



(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 I831058 B

(45)公告日：中華民國 113 (2024) 年 02 月 01 日

(21)申請案號：110137335 (22)申請日：中華民國 101 (2012) 年 02 月 24 日

(51)Int. Cl. : C07D209/86 (2006.01) C07D409/10 (2006.01)
C07F15/00 (2006.01) C09K11/06 (2006.01)
H10K50/11 (2023.01) H10K85/60 (2023.01)
H10K101/30 (2023.01)

(30)優先權：2011/02/28 日本 2011-042120
2011/02/28 日本 2011-042122

(71)申請人：日商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：山崎舜平 YAMAZAKI, SHUNPEI (JP)；瀨尾哲史 SEO, SATOSHI (JP)；大澤信
晴 OHSAWA, NOBUHARU (JP)；下垣智子 SHITAGAKI, SATOKO (JP)；井上英
子 INOUE, HIDEKO (JP)；門間裕史 KADOMA, HIROSHI (JP)；尾坂晴惠 OSAKA,
HARUE (JP)；鈴木邦彥 SUZUKI, KUNIHICO (JP)；竹村保彥 TAKEMURA,
YASUHIKO (JP)

(74)代理人：林志剛

(56)參考文獻：
TW 200746898A TW 201002138A
US 5955836

審查人員：游瀚霆

申請專利範圍項數：10 項 圖式數：15 共 70 頁

(54)名稱

發光元件

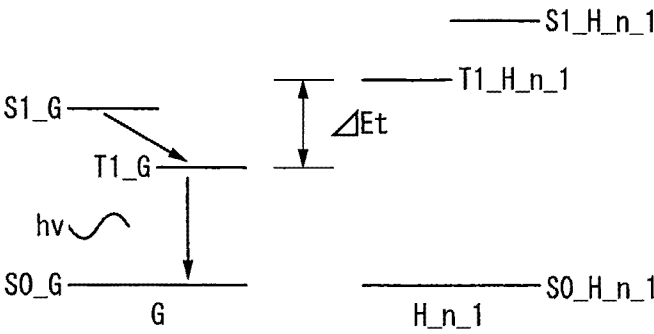
(57)摘要

本發明提供一種發光元件，其包括：在一對電極之間的包含客體、n 型主體、和 p 型主體的發光層，其中，n 型主體(或 p 型主體)的三重激發態與基態之間的能量差與客體的三重激發態與基態之間的能量差之差值為 0.15eV 或更多。或者，在此發光元件中，n 型主體的 LUMO 能階比客體的 LUMO 能階高 0.1eV 或更多，或者 p 型主體的 HOMO 能階比客體的 HOMO 能階低 0.1eV 或更多。

A light-emitting element includes a light-emitting layer including a guest, an n-type host and a p-type host between a pair of electrodes, where the difference between the energy difference between a triplet excited state and a ground state of the n-type host (or p-type host) and the energy difference between a triplet excited state and a ground state of the guest is 0.15 eV or more. Alternatively, in such a light-emitting element, the LUMO level of the n-type host is higher than the LUMO level of the guest by 0.1 eV or more, or the HOMO level of the p-type host is lower than the HOMO level of the guest by 0.1 eV or more.

指定代表圖：

圖 2C



【發明摘要】

【中文發明名稱】

發光元件

【英文發明名稱】

LIGHT-EMITTING ELEMENT

【中文】

本發明提供一種發光元件，其包括：在一對電極之間的包含客體、n 型主體、和 p 型主體的發光層，其中，n 型主體（或 p 型主體）的三重激發態與基態之間的能量差與客體的三重激發態與基態之間的能量差之差值為 0.15eV 或更多。或者，在此發光元件中，n 型主體的 LUMO 能階比客體的 LUMO 能階高 0.1eV 或更多，或者 p 型主體的 HOMO 能階比客體的 HOMO 能階低 0.1eV 或更多。

【英文】

A light-emitting element includes a light-emitting layer including a guest, an n-type host and a p-type host between a pair of electrodes, where the difference between the energy difference between a triplet excited state and a ground state of the n-type host (or p-type host) and the energy difference between a triplet excited state and a ground state of the guest is 0.15 eV or more. Alternatively, in such a light-emitting element, the LUMO level of the n-type host is higher than the LUMO level of the guest by 0.1 eV or more, or the HOMO level of the p-type host is lower than the HOMO level of the guest by 0.1 eV or more.

【代表圖】

【本案指定代表圖】：圖 2C

【本代表圖之符號簡單說明】：無

【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】：無

【發明說明書】

【中文發明名稱】

發光元件

【英文發明名稱】

LIGHT-EMITTING ELEMENT

【技術領域】

本發明係關於一種利用有機電致發光 (EL: Electroluminescence) 現象的發光元件 (以下，也稱為有機 EL 元件)。

【先前技術】

對有機 EL 元件積極地進行研究開發 (參照專利文獻 1、非專利文獻 1 及非專利文獻 2)。有機 EL 元件的基本結構是在一對電極之間夾有包含發光性有機化合物的層 (以下，也稱為發光層) 的結構，並且有機 EL 元件由於具有可實現薄型輕量化、能夠對輸入信號進行高速回應、能夠實現直流低電壓驅動等的特性，所以作為下一代的平板顯示元件受到關注。此外，使用這種發光元件的顯示器還具有優異的對比度、清晰的影像品質以及廣視角的特徵。再者，由於有機 EL 元件為面狀光源，因此期望將有機 EL 元件應用於例如液晶顯示器的背光、照明裝置等的光源。

有機 EL 元件的發光機理屬於載子注入系統。換言之，藉由對夾有發光層的電極之間施加電壓，從電極注入的電子和電洞重組合，以使發光物質成為激發態，並且當該發光物質由激發態回到基態時發光。激發態有二種類型：單重激發態和三重激發態。此外，在發光元件中，單重激發態和三重激發態的統計學上的生成比例被認為前者是 1：3。另外，在本說明書中，在沒有特別的說明時，單重激發態（或三重激發態）是指單重激發態（或三重激發態）中的能階最低的單重激發態（或三重激發態）。

發光性有機化合物的基態通常是單重激發態。因此，來自單重激發態的發光因是在相同的自旋多重態之間的電子躍遷而被稱為螢光。另一方面，來自三重激發態的發光因是在不同的自旋多重態之間的電子躍遷而被稱為磷光。在此，在發射螢光的化合物（以下，稱為螢光化合物）中，通常，在室溫下無法觀察到磷光，且只能觀察到螢光。因此，基於上述單重激發態與三重激發態的比率（=1：3），使用螢光化合物的發光元件中的內部量子效率（所生成的光子與所注入的載子之比）的理論上的極限被認為是 25%。

另一方面，如果使用發射磷光的化合物（以下稱為磷光化合物），則內部量子效率在理論上可以提高 100%。換言之，與螢光化合物相比，可以得到較高的發光效率。根據上述理由，為了實現高效率的發光元件，近年來積極地開發出使用磷光化合物的發光元件。

尤其是，作為磷光化合物，以銨等為中心金屬的有機金屬錯合物由於其高磷光量子效率而受到關注。例如，專利文獻 1 公開有以銨為中心金屬的有機金屬錯合物作為磷光材料。

當使用上述磷光化合物形成發光元件的發光層時，為了抑制磷光化合物的濃度猝滅或者由三重態-三重態湮滅導致的猝滅，通常以使該磷光化合物分散在另一種化合物構成的基質中的方式形成發光層。在此，用作基質的化合物被稱為主體，分散在基質中的化合物諸如磷光化合物被稱為客體。

將磷光化合物用作客體的發光元件的發光有數個的基本過程，以下對此基本過程進行說明。

(1) 當在客體分子中電子和電洞重組合，客體分子處於激發態時（直接重組合過程）

(1-1) 在客體分子的激發態為三重激發態時，客體分子發射磷光。

(1-2) 在客體分子的激發態為單重激發態時單重激發態的客體分子進行系間跨越（intersystem crossing）到三重激發態而發射磷光。

換言之，在上述（1）的直接重組合過程中，只要客體分子的系間跨越效率及磷光量子效率高，就可以獲得高發光效率。

(2) 當在主體分子中電子和電洞重組合，主體分子處於激發態時（能量轉移過程）。

(2-1) 在主體分子的激發態為三重激發態，並且主體分子的三重激發態的能階（T1 能階）高於客體分子的 T1 能階時，激發能量從主體分子轉移到客體分子，而使客體分子處於三重激發態。處於三重激發態的客體分子發射磷光。此外，能量轉移到客體分子的單重激發態的能階（S1 能階）理論上是可能的，但是在很多情況下客體分子的 S1 能階比主體分子的 T1 能階高，因而使能量轉移到客體分子的單重激發態的能階（S1 能階）不容易成為主要能量轉移過程，因此在此省略說明。

(2-2) 在主體分子的激發態為單重激發態，並且主體分子的單重激發態的能階（S1 能階）高於客體分子的 S1 能階及 T1 能階時，激發能量從主體分子轉移到客體分子，客體分子因而處於單重激發態或三重激發態。處於三重激發態的客體分子發射磷光。此外，處於單重激發態的客體分子進行系間跨越到三重激發態而發射磷光。

換言之，在上述（2）的能量轉移過程中，如何使主體分子的三重激發能及單重激發能的兩者高效地轉移到客體分子是重要的。

鑒於上述能量轉移過程，若在激發能量從主體分子轉移到客體分子之前，主體分子本身將該激發能量以光或熱的形式放出而失活，則發光效率降低。

〈能量轉移過程〉

以下，詳細說明分子間的能量轉移過程。

首先，作為分子間的能量轉移機理，提議以下兩個機理。在此，將賦予激發能量的分子記為主體分子，而將接收激發能量的分子記為客體分子。

《福斯特（Förster）機理（偶極-偶極相互作用）》

福斯特機理在能量轉移中不需要分子間的直接接觸。藉由主體分子和客體分子間的偶極振盪的共振現象發生能量轉移。藉由偶極振盪的共振現象，主體分子給客體分子供應能量，因而主體分子處於基態，且客體分子處於激發態。公式（1）示出福斯特機理的速度常數 $k_{h^* \rightarrow g}$ 。

[公式1]

$$k_{h^* \rightarrow g} = \frac{9000c^4 K^2 \phi \ln 10}{128\pi^5 n^4 N \tau R^6} \int \frac{f'_h(\nu) \epsilon_g(\nu)}{\nu^4} d\nu \dots (1)$$

在公式（1）中， ν 表示頻率， $f'_h(\nu)$ 表示主體分子的歸一化發射光譜（來自單重激發態的能量轉移之螢光光譜，來自三重激發態的能量轉移之磷光光譜）， $\epsilon_g(\nu)$ 表示客體分子的莫耳吸光係數， N 表示阿伏伽德羅數(Avogadro's number)， n 表示介質的折射率， R 表示主體分子和客體分子的分子間距離， τ 表示所測量的激發態的壽命（螢光壽命或磷光壽命）， c 表示光速， ϕ 表示發光量子效率（來自單重激發態的能量轉移之螢光量子效率，來自三重激發態的能量轉移之磷光量子效率）， K^2 表示主體分子和客體分子的躍遷偶極矩的配向的係數（0至4）。此外，在無規配向時， $K^2=2/3$ 。

《德克斯特 (Dexter) 機理 (電子交換相互作用)》

在德克斯特機理(亦稱為德克斯特電子轉移)中，主體分子和客體分子彼此接近於產生軌道的重疊的接觸有效距離，藉由交換激發態的主體分子的電子和基態的客體分子的電子，而發生能量轉移。公式 2 示出德克斯特機理的速度常數 $k_{h^* \rightarrow g}$ 。

[公式2]

$$k_{h^* \rightarrow g} = \left(\frac{2\pi}{h} \right) K^2 \exp \left(-\frac{2R}{L} \right) \int f'_h(\nu) \epsilon'_g(\nu) d\nu \cdots (2)$$

在公式 (2) 中， h 表示普朗克常數， K 表示具有能量維數 (energy dimension) 的常數， ν 表示頻率， $f'_h(\nu)$ 表示主體分子的歸一化發射光譜 (來自單重激發態的能量轉移之螢光光譜，來自三重激發態的能量轉移之磷光光譜)， $\epsilon'_g(\nu)$ 表示客體分子的歸一化吸收光譜， L 表示有效分子半徑， R 表示主體分子和客體分子的分子間距離。

在此，可以認為以公式 (3) 表示從主體分子到客體分子的能量轉移效率 Φ_{ET} 。 k_r 表示主體分子的發光過程 (來自主體分子的單重激發態的能量轉移之螢光，來自主體分子的三重激發態之能量轉移之磷光) 的速度常數， k_n 表示主體分子的非發光過程 (熱失活或系間跨越) 的速度常數， τ 表示所檢測出的主體分子的激發態的壽命。

[公式3]

$$\Phi_{ET} = \frac{k_{h^* \rightarrow g}}{k_r + k_n + k_{h^* \rightarrow g}} = \frac{k_{h^* \rightarrow g}}{\left(\frac{1}{\tau} \right) + k_{h^* \rightarrow g}} \cdots (3)$$

首先，從公式（3）可知，為了提高能量轉移效率 Φ_{ET} ，使能量轉移的速度常數 $k_h^* \rightarrow_g$ 比其他競爭的速度常數 $k_r + k_n$ ($=1/\tau$) 大得多。而且，為了增大該能量轉移的速度常數 $k_h^* \rightarrow_g$ ，從公式（1）及公式（2）可知，在福斯特機理和德克斯特機理中，主體分子的發射光譜（來自單重激發態的能量轉移之螢光光譜，來自三重激發態的能量轉移之磷光光譜）和客體分子的吸收光譜（由於通常是磷光，所以表示三重激發態與基態之間的能量差）的重疊越大越好。

例如，藉由以主體分子的三重激發態與基態之間的能量差重疊於客體分子的三重激發態與基態之間的能量差的方式選擇材料，可更高效地發生從主體到客體的能量轉移。

然而，從三重激發態的客體分子到基態的主體分子也完全同樣地發生上述能量轉移。而且，這意味著：藉由以主體分子的三重激發態與基態之間的能量差等於或接近客體分子的三重激發態與基態之間的能量差的方式選擇材料，容易產生從客體分子的三重激發態到主體分子的三重激發態的能量轉移。由此，不幸地發生發光效率的降低。

例如，如非專利文獻 1 所記載那樣，為瞭解決這樣的問題，提出如下方法：使主體分子的三重激發態與基態之間的能量差大於客體分子的三重激發態與基態之間的能量差。

在非專利文獻 1 中，藉由使主體分子的三重激發態與

基態之間的能量差比客體分子的三重激發態與基態之間的能量差大 0.3eV （現在訂正為 0.15eV ），防止從客體分子的三重激發態到主體分子的三重激發態的轉移。

即，藉由使主體分子的三重激發態與基態之間的能量差比客體分子的三重激發態與基態之間的能量差大 0.15eV 或更多，可以充分防止從客體分子的三重激發態到主體分子的三重激發態的轉移。

[專利文獻 1]國際專利公開案第 2000/070655 號

[非專利文獻 1]Shizuo Tokito et al., "Confinement of triplet energy on phosphorescent molecules for highly-efficient organic blue-light-emitting devices", Appl. Phys. Lett., 83, 569 (2003).

[非專利文獻 2]Vi-En Choong et al., "Organic light-emitting diodes with a bipolar transport layer", Appl. Phys. Lett., 75, 172 (1999).

然而，像這樣主體分子的能量差與客體分子的能量差不同意味著不容易產生上述福斯特機理或德克斯特機理，由此有發光效率的降低的問題。本發明的一個具體實施方式提供一種解決這樣的矛盾的基於新原理的發光元件。

另外，如上所述，雖然存在各種各樣的激發過程，但是其中失活少的激發過程是直接重組合過程，因此較佳的是，為了提高發光效率或外部量子效率，提高直接重組合過程的比率。本發明的一個具體實施方式的課題是提供一種高效地發生直接重組合過程的方法。另外，本發明的一

個具體實施方式的課題是提供一種外部量子效率高的發光元件。

【發明內容】

本發明的一個具體實施方式是一種發光元件，其包括：在一對電極之間的包含磷光化合物（客體）、第一有機化合物及第二有機化合物的發光層，其中，第一有機化合物的三重激發態與基態之間的能量差及第二有機化合物的三重激發態與基態之間的能量差都是比客體的三重激發態與基態之間的能量差大 0.15eV 或更多。

在上述結構中，第一有機化合物及第二有機化合物的組合也可以是形成激基複合物（exciplex）的組合。另外，也可以第一有機化合物的電子傳輸性優越於其電洞傳輸性，並且第二有機化合物的電洞傳輸性優越於其電子傳輸性。在具有這樣的特性時，第一有機化合物及第二有機化合物分別被稱為 n 型主體、p 型主體。

另外，本發明的一個具體實施方式是一種發光元件，其包括：在一對電極之間的包含客體、n 型主體、和 p 型主體的發光層，其中，n 型主體的 LUMO(Lowest Unoccupied Molecular Orbital：最低未佔有分子軌道)能階比客體的 LUMO 能階高 0.1eV 或更多。

另外，當客體的 LUMO 能階比 n 型主體的 LUMO 能階過低時，在導電特性的方面上不是較佳的。由此，較佳的是，n 型主體的 LUMO 能階 E_n 減去客體的 LUMO 能階

E_a 之差值 ($E_n - E_a$) 為 0.1eV 至 0.5eV 。

另外，本發明的一個具體實施方式是一種發光元件，其包括：在一對電極之間的包含客體、 n 型主體、和 p 型主體的發光層，其中， p 型主體的 HOMO(Highest Occupied Molecular Orbital：最高佔有分子軌道)能階比客體的 HOMO 能階低 0.1eV 或更多。

另外，當客體的 HOMO 能階比 p 型主體的 HOMO 能階過高時，在導電特性的方面上不是較佳的。由此，較佳的是， p 型主體的 HOMO 能階 E_p 減去客體的 HOMO 能階 E_b 之差值 ($E_p - E_b$) 為 -0.5eV 至 -0.1eV 。

在上述發光元件中，客體較佳為有機金屬錯合物。在上述發光元件中，也可以 n 型主體及 p 型主體中的至少一者為螢光化合物。本發明的一個具體實施方式的發光元件可以應用於發光裝置、電子裝置及照明裝置。

在本發明的一個具體實施方式中，發光層包括 n 型主體分子、 p 型主體分子和客體分子。當然，分子不需要有規律地排列，也可以是幾乎無規律的狀態。尤其是，當將發光層為 50nm 或更低的薄膜時，較佳為處於非晶態，由此，較佳為選擇不容易晶化的材料的組合。

另外，如圖 1A 所示，本發明的一個具體實施方式也可以是一種發光元件，其中，在基板 101 上重疊地設置第一電極 103、具有上述結構的發光層 102、和第二電極 104。在此，第一電極 103 是陽極和陰極中的一者，第二電極 104 是陽極和陰極中的另一者。

另外，如圖 1B 所示，本發明的一個具體實施方式也可以是一種發光元件，其中，除了第一電極 103、發光層 102、和第二電極 104 之外，還重疊地設置第一載子注入層 105、第一載子傳輸層 106、第二載子注入層 107、第二載子傳輸層 108。在此，第一載子是電子和電洞中的一者，第二載子是電子和電洞中的另一者。另外，如果第一電極是陽極，則第一載子是電洞，而如果第一電極是陰極，則第一載子是電子。

在本發明的一個具體實施方式中，藉由使主體（n 型主體及 p 型主體）分子的三重激發態與基態之間的能量差比客體分子的三重激發態與基態之間的能量差高 0.15eV 或更多，可以充分防止從客體分子的三重激發態到主體（n 型主體及 p 型主體）分子的三重激發態的躍遷，從而可以提供外部量子效率高的發光元件。

另一方面，關於使用福斯特機理或德克斯特機理的能量轉移過程，能量可以從 n 型主體分子和 p 型主體分子所產生的激基複合物轉移到客體分子。激基複合物在能量轉移到客體分子的階段分裂為 n 型主體分子和 p 型主體分子。n 型主體分子（或 p 型主體分子）的三重激發態與基態之間的能量差比客體分子的三重激發態與基態之間的能量差高 0.15eV 或更多，由此能量不從客體分子的三重激發態轉移到 n 型主體分子（或 p 型主體分子）的三重激發態。

另外，在本發明的一個具體實施方式中，例如，由於

n 型主體分子的 LUMO 能階比客體分子的 LUMO 能階高 0.1eV 或更多，所以通過 n 型主體分子的電子優先進入到客體分子的 LUMO 能階。結果，客體分子成為陰離子，吸引電洞，及使電洞與電子在客體分子中重組合。

另外，在本發明的一個具體實施方式中，例如，由於 p 型主體分子的 HOMO 能階比客體分子的 HOMO 能階低 0.1eV 或更多，所以通過 p 型主體分子的電洞優先進入到客體分子的 HOMO 能階。結果，客體分子成為陽離子，吸引電子，及使電洞與電子在客體分子中重組合。

像這樣，藉由應用本發明的一個具體實施方式，可以將載子高效地注入到客體分子，提高直接重組合過程的比率。尤其是，在本發明的一個具體實施方式中，由於將 n 型主體和 p 型主體混合用於發光層，所以電子傾向通過 n 型主體分子，且電洞傾向通過 p 型主體分子。結果，電子從 n 型主體分子注入到客體分子的 LUMO 能階，而電洞從 p 型主體分子注入到客體分子的 HOMO 能階。

【圖式簡單說明】

在圖式中：

圖 1A 至圖 1D 是示出本發明的各種各樣的具體實施方式的圖；

圖 2A 至圖 2C 是說明本發明的一個具體實施方式的原理的圖；

圖 3A 至圖 3C 是說明本發明的一個具體實施方式的

原理的圖；

圖 4 是示出實施例 1 的發光元件的亮度-電流密度特性的圖；

圖 5 是示出實施例 1 的發光元件的亮度-電壓特性的圖；

圖 6 是示出實施例 1 的發光元件的電流效率-亮度特性的圖；

圖 7 是示出實施例 1 的發光元件的外部量子效率-亮度特性的圖；

圖 8 是示出實施例 1 的發光元件的發射光譜的圖；

圖 9 是示出實施例 1 的發光元件的可靠性測試的結果的圖；

圖 10 是示出實施例 2 的發光元件的亮度-電流密度特性的圖；

圖 11 是示出實施例 2 的發光元件的亮度-電壓特性的圖；

圖 12 是示出實施例 2 的發光元件的電流效率-亮度特性的圖；

圖 13 是示出實施例 2 的發光元件的外部量子效率-亮度特性的圖；

圖 14 是示出實施例 2 的發光元件的發射光譜的圖；

圖 15 是示出實施例 2 的發光元件的可靠性測試的結果的圖。

【實施方式】

參照圖式對具體實施方式進行詳細說明。但是，本發明不侷限於以下說明，而所屬技術領域的普通技術人員可以很容易地理解一個事實就是在不脫離本發明的宗旨及其範圍的情況下可以進行各種變化及修飾。因此，本發明不應該被解釋為僅侷限在以下所示的具體實施方式所記載的內容中。注意，在下面說明的發明結構中，在不同的圖式中共同使用相同的元件符號來表示相同的部分或具有相同功能的部分，而省略反復說明。

〈具體實施方式 1〉

在本具體實施方式中，參照圖 2A 至 2C 說明本發明的一個具體實施方式的發光元件的原理。圖 2A 示出將兩個 n 型主體分子（ H_{n_1} 、 H_{n_2} ）、一個客體分子（ G ）、兩個 p 型主體分子（ H_{p_1} 、 H_{p_2} ）配置為直線狀時的這些分子的能量態。各分子分別具有 HOMO、LUMO 能階。

在此，為了簡化起見，n 型主體分子的 LUMO 能階 E_n 與客體分子的 LUMO 能階 E_a 相等，p 型主體分子的 HOMO 能階 E_p 與客體分子的 HOMO 能階 E_b 相等。但是不侷限於上述情況，只要滿足 $-0.3\text{eV} < E_a - E_n < +0.3\text{eV}$ 及 $-0.3\text{eV} < E_b - E_p < +0.3\text{eV}$ 。另外，較佳的是，n 型主體分子（或 p 型主體分子）的 LUMO 能階與 HOMO 能階之差比客體分子的 LUMO 能階與 HOMO 能階之差大 0.5eV 或更

多。

在基態下，n 型主體分子、p 型主體分子、客體分子的 HOMO 分別具有兩個電子，n 型主體分子、p 型主體分子、客體分子的 LUMO 不具有電子。例如，n 型主體分子 H_{n_2}、客體分子 G 及 p 型主體分子 H_{p_2} 的 HOMO 分別具有兩個電子，n 型主體分子 H_{n_2}、客體分子 G 及 p 型主體分子 H_{p_2} 的 LUMO 不具有電子。

另一方面，由於從陽極（圖 2A 的右側）注入電洞並從陰極（圖 2A 的左側）注入電子，所以 n 型主體分子 H_{n_1} 的 LUMO 具有電子，並 p 型主體分子 H_{p_1} 的 HOMO 只有一個電子（即有一個電洞）。即，n 型主體分子 H_{n_1} 是陰離子，p 型主體分子 H_{p_1} 是陽離子。

電子與電洞依此方式在 n 型主體分子與 p 型主體分子之間跳動地傳導。另外，如圖 2B 所示，電子注入到客體分子的 LUMO，電洞注入到客體分子的 HOMO（直接重組合過程），客體分子成為激發態（分子內激子（exciton））。像這樣，尤其是，即使是在直接激發重組合過程中，將載子從 n 型主體及 p 型主體直接注入到客體的現象稱為 Guest Coupled with Complementary Hosts(GCCH：客體與互補主體的偶合)。

另外，從圖 2A 及 2B 可以明顯看出，n 型主體分子的 LUMO 能階與 HOMO 能階之差及 p 型主體分子的 LUMO 能階與 HOMO 能階之差都比客體分子的 LUMO 能階與 HOMO 能階之差大很多。由此，由於福斯特機理或德克斯

特機理，客體的三重激發態躍遷至 n 型主體或 p 型主體的三重激發態的概率充分小。

即，如圖 2C 所示，當以客體分子 G 及 n 型主體分子 H_{n-1} 的基態（分別是 S₀_G、S₀_H_{n-1}）為基準時，n 型主體分子 H_{n-1} 的三重激發態的能階 T₁_H_{n-1} 比客體分子 G 的三重激發態的能階 T₁_G 高 ΔE_t ($\geq 0.15\text{eV}$)，因此，在常溫下不容易發生這二者之間的躍遷。另外，在圖 2C 中，S₁_G、S₁_H_{n-1} 分別是指客體分子 G、n 型主體分子 H_{n-1} 的單重激發態的能階。

在圖 2C 中描述 n 型主體分子的能量態，但是如果 p 型主體分子的三重激發態的能階高於客體分子的三重激發態的能階，p 型主體分子也可以得到同樣的效果。

嚴格而言，分子的 LUMO 能階與 HOMO 能階之差不一定是該分子的三重激發態與基態之間的能量差，但是二者之間有一定相關。例如，後述的（乙醯丙酮根）雙（4,6-二苯基嘧啶（diphenylpyrimidinato））銥(III)(縮寫：[Ir(dppm)₂(acac)])用作客體，其 HOMO 能階與 LUMO 能階之差為 2.58eV，而其三重激發態與基態之間的能量差為 2.22eV。另外，用作 n 型主體的 2-[3-（二苯並噻吩-4-基）苯基]二苯並[f,h]喹噁啉（縮寫：2mDBTPDBq-II）之 HOMO 能階與 LUMO 能階之差為 3.10eV，而其三重激發態與基態之間的能量差為 2.54eV，用作 p 型主體的 4,4'-二（1-萘基）-4''-（9-苯基-9H-吡啶-3-基）三苯胺（縮寫：PCBNBB）之 HOMO 能階與 LUMO 能階之差為

3.15eV，而其三重激發態與基態之間的能量差為 2.40eV。

此外，使用上述 $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ 作為客體，使用上述 2mDBTPDBq-II 作為 n 型主體，並且使用上述 PCBNBB 作為 p 型主體時，由於 2mDBTPDBq-II 的三重激發態與基態之間的能量差及 PCBNBB 的三重激發態與基態之間的能量差(光學測量的結果分別為 2.54eV、2.40eV)均比客體的三重激發態與基態之間的能量差(光學測量的結果為 2.22eV)高 0.18eV 或更多，所以客體的三重激發態幾乎沒有躍遷至主體。

另外，作為客體也可以使用(二新戊醯基甲烷)雙(3,5-二甲基-2-苯基吡嗪)銱(III)(縮寫： $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$)。 $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ 的三重激發態與基態之間的能量差的光學測量的結果為 2.24eV。

從而，在使用 2mDBTPDBq-II 作為 n 型主體並且使用 PCBNBB 作為 p 型主體時，由於 2mDBTPDBq-II 和 PCBNBB 的三重激發態與基態之間的能量差比 $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ 的三重激發態與基態之間的能量差高 0.16eV 或更多，所以客體的三重激發態幾乎沒有躍遷至主體。

如上所述的是將電子和電洞注入到客體的直接重組合過程，但是也可以藉由 n 型主體分子和 p 型主體分子形成激基複合物，並該激基複合物的能量轉移到客體分子，使客體分子成為激發態。此時，使用福斯特機理或德克斯特機理進行能量轉移。

激基複合物 (exciplex) 藉由激發態下的異種分子之間的交互作用形成。一般而言，激基複合物容易在具有較深的 LUMO 能階的材料與具有較淺的 HOMO 能階的材料之間形成。例如，p 型主體可用作為前者，n 型主體可用作為後者。

在此，n 型主體和 p 型主體的 HOMO 能階及 LUMO 能階彼此不同，即能階按如下順序由低而高：n 型主體的 HOMO 能階 < p 型主體的 HOMO 能階 < n 型主體的 LUMO 能階 < p 型主體的 LUMO 能階。

另外，當使用該 n 型主體和 p 型主體形成激基複合物時，激基複合物的 LUMO 能階來自 n 型主體，HOMO 能階來自 p 型主體。從而，激基複合物的能量差小於 n 型主體的能量差及 p 型主體的能量差。即，激基複合物的發光波長比 n 型主體和 p 型主體的各個發光波長更長。激基複合物的形成過程可以舉出如下粗略分類的兩種過程。

《電致激基複合物 (electroplex)》

在本說明書中，電致激基複合物是指基態的 n 型主體及基態的 p 型主體直接形成激基複合物。

如上所述，在福斯特機理或德克斯特機理中，當電子和電洞在主體中重組合時，激發能量從激發態的主體轉移到客體，如此使客體處於激發態，而發光。

在此，在激發能量從主體轉移到客體之前，主體本身發光，或激發能量轉換為熱能量，導致失掉激發能量的一

部分。尤其是，在主體處於單重激發態時，由於與處於三重激發態的情況相比激發壽命短，所以容易導致單態激子的失活。激子的失活是導致發光元件的壽命降低的原因之一。

另一方面，在本發明的一個具體實施方式中，由於 n 型主體及 p 型主體存在於同一發光層，所以在很多情況下，由具有載子（陰離子及陽離子）的 n 型主體分子及 p 型主體分子形成電致激基複合物。由此，不容易形成激發壽命短的 n 型主體分子的單態激子或 p 型主體分子的單態激子。

換言之，在很多情況下，在不形成每個分子的單態激子的狀態下存在有直接形成激基複合物的過程。由此，還可以抑制上述單態激子的失活。而且，將能量從所產生的電致激基複合物轉移到客體，而可以得到發光效率高的發光元件。

《使用激子的激基複合物的形成》

作為另一個過程，可以考慮在作為主體的 n 型主體分子及 p 型主體分子中的一者形成單態激子之後，與基態的另一主體分子相互作用而形成激基複合物的基本過程。與電致激基複合物不同，在此情況下，生成 n 型主體分子或 p 型主體分子的單態激發態激子，但是如果將該單態激子迅速地變換為激基複合物，可以抑制單態激子的失活。另外，如上所述，當 n 型主體及 p 型主體存在於同一的發光

層時，不容易發生此過程。

例如，n 型主體為具有電子俘獲性的化合物，而 p 型主體為具有電洞俘獲性的化合物。在這些化合物的 HOMO 能階的差異及 LUMO 能階的差異大（明確而言，差異為 0.3eV 或更高）時，電子優先注入 n 型主體分子，且電洞優先注入 p 型主體分子。此時，可以認為與經過單態激子形成激基複合物的過程相比，優先進行形成電致激基複合物的過程。

從所形成的激基複合物到客體分子的能量轉移是由於福斯特機理或德克斯特機理發生。如上所述，在這些機理中，例如，主體分子的三重激發態與基態之間的能量差和客體分子的三重激發態與基態之間的能量差越小越較佳。

此時，激基複合物的三重激發態與基態之間的能量差相當於 n 型主體分子的 LUMO 能階與 p 型主體分子的 HOMO 能階之差，當這些差異等於或近於客體分子的 LUMO 能階與 HOMO 能階之差時，可以高效地轉移能量，使客體分子處於三重激發態，而激基複合物本身處於基態。

但是，激基複合物由於只在處於激發態時穩定，所以在回到基態時分離為 n 型主體分子和 p 型主體分子。而且，如上所述，由於各個 n 型主體分子和 p 型主體分子的三重激發態與基態之間的能量差比客體分子的三重激發態與基態之間的能量差大，所以在室溫下極為不容易發生從客體分子的三重激發態到 n 型主體分子或 p 型主體分子的

能量轉移。

〈具體實施方式 2〉

在本具體實施方式中，參照圖 3A 至 3C 說明本發明的一個具體實施方式的發光元件的原理。圖 3A 示出將兩個 n 型主體分子（ H_{n_1} 、 H_{n_2} ）、一個客體分子（ G ）、兩個 p 型主體分子（ H_{p_1} 、 H_{p_2} ）配置為直線狀時的這些分子的能量態。各分子分別具有 HOMO、LUMO 能階。

在此，n 型主體分子的 LUMO 能階 E_n 比客體分子的 LUMO 能階 E_a 高 0.1eV 或更多，並且 p 型主體分子的 HOMO 能階 E_p 比客體分子的 HOMO 能階 E_b 高。另外，較佳的是，n 型主體分子的 LUMO 能階與 HOMO 能階之差及 p 型主體分子的 LUMO 能階與 HOMO 能階之差都是比客體分子的 LUMO 能階與 HOMO 能階之差大 0.5eV 或更多。

如圖 3A 所示，由於從陽極（圖 3A 的右側）注入電洞，並從陰極（圖 3A 的左側）注入電子，所以 n 型主體分子 H_{n_1} 的 LUMO 具有電子並 p 型主體分子 H_{p_1} 的 HOMO 只有一個電子（即有一個電洞）。從而，n 型主體分子 H_{n_1} 是陰離子，p 型主體分子 H_{p_1} 是陽離子。

電子與電洞依此方式在 n 型主體分子與 p 型主體分子之間跳動地傳導。如圖式所示，p 型主體分子的 LUMO 能階比 n 型主體分子的 LUMO 能階更高，因此電子在 n 型

主體分子中傳導。另外，n 型主體分子的 HOMO 能階比 p 型主體分子的 HOMO 能階更低，因此電洞在 p 型主體分子中傳導。

另外，如圖 3B 所示，電子注入到客體分子的 LUMO，使客體分子成為陰離子。在此，n 型主體分子的 LUMO 能階比客體分子的 LUMO 能階高 0.1eV 或更多，當然，p 型主體分子的 LUMO 能階更高。從而，進入到客體分子的 LUMO 的電子成為亞穩態，即成為由客體分子俘獲的狀態。

其結果是，由於客體分子成為帶負電的陰離子，所以由於庫侖相互作用（在圖式中以 F 表示）而拉引其周圍的電洞。因此，如圖 3C 所示，p 型主體分子 H_{p_2} 中的電洞注入到客體分子 G。由於庫侖相互作用力相當地大，所以電子和電洞高效地聚集在客體分子內。

另外，當客體分子 G 的 LUMO 中的電子與 p 型主體分子 H_{p_2} 的 HOMO 中的電洞重組合（即，客體分子 G 的 LUMO 中的電子轉移到 p 型主體分子 H_{p_2} 的 HOMO，或者，p 型主體分子 H_{p_2} 的 HOMO 中的電洞轉移到客體分子 G 的 LUMO）時，在此階段產生發光。

另外，如果不可以進行上述電子轉移，p 型主體分子 H_{p_2} 的 HOMO 中的電洞轉移到客體分子 G 的 HOMO，使得客體分子 G 成為激發態。然後，客體分子 G 轉移到基態，並且在此過程中產生發光。

為了利用庫侖相互作用將電洞拉引至客體，當將（p

型主體的 HOMO 能階) - (客體的 HOMO 能階) 設定為 ΔE_p ，並將 (n 型主體的 LUMO 能階) - (客體的 LUMO 能階) 設定為 ΔE_n 時，滿足 $\Delta E_p < \Delta E_n + 0.2$ [eV]，較佳為滿足 $\Delta E_p < \Delta E_n$ 。藉由上述作用，在客體分子內電洞與電子重組合。

上述過程因客體分子成為陰離子而產生。由於客體分子的 HOMO 能階低於 p 型主體分子的 HOMO 能階，因此如果客體分子的電荷處於中性，不容易電洞注入到客體分子。

圖 3A 至 3C 示出 n 型主體分子的 LUMO 能階 E_n 高於客體分子的 LUMO 能階 E_a ，並 p 型主體分子的 HOMO 能階 E_p 高於客體分子的 HOMO 能階 E_b 的情況，反之，在 p 型主體分子的 HOMO 能階 E_p 比客體分子的 HOMO 能階 E_b 低 0.1eV 或更多，並 n 型主體分子的 LUMO 能階 E_n 比客體分子的 LUMO 能階 E_a 低 0.1eV 或更多時，也根據同樣的原理，在客體分子內電洞與電子高效地重組合。此時，首先電洞注入到客體分子的 HOMO，然後電子藉由庫侖相互作用而注入到客體分子中。

另外，在 n 型主體分子的 LUMO 能階 E_n 高於客體分子的 LUMO 能階 E_a ，並 p 型主體分子的 HOMO 能階 E_p 低於客體分子的 HOMO 能階 E_b 時，可以將電荷更高效地注入到客體，而使客體處於激發態。此時，較佳的是，n 型主體分子的 LUMO 能階 E_n 至少比客體分子的 LUMO 能階 E_a 高 0.1eV 或更多，或者 p 型主體分子的 HOMO 能階

E_p 至少比客體分子的 HOMO 能階 E_b 低 0.1eV 或更多。

另外，在成為陰離子的 n 型主體分子與成為陽離子的 p 型主體分子相鄰的情況下，有時兩者形成激基複合物。此時，為了使激基複合物附近的客體分子成為激發態，需要經過上述能量轉移過程，且較佳的是，此時盡可能使激基複合物的激發態與基態之間的能量差和客體分子的三重激發態與基態之間的能量差接近。

如果 n 型主體分子的 LUMO 能階只比客體分子的 LUMO 能階高 0.1eV，可以選擇 p 型主體分子的 HOMO 能階只比客體分子的 HOMO 能階低 0.1eV 的材料，而盡可能使激基複合物的激發態與基態之間的能量差和客體分子的三重激發態與基態之間的能量差接近。

明確而言，用作客體的 $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ 的 LUMO 能階、HOMO 能階分別為 -2.98eV、-5.56eV，用作 n 型主體的 2mDBTPDBq-II 的 LUMO 能階、HOMO 能階分別為 -2.78eV、-5.88eV，而用作 p 型主體的 PCBNBB 的 LUMO 能階、HOMO 能階分別為 -2.31eV、-5.46eV。

在應用該組合時，由於客體的 LUMO 能階低於 n 型主體及 p 型主體的 LUMO 能階，尤其是比 n 型主體的 LUMO 能階低 0.2eV，所以客體分子容易俘獲電子而成為陰離子。另外，雖然客體分子的 HOMO 能階比 n 型主體分子的 HOMO 能階高，但是客體分子的 HOMO 能階比 p 型主體分子的 HOMO 能階低 0.1eV。

從而，如圖 3A 至 3C 所示，首先電子注入到客體的

LUMO，然後電洞藉由其庫侖相互作用注入到客體中而發光。

另外， $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ 的 LUMO 能階為 -2.77eV ，與 n 型主體 (2mDBTPDBq-II) 的 LUMO 能階 (-2.78eV) 幾乎相等。另外， $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ 的 HOMO 能階為 -5.50eV ，比 p 型主體 (PCBNBB) 的 HOMO 能階 (-5.43eV) 低 0.07eV 。

當 $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ 與上述 n 型主體或 p 型主體一起使用時，這些數值顯示 $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ 的俘獲電子或電洞的作用比 $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ 差。

〈具體實施方式 3〉

在本具體實施方式中，參照圖 1B 說明本發明的一個具體實施方式的發光元件。圖 1B 是示出在第一電極 103 與第二電極 104 之間具有 EL 層 110 的發光元件的圖。圖 1B 中的發光元件包括：在第一電極 103 上按順序層疊的第一載子注入層 105、第一載子傳輸層 106、發光層 102、第二載子傳輸層 108、第二載子注入層 107、及設置在這些層上的第二電極 104。EL 層 110 除了發光層 102 之外，還包括第一載子注入層 105、第一載子傳輸層 106、第二載子傳輸層 108、第二載子注入層 107。注意，EL 層 110 不一定必須包括所有上述層。

在此，第一電極 103 是陽極和陰極中的一者，第二電極 104 是陽極和陰極中的另一者。另外，第一載子是電洞和電子中的一者，第二載子是電洞和電子中的另一者。另

外，當第一電極是陽極時，第一載子是電洞，而當第一電極是陰極時，第一載子是電子。另外，第一載子注入層 105 和第二載子注入層 107 分別是電洞注入層和電子注入層中的一者，第一載子傳輸層 106 和第二載子傳輸層 108 是電洞傳輸層和電子傳輸層中的一者。

作為陽極，較佳為使用具有高功函數（具體的是 4.0eV 或更高）的金屬、合金、導電性化合物以及它們的混合物等中任一者。明確而言，例如可以舉出氧化銦-氧化錫（ITO：Indium Tin Oxide，氧化銦錫）、含有矽或氧化矽的氧化銦錫、氧化銦鋅（IZO）、含有氧化鎢及氧化鋅的氧化銦（IWZO）等。這些導電金屬氧化物膜一般藉由濺射法形成，但是，也可以使用溶膠-凝膠法等形式。

例如，藉由濺射法，使用在氧化銦中添加有 1wt%至 20wt%的氧化鋅的靶材，可以形成氧化銦-氧化鋅膜。此外，藉由濺射法，使用在氧化銦中添加 0.5wt%至 5wt%的氧化鎢和 0.1wt%至 1wt%的氧化鋅的靶材，可以形成 IWZO 膜。此外，可以舉出石墨烯、金、鉑、鎳、鎢、鉻、鈾、鐵、鈷、銅、鈮或金屬材料的氮化物(例如氮化鈦)等範例。

但是，在 EL 層 110 中，當與陽極接觸地形成的層使用將後面所述的有機化合物和電子受體(受體)混合而構成的複合材料形成時，作為用於陽極的物質可以使用金屬、合金、導電化合物以及它們的混合物等，而不考慮功函數的大小。例如，也可以使用鋁(Al)、銀(Ag)、含鋁的合金

(例如 Al-Si)等。陽極例如可以藉由濺射法或蒸鍍法(包括真空蒸鍍法)等形成。

陰極較佳為使用具有低功函數(較佳為 3.8eV 或更低)的金屬、合金、導電化合物以及它們的混合物等中任一者形成。明確而言,可以使用如下材料:屬於元素週期表中第1族或第2族的元素,即鹼金屬諸如鋰或鈉等、鹼土金屬諸如鈣或鋇等、鎂、包含上述金屬的合金(例如, Mg-Ag、Al-Li)、稀土金屬諸如鎔、鐳等、包含上述金屬的合金、鋁、銀等。

但是,當在 EL 層 110 中,在與陰極接觸地形成的層使用將後述有機化合物和電子供體(供體)混合而構成的複合材料時,可以使用各種導電材料諸如 Al、Ag、ITO、及含有矽或氧化矽的氧化銦-氧化錫等,而不考慮功函數的大小。另外,在形成陰極時可以使用真空蒸鍍法或濺射法。此外,在使用銀漿等的情況,可以採用塗覆法、噴墨法等。

電洞注入層是包含具有高電洞注入性的物質的層。作為具有高電洞注入性的物質,可以使用金屬氧化物,諸如氧化鋁、氧化鈦、氧化釩、氧化銻、氧化釷、氧化鉻、氧化鋳、氧化鉛、氧化鋇、氧化銀、氧化鎢或氧化錳。此外,也可以使用酞菁類化合物,諸如酞菁(縮寫: H_2Pc)或酞菁銅(II)(縮寫: CuPc)等。

或者,可以使用如下低分子有機化合物的芳香胺化合物中任一者: 4,4',4''-三(N,N-二苯基胺基)三苯胺(縮寫:

TDATA)、4,4',4''-三[N-(3-甲基苯基)-N-苯基胺基]三苯胺(縮寫:MTDATA)、4,4'-雙[N-(4-二苯基胺基苯基)-N-苯基胺基]聯苯(縮寫:DPAB)、4,4'-雙(N-{4-[N'-(3-甲基苯基)-N'-苯基胺基]苯基}-N-苯基胺基)聯苯(縮寫:DNTPD)、1,3,5-三[N-(4-二苯基胺基苯基)-N-苯基胺基]苯(縮寫:DPA3B)、3-[N-(9-苯基咔唑-3-基)-N-苯基胺基]-9-苯基咔唑(縮寫:PCzPCA1)、3,6-雙[N-(9-苯基咔唑-3-基)-N-苯基胺基]-9-苯基咔唑(縮寫:PCzPCA2)、3-[N-(1-萘基)-N-(9-苯基咔唑-3-基)胺基]-9-苯基咔唑(縮寫:PCzPCN1)等。

另外，可以使用任何高分子化合物(例如低聚物、樹枝狀聚合物或聚合物等)。例如可以使用下列高分子化合物，聚(N-乙基基咔唑)(縮寫:PVK)、聚(4-乙基基三苯胺)(縮寫:PVTBA)、聚[N-(4-{N'-[4-(4-二苯基胺基)苯基]苯基-N'-苯基胺基}苯基)甲基丙烯醯胺](縮寫:PTPDMA)、和聚[N,N'-雙(4-丁基苯基)-N,N'-雙(苯基)聯苯胺](縮寫:Poly-TPD)等。此外，還可以使用添加有酸的高分子化合物，諸如聚(3,4-乙二氧基噻吩)/聚(苯乙烯磺酸)(PEDOT/PSS)或聚苯胺/聚(苯乙烯磺酸)(PAni/PSS)。

可以將有機化合物與電子受體(受體)混合形成的複合材料用於電洞注入層。這種複合材料因為能藉由電子受體在有機化合物中產生電洞而具有優異的電洞注入性和電洞傳輸性。在此情況下，有機化合物較佳是在傳輸所產生的電洞方面性能優異的材料(具有高電洞傳輸性的物質)。

作為用於複合材料的有機化合物，可以使用各種化合

物，諸如芳族胺化合物、咪唑衍生物、芳香烴和聚合物(例如，低聚物、樹枝狀聚合物和聚合物)。作為該複合材料的有機化合物較佳為使用具有高電洞傳輸性的有機化合物。明確而言，較佳為使用電洞遷移率為 $10^{-6} \text{cm}^2/\text{Vs}$ 或更高的物質。注意，還可以使用上述物質之外的物質，只要是電洞傳輸性大於電子傳輸性的物質。下面，例舉可以用於複合材料的有機化合物的具體例子。

作為可以用於該複合材料的有機化合物，例如可以使用如下材料：芳族胺化合物，諸如 TDATA、MTDATA、DPAB、DNTPD、DPA3B、PCzPCA1、PCzPCA2、PCzPCN1、4,4'-雙[N-(1-萘基)-N-苯基胺基]聯苯(縮寫：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(縮寫：TPD)、和 4-苯基-4'-(9-苯基芐-9-基)三苯胺(縮寫：BPAFLP)等；及咪唑衍生物，諸如 4,4'-二(N-咪唑基)聯苯(縮寫：CBP)、1,3,5-三[4-(N-咪唑基)苯基]苯(縮寫：TCPB)、9-[4-(N-咪唑基)苯基]-10-苯基蒽(縮寫：CzPA)、9-苯基-3-[4-(10-苯基-9-蒽基)苯基]-9H-咪唑(縮寫：PCzPA)、和 1,4-雙[4-(N-咪唑基)苯基]-2,3,5,6-四苯基苯等。

此外，可以使用如下芳香烴化合物：2-三級丁基-9,10-二(2-萘基)蒽(縮寫：t-BuDNA)、2-三級丁基-9,10-二(1-萘基)蒽、9,10-雙(3,5-二苯基苯基)蒽(縮寫：DPPA)、2-三級丁基-9,10-雙(4-苯基苯基)蒽(縮寫：t-BuDBA)、9,10-二(2-萘基)蒽(縮寫：DNA)、9,10-二苯基蒽(縮寫：

DPAnth)、2-三級丁基蒽(縮寫:t-BuAnth)、9,10-雙(4-甲基-1-萘基)蒽(縮寫:DMNA)、9,10-雙[2-(1-萘基)苯基]-2-三級丁基蒽、9,10-雙[2-(1-萘基)苯基]蒽、2,3,6,7-四甲基-9,10-二(1-萘基)蒽等。

再者，可以使用例如下列芳香烴化合物：2,3,6,7-四甲基-9,10-二(2-萘基)蒽、9,9'-聯蒽、10,10'-二苯基-9,9'-聯蒽、10,10'-雙(2-苯基苯基)-9,9'-聯蒽、10,10'-雙[(2,3,4,5,6-五苯基)苯基]-9,9'-聯蒽、蒽、稠四苯、紅熒烯、芘、2,5,8,11-四(三級丁基)芘、稠五苯、蒽、4,4'-雙(2,2-二苯基乙烯基)聯苯(縮寫:DPVBi)、或9,10-雙[4-(2,2-二苯基乙烯基)苯基]蒽(縮寫:DPVPA)。

作為電子受體，可以舉出例如7,7,8,8-四氰基-2,3,5,6-四氰醌二甲烷(縮寫:F₄-TCNQ)和氯醌等有機化合物及過渡金屬氧化物。另外，還可以舉出屬於週期表第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、氧化鈮、氧化鉭、氧化鉻、氧化鉬、氧化鎢、氧化錳和氧化銻，因為這些金屬氧化物具有高電子接受性。其中，尤其較佳為使用氧化鉬，因為氧化鉬在大氣中穩定，吸濕性低，且容易處理。

另外，也可以使用由例如PVK、PVTPA、PTPDMA或Poly-TPD的上述高分子化合物以及上述電子受體形成的複合材料於電洞注入層。

電洞傳輸層是包含具有高電洞傳輸性的物質的層。作為具有高電洞傳輸性的物質，可以使用芳族胺化合物，諸

如 NPB、TPD、BPAFLP、4,4'-雙[N-(9,9-二甲基芴-2-基)-N-苯基胺基]聯苯(縮寫：DFLDPBi)和 4,4'-雙[N-(螺環-9,9'-二芴-2-基)-N-苯基胺基]聯苯(縮寫：BSPB)等。在此所述的物質主要是其電洞遷移率為 $10^{-6}\text{cm}^2/\text{Vs}$ 或更高的物質。然而，還可以使用上述物質之外的物質，只要是電洞傳輸性大於電子傳輸性的物質。另外，包含具有高電洞傳輸性的物質的層不限於單層，還可以層疊兩層或更多層之由上述物質構成的層。

另外，作為電洞傳輸層，也可以使用例如 CBP、CzPA、PCzPA 等咔唑衍生物或例如 t-BuDNA、DNA、DPAnth 等蒽衍生物。

此外，作為電洞傳輸層，也可以使用例如 PVK、PVTBA、PTPDMA 或 Poly-TPD 等高分子化合物。

發光層 102 是包含發光物質的層。本具體實施方式的發光層 102 包含作為客體的磷光化合物，及作為主體的 n 型主體及 p 型主體。n 型主體（或 p 型主體）可以使用兩種以上。

作為磷光化合物，較佳為使用有機金屬錯合物，尤其較佳為使用銥錯合物。此外，在考慮到上述福斯特機理的能量轉移時，位於磷光化合物的最長波長一側的吸收帶的莫耳吸光係數較佳為 $2000\text{M}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$ 或更高，尤其較佳為 $5000\text{M}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$ 或更高。

作為具有這樣大的莫耳吸光係數的化合物，例如，可以舉出 $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ 或 $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ 等。尤其是

藉由使用莫耳吸光係數達到 $5000\text{M}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$ 或更高的材料如 $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ ，可以獲得外部量子效率達到約 30% 的發光元件。

作為 n 型主體，除了上述 2mDBTPDBq-II 之外，還可以使用具有電子接受性的化合物，例如 2-[4-(3,6-二苯基-9H-咔唑-9-基)苯基]二苯並[f,h]喹噁啉(縮寫：2CzPDBq-III)、7-[3-(二苯並噻吩-4-基)苯基]二苯並[f,h]喹噁啉(縮寫：7mDBTPDBq-II)、和 6-[3-(二苯並噻吩-4-基)苯基]二苯並[f,h]喹噁啉(縮寫：6mDBTPDBq-II)。

另外，作為 p 型主體，除了上述 PCBNBB 之外，還使用具有電洞接受性的化合物，諸如 4,4'-雙[N-(1-萘基)-N-苯基胺基]聯苯(縮寫：NPB 或 α -NPD)或 4-苯基-4'-(9-苯基-9H-咔唑-3-基)三苯胺(縮寫：PCBA1BP)。但是，不侷限於此，例如可以使用滿足具體實施方式 1 或具體實施方式 2 所示的能階的關係的 n 型主體與 p 型主體的組合。

電子傳輸層是包含具有高電子傳輸性的物質的層。作為高電子傳輸性的物質，可以舉出金屬錯合物諸如 Alq_3 、三(4-甲基-8-羥基喹啉)鋁(縮寫： Almq_3)、雙(10-羥基苯並[h]-羥基喹啉)鈹(縮寫： BeBq_2)、 BAlq 、 $\text{Zn}(\text{BOX})_2$ 、和雙[2-(2-羥基苯基)苯並噻唑]鋅(縮寫： $\text{Zn}(\text{BTZ})_2$)等。

此外，也可以使用雜芳族化合物諸如 2-(4-聯苯基)-5-(4-三級丁基苯基)-1,3,4-噁二唑(縮寫：PBD)、1,3-雙[5-(對三級丁基苯基)-1,3,4-噁二唑-2-基]苯(縮寫：OXD-7)、

3-(4-三級丁基苯基)-4-苯基-5-(4-聯苯基)-1,2,4-三唑(縮寫:TAZ)、3-(4-三級丁基苯基)-4-(4-乙基苯基)-5-(4-聯苯基)-1,2,4-三唑(縮寫:p-EtTAZ)、紅菲繞啉(縮寫:BPhen)、浴銅靈(縮寫:BCP)、或4,4'-雙(5-甲基苯並噁唑-2-基)二苯乙烯(縮寫:BzOs)等。

此外，也可以使用高分子化合物諸如聚(2,5-吡啶-二基)(縮寫:PPy)、聚[(9,9-二己基芴-2,7-二基)-共聚-(吡啶-3,5-二基)](縮寫:PF-Py)、或聚[(9,9-二辛基芴-2,7-二基)-共聚-(2,2'-聯吡啶-6,6'-二基)](縮寫:PF-BPy)。在此所述的物質主要是具有 $10^{-6}\text{cm}^2/\text{Vs}$ 或更高的電子遷移率的物質。注意，可以使用上述物質之外的其他物質作為電子傳輸層，只要是其電子傳輸性高於電洞傳輸性。

另外，電子傳輸層不限於單層，也可以是包含上述物質的兩或多個的層的疊層。

電子注入層是包含具有高電子注入性的物質的層。電子注入層可以使用鹼金屬、鹼土金屬或者其化合物，諸如有鋰、銫、鈣、氟化鋰、氟化銫、氟化鈣或者氧化鋰。此外，可以使用氟化鉬等稀土金屬化合物。或者，還可以使用上述構成電子傳輸層的物質。

或者，可以將有機化合物與電子供體(供體)混合形成的複合材料用於電子注入層。這種複合材料因為藉由電子供體在有機化合物中產生電子而具有優異的電子注入性和電子傳輸性。在此情況下，有機化合物較佳在傳輸所產生

的電子方面性能優異的材料。明確而言，例如，可以使用上述構成電子傳輸層的物質(如，金屬錯合物或雜芳族化合物等)。

使用對有機化合物顯示供電子性的物質作為電子供體。明確而言，為使用鹼金屬、鹼土金屬和稀土金屬，可以舉出鋰、銦、鎂、鈣、銲或鐳等。此外，較佳為使用鹼金屬氧化物或鹼土金屬氧化物，可以舉出氧化鋰、氧化鈣或氧化鋇等。也可以使用路易士鹼如氧化鎂。此外，也可以使用有機化合物如四硫富瓦烯(縮寫：TTF)等。

注意，上述電洞注入層、電洞傳輸層、發光層 102、電子傳輸層和電子注入層分別可以藉由例如蒸鍍法(包括真空蒸鍍法)、噴墨法或塗覆法等形成。

另外，如圖 1C 所示，在陽極和陰極之間也可以層疊多個 EL 層 110a、110b。在此情況下，EL 層 110a、110b 分別至少具有發光層。較佳的是，在被層疊的第一 EL 層 110a 和第二 EL 層 110b 之間設置電荷發生層 111。電荷發生層 111 可以使用上述複合材料來形成。另外，電荷發生層 111 還可以採用層疊由複合材料構成的層和由其他材料構成的層的疊層結構。

在此情況下，作為由其他材料構成的層，可以使用包含具有供電子性的物質和具有高電子傳輸性的物質的層，還可以使用由透明導電膜構成的層等。具有這種結構的發光元件不容易例如發生能量的轉移或猝滅等的問題，並且，由於可以選擇的材料的範圍更廣，從而容易得到兼有

高發光效率和長壽命的發光元件。另外，也容易得到從一個 EL 層得到磷光發光並從另一個 EL 層得到螢光發光之發光元件。這種結構可以與上述 EL 層的結構組合使用。

另外，藉由使每個 EL 層的發光顏色互不相同，可以使發光元件整體發射所需顏色的光。例如，使第一 EL 層 110a 和第二 EL 層 110b 發光顏色互補，因此可以得到整體發射白光的發光元件。同樣原理可以應用於具有三或多個 EL 層的發光元件。

或者，如圖 1D 所示，也可以在陽極 201 和陰極 209 之間形成 EL 層 210，該 EL 層 210 具有電洞注入層 202、電洞傳輸層 203、發光層 204、電子傳輸層 205、電子注入緩衝層 206、電子繼電層 207 以及接觸於陰極 209 的複合材料層 208。

設置接觸於陰極 209 的複合材料層 208 是較佳的，因為在此情況，尤其當使用濺射法形成陰極 209 時，可以減輕 EL 層 210 所受到的損傷。作為複合材料層 208，也可以使用上述之具有高電洞傳輸性的有機化合物與受體物質混合的複合材料。

並且，藉由設置電子注入緩衝層 206，可以削弱複合材料層 208 與電子傳輸層 205 之間的注入障壁，而可以在複合材料層 208 中產生的電子容易注入到電子傳輸層 205。

作為電子注入緩衝層 206，可以使用如下具有高電子注入性的物質：鹼金屬；鹼土金屬；稀土金屬；或其化合

物（例如鹼金屬化合物（包括氧化鋰等氧化物、鹵化物、和碳酸鋰或碳酸銻等碳酸鹽）、鹼土金屬化合物（包括氧化物、鹵化物、和碳酸鹽）、或稀土金屬化合物（包括氧化物、鹵化物、和碳酸鹽））等。

此外，當電子注入緩衝層 206 包括具有高電子傳輸性的物質和供體物質時，較佳為以使供體物質對具有高電子傳輸性的物質的質量比為 0.001：1 至 0.1：1 之量添加的供體物質。作為具有高電子傳輸性的物質，可以使用與上述電子傳輸層 205 同樣的材料來形成。

另外，作為供體物質，可以使用如下物質：鹼金屬；鹼土金屬；稀土金屬及其化合物（例如鹼金屬化合物（包括氧化鋰等氧化物、鹵化物、和碳酸鋰或碳酸銻等碳酸鹽）、鹼土金屬化合物（包括氧化物、鹵化物、和碳酸鹽）、和稀土金屬化合物（包括氧化物、鹵化物、和碳酸鹽））等，除此之外，還可以使用四硫萘並萘（tetrathianaphthacene）（縮寫：TTN）、二茂鎳、和十甲基二茂鎳等有機化合物。

再者，較佳為在電子注入緩衝層 206 和複合材料層 208 之間形成電子繼電層 207。電子繼電層 207 並不是必須要設置的，但是藉由設置具有高電子傳輸性的電子繼電層 207，可以將電子迅速傳輸到電子注入緩衝層 206。

在複合材料層 208 和電子注入緩衝層 206 之間插置電子繼電層 207 的結構是複合材料層 208 所包含的受體物質和電子注入緩衝層 206 所包含的供體物質彼此不容易相互

作用，並且不容易互相影響各自的功能的結構。因而，可以防止驅動電壓增高。

電子繼電層 207 包含具有高電子傳輸性的物質，並且將該具有高電子傳輸性的物質的 LUMO 能階設定為複合材料層 208 所包含的受體物質的 LUMO 能階與電子傳輸層 205 所包含的具有高電子傳輸性的 LUMO 能階之間的值。

另外，當電子繼電層 207 包含供體物質時，將該供體物質的供體能階也設定為複合材料層 208 所包含的受體物質的 LUMO 能階與電子傳輸層 205 所包含的具有高電子傳輸性的 LUMO 能階之間的值。至於能階的具體數值，較佳為將電子繼電層 207 所包含的具有高電子傳輸性的物質的 LUMO 能階設定為 -5.0eV 或更高，更佳為設定為 -5.0eV 至 -3.0eV 。

作為電子繼電層 207 所包含的具有高電子傳輸性的物質，較佳為使用酞菁類的材料或具有金屬-氧鍵結和芳香配體的金屬錯合物。

作為電子繼電層 207 所包含的酞菁類材料，明確而言，較佳為使用 CuPc；SnPc (Phthalocyanine tin (II) complex：酞菁錫(II)錯合物)；ZnPc (Phthalocyanine zinc complex：酞菁鋅錯合物)；CoPc (Cobalt (II) phthalocyanine, β -form：酞菁鈷(II)， β 型)；FePc (Phthalocyanine Iron：酞菁鐵)以及 PhO-VOPc (Vanadyl 2,9,16,23-tetraphenoxy-29H,31H-phthalocyanine：

2,9,16,23-四苯氧基-29H,31H-酞菁氧釩) 中的任一者。

作為電子繼電層 207 所包含的具有金屬-氧鍵結和芳香配體的金屬錯合物，較佳為使用具有金屬-氧雙鍵的金屬錯合物。由於金屬-氧雙鍵具有受體性（容易接受電子的性質），因此電子的轉移（供予和接受）變得更加容易。並且，可以認為具有金屬-氧雙鍵的金屬錯合物是穩定的。因而，藉由使用具有金屬-氧雙鍵的金屬錯合物，可以使發光元件以低電壓進行更穩定的驅動。

作為具有金屬-氧鍵結和芳香配體的金屬錯合物，較佳為使用酞菁類材料。明確而言，較佳為使用 VOPc (Vanadyl phthalocyanine：釩氧酞菁)、SnOPc (Phthalocyanine tin(IV) oxide complex：酞菁錫(IV)氧化錯合物) 以及 TiOPc (Phthalocyanine titanium oxide complex：酞菁鈦氧化錯合物) 中的任一者，因為在分子結構上金屬-氧雙鍵容易與其他分子相互作用而具有高受體性。

另外，作為上述酞菁類材料，較佳為使用具有苯氧基的酞菁類材料。明確而言，較佳為使用例如 PhO-VOPc 等具有苯氧基的酞菁衍生物。具有苯氧基的酞菁衍生物可以溶解於溶劑，因此，當形成發光元件時具有容易處理的優點，及容易維修用於成膜的裝置之優點。

電子繼電層 207 還可以包含供體物質。作為供體物質，可以使用例如四硫萘並萘 (tetrathianaphthacene)（縮寫：TTN）、二茂鎳、或十甲基二茂鎳等有機化合物；及鹼金屬；鹼土金屬；稀土金屬及其化合物（例如鹼

金屬化合物（包括氧化鋰等氧化物、鹵化物、和碳酸鋰或碳酸銦等碳酸鹽）、鹼土金屬化合物（包括氧化物、鹵化物、和碳酸鹽）、和稀土金屬化合物（包括氧化物、鹵化物、和碳酸鹽））。藉由將這些供體物質包含在電子繼電層 207 中，使電子容易轉移而能夠以更低的電壓驅動發光元件。

當使供體物質包含在電子繼電層 207 中時，作為具有高電子傳輸性的物質，除了上述物質以外還可以使用具有其 LUMO 能階高於含有在複合材料層 208 中的受體物質的受體能階的物質。作為具體能階，LUMO 能階較佳為 -5.0eV 或更高，更佳為 -5.0eV 至 -3.0eV 。作為這種物質，例如可以舉出芘衍生物、含氮稠環芳香化合物等。另外，因為含氮稠環芳香化合物具有穩定性，所以作為用來形成電子繼電層 207 的材料是較佳的。

作為芘衍生物的具體例子，可以舉出如下物質：3,4,9,10-芘四羧酸二酐（縮寫：PTCDA）；3,4,9,10-芘四羧酸雙苯並咪唑（縮寫：PTCBI）；N,N'-二辛基-3,4,9,10-芘四羧酸二醯亞胺（縮寫：PTCDI-C₈H）；N,N'-二己基-3,4,9,10-芘四羧酸二醯亞胺（縮寫：Hex PTC）等。

另外，作為含氮稠環芳香化合物的具體例子，可以舉出如下物質：吡嗪並[2,3-f][1,10]啡啉-2,3-二甲腈（縮寫：PPDN）、2,3,6,7,10,11-六氫-1,4,5,8,9,12-六氮雜苯並菲（縮寫：HAT(CN)₆）；2,3-二苯基吡啶並[2,3-b]吡嗪（縮寫：2PYPR）；2,3-雙（4-氟苯基）吡啶並[2,3-b]吡

嗪（縮寫：F2PYPR）等。

除了上述物質以外，還可以使用如下物質：7,7,8,8-四氰基對醌二甲烷（縮寫：TCNQ）；1,4,5,8-萘四羧酸二酐（縮寫：NTCDA）、全氟稠五苯（perfluoropentacene）；十六氟代酞菁銅（縮寫： $F_{16}CuPc$ ）；N,N'-雙（2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,8-十五氟代辛基）-1,4,5,8-萘四羧酸二醯亞胺（縮寫：NTCDI-C8F）、3',4'-二丁基-5,5''-雙（二氰基亞甲基）-5,5''-二氫-2,2':5',2''-三噻吩（縮寫：DCMT）、亞甲基富勒烯（例如，[6,6]-苯基 C_{61} 丁酸甲酯）等。

另外，當使電子繼電層 207 包含供體物質時，可藉由例如對具有高電子傳輸性的物質和供體物質進行共蒸鍍等來形成電子繼電層 207。

電洞注入層 202、電洞傳輸層 203、發光層 204 以及電子傳輸層 205 分別使用上述材料形成中任一者。藉由上述步驟，可以製造本具體實施方式的 EL 層 210。

在上述發光元件中，因在陽極和陰極之間產生的電位差，而電流流過，並因在 EL 層中電洞和電子重組合而發光。而且，該發光穿過陽極和陰極中的任一者或兩者被取出到外部。因此，陽極和陰極中的任一者或兩者成為對可見光具有透光性的電極。

另外，設置在陽極和陰極之間的層的結構不侷限於上述結構。也可以採用不同於上述的結構，只要在遠離陽極和陰極的部分中設置電洞和電子重組合的發光區，以防止

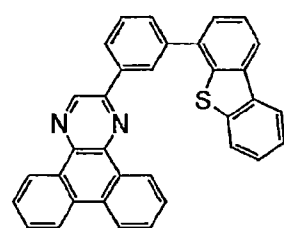
發光區接近金屬而產生的猝滅。

也就是說，對層的疊層結構沒有特別限制。將由具有高電子傳輸性的物質、具有高電洞傳輸性的物質、具有高電子注入性的物質、具有高電洞注入性的物質、具有雙極性的物質（具有高電子傳輸性和高電洞傳輸性的物質）或者電洞阻擋材料等構成的層與發光層自由組合而構成。

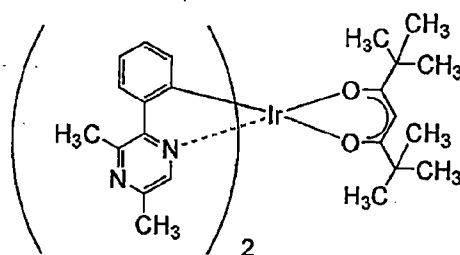
藉由使用本具體實施方式所示的發光元件，可以製造被動矩陣型發光裝置或由電晶體控制發光元件的驅動的主動矩陣型發光裝置。此外，可以將該發光裝置應用於電子裝置或照明裝置等。

實施例 1

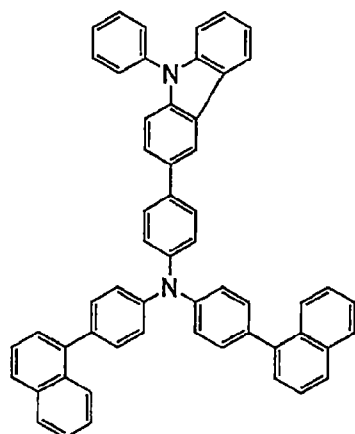
在本實施例中，說明本發明的一個具體實施方式的發光元件。以下示出在本實施例中使用的材料的化學式。



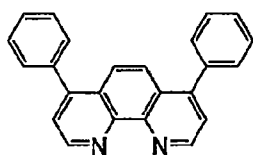
2mDBTPDBq-II



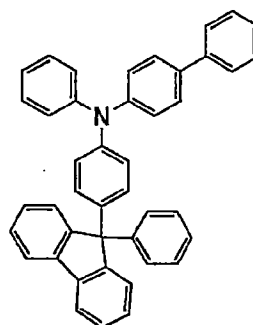
$[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$



PCBNBB



BPhen



BPAFLP

以下示出本實施例的發光元件 1 及對比發光元件 2 的製造方法。

(發光元件 1)

首先，在玻璃基板上藉由濺射法形成含氧化矽的氧化銦錫(ITSO)，由此形成用作陽極的第一電極。另外，將其厚度設定為 110nm，且將其電極面積設定為 2mm×2mm。

接著，作為為了在基板上形成發光元件的預處理，在用水洗滌基板表面並在 200℃下進行焙燒 1 小時之後，進

行 UV 臭氧處理 370 秒。

然後，在將基板放入到其內部被減壓到約 10^{-4}Pa 的真空蒸鍍裝置內的加熱室中，並以 170°C 進行 30 分鐘的真空焙燒之後，對基板進行約 30 分鐘的冷卻。

接著，將基板引入到真空蒸鍍裝置內的蒸鍍室。將形成有第一電極的基板以使形成有第一電極的面朝下的方式固定在設置在真空蒸鍍裝置內的基板支架上，將真空蒸鍍裝置內的壓力減壓到約 10^{-4}Pa ，然後在第一電極上共蒸鍍 BPAFLP 和氧化鋁（VI），從而形成電洞注入層。電洞注入層的厚度設定為 40nm，BPAFLP 與氧化鋁的重量比調節為 4:2(=BPAFLP：氧化鋁)。

接著，在電洞注入層上形成厚度為 20nm 的 BPAFLP，以形成電洞傳輸層。

再者，共蒸鍍 2mDBTPDBq-II、PCBNBB、和 $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ 以在電洞傳輸層上形成發光層。在此，2mDBTPDBq-II、PCBNBB、 $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ 的重量比調節為 0.8:0.2:0.05(=2mDBTPDBq-II:PCBNBB: $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$)。發光層的厚度設定為 40nm。

接著，在發光層上形成厚度為 10nm 的 2mDBTPDBq-II 膜，以形成第一電子傳輸層。

接著，在第一電子傳輸層上形成厚度為 20nm 的 BPhen 膜，以形成第二電子傳輸層。

然後，在第二電子傳輸層上蒸鍍厚度為 1nm 的氟化鋰(LiF)膜，以形成電子注入層。

最後，蒸鍍厚度為 200nm 的鋁膜以形成用作陰極的第二電極。如此，製造本實施例的發光元件 1。

(對比發光元件 2)

共蒸鍍 2mDBTPDBq-II 和 $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ 以形成對比發光元件 2 的發光層。在此，2mDBTPDBq-II 和 $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ 的重量比調節為 1:0.05 (=2mDBTPDBq-II: $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$)。發光層的厚度設定為 40nm。除了發光層之外，採用與發光元件 1 同樣的方式製造。

注意，在上述蒸鍍過程中，均採用電阻加熱法進行蒸鍍。

表 1 示出藉由上述步驟獲得的發光元件 1 及對比發光元件 2 的元件結構。在本實施例中，2mDBTPDBq-II 是 n 型主體，PCBNBB 是 p 型主體， $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ 是客體。即，在發光元件 1 中 n 型主體和 p 型主體均存在於發光層內，反之，在對比發光元件 2 中 p 型主體不存在於發光層內。

[表 1]

	第一 電極	電洞 注入層	電洞 傳輸層	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	ITSO 110nm	BPAFLP: MoOx (=4:2) 40nm	BPAFLP 20nm	2mDBTPDBq-II: PCBNBB: [Ir(mppr-Me) ₂ (dpm)] (=0.8:0.2:0.05) 40nm	2mDBTPDBq-II 10nm	BPhen 20nm	LiF 1nm	Al 200nm
對比 發光 元件 2	ITSO 110nm	BPAFLP: MoOx (=4:2) 40nm	BPAFLP 20nm	2mDBTPDBq-II: [Ir(mppr-Me) ₂ (dpm)] (=1:0.05) 40nm	2mDBTPDBq-II 10nm	BPhen 20nm	LiF 1nm	Al 200nm

在氮氬圍的手套箱中，對發光元件 1 及對比發光元件 2 進行密封以使發光元件不暴露於大氣，然後對這些發光元件的工作特性進行測量。此外，在室溫下（在保持於 25℃ 的氛圍中）進行測量。

圖 4 示出發光元件 1 及對比發光元件 2 的亮度-電流密度特性的圖。在圖 4 中，橫軸表示電流密度（mA/cm²），而縱軸表示亮度（cd/m²）。另外，圖 5 示出發光元件 1 及對比發光元件 2 的亮度-電壓特性的圖。在圖 5 中，橫軸表示電壓（V），而縱軸表示亮度（cd/m²）。另外，圖 6 示出發光元件 1 及對比發光元件 2 的電流效率-亮度特性的圖。在圖 6 中，橫軸表示亮度（cd/m²），而縱軸表示電流效率（cd/A）。另外，圖 7 示出發光元件 1 及對比發光元件 2 的外部量子效率-亮度特性的圖。在圖 7 中，橫軸表示亮度（cd/m²），而縱軸表示外部量子效率（%）。

此外，表 2 示出發光元件 1 及對比發光元件 2 在亮度大約 1000cd/m^2 時的電壓(V)、電流密度(mA/cm^2)、CIE 色度座標(x,y)、亮度(cd/m^2)、電流效率(cd/A)、功率效率(lm/W)和外部量子效率(%)。

[表 2]

	電壓 (V)	電流密度 (mA/cm^2)	色度座標 (x,y)	亮度 (cd/m^2)	電流 效率 (cd/A)	功率效 率 (lm/W)	外部量子 效率(%)
發光元 件 1	3.0	1.8	(0.56,0.44)	1200	64	67	24
對比發 光元件 2	3.1	2.1	(0.55,0.44)	960	45	46	17

另外，圖 8 示出在發光元件 1 及對比發光元件 2 中以 0.1mA 電流流過時的發射光譜。在圖 8 中，橫軸表示波長 (nm)，而縱軸表示發光強度 (任意單位)。另外，如表 2 所示， 1200cd/m^2 的亮度下的發光元件 1 的 CIE 色座標為(x，y)=(0.56，0.44)， 960cd/m^2 的亮度下的對比發光元件 2 的 CIE 色座標為 (x，y) = (0.55，0.44)。從上述結果可知，發光元件 1 和對比發光元件 2 顯示來自 $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ 的橙色光。

從表 2 及圖 4 至圖 7 可知，發光元件 1 的電流效率、功率效率、外部量子效率都比對比發光元件 2 高。一般認為，當將從發光體發射的光提取到外部時，由於在基板和其他層與大氣之間產生全反射，故將只有內部量子效率的

25%至 30%的光提取到外部。

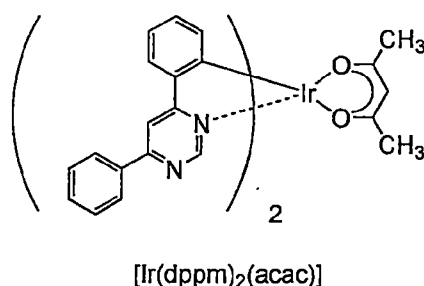
考慮到上述情況，對比發光元件 2 的內部量子效率被估計為至多 60%，但是發光元件 1 的內部量子效率估計為約 80%。從上述結果可知，藉由應用本發明的一個具體實施方式，可以實現外部量子效率高的發光元件。

接著，進行發光元件 1 及對比發光元件 2 的可靠性測試。圖 9 示出可靠性測試的結果。在圖 9 中，縱軸表示以初始亮度為 100%的情況下的歸一化亮度(%)，而橫軸表示元件的驅動時間(h)。在可靠性測試中，將初始亮度設定為 5000cd/m^2 ，並且在電流密度恆定的條件下驅動發光元件 1。

對比發光元件 2 的 120 小時後的亮度為初始亮度的 58%。此外，發光元件 1 的 630 小時後的亮度為初始亮度的 65%。從上述結果可知，發光元件 1 的壽命比對比發光元件 2 長。從上述結果可知，藉由應用本發明的一個具體實施方式，可以實現可靠性高的元件。

實施例 2

在本實施例中，說明本發明的一個具體實施方式的發光元件。以下示出在本實施例中使用的材料的化學式。注意，省略在上述實施例中使用的材料的化學式。



以下示出本實施例的發光元件 3 的製造方法。

(發光元件 3)

首先，在玻璃基板上藉由濺射法形成 ITSO，由此形成用作陽極的第一電極。另外，將其厚度設定為 110nm，且將其電極面積設定為 2mm×2mm。

接著，作為為了在基板上形成發光元件的預處理，在水洗滌基板表面並在 200℃ 下進行焙燒 1 小時之後，進行 UV 臭氧處理 370 秒。

然後，在將基板放入到其內部被減壓到約 10^{-4} Pa 的真空蒸鍍裝置中，並在真空蒸鍍裝置的加熱室中，以 170℃ 進行 30 分鐘的真空焙燒之後，對基板進行約 30 分鐘的冷卻。

接著，將形成有第一電極的基板以使形成有第一電極的面朝下的方式固定在設置在真空蒸鍍裝置內的基板支架上，並減壓到約 10^{-4} Pa，然後在第一電極上共蒸鍍 BPAFLP 和氧化鋇 (VI)，從而形成電洞注入層。電洞注入層的厚度設定為 40nm，BPAFLP 與氧化鋇的重量比調節為 4:2(=BPAFLP：氧化鋇)。

接著，在電洞注入層上形成厚度為 20nm 的

BPAFLP，來形成電洞傳輸層。

再者，共蒸鍍 2mDBTPDBq-II、PCBNBB、和 [Ir(dppm)₂(acac)]以在電洞傳輸層上形成發光層。在此，2mDBTPDBq-II、PCBNBB、和 [Ir(dppm)₂(acac)]的重量比調節為 0.8:0.2:0.05(=2mDBTPDBq-II:PCBNBB:[Ir(dppm)₂(acac)])。發光層的厚度設定為 40nm。

接著，在發光層上形成厚度為 10nm 的 2mDBTPDBq-II 膜，以形成第一電子傳輸層。

接著，在第一電子傳輸層上形成厚度為 20nm 的 BPhen 膜，以形成第二電子傳輸層。

然後，在第二電子傳輸層上蒸鍍厚度為 1nm 的 LiF 膜，以形成電子注入層。

最後，蒸鍍厚度為 200nm 的鋁膜以形成用作陰極的第二電極。如此製造本實施例的發光元件 3。

注意，在上述蒸鍍過程中，均採用電阻加熱法進行蒸鍍。

表 3 示出藉由上述步驟獲得的發光元件 3 的元件結構。

[表 3]

	第一電極	電洞注入層	電洞傳輸層	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 3	ITSO 110nm	BPAFLP: MoOx (=4:2) 40nm	BPAFLP 20nm	2mDBTPDBq-II: PCBNBB: [Ir(dppm) ₂ (acac)] (=0.8:0.2:0.05) 40nm	2mDBTPDBq-II 10nm	BPhen 20nm	LiF 1nm	Al 200nm

在氮氛圍的手套箱中，對發光元件 3 進行密封以使發光元件不暴露於大氣，然後對該發光元件的工作特性進行測量。此外，在室溫下（在保持於 25℃ 的氛圍中）進行測量。

圖 10 示出發光元件 3 的亮度-電流密度特性的圖。在圖 10 中，橫軸表示電流密度（mA/cm²），而縱軸表示亮度（cd/m²）。另外，圖 11 示出發光元件 3 的亮度-電壓特性的圖。在圖 11 中，橫軸表示電壓（V），而縱軸表示亮度（cd/m²）。另外，圖 12 示出發光元件 3 的電流效率-亮度特性的圖。在圖 12 中，橫軸表示亮度（cd/m²），而縱軸表示電流效率（cd/A）。另外，圖 13 示出發光元件 3 的外部量子效率-亮度特性的圖。在圖 13 中，橫軸表示亮度（cd/m²），而縱軸表示外部量子效率（%）。

此外，表 4 示出發光元件 3 在亮度 1100 cd/m² 時的電壓(V)、電流密度(mA/cm²)、CIE 色度座標(x,y)、電流效率(cd/A)、功率效率(lm/W)和外部量子效率(%)。

[表 4]

	電壓 (V)	電流密度 (mA/cm ²)	色度座標 (x,y)	電流效率 (cd/A)	功率效率 (lm/W)	外部量子 效率(%)
發光元 件 3	2.9	1.5	(0.54,0.46)	77	83	28

圖 14 示出在發光元件 3 中以 0.1mA 電流流過時的發射光譜。在圖 14 中，橫軸表示波長（nm），而縱軸表示

發光強度（任意單位）。另外，如表 4 所示， 1100cd/m^2 的亮度下的發光元件 3 的 CIE 色座標為 $(x, y)=(0.54, 0.46)$ 。從上述結果可知，發光元件 3 顯示來自於 $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ 的橙色光。

從表 4 及圖 10 至圖 13 可知，發光元件 3 的電流效率、功率效率、外部量子效率分別均較高。尤其是， 1100cd/m^2 的亮度時的外部量子效率高，即 28%。該數值換算為 90% 或更高的內部量子效率。從上述結果可知，藉由應用本發明的一個具體實施方式，可以實現外部量子效率高的發光元件。

接著，進行發光元件 3 的可靠性測試。圖 15 示出可靠性測試的結果。在圖 15 中，縱軸表示以初始亮度為 100% 的情況下的歸一化亮度(%)，而橫軸表示元件的驅動時間(h)。

在可靠性測試中，將初始亮度設定為 5000cd/m^2 ，並且在電流密度恆定的條件下驅動發光元件 3。發光元件 3 在 320 小時後保持初始亮度的 92% 的亮度。從上述結果可知，藉由應用本發明的一個具體實施方式，可以實現可靠性高的元件。

實施例 3

有機材料的 T1 能階雖然可以根據該有機材料的薄膜或溶液的光學測量而決定，但是也可以藉由分子軌道計算來得到。例如，為了估計未知的材料的 T1 能階，可以利

用分子軌道計算。在本實施例中，分別算出用作客體的 $\text{Ir(dppm)}_2\text{acac}$ 和 $\text{Ir(mppr-Me)}_2\text{dpm}$ 、與用作 n 型主體的 2mDBTPDBq II 及用作 p 型主體的 PCBNBB 的 T1 能階。

以下示出計算方法。首先，利用密度泛函法（density functional theory，DFT）計算出每個分子的單重基態（ S_0 ）和三重激發態（ T_1 ）的最穩定結構。再者，對 S_0 和 T_1 的最穩定結構進行振動分析，而求得被進行零點校正的能量。從 S_0 和 T_1 的被進行零點校正的能量差，算出 T1 能階。

在 n 型主體分子及 p 型主體分子的計算中，作為所有原子的基底函數（basis function），應用 6-311G（對每個原子價層軌道使用三個收縮函數的三重分裂價層基組（triple-split valence basis set）的基底函數）。藉由利用上述基底函數，例如，在 H 原子的情況下考慮 1s 至 3s 的軌道，而在 C 原子的情況下考慮 1s 至 4s、2p 至 4p 的軌道。此外，為了提高計算準確度，分別向 H 原子和 H 原子以外的原子添加作為極化基組（polarization basis set）的 p 函數和 d 函數。利用 B3LYP 作為泛函數來規定關於交換相關能的各參數的權重。

在客體分子的計算中，利用 LanL2DZ 作為 Ir 原子的基底函數。利用 6-311G 作為 Ir 原子以外的原子的基底函數。此外，為了提高計算準確度，分別向 H 原子和 H 原子以外的原子添加作為極化基組的 p 函數和 d 函數。利用 B3PW91 作為泛函數來規定關於交換相關能的各參數的權

重。

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

藉由計算而得到的 $\text{Ir(dppm)}_2\text{acac}$ 的 T1 能階為 2.13eV， $\text{Ir(mppr-Me)}_2\text{dpm}$ 的 T1 能階為 2.13eV，2mDBTPDBq II 的 T1 能階為 2.42eV，PCBNBB 的 T1 能階為 2.31eV。這些數值近於藉由光學測量而得到的數值。

從如上結果可知，用作 n 型主體的 2mDBTPDBq II 及用作 p 型主體的 PCBNBB 的 T1 能階比用作客體的 $\text{Ir(dppm)}_2\text{acac}$ 或 $\text{Ir(mppr-Me)}_2\text{dpm}$ 的 T1 能階均高 0.15eV 或更多。由此，可以充分防止從客體分子的三重激發態到 n 型主體分子或 p 型主體分子的三重激發態的躍遷，而可以得到外部量子效率高的發光元件。

如上所述，藉由光學測量而得到的 T1 能階非常近於藉由分子軌道計算而得到的 T1 能階。從而，即使不合成新有機化合物，也可以藉由進行分子軌道估計該有機化合物的 T1 能階，及評估是否該有機化合物可用於提高發光效率。

【符號說明】

101：基板

102：發光層

103：第一電極

- 104：第二電極
- 105：第一載子注入層
- 106：第一載子傳輸層
- 107：第二載子注入層
- 108：第二載子傳輸層
- 110：EL層
- 110a：EL層
- 110b：EL層
- 111：電荷發生層
- 201：陽極
- 202：電洞注入層
- 203：電洞傳輸層
- 204：發光層
- 205：電子傳輸層
- 206：電子注入緩衝層
- 207：電子繼電層
- 208：複合材料層
- 209：陰極
- 210：EL層

【發明申請專利範圍】

【請求項1】一種發光元件，其包括：

陽極；

陰極；及

在該陽極和該陰極之間的發光層，該發光層包括：

銦錯合物；

第一有機化合物，其係為雜芳族化合物；及

包含呋唑-3-基基團的第二有機化合物，

其中該第二有機化合物的最高佔有分子軌道能階比該銦錯合物的最高佔有分子軌道能階低0.1 eV或更多，及

其中該第一有機化合物與該第二有機化合物形成激基複合物。

【請求項2】一種發光元件，其包括：

陽極；

陰極；及

在該陽極和該陰極之間的發光層，該發光層包括：

銦錯合物；

第一有機化合物，其係為雜芳族化合物；及

包含呋唑-3-基基團的第二有機化合物，

其中該第一有機化合物的三重激發態與基態之間的能量差比該銦錯合物的三重激發態與基態之間的能量差高0.15 eV或更多，及

其中該第一有機化合物與該第二有機化合物形成激基複合物。

【請求項3】一種發光元件，其包括：

陽極；

陰極；及

在該陽極和該陰極之間的發光層，該發光層包括：

銦錯合物；

第一有機化合物，其係為雜芳族化合物；及

包含呋唑-3-基基團的第二有機化合物，

其中該第一有機化合物的最低未佔有分子軌道能階比該銦錯合物的最低未佔有分子軌道能階高 0.1 eV 或更多，及

其中該第一有機化合物與該第二有機化合物形成激基複合物。

【請求項4】如請求項1至3中任一項之發光元件，其中該銦錯合物、該第一有機化合物、和該第二有機化合物混合於該發光層中。

【請求項5】如請求項1至3中任一項之發光元件，其中該陰極包括鎂、銀和鋁中之至少一者。

【請求項6】如請求項1至3中任一項之發光元件，其另外包括在該陽極和該發光層之間的第一層，

其中該第一層包括有機化合物和受體。

【請求項7】如請求項6之發光元件，其中該受體是包含氰基、氟基和氯基中之至少一者的有機化合物。

【請求項8】如請求項1至3中任一項之發光元件，其另外包括在該陰極和該發光層之間的第二層，

其中該第二層包括金屬錯合物。

【請求項9】如請求項2之發光元件，

其中該第二有機化合物的三重激發態與基態之間的能量差比該銻錯合物的三重激發態與基態之間的能量差高0.15 eV或更多。

【請求項10】如請求項1至3中任一項之發光元件，

其中該第一有機化合物具有電子傳輸性，及

其中該第二有機化合物具有電洞傳輸性。

【發明圖式】

圖 1A

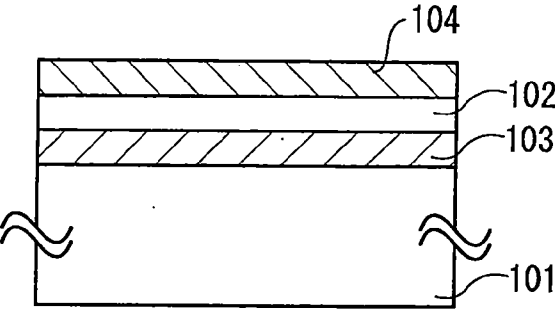


圖 1B

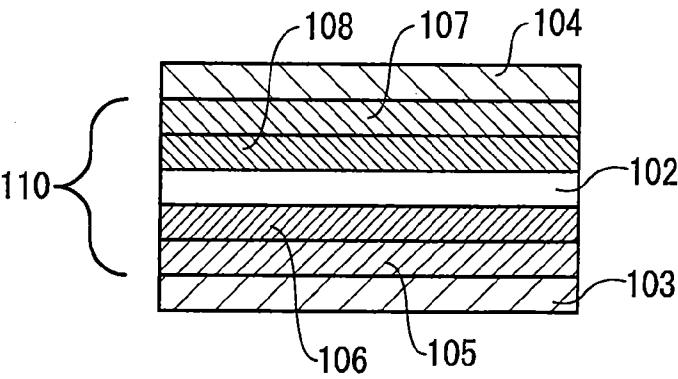


圖 1C

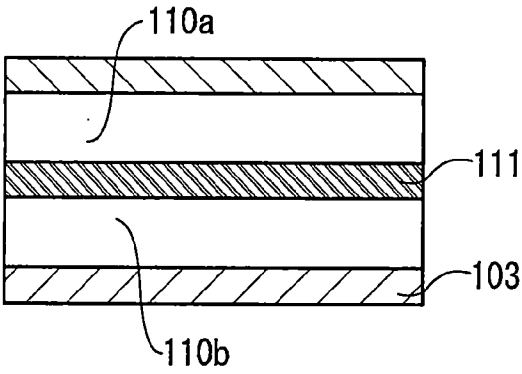


圖 1D

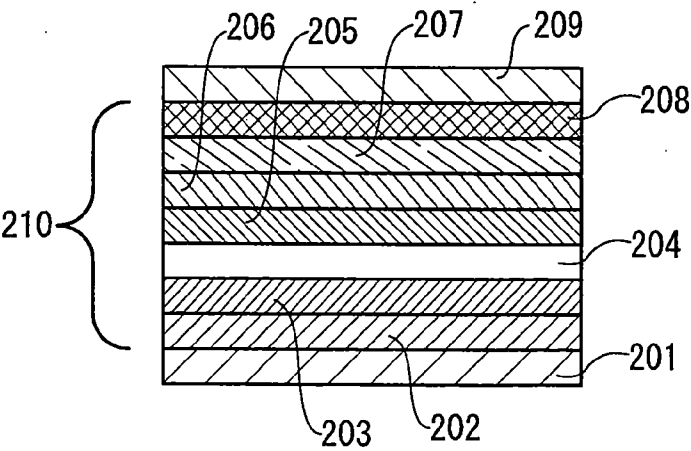


圖 2A

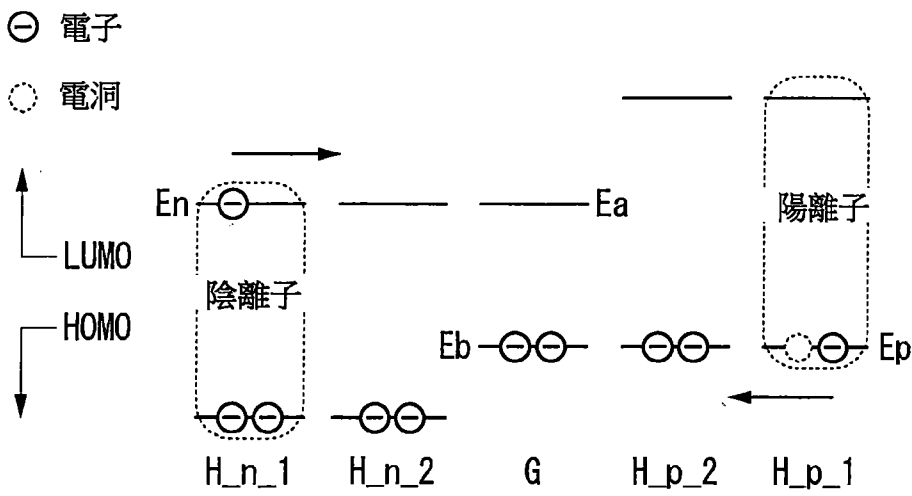


圖 2B

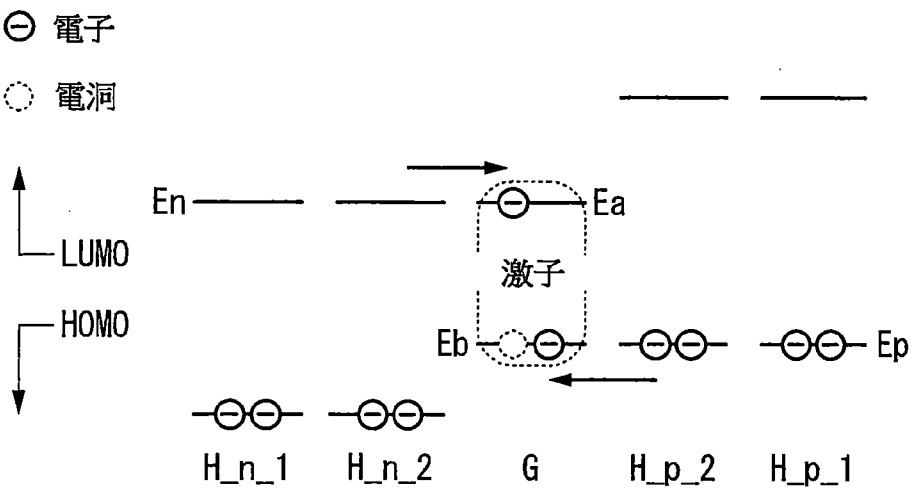


圖 2C

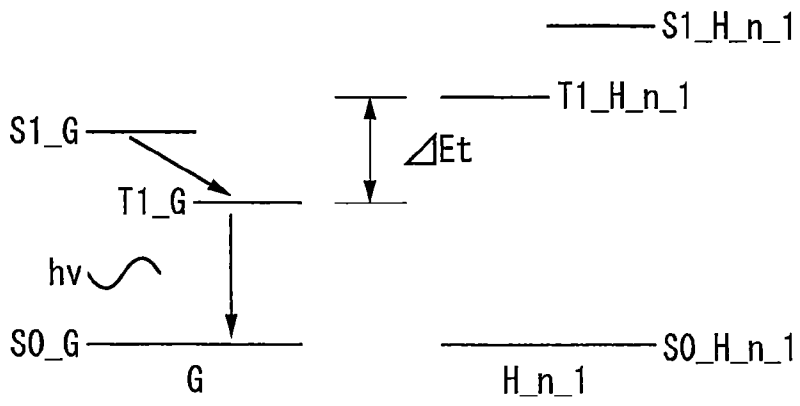


圖 3A

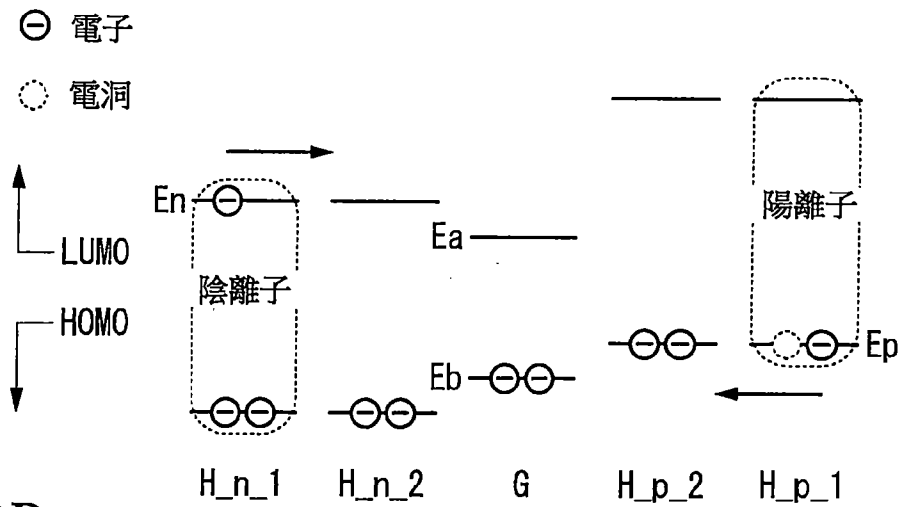


圖 3B

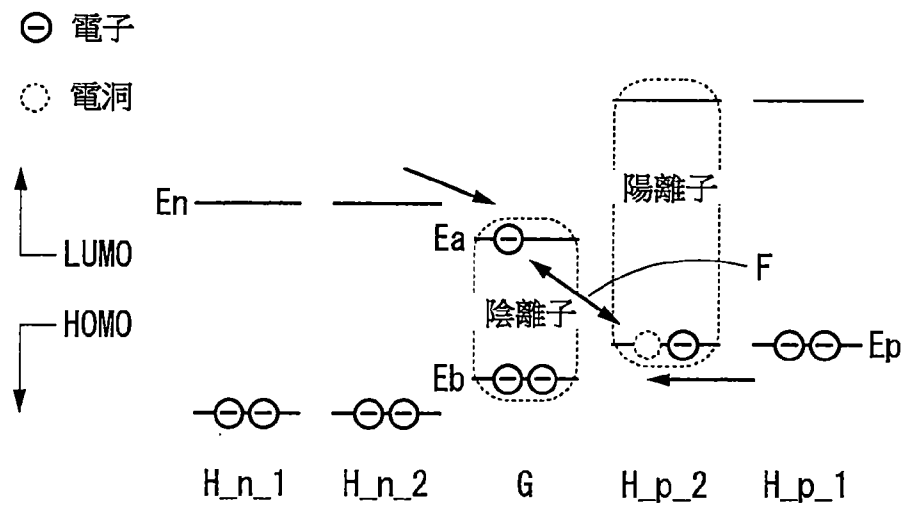


圖 3C

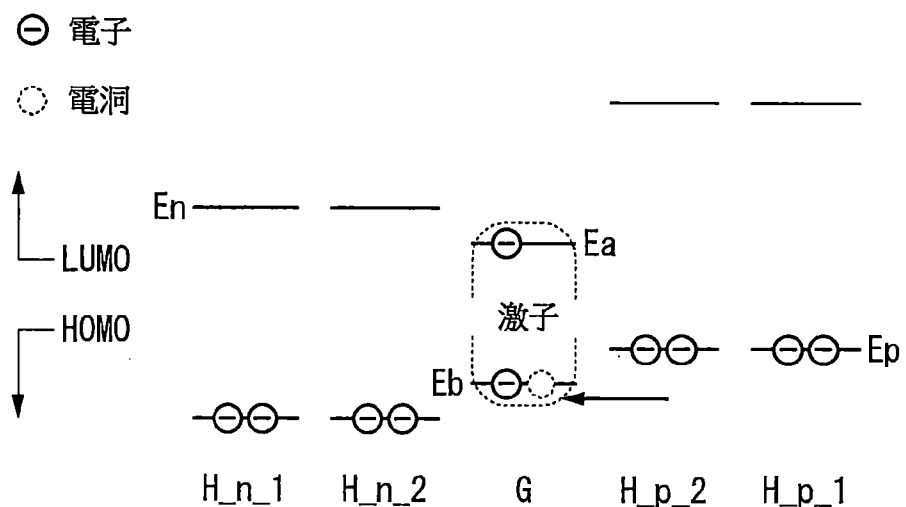


圖4

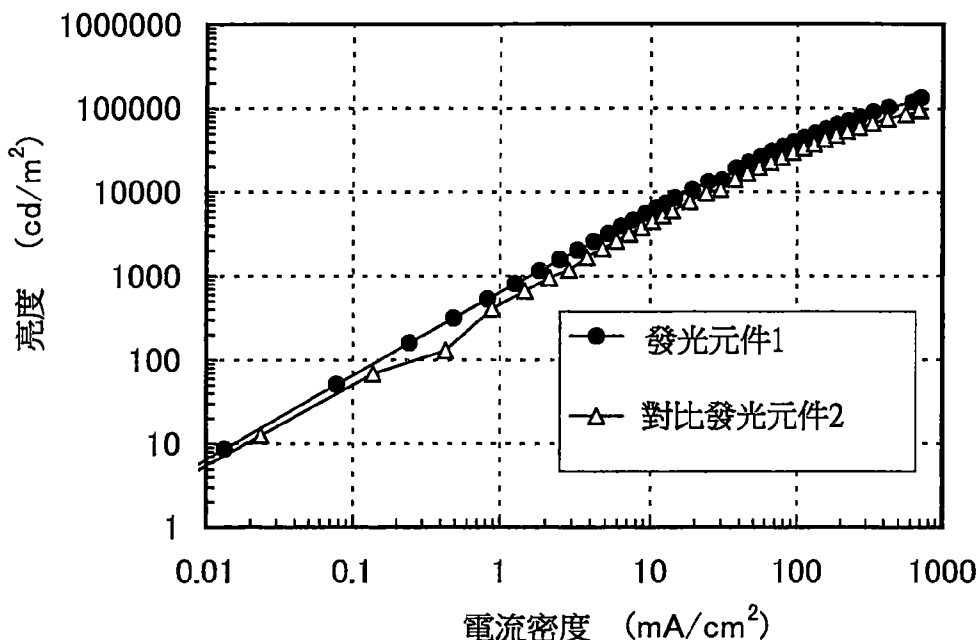


圖5

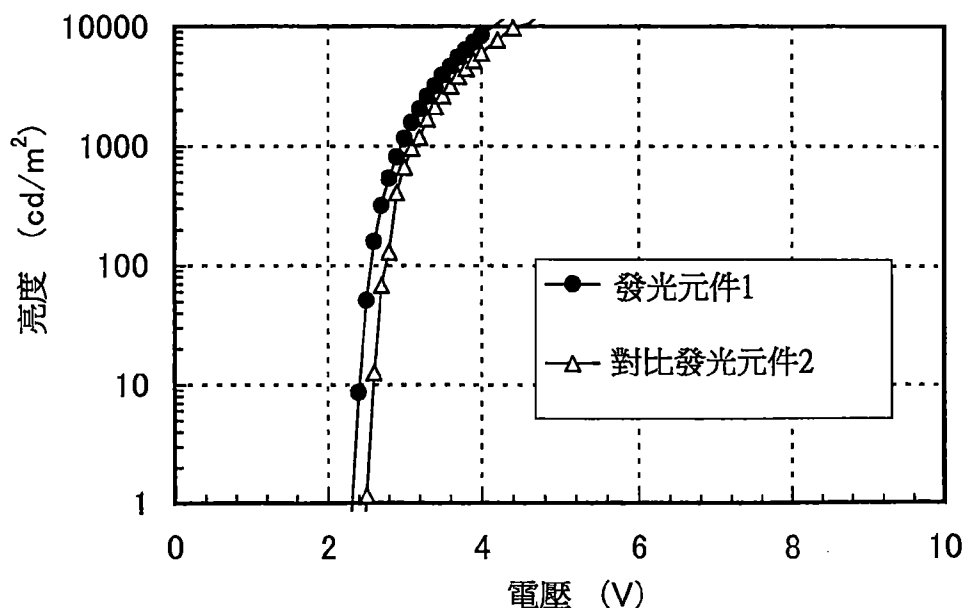


圖6

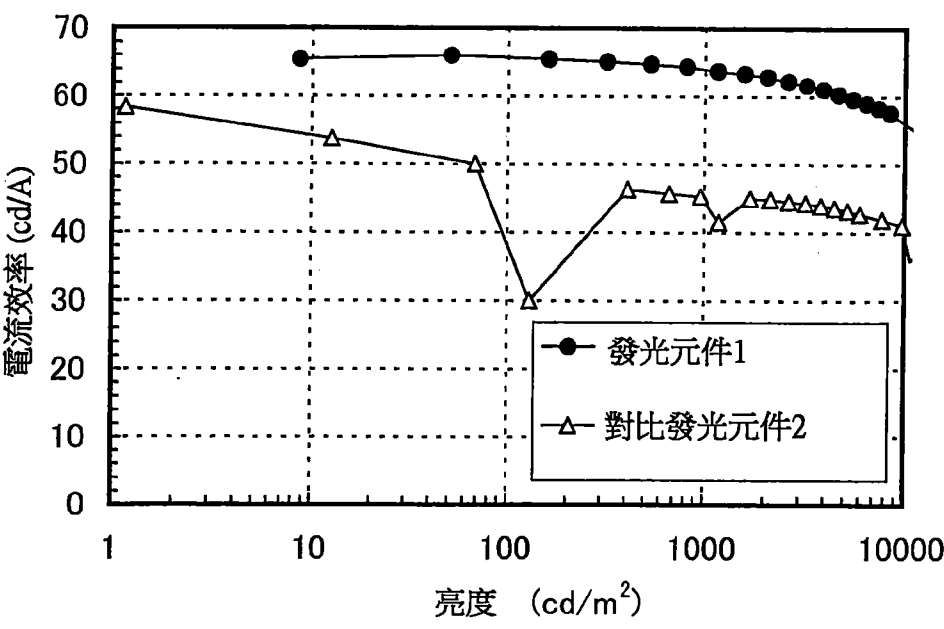


圖7

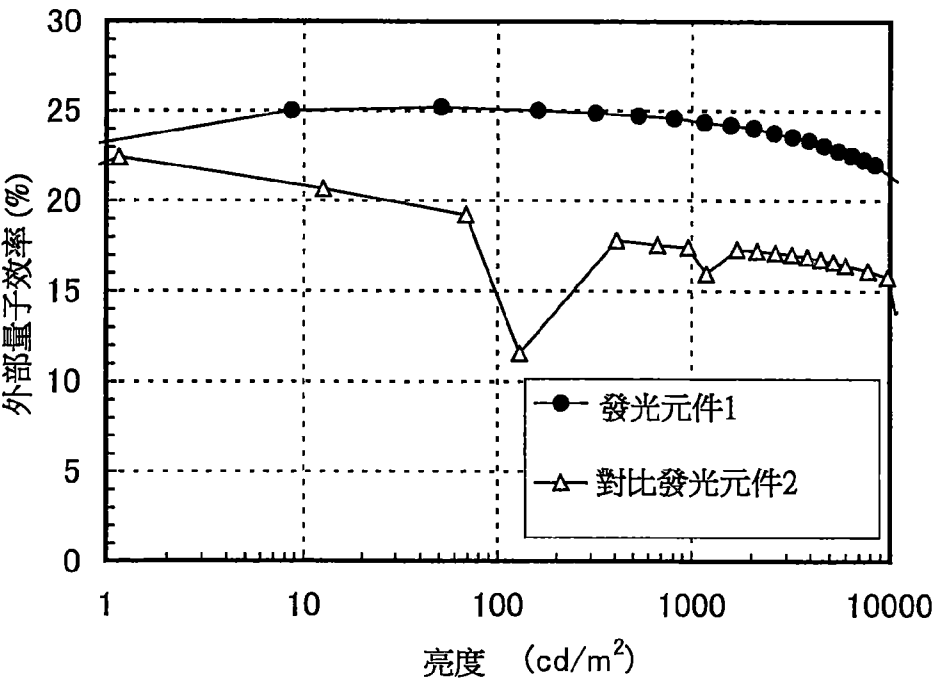


圖 8

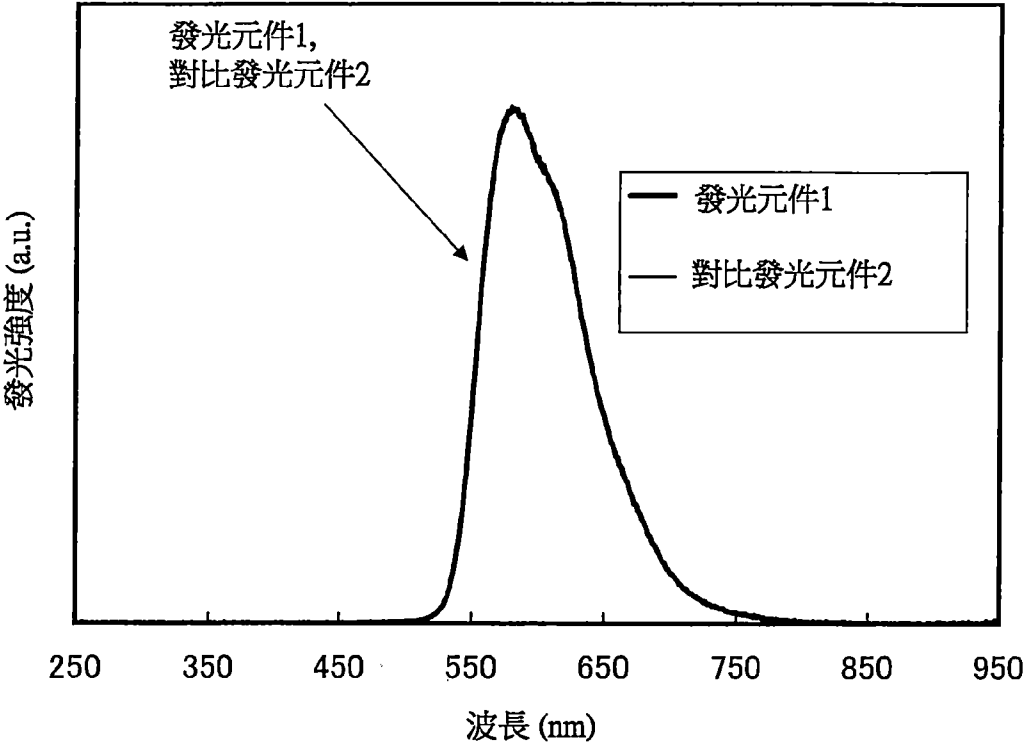


圖 9

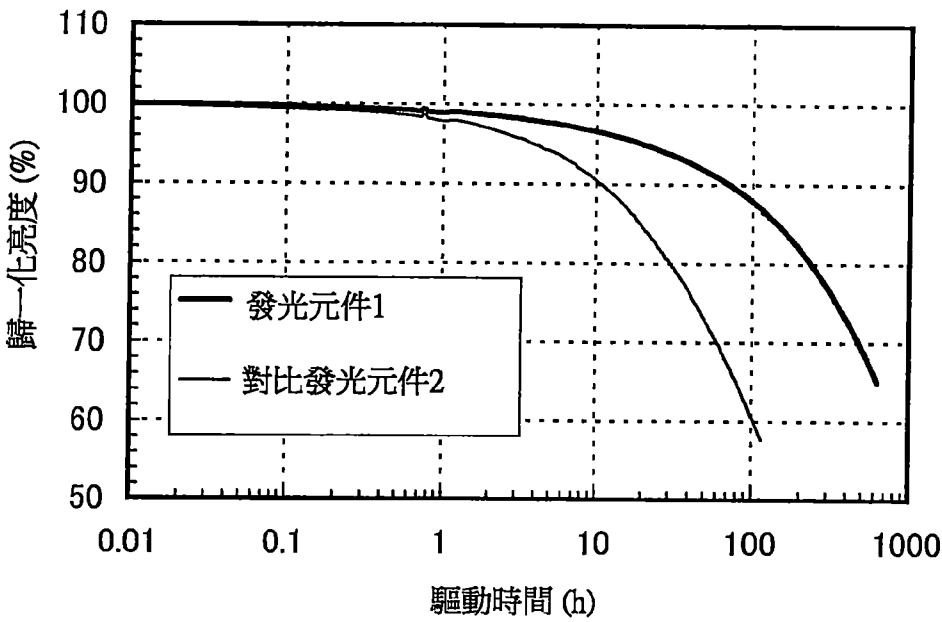


圖 10

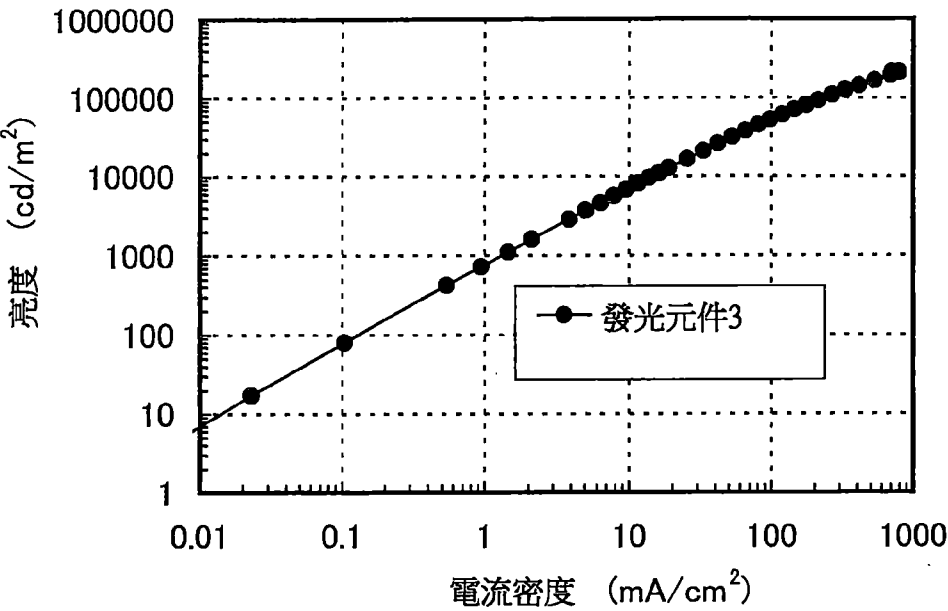


圖 11

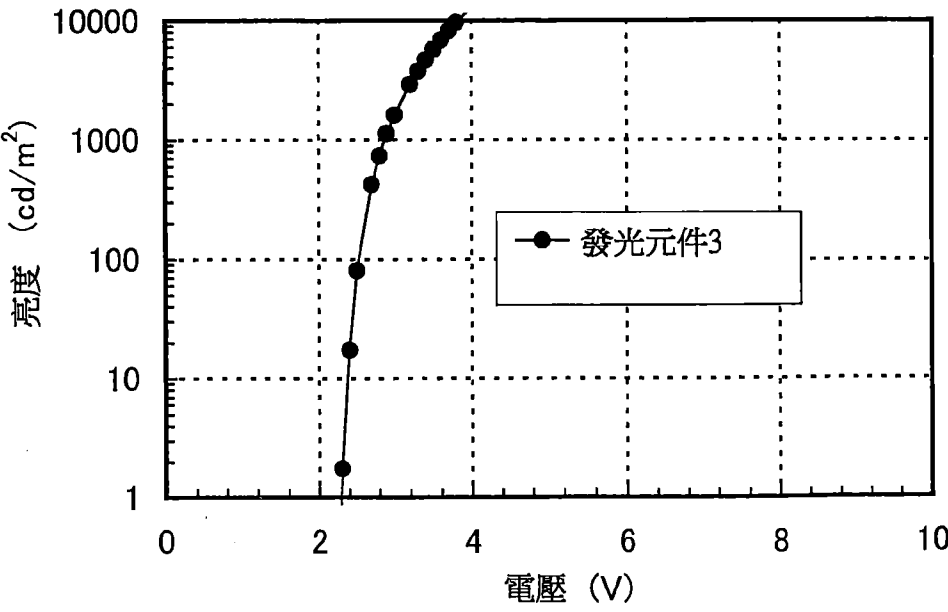


圖 12

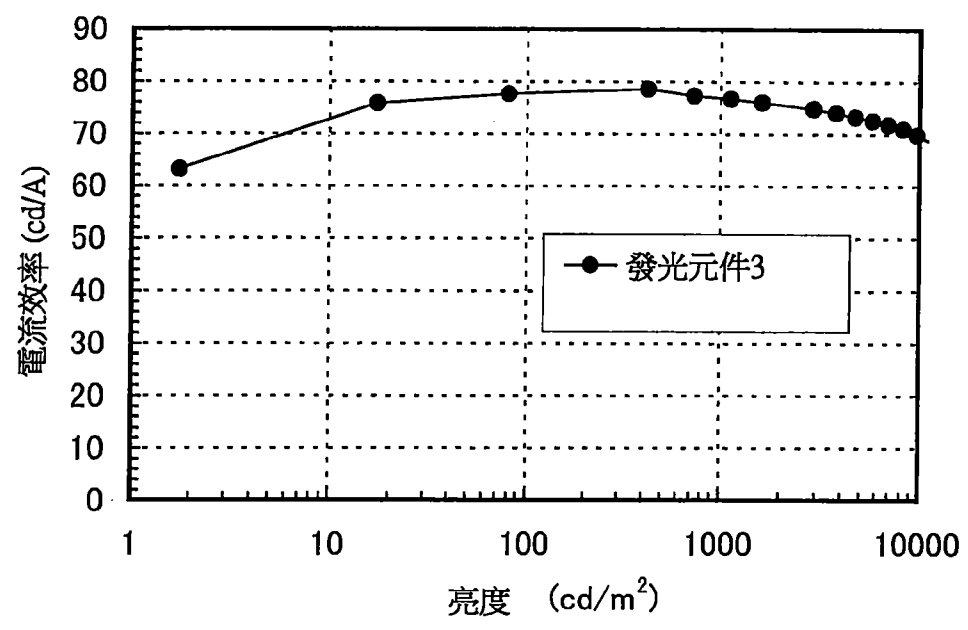


圖 13

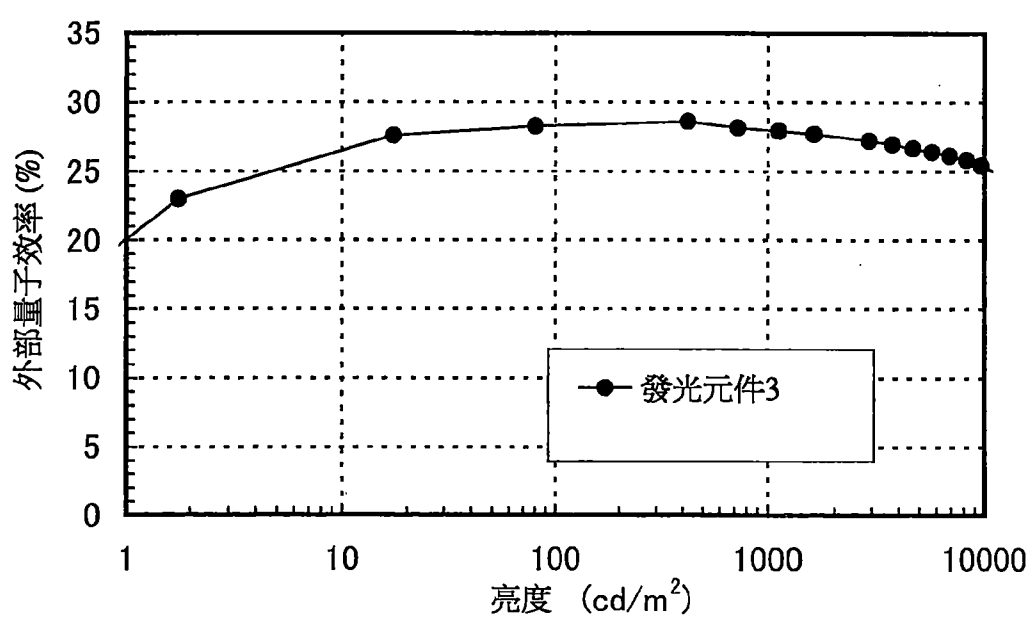


圖 14

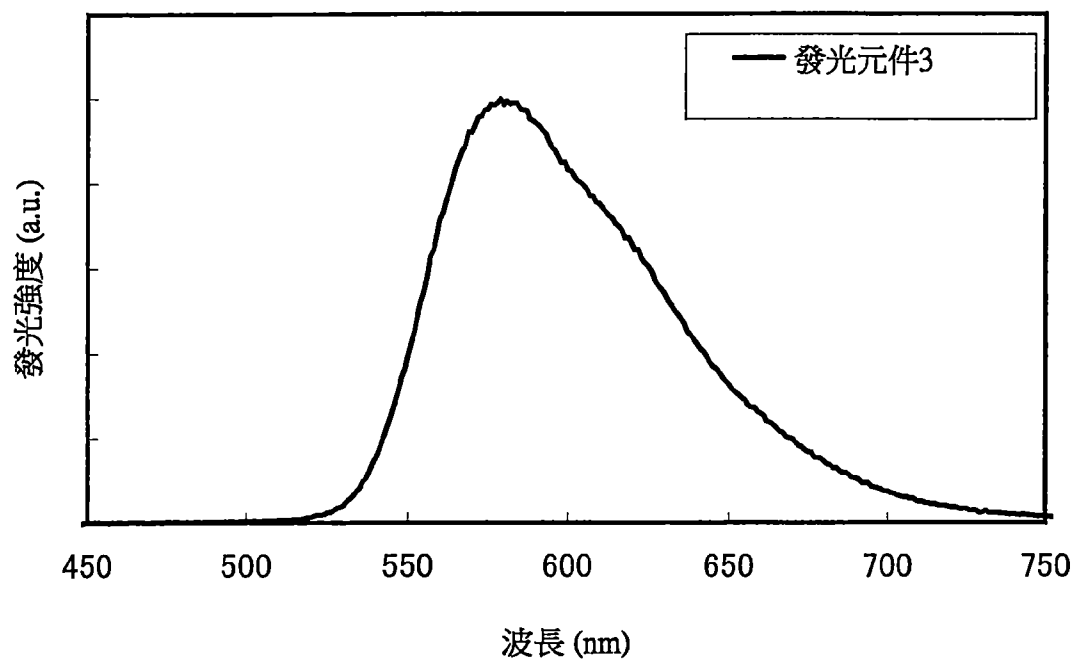


圖15

