7 : 0.3 : 0.06) 20nm | 2mDBTPDBq-II : PCzPCN1 : Ir(dmdppm) ₂ (dibm) (=0.8 : 0.2 : 0.05) 20nm |
| 比較 發光元件4 | 2mDBTPDBq-II : PCzPCN1 : Ir(dmdppm) ₂ (dibm) (=0.7 : 0.3 : 0.06) 20nm | 2mDBTPDBq-II : PCzPCN1 : Ir(dmdppm) ₂ (dibm) (=0.8 : 0.2 : 0.05) 20nm |

在氮氣氛圍的手套箱中，以不使各發光元件暴露於大氣的方式進行使用玻璃基板密封發光元件 1、比較發光元件 2、比較發光元件 3 以及比較發光元件 4 的工作（在元件的周圍塗敷密封材料，當密封時以 80°C 進行 1 小時的熱處理）。然後，對這些發光元件的工作特性進行測量。另外，在室溫（保持為 25°C 的氛圍）下進行測量。

圖 14 示出發光元件 1、比較發光元件 2、比較發光元件 3 以及比較發光元件 4 的電流密度-亮度特性。在圖 14 中，橫軸表示電流密度 (mA/cm^2)，縱軸表示亮度 (cd/m^2)。此外，圖 15 示出發光元件 1、比較發光元件 2、比較發光元件 3 以及比較發光元件 4 的電壓-亮度特性。在圖 15 中，橫軸表示電壓 (V)，縱軸表示亮度 (cd/m^2)。此外，圖 16 示出發光元件 1、比較發光元件 2、比較發光元件 3 以及比較發光元件 4 的亮度-電流效率特性。在圖 16 中，橫軸表示亮度 (cd/m^2)，縱軸表示電流效率 (cd/A)。此外，圖 17 示出發光元件 1、比較發光元件 2、比較發光元件 3 以及比較發光元件 4 的電壓-電流特性。在圖 17 中，橫軸表示電壓 (V)，縱軸表示電流 (mA)。另外，圖 18 示出發光元件 1、比較發光元件 2、比較發光元件 3 以及比較發光元件 4 的發射光譜。在圖 18 中，橫軸表示波長 (nm)，縱軸表示發光強度（任意單位）。此外，在圖 18 中，各發光元件的資料大致重疊。

此外，表 2 表示亮度為 $1000\text{cd}/\text{m}^2$ 附近時的各個發光

元件中的電壓 (V) 、電流密度 (mA/cm^2) 、CIE 色度座標 (x , y) 、電流效率 (cd/A) 、外部量子效率 (%) 。

[表 2]

| | 電壓(V) | 電流密度 (mA/cm^2) | CIE色度座標 | | 亮度 (cd/m^2) | 電流效率 (cd/A) | 外部量子效率 (%) |
|---------|-------|-------------------------------------|---------|------|----------------------------------|----------------------------------|---------------|
| | | | x | y | | | |
| 發光元件1 | 2.6 | 2.0 | 0.63 | 0.38 | 1036 | 53 | 28 |
| 比較發光元件2 | 3.0 | 2.2 | 0.63 | 0.37 | 1162 | 53 | 29 |
| 比較發光元件3 | 2.9 | 1.6 | 0.63 | 0.37 | 841 | 53 | 29 |
| 比較發光元件4 | 2.6 | 2.6 | 0.63 | 0.37 | 1217 | 47 | 26 |

如表 2 所示那樣，亮度為 $1036\text{cd}/\text{m}^2$ 時的發光元件 1 的 CIE 色度座標 (x , y) = (0.63, 0.38)。此外，亮度為 $1162\text{cd}/\text{m}^2$ 時的比較發光元件 2 的 CIE 色度座標 (x , y) = (0.63, 0.37)。此外，亮度為 $841\text{cd}/\text{m}^2$ 時的比較發光元件 3 的 CIE 色度座標 (x , y) = (0.63, 0.37)。此外，亮度為 $1217\text{cd}/\text{m}^2$ 時的比較發光元件 4 的 CIE 色度座標 (x , y) = (0.63, 0.37)。

此外，亮度為 $1036\text{cd}/\text{m}^2$ 時的發光元件 1 的電壓為 2.6V ，且電流效率為 $53\text{cd}/\text{A}$ 。此外，亮度為 $1162\text{cd}/\text{m}^2$ 時的比較發光元件 2 的電壓為 3.0V ，且電流效率為 $53\text{cd}/\text{A}$ 。此外，亮度為 $841\text{cd}/\text{m}^2$ 時的比較發光元件 3 的電壓為 2.9V ，且電流效率為 $53\text{cd}/\text{A}$ 。此外，亮度為 $1217\text{cd}/\text{m}^2$ 時的比較發光元件 4 的電壓為 2.6V ，且電流效

率為 47cd/A 。

因此，確認到可以使本發明的一個方式的發光元件 1 的電壓比比較發光元件 2 及比較發光元件 3 低 0.3V 至 0.4V ，並且可以使發光元件 1 的電流效率與比較發光元件 2 及比較發光元件 3 同等。此外，確認到可以使本發明的一個方式的發光元件 1 的電壓降低到與比較發光元件 4 相同的程度，並且可以使發光元件 1 的電流效率比比較發光元件 4 高 6cd/A 。

該結果可以如下面說明。首先，在本實施例中使用的 PCzPCN1（簡稱）、PCBA1BP（簡稱）以及 BPAFLP（簡稱）的各薄膜中的 HOMO 能階分別為 -5.15eV 、 -5.42eV 以及 -5.63eV 。此外，將在大氣中用光電子分光光度計（日本理研計器株式會社製造，AC-2）測量的電離電勢值轉化為負值，獲得 HOMO 能階值。以下的實施例也是同樣的。

因為用於比較發光元件 2 的發光層的第二有機化合物（PCBA1BP）的 HOMO 能階比用於發光元件 1 的第二有機化合物（PCzPCN1）的 HOMO 能階低，因此形成在與第一有機化合物（2mDBTPDBq-II）之間的激態複合物的波長也向短波長漂移。其結果是，比較發光元件 2 的驅動開始電壓向高電壓一側漂移。另一方面，比較發光元件 3 以及比較發光元件 4 的發光層的結構與發光元件 1 的發光層的結構相同，因此驅動開始電壓幾乎相同。

但是可知：在比較發光元件 3 中，電洞傳輸層只由其

HOMO 能階比第二有機化合物 (PCzPCN1) 相當低的 BPAFLP 構成，因此從電洞傳輸層到發光層的電洞轉移不順利，而高亮度（實用亮度）區域中的電壓-電流特性降低。其結果是， $1000\text{cd}/\text{m}^2$ 附近的驅動電壓與比較發光元件 2 同樣地向高電壓一側漂移。

關於比較發光元件 4，將與發光層的第二有機化合物 (PCzPCN1) 相同的物質用於電洞傳輸層，因此電壓-電流特性與發光元件 1 大致相同。但是可知：因為電洞傳輸層只由 PCzPCN1 構成，所以發光層的三重激發態能擴散到電洞傳輸層，而外部量子效率（發光效率）及電流效率降低。

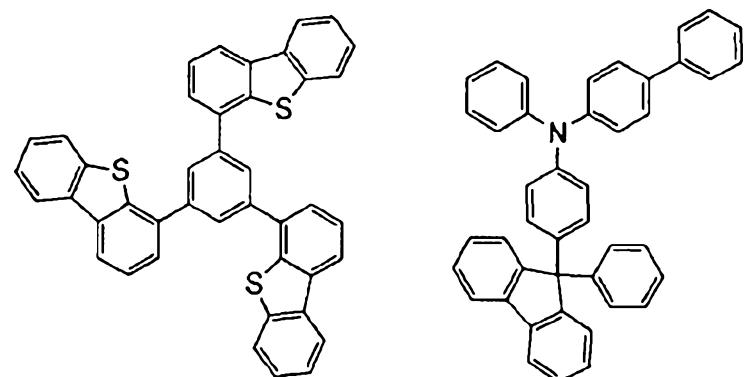
如此，本發明的一個方式的發光元件 1 維持與比較發光元件 2 至比較發光元件 4 相比低的電壓並具有與比較發光元件 2 至比較發光元件 4 相比高的電流效率。

如上所述，本發明的一個方式的發光元件具有用於發光層（第一發光層 1113a 及第二發光層 1113b）的具有電洞傳輸性的第二有機化合物包括在電洞傳輸層 1112 的元件結構。藉由採用這種結構，可以由電洞傳輸層所具有的第二有機化合物降低發光元件的電壓（驅動開始電壓和實用亮度區域中的驅動電壓的兩者）。此外，與只使用第二有機化合物形成的電洞傳輸層相比，本發明的一個方式的發光元件具有第二有機化合物以外的材料，因此可以由第二有機化合物以外的材料抑制從發光層的三重激發態能的擴散，而可以實現發光效率高的良好的發光元件。

此外，雖然用於本實施例（發光元件 1）的發光層的第一有機化合物（ $2m$ DBTPDBq-II）的薄膜的 PL 峰值波長為 426nm ，第二有機化合物（PCzPCN1）的 PL 峰值波長為 479nm ，但是它們的混合膜的 PL 峰值波長為 571nm ，而可知其向長波長一側漂移。因此，這些兩種有機化合物是形成激態複合物的組合。

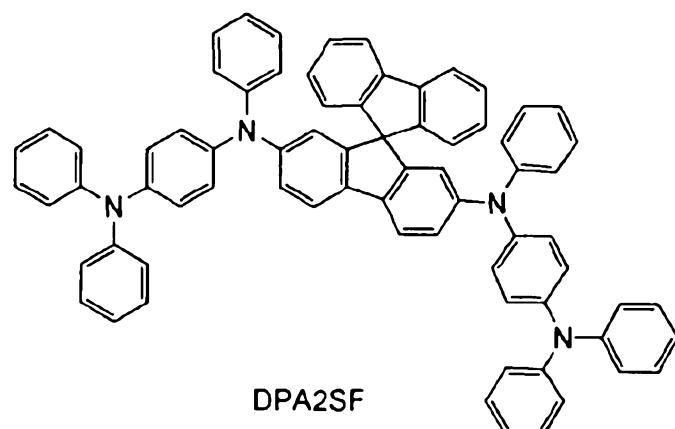
實施例 2

在本實施例中，使用圖 13 說明本發明的一個方式的發光元件（發光元件 5）以及比較用發光元件（比較發光元件 6、比較發光元件 7、）。此外，以下示出在本實施例中使用的材料的化學式。

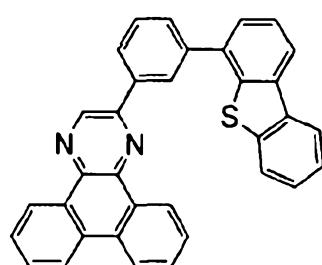


DBT3P-II

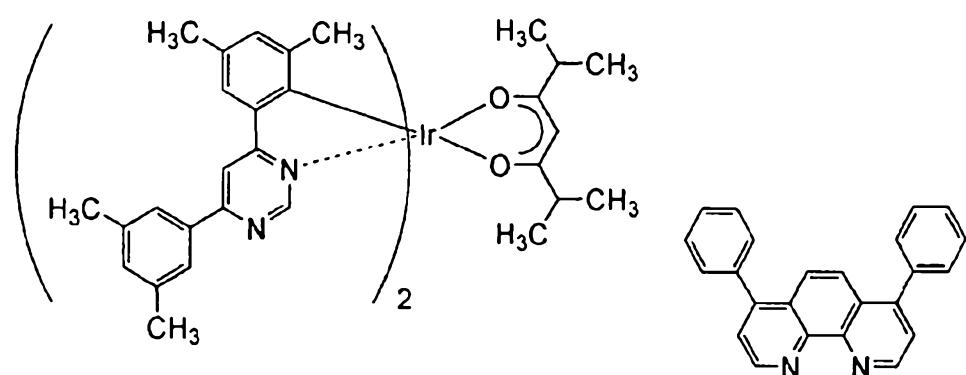
BPAFLP



DPA2SF



2mDBTPDBq-II

[Ir(dmdppm)₂(dibm)]

BPhen

以下，示出本實施例的發光元件 5、比較發光元件 6 以及比較發光元件 7 的製造方法。

(發光元件 5)

首先，在基板 1100 上藉由濺射法形成包含矽或氧化矽的氧化銻-氧化錫化合物 (ITSO) 膜，由此形成第一電極 1101。另外，所使用的靶材的成分比為 $\text{In}_2\text{O}_3:\text{SnO}_2:\text{SiO}_2=85:10:5[\text{wt.}\%]$ 。另外，將第一電極 1101 的厚度設定為 110nm，且將其電極面積設定為 $2\text{mm} \times 2\text{mm}$ 。在此，第一電極 1101 是用作發光元件的陽極的電極。

接著，作為用來在基板 1100 上形成發光元件的預處理，在用水洗滌基板 1100 表面並在 200°C 下進行焙燒 1 小時之後，對該基板 1100 進行 UV 臭氧處理 370 秒。

然後，將基板 1100 放進到真空蒸鍍裝置中，其內部被減壓到 10^{-4}Pa 左右。在真空蒸鍍裝置內的加熱室中，在 170°C 下進行 30 分鐘的真空焙燒，然後使基板 1100 冷卻 30 分鐘左右。

接著，以使形成有第一電極 1101 的面朝下的方式將形成有第一電極 1101 的基板 1100 固定在設置在真空蒸鍍裝置內的基板支架上，並將壓力降低到 10^{-4}Pa 左右，然後在第一電極 1101 上藉由使用電阻加熱的蒸鍍法共蒸鍍 DBT3P-II (簡稱) 和氧化鋁，從而形成電洞注入層

1111。將電洞注入層 1111 的厚度設定為 40nm，將 DBT3P-II（簡稱）與氧化鉬的重量比調節為 4:2 (=DBT3P-II:氧化鉬)。

接著，在電洞注入層 1111 上共蒸鍍 BPAFLP（簡稱）與 2,7-雙[4-N-(二苯基氨基苯基)-N-苯基氨基]-螺環-9,9'-聯茀（簡稱：DPA2SF），來形成電洞傳輸層 1112。將電洞傳輸層 1112 的厚度設定為 20nm，將 BPAFLP（簡稱）與 DPA2SF（簡稱）的重量比調節為 0.5:0.5 (=BPAFLP:DPA2SF)。

接著，在電洞傳輸層 1112 上共蒸鍍 2mDBTPDBq-II（簡稱）、DPA2SF（簡稱）和 [Ir(dm₂ppm)₂(dibm)]（簡稱），來形成第一發光層 1113a。在此，將 2mDBTPDBq-II（簡稱）、DPA2SF（簡稱）和 [Ir(dm₂ppm)₂(dibm)]（簡稱）的重量比調節為 0.7:0.3:0.06 (=2mDBTPDBq-II:DPA2SF:[Ir(dm₂ppm)₂(dibm)])。此外，將第一發光層 1113a 的厚度設定為 20nm。

此外，在第一發光層 1113a 中，2mDBTPDBq-II（簡稱）是第一有機化合物（主體材料），DPA2SF（簡稱）是第二有機化合物（輔助材料），並且 [Ir(dm₂ppm)₂(dibm)]（簡稱）是第三有機化合物（客體材料）。

接著，在第一發光層 1113a 上共蒸鍍 2mDBTPDBq-II（簡稱）、DPA2SF（簡稱）和 [Ir(dm₂ppm)₂(dibm)]（簡稱），來形成第二發光層 1113b。在此，將 2mDBTPDBq-

II (簡稱) 、DPA2SF (簡稱) 和 $[\text{Ir}(\text{dmddpm})_2(\text{dibm})]$ (簡稱) 的重量比調節為 0.8:0.2:0.05 ($=2\text{mDBTPDBq-II:DPA2SF:[Ir(dmddpm)_2(dibm)]}$)。此外，將第二發光層 1113b 的厚度設定為 20nm。

此外，在第二發光層 1113b 中， 2mDBTPDBq-II (簡稱) 是第一有機化合物 (主體材料)，DPA2SF (簡稱) 是第二有機化合物 (輔助材料)，並且 $[\text{Ir}(\text{dmddpm})_2(\text{dibm})]$ (簡稱) 是第三有機化合物 (客體材料)。

接著，在第二發光層 1113b 上形成厚度為 10nm 的 2mDBTPDBq-II (簡稱)，來形成第一電子傳輸層 1114a。

接著，在第一電子傳輸層 1114a 上形成厚度為 20nm 的 BPhen (簡稱)，來形成第二電子傳輸層 1114b。

接著，在第二電子傳輸層 1114b 上蒸鍍 1nm 的氟化鋰 (LiF)，來形成電子注入層 1115。

最後，作為用作陰極的第二電極 1103 藉由以 200nm 的厚度蒸鍍鋁 (Al) 來製造本實施例的發光元件 5。

此外，作為上述蒸鍍過程中的蒸鍍，都採用電阻加熱法。

(比較發光元件 6)

比較發光元件 6 的電洞傳輸層 1112 的結構與發光元件 5 不同，而比較發光元件 6 的其他結構與發光元件 5 相

同。以下，只記載不同結構。

藉由在電洞注入層 1111 上蒸鍍 BPAFLP (簡稱) 形成電洞傳輸層 1112。將電洞傳輸層 1112 的厚度設定為 20 nm。

(比較發光元件 7)

比較發光元件 7 的電洞傳輸層 1112 的結構與發光元件 5 不同，而比較發光元件 7 的其他結構與發光元件 5 相同。以下只記載不同結構。

藉由在電洞注入層 1111 上蒸鍍 DPA2SF (簡稱) 形成電洞傳輸層 1112。將電洞傳輸層 1112 的厚度設定為 20 nm。

表 3 示出藉由上述步驟得到的發光元件 5、比較發光元件 6 以及比較發光元件 7 的元件結構。

[表 3]

| | 第一電極 | 電洞注入層 | 電洞傳輸層 | 第一發光層 | 第二發光層 | 第一電子傳輸層 | 第二電子傳輸層 | 電子注入層 | 第二電極 |
|-------------|--------------|---|---|-------|-------|----------------------|---------------|------------|-------------|
| 發光元件5 | ITO 110nm | DBT3P-II : MoO _x (=4:2) 40nm | BPAFLP : DPA2SF (0.5 : 0.5) 20nm | 見下表 | 見下表 | 2mDBTPDBq-II 10nm | BPhen 20nm | LiF 1nm | Al 200nm |
| 比較 發光元件6 | ITO 110nm | DBT3P-II : MoO _x (=4:2) 40nm | BPAFLP 20nm | 見下表 | 見下表 | 2mDBTPDBq-II 10nm | BPhen 20nm | LiF 1nm | Al 200nm |
| 比較 發光元件7 | ITO 110nm | DBT3P-II : MoO _x (=4:2) 40nm | DPA2SF 20nm | 見下表 | 見下表 | 2mDBTPDBq-II 10nm | BPhen 20nm | LiF 1nm | Al 200nm |

| | 第一發光層 | 第二發光層 |
|-------------|---|---|
| 發光元件5 | 2mDBTPDBq-II : DPA2SF : Ir(dmdppm) ₂ (dibm) (=0.7 : 0.3 : 0.06) 20nm | 2mDBTPDBq-II : DPA2SF : Ir(dmdppm) ₂ (dibm) (=0.8 : 0.2 : 0.05) 20nm |
| 比較 發光元件6 | 2mDBTPDBq-II : DPA2SF : Ir(dmdppm) ₂ (dibm) (=0.7 : 0.3 : 0.06) 20nm | 2mDBTPDBq-II : DPA2SF : Ir(dmdppm) ₂ (dibm) (=0.8 : 0.2 : 0.05) 20nm |
| 比較 發光元件7 | 2mDBTPDBq-II : DPA2SF : Ir(dmdppm) ₂ (dibm) (=0.7 : 0.3 : 0.06) 20nm | 2mDBTPDBq-II : DPA2SF : Ir(dmdppm) ₂ (dibm) (=0.8 : 0.2 : 0.05) 20nm |

在氮氣氛圍的手套箱中，以不使各發光元件暴露於大氣的方式進行使用玻璃基板密封發光元件 5、比較發光元件 6 以及比較發光元件 7 的工作（在元件的周圍塗敷密封材料，當密封時以 80°C 進行 1 小時的熱處理）。然後，對這些發光元件的工作特性進行測量。另外，在室溫（保持為 25°C 的氛圍）下進行測量。

圖 19 示出發光元件 5、比較發光元件 6 以及比較發光元件 7 的電流密度-亮度特性。在圖 19 中，橫軸表示電流密度 (mA/cm²)，縱軸表示亮度 (cd/m²)。此外，圖 20 示出發光元件 5、比較發光元件 6 以及比較發光元件 7 的電壓-亮度特性。在圖 20 中，橫軸表示電壓 (V)，縱軸表示亮度 (cd/m²)。此外，圖 21 示出發光元件 5、比

較發光元件 6 以及比較發光元件 7 的亮度-電流效率特性。在圖 21 中，橫軸表示亮度 (cd/m^2)，縱軸表示電流效率 (cd/A)。此外，圖 22 示出發光元件 5、比較發光元件 6 以及比較發光元件 7 的電壓-電流特性。在圖 22 中，橫軸表示電壓 (V)，縱軸表示電流 (mA)。另外，圖 23 示出發光元件 5、比較發光元件 6 以及比較發光元件 7 的發射光譜。在圖 23 中，橫軸表示波長 (nm)，縱軸表示發光強度 (任意單位)。此外，在圖 23 中，各發光元件的資料大致重疊。

此外，表 4 表示亮度為 $1000\text{cd}/\text{m}^2$ 附近時的各個發光元件中的電壓 (V)、電流密度 (mA/cm^2)、CIE 色度座標 (x, y)、電流效率 (cd/A)、外部量子效率 (%)。

[表 4]

| | 電壓(V) | 電流密度 (mA/cm^2) | CIE色度座標 | | 亮度 (cd/m^2) | 電流效率 (cd/A) | 外部量子效率 (%) |
|---------|-------|-------------------------------------|---------|------|----------------------------------|----------------------------------|---------------|
| | | | x | y | | | |
| 發光元件5 | 2.7 | 2.0 | 0.62 | 0.38 | 1025 | 50 | 26 |
| 比較發光元件6 | 2.9 | 1.7 | 0.62 | 0.38 | 875 | 53 | 28 |
| 比較發光元件7 | 2.5 | 1.7 | 0.62 | 0.38 | 739 | 44 | 24 |

如表 4 所示那樣，亮度為 $1025\text{cd}/\text{m}^2$ 時的發光元件 5 的 CIE 色度座標 (x, y) = (0.62, 0.38)。此外，亮度為 $875\text{cd}/\text{m}^2$ 時的比較發光元件 6 的 CIE 色度座標 (x, y) = (0.62, 0.38)。此外，亮度為 $739\text{cd}/\text{m}^2$ 時的比較發

光元件 7 的 CIE 色度座標 (x, y) = (0.62, 0.38)。

此外，亮度為 $1025\text{cd}/\text{m}^2$ 時的發光元件 5 的電壓為 2.7V ，且電流效率為 $50\text{cd}/\text{A}$ 。此外，亮度為 $875\text{cd}/\text{m}^2$ 時的比較發光元件 6 的電壓為 2.9V ，且電流效率為 $53\text{cd}/\text{A}$ 。此外，亮度為 $739\text{cd}/\text{m}^2$ 時的比較發光元件 7 的電壓為 2.5V ，且電流效率為 $44\text{cd}/\text{A}$ 。

因此，確認到可以使本發明的一個方式的發光元件 5 的電壓比比較發光元件 6 低 0.2V ，並且可以使發光元件 5 的電流效率與比較發光元件 6 及同等。此外，確認到可以使本發明的一個方式的發光元件 5 的電壓降低到與比較發光元件 7 相同的程度，並且可以使發光元件 5 的電流效率比比較發光元件 7 高 $6\text{cd}/\text{A}$ 。

該結果可以如下面說明。首先，在本實施例中使用的 DPA2SF (簡稱) 以及 BPAFLP (簡稱) 的各薄膜中的 HOMO 能階分別為 -5.09eV 以及 -5.63eV 。

另一方面，比較發光元件 6 以及比較發光元件 7 的發光層的結構與發光元件 5 的發光層的結構相同，因此驅動開始電壓幾乎相同。但是可知：在比較發光元件 6 中，電子傳輸層只由其 HOMO 能階比第二有機化合物 (DPA2SF) 相當低的 BPAFLP 構成，因此從電子傳輸層到發光層的電子轉移不順利，而高亮度 (實用亮度) 區域中的電壓-電流特性降低。其結果是， $1000\text{cd}/\text{m}^2$ 附近的驅動電壓向高電壓一側漂移。

另一方面，關於比較發光元件 7，將與發光層的第二

有機化合物（DPA2SF）相同的物質用於電洞傳輸層，因此電壓-電流特性與發光元件 5 大致相同。但是可知：因為電洞傳輸層只由 DPA2SF 構成，所以發光層的三重激發態能擴散到電洞傳輸層，而外部量子效率（發光效率）及電流效率降低。其結果是，發光元件 5 的功率效率最高。

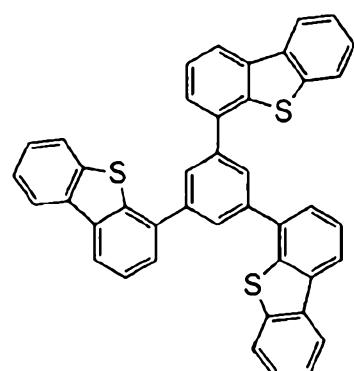
如此，本發明的一個方式的發光元件 5 維持與比較發光元件 6 和比較發光元件 7 相比的低電壓並具有比較發光元件 6 和比較發光元件 7 高的電流效率。

如上所述，本發明的一個方式的發光元件具有用於發光層（第一發光層 1113a 及第二發光層 1113b）的具有電洞傳輸性的第二有機化合物包括在電洞傳輸層 1112 的元件結構。藉由採用這種結構，可以由電洞傳輸層所具有的第二有機化合物降低發光元件的電壓（驅動開始電壓和實用亮度區域中的驅動電壓的兩者）。此外，與只使用第二有機化合物形成的電洞傳輸層相比，本發明的一個方式的發光元件具有第二有機化合物以外的材料，因此可以由第二有機化合物以外的材料抑制從發光層的三重激發態能的擴散，而可以實現發光效率高的良好的發光元件。

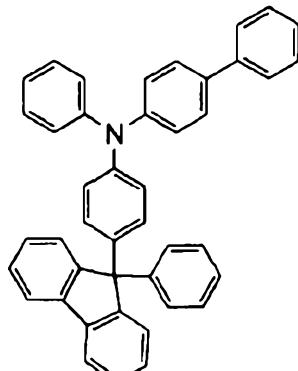
此外，雖然用於本實施例（發光元件 5）的發光層的第一有機化合物（2mDBTPDBq-II）的薄膜的 PL 峰值波長為 426nm，第二有機化合物（DPA2SF）的 PL 峰值波長為 433nm，但是它們的混合膜的 PL 峰值波長為 579nm，而可知其向長波長一側漂移。因此，這些兩種有機化合物是形成激態複合物的組合。

實施例 3

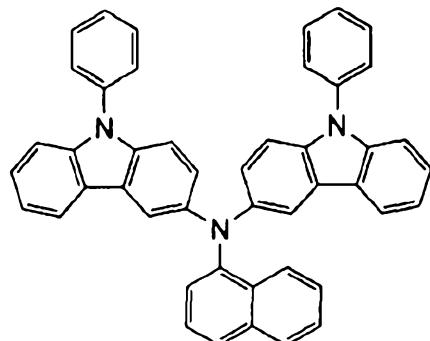
在本實施例中，使用圖 13 說明本發明的一個方式的發光元件（發光元件 8）以及比較用發光元件（比較發光元件 9、比較發光元件 10）。此外，以下示出在本實施例中使用的材料的化學式。



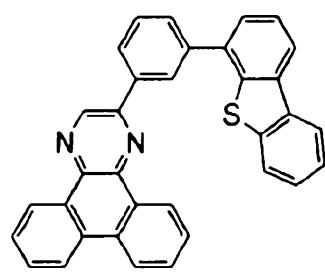
DBT3P-II



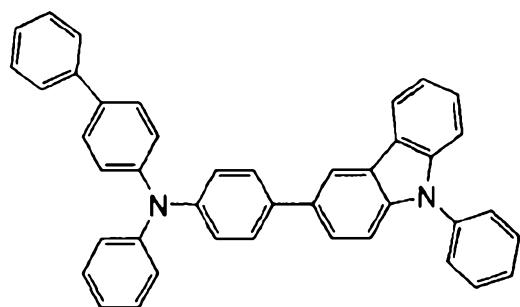
BPAFLP



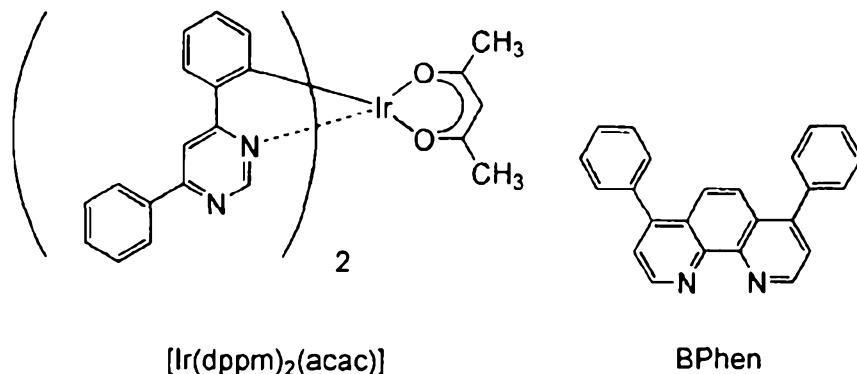
PCzPCN1



2mDBTPDBq-II



PCBA1BP



以下，示出本實施例的發光元件 8、比較發光元件 9 以及比較發光元件 10 的製造方法。

(發光元件 8)

首先，在基板 1100 上藉由濺射法形成包含矽或氧化矽的氧化銦-氧化錫化合物 (ITSO) 膜，由此形成第一電極 1101。另外，所使用的靶材的成分比為 $In_2O_3:SnO_2:SiO_2=85:10:5$ [wt.%]。另外，將第一電極 1101 的厚度設定為 110nm，且將其電極面積設定為 $2\text{mm} \times 2\text{mm}$ 。在此，第一電極 1101 是用作發光元件的陽極的電極。

接著，作為用來在基板 1100 上形成發光元件的預處理，在用水洗滌基板 1100 表面並在 200°C 下進行焙燒 1 小時之後，對該基板 1100 進行 UV 臭氧處理 370 秒。

然後，將基板放進到真空蒸鍍裝置中，其內部被減壓到 10^{-4}Pa 左右。在真空蒸鍍裝置內的加熱室中，在 170°C 下進行 30 分鐘的真空焙燒，然後使基板 1100 冷卻 30 分鐘左右。

接著，以使形成有第一電極 1101 的面朝下的方式將

形成有第一電極 1101 的基板 1100 固定在設置在真空蒸鍍裝置內的基板支架上，並將壓力降低到 10^{-4} Pa 左右，然後在第一電極 1101 上藉由使用電阻加熱的蒸鍍法共蒸鍍 DBT3P-II (簡稱) 和氧化鋁，從而形成電洞注入層 1111。將電洞注入層 1111 的厚度設定為 40nm，將 DBT3P-II (簡稱) 與氧化鋁的重量比調節為 4:2 (=DBT3P-II:氧化鋁)。

接著，在電洞注入層 1111 上共蒸鍍 BPAFLP (簡稱) 與 PCzPCN1 (簡稱)，來形成電洞傳輸層 1112。將電洞傳輸層 1112 的厚度設定為 20nm，將 BPAFLP (簡稱) 與 PCzPCN1 (簡稱) 的重量比調節為 0.5:0.5 (=BPAFLP:PCzPCN1)。

接著，在電洞傳輸層 1112 上共蒸鍍 2mDBTPDBq-II (簡稱)、PCzPCN1 (簡稱) 和 (乙醯丙酮根) 雙(4,6-二苯基嘧啶根) 銨 (III) (簡稱： $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$)，來形成第一發光層 1113a。在此，將 2mDBTPDBq-II (簡稱)、PCzPCN1 (簡稱) 和 $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ (簡稱) 的重量比調節為 0.7:0.3:0.06 (=2mDBTPDBq-II:PCzPCN1: $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$)。此外，將第一發光層 1113a 的厚度設定為 20nm。

此外，在第一發光層 1113a 中，2mDBTPDBq-II (簡稱) 是第一有機化合物 (主體材料)，PCzPCN1 (簡稱) 是第二有機化合物 (輔助材料)，並且 $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ (簡稱) 是第三有機化合物 (客體材料)。

接著，在第一發光層 1113a 上共蒸鍍 2mDBTPDBq-II（簡稱）、PCzPCN1（簡稱）和 $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ （簡稱），來形成第二發光層 1113b。在此，將 2mDBTPDBq-II（簡稱）、PCzPCN1（簡稱）和 $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ （簡稱）的重量比調節為 0.8:0.2:0.05（=2mDBTPDBq-II:PCzPCN1:[$\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})$]）。此外，將第二發光層 1113b 的厚度設定為 20nm。

此外，在第二發光層 1113b 中，2mDBTPDBq-II（簡稱）是第一有機化合物（主體材料），PCzPCN1（簡稱）是第二有機化合物（輔助材料），並且 $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ （簡稱）是第三有機化合物（客體材料）。

接著，在第二發光層 1113b 上形成厚度為 10nm 的 2mDBTPDBq-II（簡稱），來形成第一電子傳輸層 1114a。

接著，在第一電子傳輸層 1114a 上形成厚度為 20nm 的 BPhen（簡稱），來形成第二電子傳輸層 1114b。

接著，在第二電子傳輸層 1114b 上蒸鍍 1nm 的氟化鋰（LiF），來形成電子注入層 1115。

最後，作為用作陰極的第二電極 1103 藉由以 200nm 的厚度蒸鍍鋁（Al）來製造本實施例的發光元件 8。

此外，作為上述蒸鍍過程中的蒸鍍，都採用電阻加熱法。

（比較發光元件 9）

比較發光元件 9 的電洞傳輸層 1112、第一發光層 1113a 以及第二發光層 1113b 的結構與發光元件 8 不同，而比較發光元件 9 的其他結構與發光元件 8 相同。以下，只記載不同結構。

藉由在電洞注入層 1111 上蒸鍍 BPAFLP (簡稱) 形成電洞傳輸層 1112。將電洞傳輸層 1112 的厚度設定為 20nm。

在電洞傳輸層 1112 上共蒸鍍 2mDBTPDBq-II (簡稱)、PCBA1BP (簡稱) 和 [Ir(dppm)₂(acac)] (簡稱)，來形成第一發光層 1113a。在此，將 2mDBTPDBq-II (簡稱)、PCBA1BP (簡稱) 和 [Ir(dppm)₂(acac)] (簡稱) 的重量比調節為 0.7:0.3:0.06 (=2mDBTPDBq-II:PCBA1BP:[Ir(dppm)₂(acac)])。此外，將第一發光層 1113a 的厚度設定為 20nm。

此外，在第一發光層 1113a 中，2mDBTPDBq-II (簡稱) 是第一有機化合物 (主體材料)，PCBA1BP (簡稱) 是第二有機化合物 (輔助材料)，並且 [Ir(dppm)₂(acac)] (簡稱) 是第三有機化合物 (客體材料)。

接著，在第一發光層 1113a 上共蒸鍍 2mDBTPDBq-II (簡稱)、PCBA1BP (簡稱) 和 [Ir(dppm)₂(acac)] (簡稱)，來形成第二發光層 1113b。在此，將 2mDBTPDBq-II (簡稱)、PCBA1BP (簡稱) 和 [Ir(dppm)₂(acac)] (簡稱) 的重量比調節為 0.8:0.2:0.05 (=2mDBTPDBq-II:PCBA1BP:[Ir(dppm)₂(acac)])。此外，將第二發光層

1113b 的厚度設定為 20nm。

此外，在第二發光層 1113b 中，2mDBTPDBq-II（簡稱）是第一有機化合物（主體材料），PCBA1BP（簡稱）是第二有機化合物（輔助材料），並且 $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ （簡稱）是第三有機化合物（客體材料）。

（比較發光元件 10）

比較發光元件 10 的電洞傳輸層 1112 的結構與發光元件 8 不同，而比較發光元件 10 的其他結構與發光元件 8 相同。以下只記載不同結構。

藉由在電洞注入層 1111 上蒸鍍 BPAFLP（簡稱）形成電洞傳輸層 1112。將電洞傳輸層 1112 的厚度設定為 20nm。

表 5 示出藉由上述步驟得到的發光元件 8、比較發光元件 9 以及比較發光元件 10 的元件結構。

[表 5]

| | 第一電極 | 電洞注入層 | 電洞傳輸層 | 第一發光層 | 第二發光層 | 第一電子傳輸層 | 第二電子傳輸層 | 電子注入層 | 第二電極 |
|--------------|---|---|---|-------|---|----------------------|---------------|------------|-------------|
| 發光元件8 | ITO 110nm | DBT3P-II : MoO _x (=4:2) 40nm | BPAFLP : PC ₂ PCN1 (0.5 : 0.5) 20nm | 見下表 | 見下表 | 2mDBTPDBq-II 10nm | BPhen 20nm | LiF 1nm | Al 200nm |
| 比較 發光元件9 | ITO 110nm | DBT3P-II:MoO _x (=4:2) 40nm | BPAFLP 20nm | 見下表 | 見下表 | 2mDBTPDBq-II 10nm | BPhen 20nm | LiF 1nm | Al 200nm |
| 比較 發光元件10 | ITO 110nm | DBT3P-II:MoO _x (=4:2) 40nm | BPAFLP 20nm | 見下表 | 見下表 | 2mDBTPDBq-II 10nm | BPhen 20nm | LiF 1nm | Al 200nm |
| | | | | | | | | | |
| | 第一發光層 | | | | 第二發光層 | | | | |
| 發光元件8 | 2mDBTPDBq-II : PC ₂ PCN1 : Ir(dppm) ₂ (acac) (=0.7 : 0.3 : 0.06) 20nm | | | | 2mDBTPDBq-II : PC ₂ PCN1 : Ir(dppm) ₂ (acac) (=0.8 : 0.2 : 0.05) 20nm | | | | |
| 比較 發光元件9 | 2mDBTPDBq-II : PCBA1BP : Ir(dppm) ₂ (acac) (=0.7 : 0.3 : 0.06) 20nm | | | | 2mDBTPDBq-II : PCBA1BP : Ir(dppm) ₂ (acac) (=0.8 : 0.2 : 0.05) 20nm | | | | |
| 比較 發光元件10 | 2mDBTPDBq-II : PC ₂ PCN1 : Ir(dppm) ₂ (acac) (=0.7 : 0.3 : 0.06) 20nm | | | | 2mDBTPDBq-II : PC ₂ PCN1 : Ir(dppm) ₂ (acac) (=0.8 : 0.2 : 0.05) 20nm | | | | |

在氮氣氛圍的手套箱中，以不使各發光元件暴露於大氣的方式進行使用玻璃基板密封發光元件 8、比較發光元件 9 以及比較發光元件 10 的工作（在元件的周圍塗敷密封材料，當密封時以 80°C 進行 1 小時的熱處理）。然後，對這些發光元件的工作特性進行測量。另外，在室溫（保持為 25°C 的氛圍）下進行測量。

圖 24 示出發光元件 8、比較發光元件 9 以及比較發光元件 10 的電流密度-亮度特性。在圖 24 中，橫軸表示電流密度 (mA/cm²)，縱軸表示亮度 (cd/m²)。此外，圖 25 示出發光元件 8、比較發光元件 9 以及比較發光元件 10 的電壓-亮度特性。在圖 25 中，橫軸表示電壓

(V)，縱軸表示亮度(cd/m^2)。此外，圖 26 示出發光元件 8、比較發光元件 9 以及比較發光元件 10 的亮度-電流效率特性。在圖 26 中，橫軸表示亮度(cd/m^2)，縱軸表示電流效率(cd/A)。此外，圖 27 示出發光元件 8、比較發光元件 9 以及比較發光元件 10 的電壓-電流特性。在圖 27 中，橫軸表示電壓(V)，縱軸表示電流(mA)。另外，圖 28 示出發光元件 8、比較發光元件 9 以及比較發光元件 10 的發射光譜。在圖 28 中，橫軸表示波長(nm)，縱軸表示發光強度(任意單位)。此外，在圖 28 中，各發光元件的資料大致重疊。

此外，表 6 表示亮度為 $1000\text{cd}/\text{m}^2$ 附近時的各個發光元件中的電壓(V)、電流密度(mA/cm^2)、CIE 色度座標(x, y)、電流效率(cd/A)、外部量子效率(%)。

[表 6]

| | 電壓(V) | 電流密度 (mA/cm ²) | CIE色度座標 | | 亮度 (cd/m ²) | 電流效率 (cd/A) | 外部量子效率 (%) |
|----------|-------|-------------------------------|---------|------|----------------------------|----------------|---------------|
| | | | x | y | | | |
| 發光元件8 | 2.5 | 1.0 | 0.57 | 0.43 | 791 | 76 | 30 |
| 比較發光元件9 | 2.9 | 1.4 | 0.56 | 0.44 | 1029 | 74 | 29 |
| 比較發光元件10 | 2.9 | 1.7 | 0.57 | 0.43 | 1211 | 73 | 29 |

如表 6 所示那樣，亮度為 $791\text{cd}/\text{m}^2$ 時的發光元件 8 的 CIE 色度座標(x, y) = (0.57, 0.43)。此外，亮度為 $1029\text{cd}/\text{m}^2$ 時的比較發光元件 9 的 CIE 色度座標(x,

$y) = (0.56, 0.44)$ 。此外，亮度為 $1211\text{cd}/\text{m}^2$ 時的比較發光元件 10 的 CIE 色度座標 $(x, y) = (0.57, 0.43)$ 。

此外，亮度為 $791\text{cd}/\text{m}^2$ 時的發光元件 8 的電壓為 2.5V ，且電流效率為 $76\text{cd}/\text{A}$ 。此外，亮度為 $1029\text{cd}/\text{m}^2$ 時的比較發光元件 9 的電壓為 2.9V ，且電流效率為 $74\text{cd}/\text{A}$ 。此外，亮度為 $1211\text{cd}/\text{m}^2$ 時的比較發光元件 10 的電壓為 2.9V ，且電流效率為 $73\text{cd}/\text{A}$ 。

因此，確認到可以使本發明的一個方式的發光元件 8 的電壓比比較發光元件 9 及比較發光元件 10 低 0.4V ，並且可以使發光元件 8 的電流效率與比較發光元件 9 及比較發光元件 10 同等。

該結果可以如下面說明。首先，在本實施例中使用的 PCzPCN1（簡稱）、PCBA1BP（簡稱）以及 BPAFLP（簡稱）的各薄膜中的 HOMO 能階分別為 -5.15eV 、 -5.42eV 以及 -5.63eV 。

因為用於比較發光元件 9 的發光層的第二有機化合物（PCBA1BP）的 HOMO 能階比用於發光元件 8 的第二有機化合物（PCzPCN1）的 HOMO 能階低，因此形成在與第一有機化合物（2mDBTPDBq-II）之間的激態複合物的波長也向短波長漂移。其結果是，比較發光元件 9 的驅動開始電壓向高電壓一側漂移。另一方面，比較發光元件 10 的發光層的結構與發光元件 8 的發光層的結構相同，因此驅動開始電壓幾乎相同。

但是可知：在比較發光元件 10 中，電洞傳輸層只由

其 HOMO 能階比第二有機化合物 (PCzPCN1) 相當低的 BPAFLP 構成，因此從電洞傳輸層到發光層的電洞轉移不順利，而高亮度（實用亮度）區域中的電壓-電流特性降低。其結果是， $1000\text{cd}/\text{m}^2$ 附近的驅動電壓與比較發光元件 9 同樣地向高電壓一側漂移。

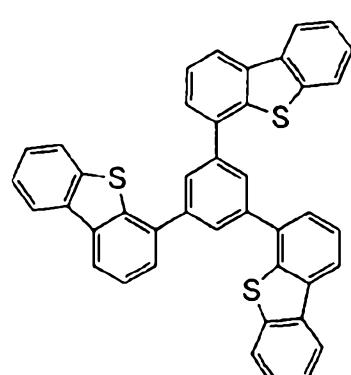
如此，本發明的一個方式的發光元件 8 維持與比較發光元件 9 以及比較發光元件 10 相比低的電壓並具有與比較發光元件 9 以及比較發光元件 10 相比高的電流效率。

如上所述，本發明的一個方式的發光元件具有用於發光層（第一發光層 1113a 及第二發光層 1113b）的具有電洞傳輸性的第二有機化合物包括在電洞傳輸層 1112 的元件結構。藉由採用這種結構，可以由電洞傳輸層所具有的第二有機化合物降低發光元件的電壓（驅動開始電壓和實用亮度區域中的驅動電壓的兩者）。此外，與只使用第二有機化合物形成的電洞傳輸層相比，本發明的一個方式的發光元件具有第二有機化合物以外的材料，因此可以由第二有機化合物以外的材料抑制從發光層的三重激發態能的擴散，而可以實現發光效率高的良好的發光元件。

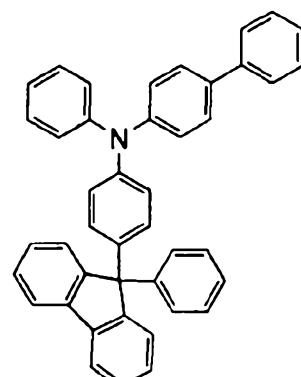
此外，雖然用於本實施例（發光元件 8）的發光層的第一有機化合物（2mDBTPDBq-II）的薄膜的 PL 峰值波長為 426nm ，第二有機化合物（PCzPCN1）的 PL 峰值波長為 479nm ，但是它們的混合膜的 PL 峰值波長為 571nm ，而可知其向長波長一側漂移。因此，這些兩種有機化合物是形成激態複合物的組合。

實施例 4

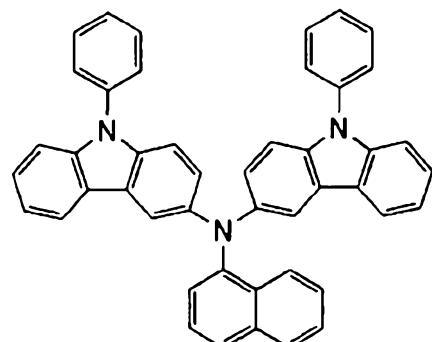
在本實施例中，使用圖 13 說明本發明的一個方式的發光元件（發光元件 11）以及比較用發光元件（比較發光元件 12）。此外，以下示出在本實施例中使用的材料的化學式。



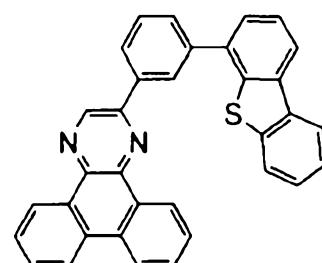
DBT3P-II



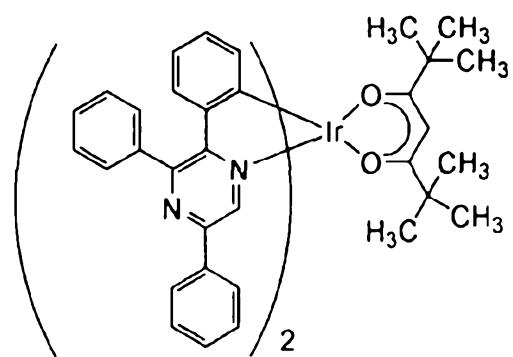
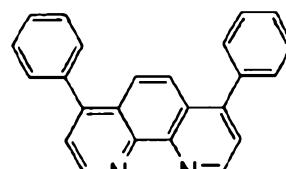
BPAFLP



PCzPCN1



2mDBTPDBq-II

[Ir(tppr)₂(dpm)]

BPhen

以下，示出本實施例的發光元件 11 以及比較發光元件 12 的製造方法。

(發光元件 11)

首先，在基板 1100 上藉由濺射法形成包含矽或氧化矽的氧化銻-氧化錫化合物 (ITSO) 膜，由此形成第一電極 1101。另外，所使用的靶材的成分比為 $\text{In}_2\text{O}_3:\text{SnO}_2:\text{SiO}_2=85:10:5$ [wt.%]。另外，將第一電極 1101 的厚度設定為 110nm，且將其電極面積設定為 $2\text{mm} \times 2\text{mm}$ 。在此，第一電極 1101 是用作發光元件的陽極的電極。

接著，作為用來在基板 1100 上形成發光元件的預處理，在用水洗滌基板 1100 表面並在 200°C 下進行焙燒 1 小時之後，對該基板 1100 進行 UV 臭氧處理 370 秒。

然後，將基板放進到真空蒸鍍裝置中，其內部被減壓到 10^{-4}Pa 左右。在真空蒸鍍裝置內的加熱室中，在 170°C 下進行 30 分鐘的真空焙燒，然後使基板 1100 冷卻 30 分鐘左右。

接著，以使形成有第一電極 1101 的面朝下的方式將形成有第一電極 1101 的基板 1100 固定在設置在真空蒸鍍裝置內的基板支架上，並將壓力降低到 10^{-4}Pa 左右，然後在第一電極 1101 上藉由使用電阻加熱的蒸鍍法共蒸鍍 DBT3P-II (簡稱) 和氧化鋁，從而形成電洞注入層 1111。將電洞注入層 1111 的厚度設定為 40nm，將

DBT3P-II（簡稱）與氧化鋁的重量比調節為4:2（=DBT3P-II:氧化鋁）。

接著，在電洞注入層1111上共蒸鍍BPAFLP（簡稱）與PCzPCN1（簡稱），來形成電洞傳輸層1112。將電洞傳輸層1112的厚度設定為20nm，將BPAFLP（簡稱）與PCzPCN1（簡稱）的重量比調節為0.5:0.5（=BPAFLP:PCzPCN1）。

接著，在電洞傳輸層1112上共蒸鍍2mDBTPDBq-II（簡稱）、PCzPCN1（簡稱）和（二新戊醯甲烷）雙（2,3,5-三苯基吡嗪）銻（III）（簡稱： $[Ir(tppr)_2(dpm)]$ ），來形成第一發光層1113a。在此，將2mDBTPDBq-II（簡稱）、PCzPCN1（簡稱）和 $[Ir(tppr)_2(dpm)]$ （簡稱）的重量比調節為0.7:0.3:0.06（=2mDBTPDBq-II:PCzPCN1: $[Ir(tppr)_2(dpm)]$ ）。此外，將第一發光層1113a的厚度設定為20nm。

此外，在第一發光層1113a中，2mDBTPDBq-II（簡稱）是第一有機化合物（主體材料），PCzPCN1（簡稱）是第二有機化合物（輔助材料），並且 $[Ir(tppr)_2(dpm)]$ （簡稱）是第三有機化合物（客體材料）。

接著，在第一發光層1113a上共蒸鍍2mDBTPDBq-II（簡稱）、PCzPCN1（簡稱）和 $[Ir(tppr)_2(dpm)]$ （簡稱），來形成第二發光層1113b。在此，將2mDBTPDBq-II（簡稱）、PCzPCN1（簡稱）和 $[Ir(tppr)_2(dpm)]$ （簡稱）的重量比調節為0.8:0.2:0.05（=2mDBTPDBq-II:PCzPCN1: $[Ir(tppr)_2(dpm)]$ ）。

II:PCzPCN1:[Ir(tppr)₂(dpm)]) 。此外，將第二發光層 1113b 的厚度設定為 20nm。

此外，在第二發光層 1113b 中，2mDBTPDBq-II（簡稱）是第一有機化合物（主體材料），PCzPCN1（簡稱）是第二有機化合物（輔助材料），並且[Ir(tppr)₂(dpm)]（簡稱）是第三有機化合物（客體材料）。

接著，在第二發光層 1113b 上形成厚度為 10nm 的 2mDBTPDBq-II（簡稱），來形成第一電子傳輸層 1114a。

接著，在第一電子傳輸層 1114a 上形成厚度為 20nm 的 BPhen（簡稱），來形成第二電子傳輸層 1114b。

接著，在第二電子傳輸層 1114b 上蒸鍍 1nm 的氟化鋰（LiF），來形成電子注入層 1115。

最後，作為用作陰極的第二電極 1103 藉由以 200nm 的厚度蒸鍍鋁（Al）來製造本實施例的發光元件 11。

此外，作為上述蒸鍍過程中的蒸鍍，都採用電阻加熱法。

（比較發光元件 12）

比較發光元件 12 的電洞傳輸層 1112 的結構與發光元件 11 不同，而比較發光元件 12 的其他結構與發光元件 11 相同。以下，只記載不同結構。

藉由在電洞注入層 1111 上蒸鍍 BPAFLP（簡稱）形成電洞傳輸層 1112。將電洞傳輸層 1112 的厚度設定為

20nm。

表 7 示出藉由上述步驟得到的發光元件 11 以及比較發光元件 12 的元件結構。

[表 7]

| | 第一電極 | 電洞注入層 | 電洞傳輸層 | 第一發光層 | 第二發光層 | 第一電子傳輸層 | 第二電子傳輸層 | 電子注入層 | 第二電極 |
|---------------|--|---|--|-------|--|----------------------|---------------|------------|-------------|
| 發光元件 11 | TTSO 110nm | DBT3P-II : MoO _x (=4:2) 40nm | BPAFLP : PCzPCN1 (0.5 : 0.5) 20nm | 見下表 | 見下表 | 2mDBTPDBq-II 10nm | BPhen 30nm | LiF 1nm | Al 200nm |
| 比較 發光元件 12 | TTSO 110nm | DBT3P-II:MoO _x (=4:2) 40nm | BPAFLP 20nm | 見下表 | 見下表 | 2mDBTPDBq-II 10nm | BPhen 20nm | LiF 1nm | Al 200nm |
| 第一發光層 | | | | | | | | | |
| 發光元件 11 | 2mDBTPDBq-II : PCzPCN1 : Ir(ppr) ₂ (dpm) (=0.7 : 0.3 : 0.06) 20nm | | | | 2mDBTPDBq-II : ICzICN1 : Ir(ppr) ₂ (dpm) (=0.8 : 0.2 : 0.05) 20nm | | | | |
| 比較 發光元件 12 | 2mDBTPDBq-II : PCzPCN1 : Ir(ppr) ₂ (dpm) (=0.7 : 0.3 : 0.06) 20nm | | | | 2mDBTPDBq-II : PCzPCN1 : Ir(ppr) ₂ (dpm) (=0.8 : 0.2 : 0.05) 20nm | | | | |

在氮氣氛圍的手套箱中，以不使各發光元件暴露於大氣的方式進行使用玻璃基板密封發光元件 11 以及比較發光元件 12 的工作（在元件的周圍塗敷密封材料，當密封時以 80°C 進行 1 小時的熱處理）。然後，對這些發光元件的工作特性進行測量。另外，在室溫（保持為 25°C 的氛圍）下進行測量。

圖 29 示出發光元件 11 以及比較發光元件 12 的電流密度 - 亮度特性。在圖 29 中，橫軸表示電流密度 (mA/cm^2)，縱軸表示亮度 (cd/m^2)。此外，圖 30 示出發光元件 11 以及比較發光元件 12 的電壓-亮度特性。在

圖 30 中，橫軸表示電壓 (V)，縱軸表示亮度 (cd/m^2)。此外，圖 31 示出發光元件 11 以及比較發光元件 12 的亮度-電流效率特性。在圖 31 中，橫軸表示亮度 (cd/m^2)，縱軸表示電流效率 (cd/A)。此外，圖 32 示出發光元件 11 以及比較發光元件 12 的電壓-電流特性。在圖 32 中，橫軸表示電壓 (V)，縱軸表示電流 (mA)。另外，圖 33 示出發光元件 11 以及比較發光元件 12 的發射光譜。在圖 33 中，橫軸表示波長 (nm)，縱軸表示發光強度 (任意單位)。此外，在圖 33 中，各發光元件的資料大致重疊。

此外，表 8 表示亮度為 $1000\text{cd}/\text{m}^2$ 附近時的各個發光元件中的電壓 (V)、電流密度 (mA/cm^2)、CIE 色度座標 (x, y)、電流效率 (cd/A)、外部量子效率 (%)。

[表 8]

| | 電壓(V) | 電流密度 (mA/cm ²) | CIE色度座標 | | 亮度 (cd/m ²) | 電流效率 (cd/A) | 外部量子效率 (%) |
|----------|-------|-------------------------------|---------|------|----------------------------|----------------|---------------|
| | | | x | y | | | |
| 發光元件11 | 2.9 | 3.9 | 0.66 | 0.34 | 1002 | 25 | 22 |
| 比較發光元件12 | 3.3 | 3.7 | 0.66 | 0.34 | 947 | 25 | 22 |

如表 8 所示那樣，亮度為 $1002\text{cd}/\text{m}^2$ 時的發光元件 11 的 CIE 色度座標 (x, y) = (0.66, 0.34)。此外，亮度為 $947\text{cd}/\text{m}^2$ 時的比較發光元件 12 的 CIE 色度座標 (x, y) = (0.66, 0.34)。

此外，亮度為 $1002\text{cd}/\text{m}^2$ 時的發光元件 11 的電壓為 2.9V ，且電流效率為 $25\text{cd}/\text{A}$ 。此外，亮度為 $947\text{cd}/\text{m}^2$ 時的比較發光元件 12 的電壓為 3.3V ，且電流效率為 $25\text{cd}/\text{A}$ 。

因此，確認到可以使本發明的一個方式的發光元件 11 的電壓比比較發光元件 12 低 0.4V ，並且可以使發光元件 11 的電流效率與比較發光元件 12 同等。

該結果可以如下面說明。首先，在本實施例中使用的 PCzPCN1（簡稱）以及 BPAFLP（簡稱）的各薄膜中的 HOMO 能階分別為 -5.15eV 以及 -5.63eV 。

比較發光元件 12 的發光層的結構與發光元件 11 的發光層的結構相同，因此驅動開始電壓幾乎相同。但是可知：在比較發光元件 12 中，電洞傳輸層只由其 HOMO 能階比第二有機化合物（PCzPCN1）相當低的 BPAFLP 構成，因此從電洞傳輸層到發光層的電洞轉移不順利，而高亮度（實用亮度）區域中的電壓-電流特性降低。其結果是， $1000\text{cd}/\text{m}^2$ 附近的驅動電壓向高電壓一側漂移。

如此，本發明的一個方式的發光元件 11 維持與比較發光元件 12 相比低的電壓並具有與比較發光元件 12 相比高的電流效率。

如上所述，本發明的一個方式的發光元件具有用於發光層（第一發光層 1113a 及第二發光層 1113b）的具有電洞傳輸性的第二有機化合物包括在電洞傳輸層 1112 的元件結構。藉由採用這種結構，可以由電洞傳輸層所具有的

第二有機化合物降低發光元件的電壓（驅動開始電壓和實用亮度區域中的驅動電壓的兩者）。此外，與只使用第二有機化合物形成的電洞傳輸層相比，本發明的一個方式的發光元件具有第二有機化合物以外的材料，因此可以由第二有機化合物以外的材料抑制從發光層的三重激發態能的擴散，而可以實現發光效率高的良好的發光元件。

此外，雖然用於本實施例（發光元件 11）的發光層的第一有機化合物（2mDBTPDBq-II）的薄膜的 PL 峰值波長為 426nm，第二有機化合物（PCzPCN1）的 PL 峰值波長為 479nm，但是它們的混合膜的 PL 峰值波長為 571nm，而可知其向長波長一側漂移。因此，這些兩種有機化合物是形成激態複合物的組合。

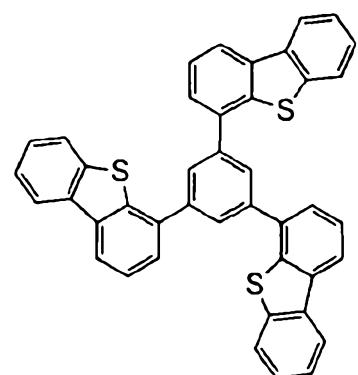
接著，對發光元件 11 以及比較發光元件 12 進行可靠性試驗。圖 34 示出可靠性試驗的結果。

在圖 34 中，可靠性試驗的測量方法是如下：將起始亮度設定為 $5000\text{cd}/\text{m}^2$ ，且在電流密度固定的條件下驅動各發光元件。橫軸表示驅動時間 (h)，而縱軸表示起始亮度為 100% 時的歸一化亮度 (%)。從圖 34 可知：驅動時間經過 219 小時之後的發光元件 11 的歸一化亮度為 82%，而比較發光元件 12 的歸一化亮度為 82%。

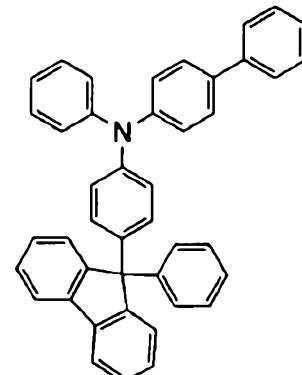
如此，從圖 34 可知：本發明的一個方式的發光元件 11 是長使用壽命的發光元件。

實施例 5

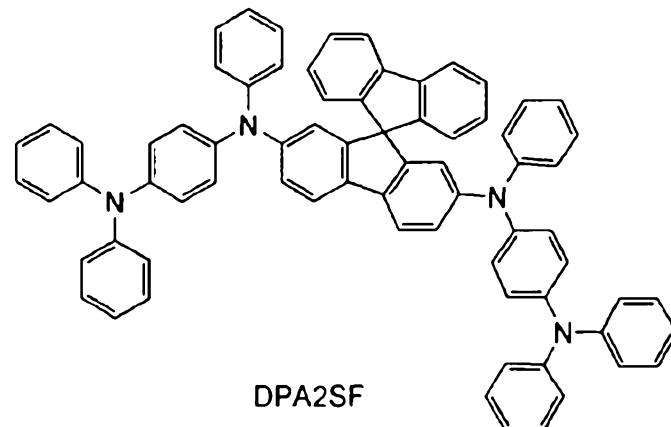
在本實施例中，使用圖 13 說明本發明的一個方式的發光元件（發光元件 13）以及比較用發光元件（比較發光元件 14、比較發光元件 15）。此外，以下示出在本實施例中使用的材料的化學式。



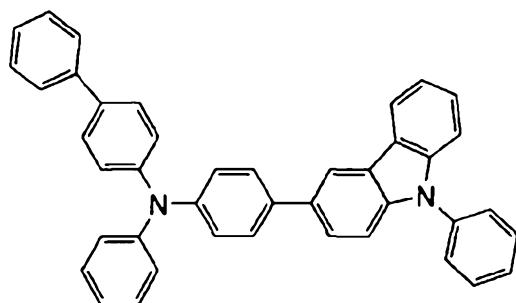
DBT3P-II



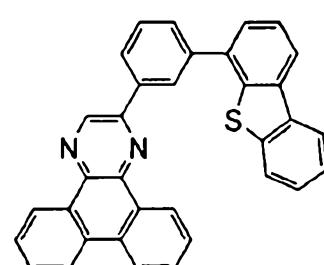
BPAFLP



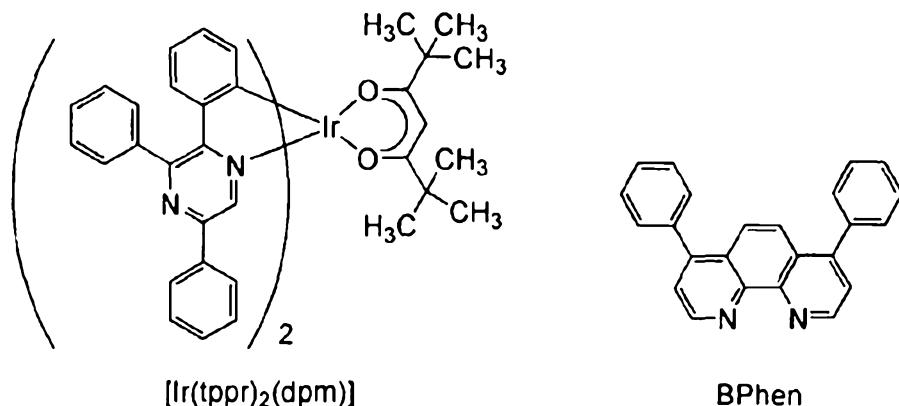
DPA2SF



PCBA1BP



2mDBTPDBq-II



以下，示出本實施例的發光元件 13、比較發光元件 14 以及比較發光元件 15 的製造方法。

(發光元件 13)

首先，在基板 1100 上藉由濺射法形成包含矽或氧化矽的氧化銦-氧化錫化合物 (ITSO) 膜，由此形成第一電極 1101。另外，所使用的靶材的成分比為 $\text{In}_2\text{O}_3:\text{SnO}_2:\text{SiO}_2=85:10:5$ [wt.%]。另外，將第一電極 1101 的厚度設定為 110 nm，且將其電極面積設定為 $2\text{mm} \times 2\text{mm}$ 。在此，第一電極 1101 是用作發光元件的陽極的電極。

接著，作為用來在基板 1100 上形成發光元件的預處理，在用水洗滌基板 1100 表面並在 200°C 下進行焙燒 1 小時之後，對該基板 1100 進行 UV 臭氧處理 370 秒。

然後，將基板放進到真空蒸鍍裝置中，其內部被減壓到 10^{-4}Pa 左右。在真空蒸鍍裝置內的加熱室中，在 170°C 下進行 30 分鐘的真空焙燒，然後使基板 1100 冷卻 30 分鐘左右。

接著，以使形成有第一電極 1101 的面朝下的方式將形成有第一電極 1101 的基板 1100 固定在設置在真空蒸鍍裝置內的基板支架上，並將壓力降低到 10^{-4} Pa 左右，然後在第一電極 1101 上藉由使用電阻加熱的蒸鍍法共蒸鍍 DBT3P-II（簡稱）和氧化鋁，從而形成電洞注入層 1111。將電洞注入層 1111 的厚度設定為 40nm，將 DBT3P-II（簡稱）與氧化鋁的重量比調節為 4:2（=DBT3P-II:氧化鋁）。

接著，在電洞注入層 1111 上共蒸鍍 BPAFLP（簡稱）與 DPA2SF（簡稱），來形成電洞傳輸層 1112。將電洞傳輸層 1112 的厚度設定為 20nm，將 BPAFLP（簡稱）與 DPA2SF（簡稱）的重量比調節為 0.5:0.5（=BPAFLP:DPA2SF）。

接著，在電洞傳輸層 1112 上共蒸鍍 2mDBTPDBq-II（簡稱）、DPA2SF（簡稱）和 $\text{Ir}(\text{tpyr})_2(\text{dpm})$ （簡稱），來形成第一發光層 1113a。在此，將 2mDBTPDBq-II（簡稱）、DPA2SF（簡稱）和 $[\text{Ir}(\text{tpyr})_2(\text{dpm})]$ （簡稱）的重量比調節為 0.7:0.3:0.06（=2mDBTPDBq-II:DPA2SF:[$\text{Ir}(\text{tpyr})_2(\text{dpm})$]）。此外，將第一發光層 1113a 的厚度設定為 20nm。

此外，在第一發光層 1113a 中，2mDBTPDBq-II（簡稱）是第一有機化合物（主體材料），DPA2SF（簡稱）是第二有機化合物（輔助材料），並且 $[\text{Ir}(\text{tpyr})_2(\text{dpm})]$ （簡稱）是第三有機化合物（客體材料）。

接著，在第一發光層 1113a 上共蒸鍍 2mDBTPDBq-II（簡稱）、DPA2SF（簡稱）和 $[\text{Ir}(\text{tpyr})_2(\text{dpm})]$ （簡稱），來形成第二發光層 1113b。在此，將 2mDBTPDBq-II（簡稱）、DPA2SF（簡稱）和 $[\text{Ir}(\text{tpyr})_2(\text{dpm})]$ （簡稱）的重量比調節為 0.8:0.2:0.05 (=2mDBTPDBq-II:DPA2SF: $[\text{Ir}(\text{tpyr})_2(\text{dpm})]$)。此外，將第二發光層 1113b 的厚度設定為 20nm。

此外，在第二發光層 1113b 中，2mDBTPDBq-II（簡稱）是第一有機化合物（主體材料），DPA2SF（簡稱）是第二有機化合物（輔助材料），並且 $[\text{Ir}(\text{tpyr})_2(\text{dpm})]$ （簡稱）是第三有機化合物（客體材料）。

接著，在第二發光層 1113b 上形成厚度為 10nm 的 2mDBTPDBq-II（簡稱），來形成第一電子傳輸層 1114a。

接著，在第一電子傳輸層 1114a 上形成厚度為 20nm 的 BPhen（簡稱），來形成第二電子傳輸層 1114b。

接著，在第二電子傳輸層 1114b 上蒸鍍 1nm 的氟化鋰 (LiF)，來形成電子注入層 1115。

最後，作為用作陰極的第二電極 1103 藉由以 200nm 的厚度蒸鍍鋁 (Al) 來製造本實施例的發光元件 13。

此外，作為上述蒸鍍過程中的蒸鍍，都採用電阻加熱法。

(比較發光元件 14)

比較發光元件 14 的電洞傳輸層 1112、第一發光層 1113a 以及第二發光層 1113b 的結構與發光元件 13 不同，而比較發光元件 14 的其他結構與發光元件 13 相同。以下，只記載不同結構。

藉由在電洞注入層 1111 上蒸鍍 BPAFLP（簡稱）形成電洞傳輸層 1112。將電洞傳輸層 1112 的厚度設定為 20nm。

在電洞傳輸層 1112 上共蒸鍍 2mDBTPDBq-II（簡稱）、PCBA1BP（簡稱）和 [Ir(tppr)₂(dpm)]（簡稱），來形成第一發光層 1113a。在此，將 2mDBTPDBq-II（簡稱）、PCBA1BP（簡稱）和 [Ir(tppr)₂(dpm)]（簡稱）的重量比調節為 0.7:0.3:0.06 (=2mDBTPDBq-II:PCBA1BP:[Ir(tppr)₂(dpm)])。此外，將第一發光層 1113a 的厚度設定為 20nm。

此外，在第一發光層 1113a 中，2mDBTPDBq-II（簡稱）是第一有機化合物（主體材料），PCBA1BP（簡稱）是第二有機化合物（輔助材料），並且 [Ir(tppr)₂(dpm)]（簡稱）是第三有機化合物（客體材料）。

接著，在第一發光層 1113a 上共蒸鍍 2mDBTPDBq-II（簡稱）、PCBA1BP（簡稱）和 [Ir(tppr)₂(dpm)]（簡稱），來形成第二發光層 1113b。在此，將 2mDBTPDBq-II（簡稱）、PCBA1BP（簡稱）和 [Ir(tppr)₂(dpm)]（簡稱）的重量比調節為 0.8:0.2:0.05 (=2mDBTPDBq-II:PCBA1BP:[Ir(tppr)₂(dpm)])。此外，將第二發光層

1113b 的厚度設定為 20nm。

此外，在第二發光層 1113b 中，2mDBTPDBq-II（簡稱）是第一有機化合物（主體材料），PCBA1BP（簡稱）是第二有機化合物（輔助材料），並且 [$\text{Ir}(\text{tpyr})_2(\text{dpm})$]（簡稱）是第三有機化合物（客體材料）。

（比較發光元件 15）

比較發光元件 15 的電洞傳輸層 1112 的結構與發光元件 13 不同，而比較發光元件 15 的其他結構與發光元件 13 相同。以下只記載不同結構。

藉由在電洞注入層 1111 上蒸鍍 BPAFLP（簡稱）形成電洞傳輸層 1112。將電洞傳輸層 1112 的厚度設定為 20nm。

表 9 示出藉由上述步驟得到的發光元件 13、比較發光元件 14 以及比較發光元件 15 的元件結構。

[表 9]

| | 第一電極 | 電洞注入層 | 電洞傳輸層 | 第一發光層 | 第二發光層 | 第一電子傳輸層 | 第二電子傳輸層 | 電子注入層 | 第二電極 |
|--------------|---------------|---|---|-------|-------|----------------------|---------------|------------|-------------|
| 發光元件13 | JTSO 110nm | DBT3P-II : MoO _x (=4:2) 40nm | BPAFLP : DPA2SF (0.5 : 0.5) 20nm | 見下表 | 見下表 | 2mDBTPDBq-II 10nm | BPhen 20nm | LiF 1nm | Al 200nm |
| 比較 發光元件14 | JTSO 110nm | DBT3P-II : MoO _x (=4:2) 40nm | BPAFLP 20nm | 見下表 | 見下表 | 2mDBTPDBq-II 10nm | BPhen 20nm | LiF 1nm | Al 200nm |
| 比較 發光元件15 | JTSO 110nm | DBT3P-II : MoO _x (=4:2) 40nm | BPAFLP 20nm | 見下表 | 見下表 | 2mDBTPDBq-II 10nm | BPhen 20nm | LiF 1nm | Al 200nm |

| | 第一發光層 | 第二發光層 |
|--------------|--|--|
| 發光元件13 | 2mDBTPDBq-II : DPA2SF : Ir(ppr) ₂ (dpm) (=0.7 : 0.3 : 0.06) 20nm | 2mDBTPDBq-II : DPA2SF : Ir(ppr) ₂ (dpm) (=0.8 : 0.2 : 0.05) 20nm |
| 比較 發光元件14 | 2mDBTPDBq-II : PCBA1BP : Ir(ppr) ₂ (dpm) (=0.7 : 0.3 : 0.06) 20nm | 2mDBTPDBq-II : PCBA1BP : Ir(ppr) ₂ (dpm) (=0.8 : 0.2 : 0.05) 20nm |
| 比較 發光元件15 | 2mDBTPDBq-II : DPA2SF : Ir(ppr) ₂ (dpm) (=0.7 : 0.3 : 0.06) 20nm | 2mDBTPDBq-II : DPA2SF : Ir(ppr) ₂ (dpm) (=0.8 : 0.2 : 0.05) 20nm |

在氮氣氛圍的手套箱中，以不使各發光元件暴露於大氣的方式進行使用玻璃基板密封發光元件 13、比較發光元件 14 以及比較發光元件 15 的工作（在元件的周圍塗敷密封材料，當密封時以 80°C 進行 1 小時的熱處理）。然後，對這些發光元件的工作特性進行測量。另外，在室溫（保持為 25°C 的氛圍）下進行測量。

圖 35 示出發光元件 13、比較發光元件 14 以及比較發光元件 15 的電流密度-亮度特性。在圖 35 中，橫軸表示電流密度 (mA/cm²)，縱軸表示亮度 (cd/m²)。此外，圖 36 示出發光元件 13、比較發光元件 14 以及比較發光元件 15 的電壓-亮度特性。在圖 36 中，橫軸表示電壓 (V)，縱軸表示亮度 (cd/m²)。此外，圖 37 示出發

光元件 13、比較發光元件 14 以及比較發光元件 15 的亮度 - 電流效率特性。在圖 37 中，橫軸表示亮度 (cd/m^2)，縱軸表示電流效率 (cd/A)。此外，圖 38 示出發光元件 13、比較發光元件 14 以及比較發光元件 15 的電壓 - 電流特性。在圖 38 中，橫軸表示電壓 (V)，縱軸表示電流 (mA)。另外，圖 39 示出發光元件 13、比較發光元件 14 以及比較發光元件 15 的發射光譜。在圖 39 中，橫軸表示波長 (nm)，縱軸表示發光強度 (任意單位)。此外，在圖 39 中，各發光元件的資料大致重疊。

此外，表 10 表示亮度為 $1000\text{cd}/\text{m}^2$ 附近時的各個發光元件中的電壓 (V)、電流密度 (mA/cm^2)、CIE 色度座標 (x , y)、電流效率 (cd/A)、外部量子效率 (%)。

[表 10]

| | 電壓(V) | 電流密度 (mA/cm^2) | CIE色度座標 | | 亮度 (cd/m^2) | 電流效率 (cd/A) | 外部量子效率 (%) |
|----------|-------|-------------------------------------|---------|------|----------------------------------|----------------------------------|---------------|
| | | | x | y | | | |
| 發光元件13 | 2.9 | 4.0 | 0.66 | 0.34 | 995 | 25 | 22 |
| 比較發光元件14 | 3.3 | 4.1 | 0.66 | 0.34 | 1019 | 25 | 22 |
| 比較發光元件15 | 3.3 | 4.3 | 0.66 | 0.34 | 1050 | 25 | 22 |

如表 10 所示那樣，亮度為 $995\text{cd}/\text{m}^2$ 時的發光元件 13 的 CIE 色度座標 (x , y) = (0.66, 0.34)。此外，亮度為 $1019\text{cd}/\text{m}^2$ 時的比較發光元件 14 的 CIE 色度座標 (x ,

$y) = (0.66, 0.34)$ 。此外，亮度為 $1050\text{cd}/\text{m}^2$ 時的比較發光元件 15 的 CIE 色度座標 $(x, y) = (0.66, 0.34)$ 。

此外，亮度為 $995\text{cd}/\text{m}^2$ 時的發光元件 13 的電壓為 2.9V ，且電流效率為 $25\text{cd}/\text{A}$ 。此外，亮度為 $1019\text{cd}/\text{m}^2$ 時的比較發光元件 14 的電壓為 3.3V ，且電流效率為 $25\text{cd}/\text{A}$ 。此外，亮度為 $1050\text{cd}/\text{m}^2$ 時的比較發光元件 15 的電壓為 3.3V ，且電流效率為 $25\text{cd}/\text{A}$ 。

因此，確認到可以使本發明的一個方式的發光元件 13 的電壓比比較發光元件 14 及比較發光元件 15 低 0.4V ，並且可以使發光元件 13 的電流效率與比較發光元件 14 及比較發光元件 15 同等。

該結果可以如下面說明。首先，在本實施例中使用的 DPA2SF（簡稱）、PCBA1BP（簡稱）以及 BPAFLP（簡稱）的各薄膜中的 HOMO 能階分別為 -5.09eV 、 -5.42eV 以及 -5.63eV 。

因為用於比較發光元件 14 的發光層的第二有機化合物（PCBA1BP）的 HOMO 能階比用於發光元件 13 的第二有機化合物（DPA2SF）的 HOMO 能階低，因此形成在與第一有機化合物（2mDBTPDBq-II）之間的激態複合物的波長也向短波長漂移。其結果是，比較發光元件 14 的驅動開始電壓向高電壓一側漂移。另一方面，比較發光元件 15 的發光層的結構與發光元件 13 的發光層的結構相同，因此驅動開始電壓幾乎相同。

但是可知：在比較發光元件 15 中，電洞傳輸層只由

其 HOMO 能階比第二有機化合物（DPA2SF）相當低的 BPAFLP 構成，因此從電洞傳輸層到發光層的電洞轉移不順利，而高亮度（實用亮度）區域中的電壓-電流特性降低。其結果是， $1000\text{cd}/\text{m}^2$ 附近的驅動電壓與比較發光元件 14 同樣地向高電壓一側漂移。

如此，本發明的一個方式的發光元件 13 維持與比較發光元件 14 以及比較發光元件 15 相比低的電壓並具有與比較發光元件 14 以及比較發光元件 15 相比高的電流效率。

如上所述，本發明的一個方式的發光元件具有用於發光層（第一發光層 1113a 及第二發光層 1113b）的具有電洞傳輸性的第二有機化合物包括在電洞傳輸層 1112 的元件結構。藉由採用這種結構，可以由電洞傳輸層所具有的第二有機化合物降低發光元件的電壓（驅動開始電壓和實用亮度區域中的驅動電壓的兩者）。此外，與只使用第二有機化合物形成的電洞傳輸層相比，本發明的一個方式的發光元件具有第二有機化合物以外的材料，因此可以由第二有機化合物以外的材料抑制從發光層的三重激發態能的擴散，而可以實現發光效率高的良好的發光元件。

此外，雖然用於本實施例（發光元件 13）的發光層的第一有機化合物（2mDBTPDBq-II）的薄膜的 PL 峰值波長為 426nm ，第二有機化合物（DPA2SF）的 PL 峰值波長為 433nm ，但是它們的混合膜的 PL 峰值波長為 579nm ，而可知其向長波長一側漂移。因此，這些兩種有機化合物

是形成激態複合物的組合。

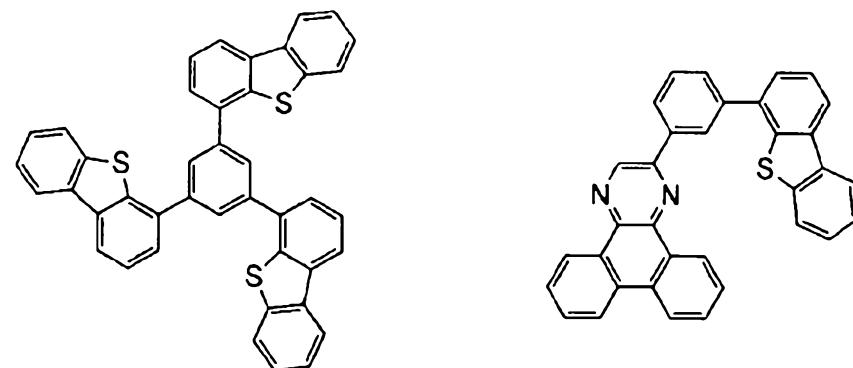
接著，對發光元件 13、比較發光元件 14 以及比較發光元件 15 進行可靠性試驗的評價。圖 40 示出可靠性試驗的結果。

在圖 40 中，可靠性試驗的測量方法是如下：將起始亮度設定為 $5000\text{cd}/\text{m}^2$ ，且在電流密度固定的條件下驅動各發光元件。橫軸表示驅動時間 (h)，而縱軸表示起始亮度為 100% 時的歸一化亮度 (%)。從圖 40 可知：驅動時間經過 290 小時之後的發光元件 13 的歸一化亮度為 85%，比較發光元件 14 的歸一化亮度為 69%，而比較發光元件 15 的歸一化亮度為 81%。

如此，從圖 40 可知：本發明的一個方式的發光元件 13 是長使用壽命的發光元件。

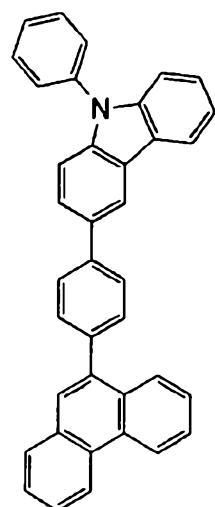
實施例 6

在本實施例中，使用圖 13 說明本發明的一個方式的發光元件（發光元件 16）以及比較用發光元件（比較發光元件 17）。此外，以下示出在本實施例中使用的材料的化學式。

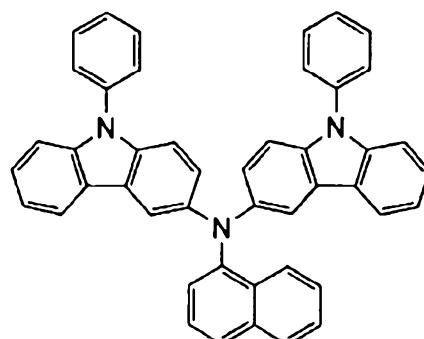


DBT3P-II

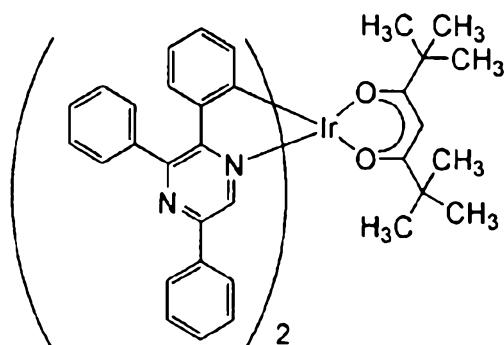
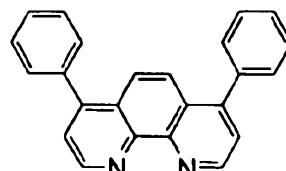
2mDBTPDBq-II



PCPPn



PCzPCN1

[$\text{Ir}(\text{tppr})_2(\text{dpm})$]

BPheN

以下，示出本實施例的發光元件 16 以及比較發光元件 17 的製造方法。

(發光元件 16)

首先，在基板 1100 上藉由濺射法形成包含矽或氧化矽的氧化鋅-氧化錫化合物 (ITSO) 膜，由此形成第一電極 1101。另外，所使用的靶材的成分比為 $\text{In}_2\text{O}_3:\text{SnO}_2:\text{SiO}_2=85:10:5$ [wt.%]。另外，將第一電極 1101 的厚度設定為 110 nm，且將其電極面積設定為 $2\text{mm} \times 2\text{mm}$ 。在此，第一電極 1101 是用作發光元件的陽極的電極。

接著，作為用來在基板 1100 上形成發光元件的預處理，在用水洗滌基板 1100 表面並在 200°C 下進行焙燒 1 小時之後，對該基板 1100 進行 UV 臭氧處理 370 秒。

然後，將基板 1100 放進到真空蒸鍍裝置中，其內部被減壓到 10^{-4}Pa 左右。在真空蒸鍍裝置內的加熱室中，在 170°C 下進行 30 分鐘的真空焙燒，然後使基板 1100 冷卻 30 分鐘左右。

接著，以使形成有第一電極 1101 的面朝下的方式將形成有第一電極 1101 的基板 1100 固定在設置在真空蒸鍍裝置內的基板支架上，並將壓力降低到 10^{-4}Pa 左右，然後在第一電極 1101 上藉由使用電阻加熱的蒸鍍法共蒸鍍 DBT3P-II (簡稱) 和氧化鋁，從而形成電洞注入層 1111。將電洞注入層 1111 的厚度設定為 30 nm，將 DBT3P-II (簡稱) 與氧化鋁的重量比調節為 4:2 (=DBT3P-II:氧化鋁)。

接著，在電洞注入層 1111 上共蒸鍍 3-[4-(9-菲基)-

苯基]-9-苯基-9H-咔唑（簡稱：PCPPn）與PCzPCN1（簡稱），來形成電洞傳輸層1112。將電洞傳輸層1112的厚度設定為20nm，將PCPPn（簡稱）與PCzPCN1（簡稱）的重量比調節為1:1（=PCPPn:PCzPCN1）。

接著，在電洞傳輸層1112上共蒸鍍2mDBTPDBq-II（簡稱）、PCzPCN1（簡稱）和[Ir(tppr)₂(dpm)]，來形成第一發光層1113a。在此，將2mDBTPDBq-II（簡稱）、PCzPCN1（簡稱）和[Ir(tppr)₂(dpm)]（簡稱）的重量比調節為0.5:0.5:0.05（=2mDBTPDBq-II:PCzPCN1:[Ir(tppr)₂(dpm)])。此外，將第一發光層1113a的厚度設定為20nm。

此外，在第一發光層1113a中，2mDBTPDBq-II（簡稱）是第一有機化合物（主體材料），PCzPCN1（簡稱）是第二有機化合物（輔助材料），並且[Ir(tppr)₂(dpm)]（簡稱）是第三有機化合物（客體材料）。

接著，在第一發光層1113a上共蒸鍍2mDBTPDBq-II（簡稱）、PCzPCN1（簡稱）和[Ir(tppr)₂(dpm)]（簡稱），來形成第二發光層1113b。在此，將2mDBTPDBq-II（簡稱）、PCzPCN1（簡稱）和[Ir(tppr)₂(dpm)]（簡稱）的重量比調節為0.8:0.2:0.05（=2mDBTPDBq-II:PCzPCN1:[Ir(tppr)₂(dpm)])。此外，將第二發光層1113b的厚度設定為20nm。

此外，在第二發光層1113b中，2mDBTPDBq-II（簡稱）是第一有機化合物（主體材料），PCzPCN1（簡稱）

是第二有機化合物（輔助材料），並且 $[\text{Ir}(\text{tpyr})_2(\text{dpm})]$ （簡稱）是第三有機化合物（客體材料）。

接著，在第二發光層 1113b 上形成厚度為 10nm 的 2mDBTPDBq-II（簡稱），來形成第一電子傳輸層 1114a。

接著，在第一電子傳輸層 1114a 上形成厚度為 20nm 的紅啡啉（簡稱：BPhen），來形成第二電子傳輸層 1114b。

接著，在第二電子傳輸層 1114b 上蒸鍍 1nm 的氟化鋰（LiF），來形成電子注入層 1115。

最後，作為用作陰極的第二電極 1103 藉由以 200nm 的厚度蒸鍍鋁（Al）來製造本實施例的發光元件 16。

此外，作為上述蒸鍍過程中的蒸鍍，都採用電阻加熱法。

（比較發光元件 17）

比較發光元件 17 的電洞傳輸層 1112 的結構與發光元件 16 不同，而比較發光元件 17 的其他結構與發光元件 16 相同。以下，只記載不同結構。

藉由在電洞注入層 1111 上蒸鍍 PCPPn（簡稱）形成電洞傳輸層 1112。將電洞傳輸層 1112 的厚度設定為 20nm 。

表 11 示出藉由上述步驟得到的發光元件 16 以及比較發光元件 17 的元件結構。

[表 11]

| | 第一電極 | 電洞注入層 | 電洞傳輸層 | 第一發光層 | 第二發光層 | 第一電子傳輸層 | 第二電子傳輸層 | 電子注入層 | 第二電極 |
|---------------|--------------|---|-------------------------------------|-------|-------|----------------------|---------------|------------|-------------|
| 發光元件 16 | ITO 110nm | DBT3P-II : MoO _x (=4:2) 30nm | PCPPn : PCzPCN1 (1:1) 20nm | 見下表 | 見下表 | 2mDBTPDBq-II 10nm | BPhen 20nm | LiF 1nm | Al 200nm |
| 比較 發光元件 17 | ITO 110nm | DBT3P-II : MoO _x (=4:2) 30nm | PCPPn 20nm | 見下表 | 見下表 | 2mDBTPDBq-II 10nm | BPhen 20nm | LiF 1nm | Al 200nm |

| | 第一發光層 | 第二發光層 |
|---------------|--|--|
| 發光元件 16 | 2mDBTPDBq-II : PCzPCN1 : Ir(ppr) ₂ (dpm) (=0.5 : 0.5 : 0.05) 20nm | 2mDBTPDBq-II : PCzPCN1 : Ir(ppr) ₂ (dpm) (=0.8 : 0.2 : 0.05) 20nm |
| 比較 發光元件 17 | 2mDBTPDBq-II : PCzPCN1 : Ir(ppr) ₂ (dpm) (=0.5 : 0.5 : 0.05) 20nm | 2mDBTPDBq-II : PCzPCN1 : Ir(ppr) ₂ (dpm) (=0.8 : 0.2 : 0.05) 20nm |

在氮氣氛圍的手套箱中，以不使各發光元件暴露於大氣的方式進行使用玻璃基板密封發光元件 16 以及比較發光元件 17 的工作（在元件的周圍塗敷密封材料，當密封時以 80°C 進行 1 小時的熱處理）。然後，對這些發光元件的工作特性進行測量。另外，在室溫（保持為 25°C 的氛圍）下進行測量。

圖 41 示出發光元件 16 以及比較發光元件 17 的電流密度 - 亮度特性。在圖 41 中，橫軸表示電流密度 (mA/cm^2)，縱軸表示亮度 (cd/m^2)。此外，圖 42 示出發光元件 16 以及比較發光元件 17 的電壓-亮度特性。在圖 42 中，橫軸表示電壓 (V)，縱軸表示亮度 (cd/m^2)。此外，圖 43 示出發光元件 16 以及比較發光元件 17 的亮度-電流效率特性。在圖 43 中，橫軸表示亮

度 (cd/m^2)，縱軸表示電流效率 (cd/A)。此外，圖 44 示出發光元件 16 以及比較發光元件 17 的電壓-電流特性。在圖 44 中，橫軸表示電壓 (V)，縱軸表示電流 (mA)。另外，圖 45 示出發光元件 16 以及比較發光元件 17 的發射光譜。在圖 45 中，橫軸表示波長 (nm)，縱軸表示發光強度 (任意單位)。此外，在圖 45 中，各發光元件的資料大致重疊。

此外，表 12 表示亮度為 $1000\text{cd}/\text{m}^2$ 附近時的各個發光元件中的電壓 (V)、電流密度 (mA/cm^2)、CIE 色度座標 (x, y)、電流效率 (cd/A)、外部量子效率 (%)。

[表 12]

| | 電壓(V) | 電流密度 (mA/cm ²) | CIE色度座標 | | 亮度 (cd/m ²) | 電流效率 (cd/A) | 外部量子效率 (%) |
|----------|-------|-------------------------------|---------|------|----------------------------|----------------|---------------|
| | | | x | y | | | |
| 發光元件16 | 2.9 | 3.5 | 0.66 | 0.34 | 1095 | 31 | 25 |
| 比較發光元件17 | 3.2 | 3.1 | 0.66 | 0.34 | 910 | 30 | 25 |

如表 12 所示那樣，亮度為 $1095\text{cd}/\text{m}^2$ 時的發光元件 16 的 CIE 色度座標 (x, y) = (0.66, 0.34)。此外，亮度為 $910\text{cd}/\text{m}^2$ 時的比較發光元件 17 的 CIE 色度座標 (x, y) = (0.66, 0.34)。

此外，亮度為 $1095\text{cd}/\text{m}^2$ 時的發光元件 16 的電壓為 2.9V，且電流效率為 31cd/A。此外，亮度為 $910\text{cd}/\text{m}^2$ 時

的比較發光元件 17 的電壓為 3.2V ，且電流效率為 30cd/A 。

因此，確認到可以使本發明的一個方式的發光元件 16 的電壓比比較發光元件 17 低 0.3V ，並且可以使發光元件 16 的電流效率與比較發光元件 17 同等。

該結果可以如下面說明。首先，在本實施例中使用的 PCzPCN1（簡稱）以及 PCPPn（簡稱）的各薄膜中的 HOMO 能階分別為 -5.15eV 以及 -5.78eV 。

比較發光元件 17 的發光層的結構與發光元件 16 的發光層的結構相同，因此驅動開始電壓幾乎相同。但是可知：在比較發光元件 17 中，電洞傳輸層只由其 HOMO 能階比第二有機化合物（PCzPCN1）相當低的 PCPPn 構成，因此從電洞傳輸層到發光層的電洞轉移不順利，而高亮度（實用亮度）區域中的電壓-電流特性降低。其結果是， 1000cd/m^2 附近的驅動電壓向高電壓一側漂移。

如此，本發明的一個方式的發光元件 16 維持與比較發光元件 17 相比低的電壓並具有與比較發光元件 17 相比高的電流效率。

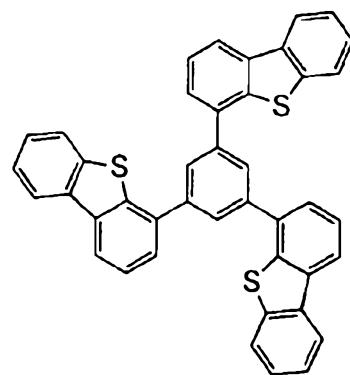
如上所述，本發明的一個方式的發光元件具有用於發光層（第一發光層 1113a 及第二發光層 1113b）的具有電洞傳輸性的第二有機化合物包括在電洞傳輸層 1112 的元件結構。藉由採用這種結構，可以由電洞傳輸層所具有的第二有機化合物降低發光元件的電壓（驅動開始電壓和實用亮度區域中的驅動電壓的兩者）。此外，與只使用第二

有機化合物形成的電洞傳輸層相比，本發明的一個方式的發光元件具有第二有機化合物以外的材料，因此可以由第二有機化合物以外的材料抑制從發光層的三重激發態能的擴散，而可以實現發光效率高的良好的發光元件。

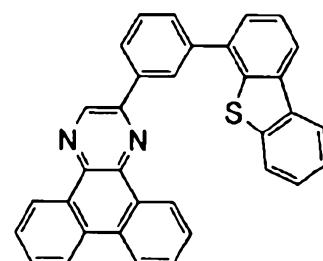
此外，雖然用於本實施例（發光元件 16）的發光層的第一有機化合物（2mDBTPDBq-II）的薄膜的 PL 峰值波長為 426nm，第二有機化合物（PCzPCN1）的 PL 峰值波長為 479nm，但是它們的混合膜的 PL 峰值波長為 571nm，而可知其向長波長一側漂移。因此，這些兩種有機化合物是形成激態複合物的組合。

實施例 7

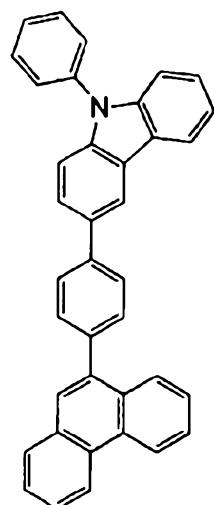
在本實施例中，使用圖 13 說明本發明的一個方式的發光元件（發光元件 18）以及比較用發光元件（比較發光元件 19）。此外，以下示出在本實施例中使用的材料的化學式。



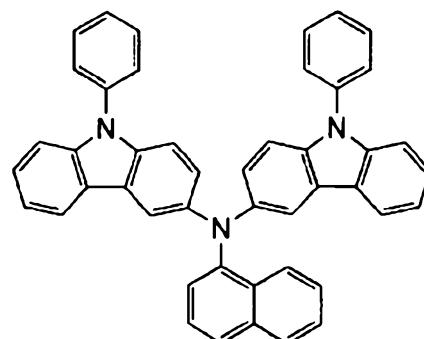
DBT3P-II



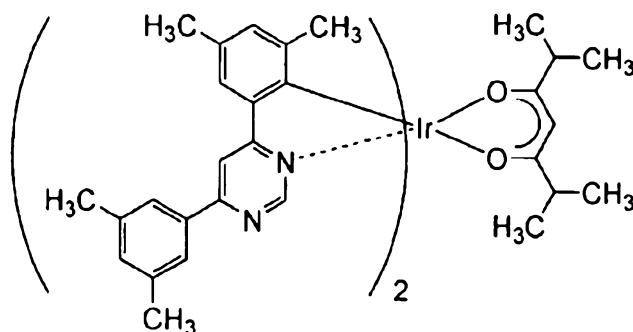
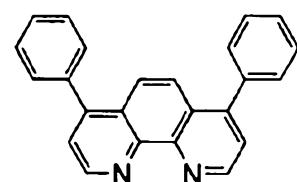
2mDBTPDBq-II



PCPPn



PCzPCN1

[Ir(dmdppm)₂(dibm)]₂

BPhen

以下，示出本實施例的發光元件 18 以及比較發光元件 19 的製造方法。

(發光元件 18)

首先，在基板 1100 上藉由濺射法形成包含矽或氧化矽的氧化銦-氧化錫化合物 (ITSO) 膜，由此形成第一電極 1101。另外，所使用的靶材的成分比為 $In_2O_3:SnO_2:SiO_2=85:10:5$ [wt.%]。另外，將第一電極 1101 的厚度設定為 110nm，且將其電極面積設定為 $2\text{mm} \times 2\text{mm}$ 。在此，第一電極 1101 是用作發光元件的陽極的電極。

接著，作為用來在基板 1100 上形成發光元件的預處理，在用水洗滌基板 1100 表面並在 200°C 下進行焙燒 1 小時之後，對該基板 1100 進行 UV 臭氧處理 370 秒。

然後，將基板 1100 放進到真空蒸鍍裝置中，其內部被減壓到 10^{-4}Pa 左右。在真空蒸鍍裝置內的加熱室中，在 170°C 下進行 30 分鐘的真空焙燒，然後使基板 1100 冷卻 30 分鐘左右。

接著，以使形成有第一電極 1101 的面朝下的方式將形成有第一電極 1101 的基板 1100 固定在設置在真空蒸鍍裝置內的基板支架上，並將壓力降低到 10^{-4}Pa 左右，然後在第一電極 1101 上藉由使用電阻加熱的蒸鍍法共蒸鍍 DBT3P-II (簡稱) 和氧化鋁，從而形成電洞注入層 1111。將電洞注入層 1111 的厚度設定為 30nm，將 DBT3P-II (簡稱) 與氧化鋁的重量比調節為 4:2 (=DBT3P-II:氧化鋁)。

接著，在電洞注入層 1111 上共蒸鍍 PCPPn (簡稱)

與 PCzPCN1（簡稱），來形成電洞傳輸層 1112。將電洞傳輸層 1112 的厚度設定為 20nm，將 PCPPn（簡稱）與 PCzPCN1（簡稱）的重量比調節為 1:1 (=PCPPn:PCzPCN1)。

接著，在電洞傳輸層 1112 上共蒸鍍 2mDBTPDBq-II（簡稱）、PCzPCN1（簡稱）和 [Ir(dmdppm)₂(dibm)]（簡稱），來形成第一發光層 1113a。在此，將 2mDBTPDBq-II（簡稱）、PCzPCN1（簡稱）和 [Ir(dmdppm)₂(dibm)]（簡稱）的重量比調節為 0.5:0.5:0.05 (=2mDBTPDBq-II:PCzPCN1:[Ir(dmdppm)₂(dibm)])。此外，將第一發光層 1113a 的厚度設定為 20nm。

此外，在第一發光層 1113a 中，2mDBTPDBq-II（簡稱）是第一有機化合物（主體材料），PCzPCN1（簡稱）是第二有機化合物（輔助材料），並且 [Ir(dmdppm)₂(dibm)]（簡稱）是第三有機化合物（客體材料）。

接著，在第一發光層 1113a 上共蒸鍍 2mDBTPDBq-II（簡稱）、PCzPCN1（簡稱）和 [Ir(dmdppm)₂(dibm)]（簡稱），來形成第二發光層 1113b。在此，將 2mDBTPDBq-II（簡稱）、PCzPCN1（簡稱）和 [Ir(dmdppm)₂(dibm)]（簡稱）的重量比調節為 0.8:0.2:0.05 (=2mDBTPDBq-II:PCzPCN1:[Ir(dmdppm)₂(dibm)])。此外，將第二發光層 1113b 的厚度設定為 20nm。

此外，在第二發光層 1113b 中，2mDBTPDBq-II（簡

稱) 是第一有機化合物(主體材料)，PCzPCN1(簡稱)是第二有機化合物(輔助材料)，並且[$\text{Ir}(\text{dmddppm})_2(\text{dibm})$](簡稱)是第三有機化合物(客體材料)。

接著，在第二發光層1113b上形成厚度為10nm的2mDBTPDBq-II(簡稱)，來形成第一電子傳輸層1114a。

接著，在第一電子傳輸層1114a上形成厚度為20nm的紅啡啉(簡稱：BPhen)，來形成第二電子傳輸層1114b。

接著，在第二電子傳輸層1114b上蒸鍍1nm的氟化鋰(LiF)，來形成電子注入層1115。

最後，作為用作陰極的第二電極1103藉由以200nm的厚度蒸鍍鋁(Al)來製造本實施例的發光元件18。

此外，作為上述蒸鍍過程中的蒸鍍，都採用電阻加熱法。

(比較發光元件19)

比較發光元件19的電洞傳輸層1112的結構與發光元件18不同，而比較發光元件19的其他結構與發光元件18相同。以下，只記載不同結構。

藉由在電洞注入層1111上蒸鍍PCPPn(簡稱)形成電洞傳輸層1112。將電洞傳輸層1112的厚度設定為20nm。

表 13 示出藉由上述步驟得到的發光元件 18 以及比較發光元件 19 的元件結構。

[表 13]

| | 第一電極 | 電洞注入層 | 電洞傳輸層 | 第一發光層 | 第二發光層 | 第一電子傳輸層 | 第二電子傳輸層 | 電子注入層 | 第二電極 |
|---------------|--|---|-------------------------------------|-------|-------|--|---------------|------------|-------------|
| 發光元件 18 | ITO 110nm | DBT3P-II : MoO _x (=4:2) 30nm | PCPPn : PCzPCN1 (1:1) 20nm | 見下表 | 見下表 | 2mDBTPDBq-II 10nm | BPhen 20nm | LiF 1nm | Al 200nm |
| 比較 發光元件 19 | ITO 110nm | DBT3P-II : MoO _x (=4:2) 30nm | PCPPn 20nm | 見下表 | 見下表 | 2mDBTPDBq-II 10nm | BPhen 20nm | LiF 1nm | Al 200nm |
| 第一發光層 | | | | | | | | | |
| 發光元件 18 | 2mDBTPDBq-II : PCzPCN1 : Ir(dmdppm) ₂ (dibm) (=0.5 : 0.5 : 0.05) 20nm | | | | | 2mDBTPDBq-II : PCzPCN1 : Ir(dmdppm) ₂ (dibm) (=0.8 : 0.2 : 0.05) 20nm | | | |
| 比較 發光元件 19 | 2mDBTPDBq-II : PCzPCN1 : Ir(dmdppm) ₂ (dibm) (=0.5 : 0.5 : 0.05) 20nm | | | | | 2mDBTPDBq-II : PCzPCN1 : Ir(dmdppm) ₂ (dibm) (=0.8 : 0.2 : 0.05) 20nm | | | |

在氮氣氛圍的手套箱中，以不使各發光元件暴露於大氣的方式進行使用玻璃基板密封發光元件 18 以及比較發光元件 19 的工作（在元件的周圍塗敷密封材料，當密封時以 80°C 進行 1 小時的熱處理）。然後，對這些發光元件的工作特性進行測量。另外，在室溫（保持為 25°C 的氛圍）下進行測量。

圖 46 示出發光元件 18 以及比較發光元件 19 的電流密度 - 亮度特性。在圖 46 中，橫軸表示電流密度 (mA/cm^2)，縱軸表示亮度 (cd/m^2)。此外，圖 47 示出發光元件 18 以及比較發光元件 19 的電壓-亮度特性。在圖 47 中，橫軸表示電壓 (V)，縱軸表示亮度

(cd/m^2)。此外，圖 48 示出發光元件 18 以及比較發光元件 19 的亮度-電流效率特性。在圖 48 中，橫軸表示亮度 (cd/m^2)，縱軸表示電流效率 (cd/A)。此外，圖 49 示出發光元件 18 以及比較發光元件 19 的電壓-電流特性。在圖 49 中，橫軸表示電壓 (V)，縱軸表示電流 (mA)。另外，圖 50 示出發光元件 18 以及比較發光元件 19 的發射光譜。在圖 50 中，橫軸表示波長 (nm)，縱軸表示發光強度 (任意單位)。此外，在圖 50 中，各發光元件的資料大致重疊。

此外，表 14 表示亮度為 $1000\text{cd}/\text{m}^2$ 附近時的各個發光元件中的電壓 (V)、電流密度 (mA/cm^2)、CIE 色度座標 (x , y)、電流效率 (cd/A)、外部量子效率 (%)。

[表 14]

| | 電壓(V) | 電流密度 (mA/cm ²) | CIE色度座標 | | 亮度 (cd/m ²) | 電流效率 (cd/A) | 外部量子效率 (%) |
|----------|-------|-------------------------------|---------|------|----------------------------|----------------|---------------|
| | | | x | y | | | |
| 發光元件18 | 2.6 | 1.3 | 0.61 | 0.39 | 931 | 62 | 30 |
| 比較發光元件19 | 3.0 | 1.6 | 0.61 | 0.39 | 941 | 59 | 29 |

如表 14 所示那樣，亮度為 $931\text{cd}/\text{m}^2$ 時的發光元件 18 的 CIE 色度座標 (x , y) = (0.61, 0.39)。此外，亮度為 $941\text{cd}/\text{m}^2$ 時的比較發光元件 19 的 CIE 色度座標 (x , y) = (0.61, 0.39)。

此外，亮度為 $931\text{cd}/\text{m}^2$ 時的發光元件 18 的電壓為 2.6V ，且電流效率為 $62\text{cd}/\text{A}$ 。此外，亮度為 $941\text{cd}/\text{m}^2$ 時的比較發光元件 19 的電壓為 3.0V ，且電流效率為 $59\text{cd}/\text{A}$ 。

因此，確認到可以使本發明的一個方式的發光元件 18 的電壓比比較發光元件 19 低 0.4V ，並且可以使發光元件 18 的電流效率與比較發光元件 19 同等。

該結果可以如下面說明。首先，在本實施例中使用的 PCzPCN1（簡稱）以及 PCPPn（簡稱）的各薄膜中的 HOMO 能階分別為 -5.15eV 以及 -5.78eV 。

另一方面，比較發光元件 19 的發光層的結構與發光元件 18 的發光層的結構相同，因此驅動開始電壓幾乎相同。但是可知：在比較發光元件 19 中，電洞傳輸層只由其 HOMO 能階比第二有機化合物（PCzPCN1）相當低的 PCPPn 構成，因此從電洞傳輸層到發光層的電洞轉移不順利，而高亮度（實用亮度）區域中的電壓-電流特性降低。其結果是， $1000\text{cd}/\text{m}^2$ 附近的驅動電壓向高電壓一側漂移。

如此，本發明的一個方式的發光元件 18 維持與比較發光元件 19 相比低的電壓並具有與比較發光元件 19 相比高的電流效率。

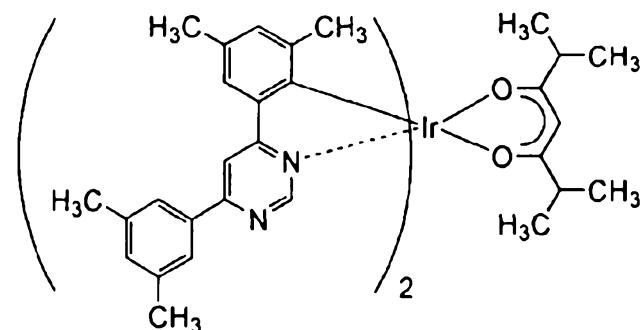
如上所述，本發明的一個方式的發光元件具有用於發光層（第一發光層 1113a 及第二發光層 1113b）的具有電洞傳輸性的第二有機化合物包括在電洞傳輸層 1112 的元

件結構。藉由採用這種結構，可以由電洞傳輸層所具有的第二有機化合物降低發光元件的電壓（驅動開始電壓和實用亮度區域中的驅動電壓的兩者）。此外，與只使用第二有機化合物形成的電洞傳輸層相比，本發明的一個方式的發光元件具有第二有機化合物以外的材料，因此可以由第二有機化合物以外的材料抑制從發光層的三重激發態能的擴散，而可以實現發光效率高且良好的發光元件。

此外，雖然用於本實施例（發光元件 18）的發光層的第一有機化合物（2mDBTPDBq-II）的薄膜的 PL 峰值波長為 426nm，第二有機化合物（PCzPCN1）的 PL 峰值波長為 479nm，但是它們的混合膜的 PL 峰值波長為 571nm，而可知其向長波長一側漂移。因此，這些兩種有機化合物是形成激態複合物的組合。

（參考例子 1）

具體說明在上述實施例中使用的 {2-[6-(3,5-二甲基苯基)-4-嘧啶基- κ N3]-4,6-二甲基苯基- κ C} (2,6-二甲基-3,5-庚二酮- κ^2 O,O') 錏 (III) (簡稱：
[Ir(dmddppm)₂(dibm)]) 的合成方法。以下示出 [Ir(dmddppm)₂(dibm)] (簡稱) 的結構。



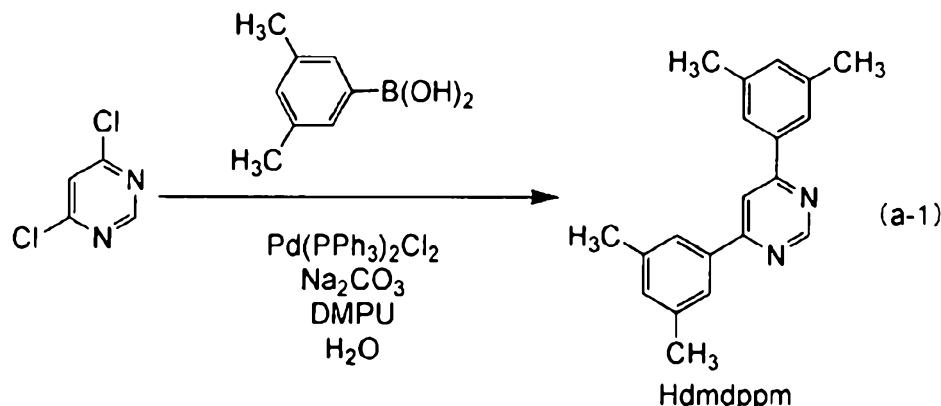
$[\text{Ir}(\text{dmddppm})_2(\text{dibm})]$

〈步驟 1：4,6-雙（3,5-二甲基苯基）嘧啶（簡稱：
Hdmddppm）的合成方法〉

首先，將 5.97g 的 4,6-二氯吡嗪、12.04g 的 3,5-二甲基苯硼酸、8.48g 的碳酸鈉、0.34g 的雙（三苯基膦）二氯化鈀（II）（ $\text{Pd}(\text{PPh}_3)_2\text{Cl}_2$ ）、20mL 的水以及 20mL 的 1,3-二甲基-3,4,5,6-四氫-2（1H）-嘧啶酮（簡稱：DMPU）放入到安裝有回流管的茄形燒瓶中，並利用氰氣置換其內部。對該反應容器照射 60 分鐘的微波（2.45GHz, 100W）來進行加熱。在此，將 2.58g 的 3,5-二甲基苯硼酸、1.78g 的碳酸鈉、0.070g 的 $\text{Pd}(\text{PPh}_3)_2\text{Cl}_2$ 、5mL 的水、5mL 的 DMPU 還放入到燒瓶中，再次照射 60 分鐘的微波（2.45GHz, 100W）來進行加熱。

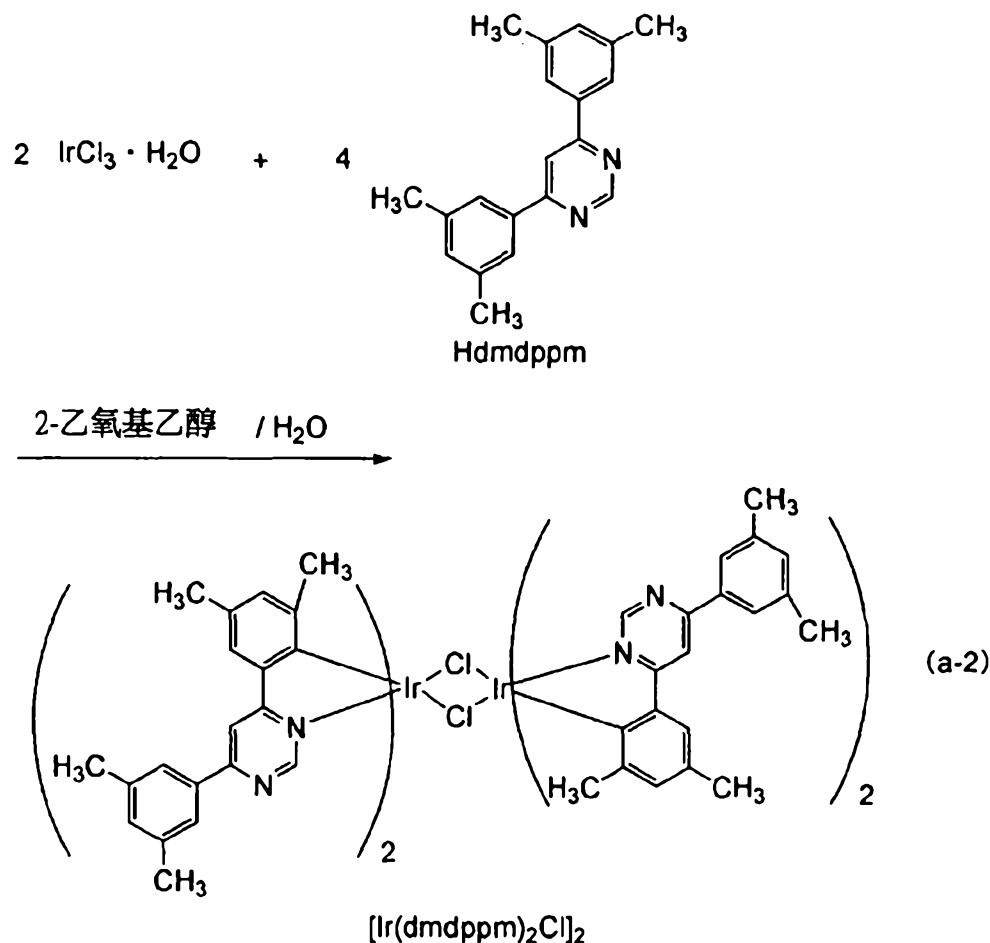
然後，將所得到的殘渣使用水抽濾且使用水、乙醇洗滌。藉由在將所得到的固體溶解於二氯甲烷中，藉由依次層疊有矽藻土、礬土、矽藻土的助濾材進行過濾之後使用乙醇洗滌，得到了目的物的嘧啶衍生物 Hdmddppm（白色

粉末，產率為 56%）。使用微波合成裝置（CEM 公司製造，Discover）照射微波。以下述（a-1）示出步驟 1 的合成方案。



〈步驟 2：二- μ -氯-四{2-[6-(3,5-二甲基苯基)-4-嘧啶基- κ N3]-4,6-二甲基苯基- κ C}二鋨（III）（簡稱： $[\text{Ir}(\text{dmddppm})_2\text{Cl}]_2$ ）的合成方法〉

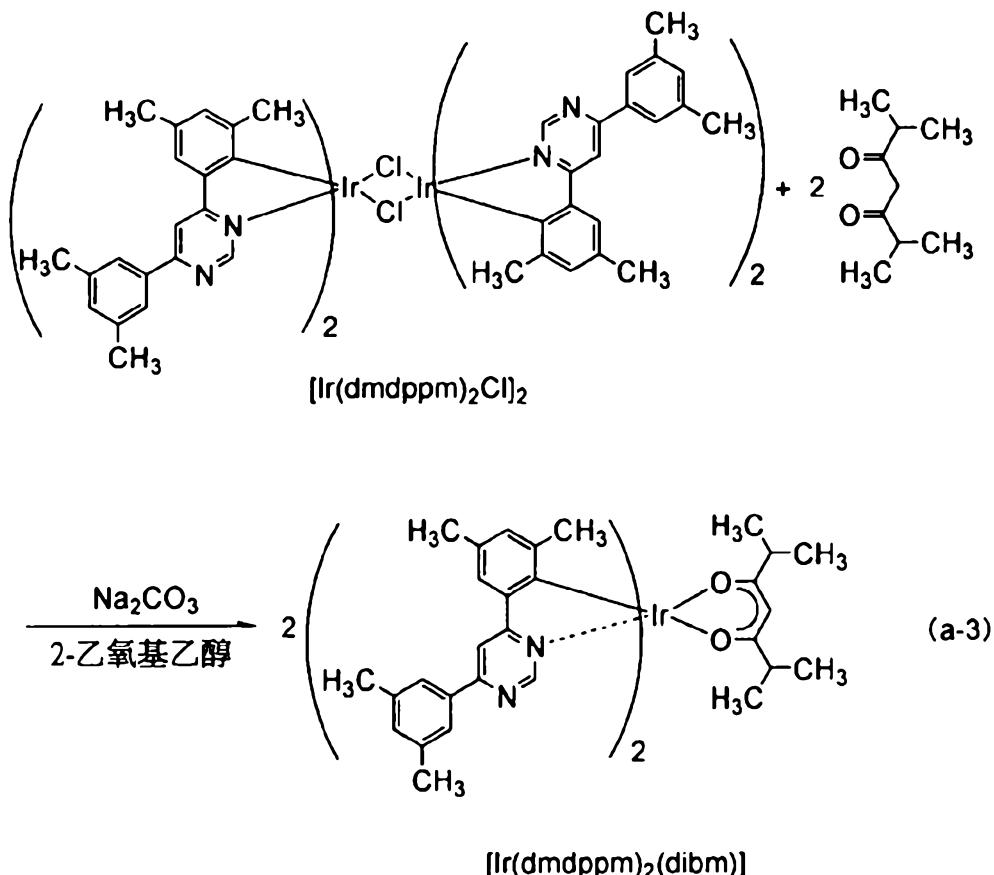
接著，將 15mL 的 2-乙氧基乙醇、5mL 的水、2.10g 的藉由上述步驟 1 得到的 Hdmppm（簡稱）和 1.07g 的氯化鋨水合物 ($\text{IrCl}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$)（西格瑪奧德里奇公司製造）放入到安裝有回流管的茄形燒瓶中，並利用氰氣置換其內部。然後，照射微波（2.45GHz，100W）1 小時，而使其起反應。在蒸餾而去除溶劑之後，將所得到的殘渣使用乙醇抽濾並洗滌，而得到雙核錯合物 $[\text{Ir}(\text{dmddppm})_2\text{Cl}]_2$ （簡稱）（紅褐色粉末，產率為 74%）。以下述（a-2）示出步驟 2 的合成方案。



〈步驟 3：雙{2-[6-(3,5-二甲基苯基)-4-嘧啶基-κN3]-4,6-二甲基苯基-κC}(2,6-二甲基-3,5-庚二酮-κ²O,O')錫(III)(簡稱：[Ir(dmddppm)₂(dibm)])的合成方法〉

而且，將 30mL 的 2-乙氧基乙醇、1.09g 的藉由上述步驟 2 得到的雙核錯合物 [Ir(dmddppm)₂Cl]₂ (簡稱)、0.32g 的二異丁醯甲基 (簡稱：Hdibm) 和 0.72g 的碳酸鈉放入到安裝有回流管的茄形燒瓶中，並利用氰氣置換其內部。然後，照射 60 分鐘的微波 (2.45GHz, 120W) 來進行加熱。在蒸餾而去除溶劑之後，使用乙醇抽濾所得到的殘渣。藉由使用水、乙醇對所得到的固體進行洗滌並使用

二氯甲烷和乙醇的混合溶劑使該固體再結晶，得到用於實施例的有機金屬錯合物 $[\text{Ir}(\text{dmddppm})_2(\text{dibm})]$ (簡稱) 作為紅色粉末 (產率為 62%)。以下述 (a-3) 示出步驟 3 的合成方案。



此外，利用核磁共振法 ($^1\text{H-NMR}$) 對藉由上述合成方法得到的化合物進行測量。從測量結果可知：得到了 $[\text{Ir}(\text{dmddppm})_2(\text{dibm})]$ (簡稱)。

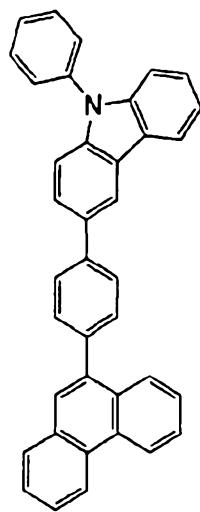
以下，示出所得到的物質的 $^1\text{H-NMR}$ 資料。

$^1\text{H-NMR.}\delta$ (CDCl_3) : 0.69 (d, 6H) , 0.82 (d, 6H) , 1.51 (s, 6H) , 2.17-2.23 (m, 2H) , 2.31 (s, 6H) , 2.45 (s, 12H) , 5.19 (s, 1H) , 6.61 (s, 2H) , 7.17 (

s,2H) , 7.56 (s,2H) , 7.82 (s,4H) , 8.11 (d,2H) , 8.88 (d,2H) 。

(參照例子 2)

具體說明在上述實施例使用的 3-[4-(9-菲基)-苯基]-9-苯基-9H-咔唑 (簡稱：PCPPn) 的合成方法。以下示出 PCPPn (簡稱) 的結構。



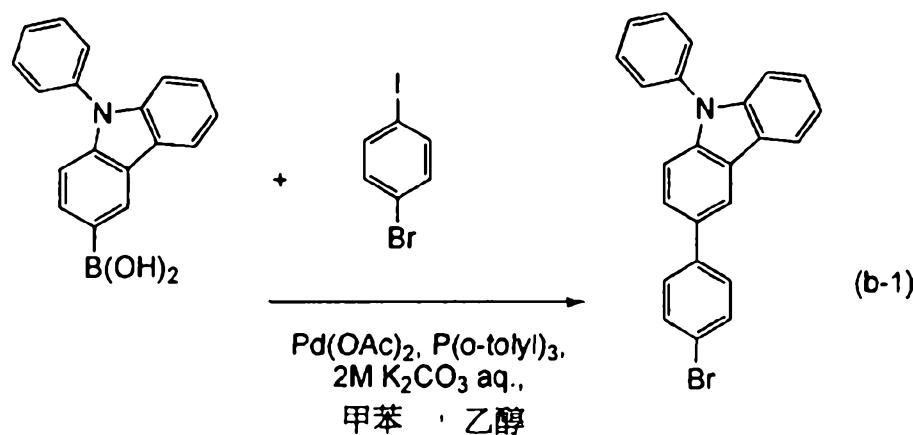
PCPPn

(步驟 1：3-(4-溴苯基)-9-苯基-9H-咔唑的合成方法)

在 300mL 三頸燒瓶中，將 14g (50mmol) 的 4-溴碘代苯、14g (50mmol) 9-苯基-9H-咔唑-3-硼酸、110mg (0.5mmol) 的乙酸鈀 (II)、300mg (1.0mmol) 的三(鄰-甲苯基)膦、50mL 的甲苯、10mL 的乙醇和 25mL 的碳酸鉀水溶液 (2mol/L) 的混合物在減壓下攪拌並脫氣，然後在氮氣氛圍下以 80°C 加熱並攪拌 6 小時，而進

行反應。

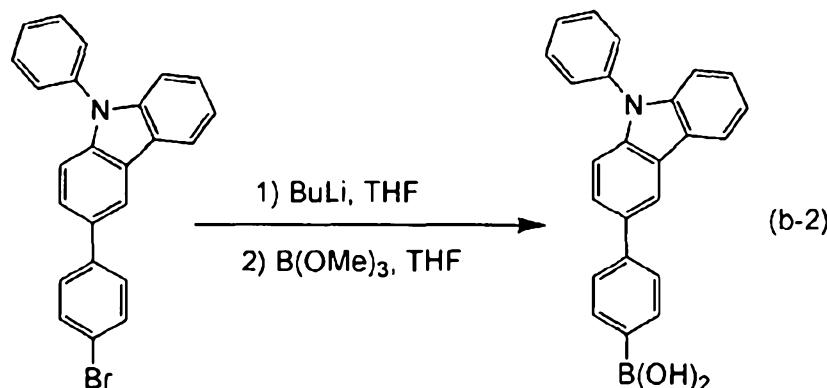
在反應之後，對反應混合液中加入 200mL 的甲苯，藉由矽酸鎂、矽藻土過濾該懸浮液。用水洗滌所得到的濾液，在其中加入硫酸鎂以吸收水分。將該懸浮液過濾而得到濾液。將所得到的濾液濃縮，並藉由矽膠管柱層析進行純化。此時，使用甲苯和己烷（甲苯:己烷 = 1:4）的混合溶劑作為層析的展開溶劑。濃縮所得到的餾分，並對其添加己烷。對該混合物輻射超聲波，然後使該混合物再結晶，以 75% 的產率得到了目的物的 15g 的白色粉末。以下述 (b-1) 示出上述步驟 1 的反應方案。



〈步驟 2：4-（9-苯基-9H-咔唑-3-基）苯基硼酸的合成方法〉

在 300mL 三頸燒瓶中加入 8.0g (20mmol) 的在上述反應方案 (b-1) 中得到的 3-（4-溴苯基）-9-苯基-9H-咔唑，利用氮氣置換燒瓶中的氛圍，然後對燒瓶中加入 100mL 的脫水四氫呋喃（簡稱：THF），並將溫度設定為 -78 °C。在上述混合液中滴加 15mL (24mmol) 的 1.65 mol/L 正丁基鋰己烷溶液，並攪拌 2 小時。對該混合

物加入 3.4mL (30mmol) 的硼酸三甲酯，將其在 -78°C 下攪拌 2 小時，在室溫下攪拌 18 小時。在反應之後，對該反應溶液中加入 1M 稀鹽酸，到溶液變酸性為止，將添加稀鹽酸的溶液攪拌 7 小時。對該溶液進行乙酸乙酯萃取，用飽和鹽水洗滌得到的有機層。在洗滌之後，對有機層中加入硫酸鎂以去除水分。將懸浮液過濾，將所得到的濾液濃縮，在其中加入己烷。對該混合物輻射超聲波，然後使該濾液再結晶，而以 88% 的產率得到了目的物的 6.4g 的白色粉末。以下述 (b-2) 示出上述步驟 2 的反應方案。

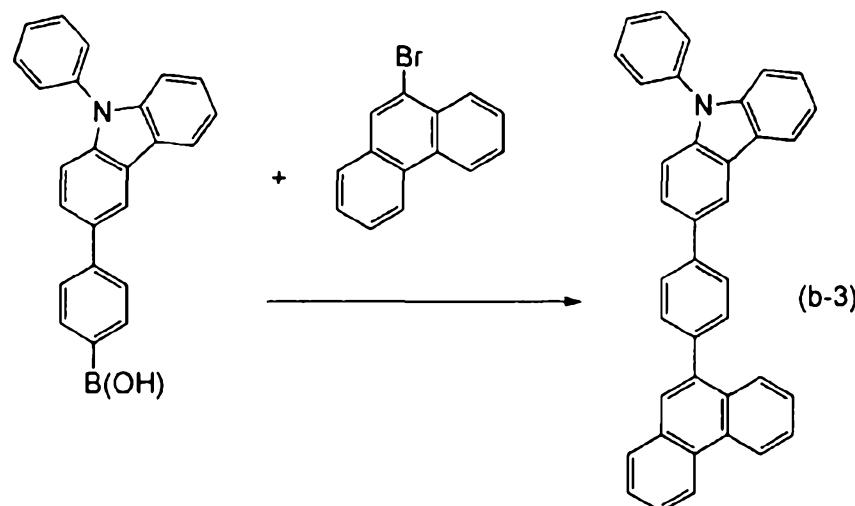


(步驟 2：3-[4-（9-菲基）-苯基]-9H-咔唑（簡稱：PCPPn）的合成方法）

在 200mL 三頸燒瓶中，將 1.5g (5.0mmol) 的 9-苯基-9H-咔唑-3-基-苯基-4-硼酸、3.2g (11mmol) 的 9-溴菲、11mg (0.1mmol) 的醋酸鈀 (II)、30mg (0.1mmol) 的三（鄰-甲苯基）膦、30mL 的甲苯、3mL 的乙醇以及 5mL 碳酸鉀水溶液 (2mol/L) 的混合物在減壓下攪拌並脫氣，然後，在氮氣氛圍下以 90°C 加熱並攪拌 6 小時，而

進行反應。

在反應之後，對該反應混合液加入 200mL 的甲苯，藉由矽酸鎂、氧化鋁以及矽藻土過濾該混合液的有機層。用水洗滌所得到的濾液，在其中加入硫酸鎂以吸收水分。將該懸浮液過濾而得到濾液。將所得到的濾液濃縮，並藉由矽膠管柱層析進行純化。此時，使用甲苯和己烷（甲苯:己烷=1:4）的混合溶劑作為層析的展開溶劑。濃縮所得到的餾分，添加丙酮和甲醇。對該混合物輻射超聲波，然後使該混合物再結晶，以 75% 的產率得到了目的物的 2.2g 的白色粉末。以下述 (b-3) 示出步驟 3 的反應方案。



此外，利用核磁共振法 ($^1\text{H-NMR}$) 對藉由上述合成方法得到的化合物進行測量。從測量結果可知：得到了 PCPPn (簡稱)。

以下，示出所得到的物質的 $^1\text{H-NMR}$ 資料。

$^1\text{H-NMR}$ (CDCl_3 , 300MHz) : δ (ppm) = 7.30-7.35 (m, 11H), 7.43-7.78 (m, 16H), 7.86-7.93 (m, 3H),

8.01 (dd, J=0.9 Hz, 7.8 Hz, 1H) , 8.23 (d, J=7.8 Hz, 1H) , 8.47 (d, J=1.5 Hz, 1H) , 8.74 (d, J=8.1 Hz, 1H) , 8.80 (d, J=7.8 Hz, 1H) 。

(參考例子 3)

在上述實施例中，對用於各發光元件的 2mDBTPDBq-II (簡稱) 、 PCzPCN1 (簡稱) 、 DPA2SF (簡稱) 、 BPAFLP (簡稱) 以及 PCPPn (簡稱) 的 T_1 能階進行測量。此外，藉由測量各物質的磷光發光且將磷光發射波長換算為電子伏特進行 T_1 能階的測量。測量條件為如下：對各物質照射 325nm 的激發光，測量溫度為 10K 。此外，在能階的測量中，從吸收波長算出時的精度比從發射波長算出時的精度高。但是，因為 T_1 能階的吸收極微弱而能以進行測量，所以在此藉由測量位於磷光光譜的最短波長一側的峰值波長來求得 T_1 能階。因此，測量值有多少誤差。

圖 51 示出所測量的 2mDBTPDBq-II (簡稱) 的磷光發光，圖 52 示出所測量的 PCzPCN1 (簡稱) 的磷光發光，圖 53 示出所測量的 DPA2SF (簡稱) 的磷光發光，圖 54 示出所測量的 BPAFLP (簡稱) 的磷光發光，圖 55 示出所測量的 PCPPn (簡稱) 的磷光發光。此外，表 15 示出測量結果。從該結果可知：與在上述實施例中用作第一有機化合物的 2mDBTPDBq-II (簡稱) 、用作第二有機化合物的 PCzPCN1 (簡稱) 及 DPA2SF (簡稱) 相比，對

電洞傳輸層添加的 BPAFLP (簡稱) 及相當於第四有機化
合物的 PCPPn (簡稱) 的 T_g 能階高。

[表 15]

| 化合物名稱 | 磷光發光波長(nm) | T_g 能階(eV) |
|-------------------|------------|--------------|
| 2mDBTPDBq-II (簡稱) | 516 | 2.40 |
| PCzPCN1 (簡稱) | 560 | 2.21 |
| DPA2SF (簡稱) | 534 | 2.32 |
| BPAFLP (簡稱) | 497 | 2.49 |
| PCPPn (簡稱) | 502 | 2.47 |

【符號說明】

100：基板

101：第一電極

103：第二電極

111：電洞注入層

112：電洞傳輸層

112a：電洞傳輸層

112b：電洞傳輸層

112c：電洞傳輸層

113：發光層

114：電子傳輸層

115：電子注入層

120：第一有機化合物

122：第二有機化合物

- 124：第三有機化合物
- 126：第四有機化合物
- 301：第一電極
- 303：第二電極
- 311：第一發光層
- 312：第二發光層
- 313：電荷產生層
- 450R：第一發光元件
- 450G：第二發光元件
- 450B：第三發光元件
- 451：反射電極
- 452：半透射·半反射電極
- 453a：第一透明導電層
- 453b：第二透明導電層
- 454：發光層
- 454B：第一發光層
- 454G：第二發光層
- 454R：第三發光層
- 455：EL層
- 501：元件基板
- 502：像素部
- 503：驅動電路部
- 504：驅動電路部
- 505：密封材料

506：密封基板

507：佈線

508：FPC

509：n通道型 TFT

510：p通道型 TFT

511：開關用 TFT

512：電流控制用 TFT

513：第一電極

514：絕緣物

515：EL層

516：第二電極

517：發光元件

518：空間

611：外殼

612：支撐台

613：顯示部

614：揚聲器部

615：視頻輸入端子

621：主體

622：外殼

623：顯示部

624：鍵盤

625：外部連接埠

626：指向裝置

- 631：主體
- 632：外殼
- 633：顯示部
- 634：聲音輸入部
- 635：聲音輸出部
- 636：操作鍵
- 637：外部連接埠
- 638：天線
- 641：主體
- 642：顯示部
- 643：外殼
- 644：外部連接埠
- 645：遙控接收部
- 646：影像接收部
- 647：電池
- 648：聲音輸入部
- 649：操作鍵
- 650：取景部
- 701：外殼
- 702：液晶面板
- 703：背光
- 704：外殼
- 705：驅動器 IC
- 706：端子

- 801：外殼
- 802：光源
- 901：照明設備
- 902：電視機
- 1100：基板
- 1101：第一電極
- 1103：第二電極
- 1111：電洞注入層
- 1112：電洞傳輸層
- 1113a：第一發光層
- 1113b：第二發光層
- 1114a：第一電子傳輸層
- 1114b：第二電子傳輸層
- 1115：電子注入層
- 5000：可攜式終端
- 5001：外殼
- 5003：顯示部
- 5005：電源按鈕
- 5007：正面相機
- 5009：背面相機
- 5011：外部接続端子
- 5013：外部接續端子
- 5015：圖示
- 6000：可攜式終端

- 6001 : 外殼
- 6003 : 外殼
- 6005 : 紹鏈部
- 6007 : 顯示部
- 6009 : 顯示部
- 6011 : 電源按鈕
- 6013 : 相機
- 6015 : 相機
- 6017 : 文字圖示
- 6019 : 圖示
- 6021 : 鍵盤

發明摘要

※申請案號：102113801

※申請日：102 年 04 月 18 日

※IPC 分類：*H01L 51/50 (2006.01)*

【發明名稱】(中文/英文)

發光元件，發光裝置，電子裝置及照明設備

Light-emitting element, light-emitting device, electronic appliance, and
lighting device

【中文】

本發明的目的之一是提供一種驅動電壓低且發光效率高的發光元件。本發明的一個方式在一對電極之間包括電洞傳輸層以及形成在電洞傳輸層上的發光層。該發光層包括具有電子傳輸性的第一有機化合物、具有電洞傳輸性的第二有機化合物以及將三重激發態能轉換成發光並具有發光性的第三有機化合物。第一有機化合物和第二有機化合物是形成激態複合物的組合。而且，電洞傳輸層使用兩種以上的有機化合物形成並至少具有第二有機化合物。

【英文】

A light-emitting element which has low driving voltage and high emission efficiency is provided. The light-emitting element includes, between a pair of electrodes, a hole-transport layer and a light-emitting layer over the hole-transport layer. The light-emitting layer contains a first organic compound having an electron-transport property, a second organic compound having a hole-transport property, and a light-emitting third organic compound converting triplet excitation energy into light emission. A combination of the first organic compound and the second organic compound forms an exciplex. The hole-transport layer is formed using two or more kinds of organic compounds and contains at least the second organic compound.

【代表圖】

【本案指定代表圖】：第(1)圖。

【本代表圖之符號簡單說明】：

100：基板

101：第一電極

103：第二電極

112：電洞傳輸層

113：發光層

120：第一有機化合物

122：第二有機化合物

124：第三有機化合物

【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】：
無

申請專利範圍

1. 一種發光元件，其包含：

電洞傳輸層；以及

該電洞傳輸層上的發光層，

其中，該發光層包括具有電子傳輸性的第一有機化合物、具有電洞傳輸性的第二有機化合物以及將三重激發態能轉換成發光的第三有機化合物，

其中，該第一有機化合物和該第二有機化合物的組合形成激態複合物，

其中從該激態複合物到該第三有機化合物的三重激發態發生能量轉移，並且

其中，該電洞傳輸層包含該第二有機化合物以及具有電洞傳輸性的第四有機化合物。

2. 一種發光元件，其包含：

電洞注入層；

該電洞注入層上的電洞傳輸層；

該電洞傳輸層上的發光層；

該發光層上的電子傳輸層；以及

該電子傳輸層上的電子注入層，

其中，該發光層包括具有電子傳輸性的第一有機化合物、具有電洞傳輸性的第二有機化合物以及將三重激發態能轉換成發光的第三有機化合物，

其中，該第一有機化合物和該第二有機化合物的組合形成激態複合物，

其中從該激態複合物到該第三有機化合物的三重激發態發生能量轉移，並且

其中，該電洞傳輸層包含該第二有機化合物以及具有電洞傳輸性的第四有機化合物。

3. 根據申請專利範圍第 1 或 2 項之發光元件，其中該第四有機化合物的 T_1 能階高於該第一有機化合物的 T_1 能階。

4. 根據申請專利範圍第 1 或 2 項之發光元件，其中該第四有機化合物的 T_1 能階高於該第二有機化合物的 T_1 能階。

5. 根據申請專利範圍第 1 或 2 項之發光元件，其中該第一有機化合物是缺 π 型雜芳族化合物，其中該第二有機化合物是富 π 型雜芳族化合物或芳香胺化合物，並且

其中該第三有機化合物是磷光有機金屬錯合物。

6. 一種包含根據申請專利範圍第 1 或 2 項之發光元件的發光裝置。

7. 一種包含根據申請專利範圍第 6 項之發光裝置的電子裝置。

8. 一種包含根據申請專利範圍第 6 項之發光裝置的照明設備。