I702746

(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 I702746 B**

**(45)公告日： 中華民國 109 (2020) 年 08 月 21 日**

(21)申請案號：107111956　(22)申請日： 中華民國 101 (2012) 年 02 月 14 日

(51)Int. Cl.：　*H01L51/54　(2006.01)*　*H01L33/26　(2010.01)*

*H05B33/20　(2006.01)*

(30)優先權：2011/02/16　日本　2011-031462

(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：下垣智子 SHITAGAKI, SATOKO (JP) ；瀨尾哲史 SEO, SATOSHI (JP) ；大澤信晴 OHSAWA, NOBUHARU (JP) ；井上英子 INOUE, HIDEKO (JP) ；鈴木邦彥 SUZUKI, KUNIHIKO (JP)

(74)代理人：林志剛

(56)參考文獻：

CN　101667628A

Yuichi HINO et. al., Red Phosphorescent Organic Light-Emitting Diodes Using Mixture System of Small-Molecule and Polymer Host, The Japan Society of Applied Physics Vol. 44, No. 4B, 2005, pp. 2790-2794, April 21, 2005

Ji Hyun Seo et. al., Efficient Blue Phosphorescent Organic Light-Emitting Diodes by Tuning Iridium(III) Phenylpyridine Complexes, Journal of Nanoscience and Nanotechnology Vol. 9, 7048-7051, 2009

審查人員：陳聖

申請專利範圍項數：32 項　圖式數：65　共 192 頁

(54)名稱

發光元件

(57)摘要

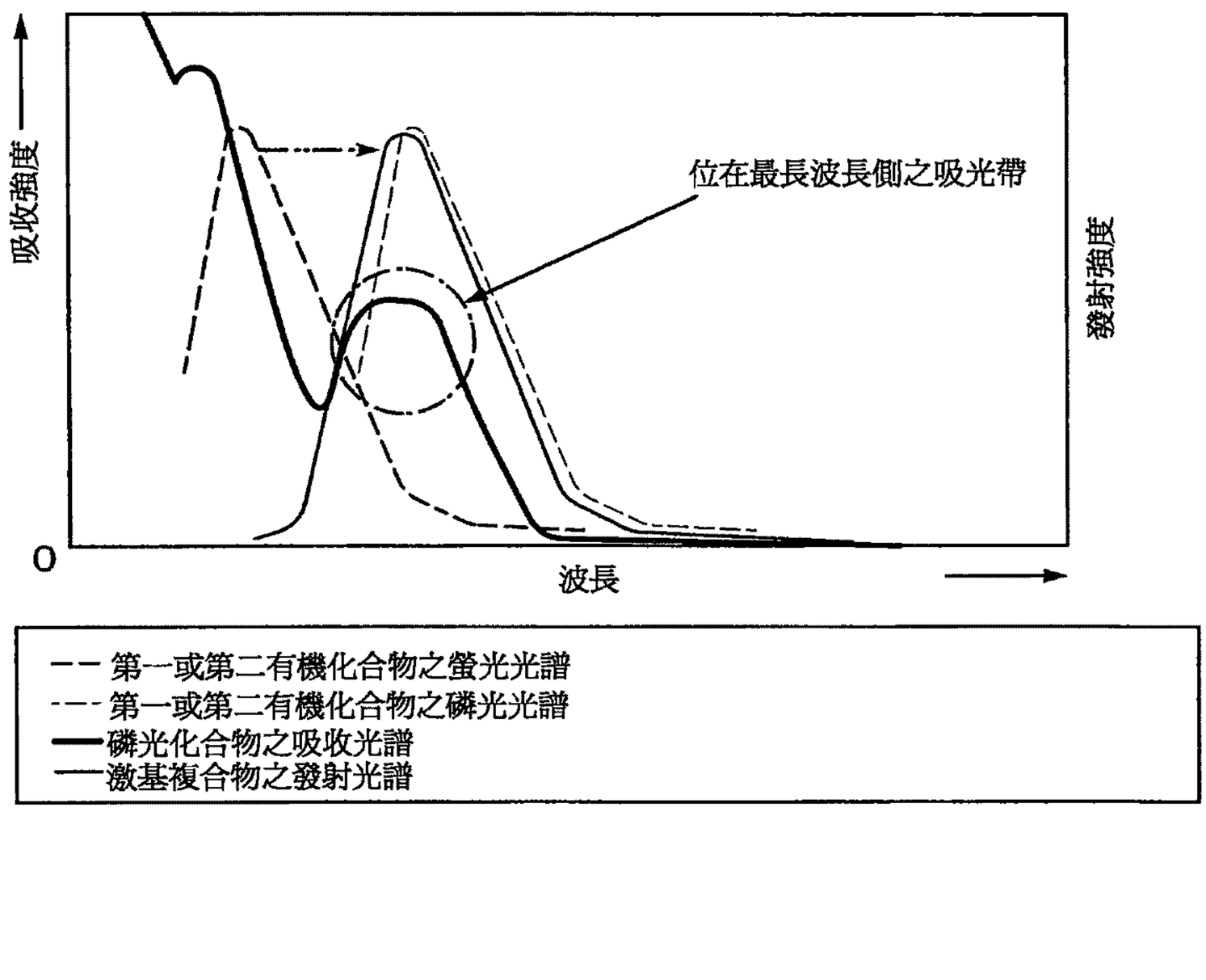
本發明提供一種外部量子效率高的發光元件。此外，本發明提供一種壽命長的發光元件。本發明提供一種發光元件，包括：一對電極之間的包含磷光化合物、第一有機化合物以及第二有機化合物的發光層，其中，第一有機化合物和第二有機化合物的組合是形成激基複合物的組合。該發光元件由於利用激基複合物的發射光譜與磷光化合物的吸收光譜的重疊並進行能量轉移，所以能量轉移效率高。因此，可以實現外部量子效率高的發光元件。

A light-emitting element having high external quantum efficiency is provided. A light-emitting element having a long lifetime is provided. A light-emitting element is provided which includes a light-emitting layer containing a phosphorescent compound, a first organic compound, and a second organic compound between a pair of electrodes, in which a combination of the first organic compound and the second organic compound forms an exciplex (excited complex). The light-emitting element transfers energy by utilizing an overlap between the emission spectrum of the exciplex and the absorption spectrum of the phosphorescent compound

and thus has high energy transfer efficiency. Therefore, a light-emitting element having high external quantum efficiency can be obtained.

指定代表圖：

圖 25



I702746

# 發明摘要

【發明名稱】(中文/英文)

發光元件

Light-emitting element

【中文】

本發明提供一種外部量子效率高的發光元件。此外，本發明提供一種壽命長的發光元件。本發明提供一種發光元件，包括：一對電極之間的包含磷光化合物、第一有機化合物以及第二有機化合物的發光層，其中，第一有機化合物和第二有機化合物的組合是形成激基複合物的組合。該發光元件由於利用激基複合物的發射光譜與磷光化合物的吸收光譜的重疊並進行能量轉移，所以能量轉移效率高。因此，可以實現外部量子效率高的發光元件。

【英文】

A light-emitting element having high external quantum efficiency is provided. A light-emitting element having a long lifetime is provided. A light-emitting element is provided which includes a light-emitting layer containing a phosphorescent compound, a first organic compound, and a second organic compound between a pair of electrodes, in which a combination of the first organic compound and the second organic compound forms an exciplex (excited complex). The light-emitting element transfers energy by utilizing an overlap between the emission spectrum of the exciplex and the absorption spectrum of the phosphorescent compound and thus has high energy transfer efficiency. Therefore, a light-emitting element having high external quantum efficiency can be obtained.

【代表圖】

【本案指定代表圖】：第(25)圖。

【本代表圖之符號簡單說明】：無

【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】：無

# 發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動)

【發明名稱】(中文/英文)

發光元件

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，也稱爲有機EL元件)。

【先前技術】

對有機 EL 元件積極地進行研究開發。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，也稱爲發光層)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，所以作爲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 元件爲面光源，因此期望將有機 EL 元件應用於液晶顯示器的背光、照明等的光源。

有機 EL 元件的發光機理屬於載子注入型。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複合，以發光物質成爲激發態，並且當該激發態

回到基態時發光。另外，作爲激發態的種類，可以是單重激發態($S^*$)和三重激發態($T^*$)。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爲是 $S^*$：$T^*$=1：3。

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($S^*$)的發光因是在相同的自旋多重態之間的電子躍遷而被稱爲螢光。另一方面，來自三重激發態($T^*$)的發光因是不同的自旋多重態之間的電子躍遷而被稱爲磷光。在此，在發射螢光的化合物(以下，稱爲螢光化合物)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 $S^*$：$T^*$=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爲是 25%。

另一方面，如果使用發射磷光的化合物(以下稱爲磷光化合物)，則內部量子效率在理論上可達到 100%。換言之，與螢光化合物相比，可以得到高發光效率。根據上述理由，爲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，作爲磷光化合物，以銥等爲中心金屬的有機金屬錯合物由於其高磷光量子產率而已受到關注。例如，專利文獻 1 公開有以銥爲中心金屬的有機金屬錯合物作爲磷光材料。

當使用上述磷光化合物形成發光元件的發光層時，爲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包含另一種化

合物的基質中的方式形成發光層。在此，用作基質的化合物被稱爲主體材料，分散在基質中的化合物諸如磷光化合物被稱爲客體材料。

[專利文獻 1]PCT 國際公開案第 00/70655 號

然而，一般被認爲有機 EL 元件中的光取出效率爲20%至 30%左右。因此，當考慮到由反射電極及透明電極吸收光時，被認爲使用磷光化合物的發光元件的外部量子效率的極限爲 25%左右。

【發明內容】

本發明的一個方式的目的之一是提供一種外部量子效率高的發光元件。此外，本發明的一個方式的目的之一是提供一種壽命長的發光元件。

本發明的一個方式是一種發光元件，包括：在一對電極之間包含磷光化合物、第一有機化合物以及第二有機化合物的發光層，其中，第一有機化合物和第二有機化合物的組合是形成激基複合物的組合。

另外，本發明的一個方式是一種發光元件，包括：在一對電極之間包含磷光化合物、第一有機化合物以及第二有機化合物的發光層，其中，第一有機化合物和第二有機化合物的組合是形成激基複合物的組合，並且，激基複合物對磷光化合物起作用，而磷光化合物發射磷光。

另外，本發明的一個方式是一種發光元件，包括：在一對電極之間包含磷光化合物、第一有機化合物以及第二

有機化合物的發光層，其中，使用第一有機化合物的單重態激子形成激基複合物。

另外，本發明的一個方式是一種發光元件，包括：一對電極之間的包含磷光化合物、第一有機化合物以及第二有機化合物的發光層，其中，使用第一有機化合物的陰離子及第二有機化合物的陽離子形成激基複合物。

在上述發光元件中，激基複合物的激發能量較佳爲轉移到磷光化合物，該磷光化合物發射磷光。

在上述發光元件中，第一有機化合物和第二有機化合物中的至少一方較佳爲螢光化合物。

在上述發光元件中，磷光化合物較佳爲有機金屬錯合物。

本發明的一個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。

本發明的一個方式可以提供一種外部量子效率高的發光元件。此外，本發明的一個方式可以提供一種壽命長的發光元件。

【圖式簡單說明】

在圖式中：

圖 1A 和圖 1B 是示出有關實施例 1 的吸收光譜及發射光譜的圖；

圖 2A 和圖 2B 是示出有關實施例 2 的吸收光譜及發射光譜的圖；

圖 3 是示出實施例 3 的發光元件的電流密度-亮度特性的圖；

圖 4 是示出實施例 3 的發光元件的電壓-亮度特性的圖；

圖 5 是示出實施例 3 的發光元件的亮度-電流效率特性的圖；

圖 6 是示出實施例 3 的發光元件的亮度-外部量子效率特性的圖；

圖 7 是示出實施例 3 的發光元件的發射光譜的圖；

圖 8 是示出實施例 3 的發光元件的可靠性測試的結果的圖；

圖 9 是示出實施例 4 的發光元件的電流密度-亮度特性的圖；

圖 10 是示出實施例 4 的發光元件的電壓-亮度特性的圖；

圖 11 是示出實施例 4 的發光元件的亮度-電流效率特性的圖；

圖 12 是示出實施例 4 的發光元件的亮度-外部量子效率特性的圖；

圖 13 是示出實施例 4 的發光元件的發射光譜的圖；

圖 14 是示出實施例 4 的發光元件的可靠性測試的結果的圖；

圖 15 是示出發光元件的結構的圖；

圖 16A 至圖 16C 是示出本發明的一個方式的發光元

件的圖；

圖 17 是說明在本發明的一個方式中應用的激基複合物的能階的圖；

圖 18A 和圖 18B 是示出有關實施例 5 的吸收光譜及發射光譜的圖；

圖 19 是示出實施例 6 的發光元件的電流密度-亮度特性的圖；

圖 20 是示出實施例 6 的發光元件的電壓-亮度特性的圖；

圖 21 是示出實施例 6 的發光元件的亮度-電流效率特性的圖；

圖 22 是示出實施例 6 的發光元件的亮度-外部量子效率特性的圖；

圖 23 是示出實施例 6 的發光元件的發射光譜的圖；

圖 24 是示出實施例 6 的發光元件的可靠性測試的結果的圖；

圖 25 是說明本發明的一個方式的概念的圖；

圖 26A 和圖 26B 是示出有關實施例 7 的吸收光譜及發射光譜的圖；

圖 27 是示出實施例 8 的發光元件的電流密度-亮度特性的圖；

圖 28 是示出實施例 8 的發光元件的電壓-亮度特性的圖；

圖 29 是示出實施例 8 的發光元件的亮度-電流效率特

性的圖；

圖 30 是示出實施例 8 的發光元件的亮度-外部量子效率特性的圖；

圖 31 是示出實施例 8 的發光元件的發射光譜的圖；

圖 32A 和圖 32B 是示出有關實施例 9 的吸收光譜及發射光譜的圖；

圖 33 是示出實施例 10 的發光元件的電流密度-亮度特性的圖；

圖 34 是示出實施例 10 的發光元件的電壓-亮度特性的圖；

圖 35 是示出實施例 10 的發光元件的亮度-電流效率特性的圖；

圖 36 是示出實施例 10 的發光元件的亮度-外部量子效率特性的圖；

圖 37 是示出實施例 10 的發光元件的發射光譜的圖；

圖 38 是示出實施例 10 的發光元件的可靠性測試的結果的圖；

圖 39A 和圖 39B 是示出有關實施例 11 的吸收光譜及發射光譜的圖；

圖 40 是示出實施例 12 的發光元件的電流密度-亮度特性的圖；

圖 41 是示出實施例 12 的發光元件的電壓-亮度特性的圖；

圖 42 是示出實施例 12 的發光元件的亮度-電流效率

特性的圖；

圖 43 是示出實施例 12 的發光元件的亮度-外部量子效率特性的圖；

圖 44 是示出實施例 12 的發光元件的發射光譜的圖；

圖 45 是示出實施例 12 的發光元件的可靠性測試的結果的圖；

圖 46A 和圖 46B 是示出有關實施例 13 的吸收光譜及發射光譜的圖；

圖 47 是示出實施例 14 的發光元件的電流密度-亮度特性的圖；

圖 48 是示出實施例 14 的發光元件的電壓-亮度特性的圖；

圖 49 是示出實施例 14 的發光元件的亮度-電流效率特性的圖；

圖 50 是示出實施例 14 的發光元件的亮度-外部量子效率特性的圖；

圖 51 是示出實施例 14 的發光元件的發射光譜的圖；

圖 52A 和圖 52B 是示出有關實施例 15 的吸收光譜及發射光譜的圖；

圖 53 是示出實施例 16 的發光元件的電流密度-亮度特性的圖；

圖 54 是示出實施例 16 的發光元件的電壓-亮度特性的圖；

圖 55 是示出實施例 16 的發光元件的亮度-電流效率

特性的圖；

圖 56 是示出實施例 16 的發光元件的亮度-外部量子效率特性的圖；

圖 57 是示出實施例 16 的發光元件的發射光譜的圖；

圖 58A 和圖 58B 是示出有關實施例 17 的吸收光譜及發射光譜的圖；

圖 59 是示出實施例 18 的發光元件的電流密度-亮度特性的圖；

圖 60 是示出實施例 18 的發光元件的電壓-亮度特性的圖；

圖 61 是示出實施例 18 的發光元件的亮度-電流效率特性的圖；

圖 62 是示出實施例 18 的發光元件的亮度-外部量子效率特性的圖；

圖 63 是示出實施例 18 的發光元件的發射光譜的圖。

圖 64 是示出有關本發明的一個方式的計算結果的圖；

圖 65A1、圖 65A2、圖 65B1、圖 65B2、圖 65C1、圖 65C2 是示出有關本發明的一個方式的計算結果的圖。

【實施方式】

參照圖式對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爲各種各樣的形式。因此，本發明不應該被解釋爲僅侷限在以下所示的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。

實施方式 1

本實施方式說明本發明的一個方式的發光元件。

在本實施方式的發光元件中，發光層具有發光物質的客體材料、第一有機化合物及第二有機化合物。明確而言，作爲客體材料使用磷光化合物。注意，在第一有機化合物和第二有機化合物中之一者，被包含在發光層中的含量比另一者較高的材料稱爲主體材料。

藉由採用將客體材料分散在主體材料中的結構，可以抑制發光層的晶化。此外，藉由抑制因客體材料的濃度高而導致的濃度猝滅，可以提高發光元件的發光效率。

此外，在本實施方式中，第一有機化合物及第二有機化合物的每個三重激發態能階($T_1$ 能階)較佳爲高於客體材料的 $T_1$ 能階。這是因爲若第一有機化合物(或第二有機化合物)的 $T_1$ 能階低於客體材料的 $T_1$ 能階，則第一有機化合物(或第二有機化合物)使有助於發光的客體材料的三重激發態能階猝滅，而導致發光效率的降低。

〈發光的基本過程〉

首先，對將磷光化合物用作客體材料的發光元件中的發光的一般的基本過程進行說明。

(1)當在客體分子中電子和電洞複合，客體分子處於激發態的情況(直接複合過程)。

(1-1)在客體分子的激發態爲三重激發態時，客體分子發射磷光。

(1-2)在客體分子的激發態爲單重激發態時，單重激發態的客體分子系間跨越(intersystem crossing)到三重激發態而發射磷光。

換言之，在上述(1)的直接複合過程中，只要客體分子的系間跨越效率及磷光量子產率高，就可以獲得高發光效率。此外，如上所述，主體分子的 $T_1$ 能階較佳爲高於客體分子的 $T_1$ 能階。

(2)當在主體分子中電子和電洞複合，主體分子處於激發態的情況(能量轉移過程)。

(2-1)在主體分子的激發態爲三重激發態時，在主體分子的 $T_1$ 能階高於客體分子的 $T_1$ 能階時，激發能量從主體分子轉移到客體分子，而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，在理論上有可能能量轉移到客體分子的單重激發能階($S_1$ 能階)，但是在很多情況下客體分子的 $S_1$ 能階比主體分子的 $T_1$ 能階更接近高能量一側，不容易成爲主要能量轉移過程，因此在此省略說明。

(2-2)在主體分子的激發態爲單重激發態時，在主體分

子的 $S_1$ 能階高於客體分子的 $S_1$ 能階及 $T_1$ 能階時，激發能量從主體分子轉移到客體分子，客體分子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，盡可能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作爲光或熱釋放而發生失活，則使發光效率降低。在此，本發明人等發現在主體分子處於單重激發態時(上述(2-2))，與處於三重激發態時相比(上述(2-1))，能量不容易轉移到磷光化合物的客體分子，使發光效率容易降低。並且，本發明人等將其作爲課題。其理由能夠從如下所述那樣更詳細考慮到能量轉移過程找到。

〈能量轉移過程〉

以下，詳細說明分子間的能量轉移過程。

首先，作爲分子間的能量轉移機理，提倡了以下兩個機理。在此，將賦予激發能量的分子記爲主體分子，而將接受激發能量的分子記爲客體分子。

《福斯特(Förster)機理(偶極-偶極相互作用)》

福斯特機理(也稱爲福斯特共振能量轉移(Förster resonance energy transfer))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，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 $k_h{}^*{}_{\to g}$。

[公式 1]

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

在公式(1)中，ν表示振盪數，$f'_h(\nu)$表示主體分子的被標準化的發射光譜(從單重激發態的能量轉移中的螢光光譜，及從三重激發態的能量轉移中的磷光光譜)，$\varepsilon_g(\nu)$表示客體分子的莫耳吸光係數，N 表示阿伏伽德羅數，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表示發光量子產率(從單重激發態的能量轉移中的螢光量子產率，及從三重激發態的能量轉移中的磷光量子產率)，$K^2$ 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，在無規配向中 $K^2=2/3$。

《德克斯特(Dexter)機理(電子交換相互作用)》

在德克斯特機理(也稱爲德克斯特電子轉移(Dexter electron transfer))中，主體分子和客體分子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，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]

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

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表示振盪數，$f'_h(\nu)$表示主體分子的被標準化的發射光譜(從單重激發態的能量轉移中的螢光光譜，及從三重激發態的能量轉移中的磷光光譜)，$\varepsilon'_g(\nu)$表示客體分子的被標準化的吸收光譜，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，可以認爲以公式(3)表示從主體分子到客體分子的能量轉移效率 $\Phi_{ET}$。$k_r$表示主體分子的發光過程(從單重激發態的能量轉移中的螢光，及從三重激發態的能量轉移中的磷光)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，爲了提高能量轉移效率$\Phi_{ET}$，使能量轉移的速度常數 $k_h{}^*{}_{\rightarrow g}$ 比其他競爭的速度常數 $k_r+k_n(=1/\tau)$大得多即可。而且，爲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

德克斯特機理中的任一機理中，主體分子的發射光譜(從單重激發態的能量轉移中的螢光光譜，及從三重激發態的能量轉移中的磷光光譜)和客體分子的吸收光譜的重疊越大越好。

在此，本發明人等認爲在考慮到主體分子的發射光譜和客體分子的吸收光譜的重疊上，客體分子的吸收光譜中的最長波長(低能量)一側的吸收帶是重要的。

在本實施方式中，作爲客體材料使用磷光化合物。在磷光化合物的吸收光譜中，被認爲對發光貢獻最大的吸收帶位於相當於從單重基態到三重激發態的直接躍遷的吸收波長和其附近，這是呈現在最長波長一側的吸收帶。由此，可以認爲較佳的是，主體材料的發射光譜(螢光光譜及磷光光譜)與磷光化合物的吸收光譜的最長波長一側的吸收帶重疊。

例如，在有機金屬錯合物，尤其是發光銥錯合物中，在很多情況下，最長波長一側的吸收帶在 500nm 至 600nm 附近出現寬吸收帶(當然，根據發光波長有時出現在更短波長一側或更長波長一側)。該吸收帶主要來源於三重態 MLCT(從金屬到配體的電荷轉移：Metal to Ligand Charge Transfer)躍遷。但是，可以認爲在該吸收帶的一部分中也包括來源於三重態 $\pi$-$\pi^*$ 躍遷及單重態 MLCT 躍遷的吸收，這些吸收彼此重疊，在吸收光譜的最長波長一側形成寬吸收帶。換言之，可以認爲最低單重激發態與最低三重激發態之間的差異小，來源於這些激發態的吸收重疊，在吸收

光譜的最長波長一側形成寬吸收帶。從而，在作爲客體材料使用有機金屬錯合物(尤其是銥錯合物)時，如上所述那樣較佳成爲存在於最長波長一側的寬吸收帶與主體材料的發射光譜重疊得多的狀態。

在此，首先，考慮到從主體材料的三重激發態的能量轉移。從上述說明可知，在從三重激發態的能量轉移中，主體材料的磷光光譜與客體材料的最長波長一側的吸收帶的重疊增大即可。

此外，一般而言，由於作爲主體材料使用螢光化合物，所以磷光壽命(τ)非常長，即毫秒以上($k_r+k_n$ 小)。這是因爲從三重激發態到基態(單重)的躍遷爲禁戒躍遷的緣故。從公式(3)可知，這有利於能量轉移效率$\Phi_{ET}$。這也意味著容易發生從主體材料的三重激發態到客體材料的三重激發態的能量轉移。

然而，此時成爲問題的是從主體材料的單重激發態的能量轉移。在除了從三重激發態的能量轉移以外，還高效地進行從單重激發態的能量轉移時，從上述說明可知，除了主體材料的磷光光譜以外，還需要將螢光光譜與客體材料的最長波長一側的吸收帶重疊而設計。換言之，若不以主體材料的螢光光譜位於與磷光光譜大致相同的位置的方式設計主體材料，則不能高效地進行從主體材料的單重激發態及三重激發態的兩者的能量轉移。

但是，一般而言，由於 $S_1$ 能階與 $T_1$ 能階大不相同($S_1$ 能階$>T_1$ 能階)，所以螢光的發光波長與磷光的發光波長大

不相同(螢光的發光波長<磷光的發光波長)。例如，在使用磷光化合物的發光元件中，通常用於主體材料的 4,4'-二(*N*-咔唑基)聯苯(縮寫：CBP)在 500nm 附近具有磷光光譜，另一方面，螢光光譜位於 400nm 附近，兩者之間具有 100nm 的間隔。從上述例子來看，以主體材料的螢光光譜位於與磷光光譜大致相同的位置的方式設計主體材料是極爲困難的。因此，本發明人等認爲從主體材料的單重激發態到客體材料的能量轉移效率的提高是重要課題。

此外，用作主體材料的螢光化合物的螢光壽命(τ)非常短，即納秒級($k_r+k_n$ 大)。這是因爲從單重激發態到基態(單重)的躍遷爲容許躍遷的緣故。從公式(3)可知，這不利於能量轉移效率$\Phi_{ET}$。這也意味著不容易發生從主體材料的單重激發態到客體材料的能量轉移。

本發明的一個方式是可以克服關於這種從主體材料的單重激發態到客體材料的能量轉移效率的問題的有用的方法。

另外，至此，由於磷光化合物藉由利用系間跨越可以將單重激發態及三重激發態的兩者轉換爲發光(參照上述“(1)直接複合過程”)，所以使用磷光化合物的發光元件的內部量子效率在理論上可以實現 100%。而且，已對於在假設光取出效率爲 20%下進行了如下討論：外部量子效率達到 20%的發光元件可以實現內部量子效率幾乎爲 100%。但是，可以認爲在這些習知的發光元件中，由於沒注意到上述從主體材料的單重激發態的能量轉移，所以

說實在的，沒達到內部量子效率 100%。這是因爲藉由實施以下所述的本發明的一個方式，本發明人等已達到外部量子效率 30%的緣故。換言之，外部量子效率 30%以上至少相當於內部量子效率 100%，本發明的一個方式是爲實現其的有用的方法。注意，從此可估計，習知的外部量子效率 20%相當於內部量子效率 70%以下。

〈本發明的一個方式〉

本發明的一個方式是一種發光元件，包括：一對電極之間的包含磷光化合物、第一有機化合物以及第二有機化合物的發光層，其中，第一有機化合物和第二有機化合物的組合是形成激基複合物的組合。

第一有機化合物及第二有機化合物藉由載子的複合(或單重態激子)形成激基複合物(也稱爲 exciplex)。在所形成的激基複合物發光時，其發光波長與第一有機化合物和第二有機化合物的每個發光波長(螢光波長)相比位於較長波長一側。換言之，藉由形成激基複合物，可以將第一有機化合物的螢光光譜或第二有機化合物的螢光光譜變換爲位於較長波長一側的發射光譜。

從而，如圖 25 所示，第一有機化合物(或第二有機化合物)的螢光光譜即使與位於磷光化合物的最長波長一側的吸收帶相比位於短波長一側，且沒有與該吸收帶的重疊，也藉由形成激基複合物，可以獲得長波長的發射光譜，而可以增大與該吸收帶的重疊。本發明的一個方式的

發光元件由於利用該激基複合物的發射光譜與磷光化合物的吸收光譜的重疊並進行能量轉移，所以能量轉移效率高。從而，本發明的一個方式可以實現外部量子效率高的發光元件。

此外，激基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，可認爲在原理上不發生如下現象，即：磷光化合物的單重激發態及三重激發態的能量反向轉移到該激基複合物，磷光化合物在發光之前發生失活(就是說，使發光效率降低)。這也是可以提高外部量子效率的原因之一。

此外，可以認爲激基複合物的單重激發能與三重激發能之間的差異極小。換言之，從激基複合物的單重態的發射光譜與從三重激發態的發射光譜極爲接近。從而，如上所述那樣，在將激基複合物的發射光譜(一般認爲，從激基複合物的單重態的發射光譜)設計爲與位於磷光化合物的最長波長一側的吸收帶重疊時，從激基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)也與位於磷光化合物的最長波長一側的吸收帶重疊。這意味著可以從激基複合物的單重態及三重態的兩者，能量高效地轉移到磷光化合物。

關於激基複合物實際上是否具有上述特性，以下使用分子軌道計算來檢查。一般而言，雜芳族化合物和芳香胺的組合在很多情況下受到比芳香胺的最低未佔據分子軌道(LUMO: Lowest Unoccupied Molecular Orbital)能階深的雜

芳族化合物的 LUMO 能階(電子容易進入的性質)和比雜芳族化合物的最高佔據分子軌道(HOMO: Hightest Occupied Molecular Orbital)能階淺的芳香胺的 HOMO 能階(電洞容易進入的性質)的影響而形成激基複合物。於是，使用構成雜芳族化合物的 LUMO 的典型的骨架的二苯並[f,h]喹喔啉(縮寫：DBq)與構成芳香胺的 HOMO 的典型的骨架的三苯胺(縮寫：TPA)的組合而計算。

首先，使用時間依賴密度泛函法(TD-DFT)計算出 DBq 單體和 TPA 單體的最低激發單重態($S_1$)和最低激發三重態($T_1$)中的最佳分子結構及激發能量。再者，計算出 DBq 和 TPA 的二聚體的激發能量。以電勢能、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 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，利用作爲混合泛函的 B3LYP 來規定關於交換和相關能的各參數的權重。此外，作爲基底函數使用 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，爲了提高計算精度作爲極化基底類，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，作爲量子化學計算程式，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 單體、TPA 單體及 DBq 和 TPA 的二聚體算出了 HOMO 能階及 LUMO 能階。圖 64 示出 HOMO 能階及 LUMO 能階，並且圖 65A1 至圖 65C2 示出 HOMO 及 LUMO 的分佈。

圖 65A1 示出 DBq 單體的 LUMO 的分佈，圖 65A2 示出 DBq 單體的 HOMO 的分佈，圖 65B1 示出 TPA 單體的 LUMO 的分佈，圖 65B2 示出 TPA 單體的 HOMO 的分佈，圖 65C1 示出 DBq 和 TPA 的二聚體的 LUMO 的分佈，圖 65C2 示出 DBq 和 TPA 的二聚體的 HOMO 的分佈。

如圖 64 所示，DBq 和 TPA 的二聚體受到比 TPA 的 LUMO 能階深(低)的 DBq 的 LUMO 能階(-1.99eV)和比 DBq 的 HOMO 能階淺(高)的 TPA 的 HOMO 能階(-5.21eV)的影響而形成 DBq 和 TPA 的激基複合物。實際上從圖 65C1 和圖 65C2 可知，DBq 和 TPA 的二聚體的 LUMO 分佈在 DBq 一側，而 HOMO 分佈在 TPA 一側。

接著，示出從 DBq 單體的 $S_1$ 和 $T_1$ 的最佳分子結構獲得的激發能量。在此，$S_1$ 和 $T_1$ 的激發能量分別相當於 DBq 單體發射的螢光和磷光的波長。DBq 單體的 $S_1$ 的激發能量爲 3.294eV，螢光波長爲 376.4nm。此外，DBq 單體的 $T_1$ 的激發能量爲 2.460eV，磷光波長爲 504.1nm。

另外，示出從 TPA 單體的 $S_1$ 和 $T_1$ 的最佳分子結構獲

得的激發能量。在此，$S_1$ 和 $T_1$ 的激發能量分別相當於 TPA 單體發射的螢光和磷光的波長。TPA 單體的 $S_1$ 的激發能量爲 3.508eV，螢光波長爲 353.4nm。此外，TPA 單體的 $T_1$ 的激發能量爲 2.610eV，磷光波長爲 474.7nm。

再者，示出從 DBq 和 TPA 的二聚體的 $S_1$ 和 $T_1$ 的最佳分子結構獲得的激發能量。$S_1$ 和 $T_1$ 的激發能量分別相當於 DBq 和 TPA 的二聚體發射的螢光和磷光的波長。DBq 和 TPA 的二聚體的 $S_1$ 的激發能量爲 2.036eV，螢光波長爲 609.1nm。此外，DBq 和 TPA 的二聚體的 $T_1$ 的激發能量爲 2.030eV，磷光波長爲 610.0nm。

從如上所述可知，DBq 單體和 TPA 單體的任一個與螢光波長相比磷光波長向較波長移動 100nm 左右。這有與上述 CBP(實際測量值)相同的傾向，這結果支持了計算的有效性。

另一方面，DBq 和 TPA 的二聚體的螢光波長與 DBq 單體或 TPA 單體的螢光波長相比位於較長波長一側。這是後面所述的實施例(實際測量值)也有同樣的傾向，這結果支持了計算的有效性。另外，DBq 和 TPA 的二聚體的螢光波長和磷光波長的差異只爲 0.9nm，並爲幾乎相等的波長。

從上述結果可以說激基複合物可以將單重激發態能和三重激發態能集體在大致相同的能量。從而，如上所述，激基複合物可以從單重激發態及三重激發態的兩者，高效地將能量轉移到磷光化合物。

這種效果是藉由將激基複合物用於能量轉移的介質獲得的特殊的效果。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基複合物(由第一有機化合物和第二有機化合物而成的激基複合物)，使用來自該激基複合物的能量轉移。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，在將激基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，以往被認爲不適合使用激基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基複合物用於對於磷光化合物的能量轉移的介質，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，爲了激基複合物的發射光譜與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值和吸收光譜的最低能量一側的吸收帶的峰值的能值之間的差異爲0.3eV以內。更佳爲0.2eV以內，最較佳爲0.1eV以內。

此外，在本發明的一個方式中，使用第一有機化合物或第二有機化合物的單重態激子形成激基複合物。

在本發明的一個方式的發光元件中可以認爲：在第一有機化合物和第二有機化合物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基複合物的基本過

程。如上所述，由於激基複合物的發射光譜與磷光化合物的吸收光譜重疊得較大，所以可以提高能量轉移效率。因此，可以實現外部量子效率高的發光元件。

此外，具有如下問題，即：由於如上所述那樣單重態激子的激發壽命短(τ較小)，所以在激發能量從單重態激子轉移到客體材料之前，激發能量的一部分失活(發光或熱失活)(有公式(3)中的$\Phi_{ET}$變小的傾向)。然而，在本發明的一個方式中，由於單重態激子迅速地形成激基複合物，所以可以抑制這種激發能量的失活。而且，可以認爲由於激基複合物的激發壽命較長，所以有利於能量轉移效率$\Phi_{ET}$。因此，藉由應用本發明的一個方式可以抑制除元件的效率之外還影響到壽命的主體材料的單重激發能的失活，從而可以實現壽命長的發光元件。

此外，在本發明的一個方式的發光元件中，較佳激基複合物的激發能量充分地轉移到磷光化合物，實質上沒有觀察來自激基複合物的發光。因此，較佳藉由激基複合物將能量轉移到磷光化合物，該磷光化合物發射磷光。

此外，從上述能量轉移的概念可知，在第一有機化合物和第二有機化合物中的至少一方爲螢光化合物(即，容易產生從單重激發態的發光或熱失活的化合物)時，本發明的一個方式很有效果。從而，較佳第一有機化合物和第二有機化合物中的至少一方爲螢光化合物。

此外，在作爲用於主體材料的有機化合物使用磷光化合物時，該有機化合物本身容易發光，而能量不容易轉移

到客體材料。在此情況下，該有機化合物若能高效地發光就好，但是由於主體材料的該有機化合物發生濃度猝滅的問題，所以難以實現高發光效率。因此，較佳該有機化合物爲螢光化合物，且藉由上述結構轉移能量。

此外，在本發明的一個方式中，較佳磷光化合物爲有機金屬錯合物。

以下詳細說明在本發明的一個方式中利用的激基複合物。

〈激基複合物〉

激基複合物(exciplex)藉由激發態下的異種分子間的相互作用形成。一般已知激基複合物在具有相對深的LUMO 能階的材料和具有相對淺的 HOMO 能階的材料之間容易形成。

發光波長依賴於 HOMO 能階與 LUMO 能階之間的能量差。在能量差較大時發光波長變短，而在能量差較小時發光波長變長。

在此，本發明的一個方式所應用的第一有機化合物與第二有機化合物的 HOMO 能階及 LUMO 能階不同。明確而言，能階按如下順序由低而高：第一有機化合物的 HOMO 能階<第二有機化合物的 HOMO 能階<第一有機化合物的 LUMO 能階<第二有機化合物的 LUMO 能階(參照圖 17)。

而且，在使用上述兩個有機化合物形成激基複合物

時，激基複合物的 LUMO 能階來源於第一有機化合物，而 HOMO 能階來源於第二有機化合物(參照圖 17)。因此，激基複合物的能量差比第一有機化合物的能量差及第二有機化合物的能量差小。換言之，與第一有機化合物及第二有機化合物的各個發光波長相比，激基複合物的發光波長成爲長波長。

本發明的一個方式所利用的激基複合物的形成過程大致劃分爲兩個過程。

《電致激基複合物(electroplex)》

在本說明書中，電致激基複合物是指使用基態的第一有機化合物及基態的第二有機化合物直接形成激基複合物。

如上所述，一般而言，在電子和電洞在主體材料中複合時，激發能量從激發態的主體材料轉移到客體材料，客體材料處於激發態，而發光。

在此，在激發能量從主體材料轉移到客體材料之前，主體材料本身發光或激發能量轉換爲熱能量，因此激發能量的一部分失活。尤其是，在主體材料處於單重激發態時，由於與處於三重激發態的情況相比激發壽命短，所以容易發生單重激發能的失活。激發能量的失活是導致發光元件的壽命降低的原因之一。

但是，在本發明的一個方式中，由於使用具有載子的狀態(陽離子或陰離子)的第一有機化合物及第二有機化合

物形成電致激基複合物，所以可以抑制激發壽命短的單重態激子的形成。換言之，在不形成單重態激子的狀態下存在有直接形成激基複合物的過程。由此，還可以抑制上述單重激發能的失活。從而，可以實現壽命長的發光元件。

例如，在第一有機化合物爲具有電子俘獲性的化合物，且第二有機化合物爲具有電洞俘獲性的化合物時，使用第一有機化合物的陰離子及第二有機化合物的陽離子直接形成電致激基複合物。以前沒有如下概念，即：像這樣地抑制主體材料的單重激發態的發生，且能量從電致激基複合物轉移到客體材料而獲得發光效率高的發光元件。此外，可以認爲由於同樣地抑制主體材料的三重激發態的發生，直接形成電致激基複合物，所以能量從該電致激基複合物轉移到客體材料。該機理也是以前沒有的。

此外，與第一有機化合物及第二有機化合物的各個發光波長相比，所形成的電致激基複合物的發射光譜位於長波長一側。

電致激基複合物的發射光譜與磷光化合物的吸收光譜的重疊大於第一有機化合物(或第二有機化合物)的發射光譜與磷光化合物的吸收光譜的重疊。本發明的一個方式的發光元件由於利用電致激基複合物的發射光譜與磷光化合物的吸收光譜的重疊而轉移能量，所以能量轉移效率較高。因此，本發明的一個方式可以實現外部量子效率高的發光元件。

《使用激子的激基複合物的形成》

作爲另一個過程，可以考慮在第一有機化合物和第二有機化合物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基複合物的基本過程。與電致激基複合物不同，在此情況下，一次生成第一有機化合物或第二有機化合物的單重激發態，但是由於該單重激發態迅速地變換爲激基複合物，所以可以抑制單重激發能的失活。從而，可以抑制第一有機化合物或第二有機化合物的激發能量的失活。由此，本發明的一個方式可以實現壽命長的發光元件。此外，可以認爲關於主體材料的三重激發態，迅速轉換爲激基複合物，能量從該激基複合物轉移到客體材料。

此外，與第一有機化合物及第二有機化合物的各個發光波長相比，所形成的激基複合物的發射光譜位於長波長一側。

激基複合物的發射光譜與磷光化合物的吸收光譜的重疊大於第一有機化合物(或第二有機化合物)的發射光譜與磷光化合物的吸收光譜的重疊。本發明的一個方式的發光元件由於利用激基複合物的發射光譜與磷光化合物的吸收光譜的重疊而轉移能量，所以能量轉移效率較高。因此，本發明的一個方式可以實現外部量子效率高的發光元件。

例如，在第一有機化合物爲具有電子俘獲性的化合物，而第二有機化合物爲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，差異爲 0.3eV 以上)，電子選擇性地進入第一有機化合物，且電洞選擇性地進入第二有機化合物。在此情況下，可以認爲與經過單重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。

本實施方式可以與其他實施方式適當地組合。

實施方式 2

在本實施方式中參照圖 16A 至圖 16C 說明本發明的一個方式的發光元件。

圖 16A 是示出在第一電極 103 與第二電極 108 之間具有 EL 層 102 的發光元件的圖。圖 16A 中的發光元件包括：在第一電極 103 上按順序層疊的電洞注入層 701、電洞傳輸層 702、發光層 703、電子傳輸層 704、電子注入層 705、設置在其上的第二電極 108。

作爲第一電極 103，較佳爲使用具有高功函數(具體的是 4.0eV 以上)的金屬、合金、導電性化合物以及它們的混合物等。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-氧化錫、氧化銦-氧化鋅(Indium Zinc Oxide：氧化銦鋅)、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-凝膠法等形成。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，使用在氧化銦中含有 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、鉬、鐵、鈷、銅、鈀或金屬材料的氮化物(例如氮化鈦)等。

但是，在 EL 層 102 中，當與第一電極 103 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(acceptor)混合而構成的複合材料形成時，作爲用於第一電極 103 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，而不用考慮功函數的大小。例如，也可以使用鋁、銀、含鋁的合金(例如 Al-Si)等。

第一電極 103 例如可以藉由濺射法或蒸鍍法(包括真空蒸鍍法)等形成。

第二電極 108 較佳爲使用具有低功函數(較佳爲 3.8eV 以下)的金屬、合金、導電化合物以及它們的混合物等形成。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，即鹼金屬諸如鋰或銫等、鹼土金屬諸如鈣或鍶等、鎂、包含上述金屬的合金(例如，Mg-Ag、Al-Li)、稀土金屬諸如銪、鐿等、包含上述金屬的合金、鋁或銀等。

但是，當在 EL 層 102 中，在與第二電極 108 接觸地形成的層使用將後面所述的有機化合物和電子施體(donor)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、含有矽或氧化矽的氧化銦-氧化錫等，而不用考慮功函數的大小。

另外，在形成第二電極 108 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。

EL 層 102 至少具有發光層 703。EL 層 102 的一部分可以使用已知物質，且可以使用低分子類化合物和高分子類化合物中的任一個。另外，形成 EL 層 102 的物質不但包括僅由有機化合物構成的物質，而且還可以使用其一部分包括無機化合物的物質。

EL 層 102 除了發光層 703 以外，如圖 16A 所示那樣，適當地組合具有高電洞注入性的物質的電洞注入層 701、具有高電洞傳輸性的物質的電洞傳輸層 702、具有高電子傳輸性的物質的電子傳輸層 704 以及具有高電子注入性的物質的電子注入層 705 等而層疊形成。

電洞注入層 701 是包含具有高電洞注入性的物質的層。作爲具有高電洞注入性的物質，可以使用金屬氧化物，諸如氧化鉬、氧化鈦、氧化釩、氧化鉻、氧化釕、氧化錳、氧化鋯、氧化鉿、氧化鈮、氧化鎢、氧化銀、氧化錸和氧化錳。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等，諸如 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，可以使用高分子化合物(低聚物、樹枝狀聚合物或聚合物等)。例如可以使用高分子化合物，諸如聚(N-乙烯基咔唑)(縮寫：PVK)、聚(4-乙烯基三苯胺)(縮寫：PVTPA)、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)、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-乙烯二氧噻吩)/聚(苯乙烯磺酸)(PEDOT/PSS)或聚苯胺/聚(苯乙烯磺酸)(PAni/PSS)等。

可以將有機化合物與電子受體(acceptor)混合形成的複合材料用於電洞注入層 701。這種複合材料因爲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，有機化合物較佳爲在傳輸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)。

作爲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、咔唑衍生物、芳香烴和高分子化

合物(低聚物、樹枝狀聚合物或聚合物等)。作爲該複合材料的有機化合物較佳爲使用具有高電洞傳輸性的有機化合物。明確而言，較佳爲使用電洞遷移率爲 $10^{-6}cm^2/Vs$ 以上的物質。注意，只要是電洞傳輸性高於電子傳輸性的物質，就還可以使用上述物質之外的物質。下面，舉出可以用於複合材料的有機化合物的具體例子。

作爲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)、4-苯基-4'-(9-苯基芴-9-基)三苯胺(縮寫：BPAFLP)等；咔唑衍生物，諸如 4,4'-二(N-咔唑基)聯苯(縮寫：CBP)、1,3,5-三[4-(N-咔唑基)苯基]苯(縮寫：TCPB)、9-[4-(N-咔唑基)苯基-10-苯基蒽(縮寫：CzPA)、9-苯基-3-[4-(10-苯基-9-蒽基)苯基]-9H-咔唑(縮寫：PCzPA)、1,4-雙[4-(N-咔唑基)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，諸如 2-叔丁基-9,10-二(2-萘基)蒽(縮寫：t-BuDNA)、2-叔丁基-9,10-二(1-萘基)蒽、9,10-雙(3,5-二苯基苯基)蒽(縮寫：DPPA)、2-叔丁基-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-叔丁基蒽(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-叔丁基蒽、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，可以使用如下芳香烴化合物，諸如 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、苝、2,5,8,11-四(叔丁基)苝、稠五苯、蔻、4,4'-雙(2,2-二苯基乙烯基)聯苯(縮寫：DPVBi)、9,10-雙[4-(2,2-二苯基乙烯基)苯基]蒽(縮寫：DPVPA)等。

作爲電子受體，可以舉出 7,7,8,8-四氰基-2,3,5,6-四氟醌二甲烷(縮寫：$F_4$-TCNQ)、氯醌等有機化合物或過渡金屬氧化物。另外，還可以舉出屬於元素週期表第 4 族至第 8 族的金屬的氧化物。明確而言，較佳爲使用氧化釩、氧化鈮、氧化鉭、氧化鉻、氧化鉬、氧化鎢、氧化錳和氧化錸，因爲這些金屬氧化物具有高電子接受性。其中，尤其佳爲使用氧化鉬，因爲氧化鉬在大氣中也穩定，吸濕性低，容易處理。

另外，也可以使用上述高分子化合物例如 PVK、PVTPA、PTPDMA 或 Poly-TPD 以及上述電子受體形成複合材料，並將其用於電洞注入層 701。

電洞傳輸層 702 是包含具有高電洞傳輸性的物質的層。作爲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

茀-2-基)-N-苯基胺基]聯苯(縮寫：DFLDPBi)或 4,4'-雙[N-(螺環-9,9'-二茀-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爲 $10^{-6}cm^2/Vs$ 以上的物質。注意，只要是電洞傳輸性高於電子傳輸性的物質，就還可以使用上述物質之外的物質。另外，包含具有高電洞傳輸性的物質的層不限於單層，還可以層疊兩層以上的由上述物質構成的層。

另外，作爲電洞傳輸層 702，也可以使用 CBP、CzPA、PCzPA 等咔唑衍生物或 t-BuDNA、DNA、DPAnth 等蒽衍生物。

此外，作爲電洞傳輸層 702，也可以使用 PVK、PVTPA、PTPDMA 或 Poly-TPD 等高分子化合物。

發光層 703 是包含發光物質的層。本實施方式的發光層 703 具有磷光化合物、第一有機化合物及第二有機化合物。磷光化合物是發光物質(客體材料)。在發光層 703 中，在第一有機化合物和第二有機化合物中的一個的含量比另一個的含量多的化合物是主體材料。明確而言，可以參照實施方式 1。

作爲磷光化合物，較佳爲使用有機金屬錯合物，尤其佳爲使用銥錯合物。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爲 $2000M^{-1}\cdot cm^{-1}$ 以上，尤其佳爲 $5000M^{-1}\cdot cm^{-1}$ 以上。作爲具有這樣大的莫耳吸光係數的化合物，例如，可以舉出雙(3,5-二甲基-2-苯基吡哄根)(二新戊醯基甲烷

根)銥(III)(縮寫：[Ir(mppr-Me)$_2$(dpm)])、(乙醯丙酮根)雙(4,6-二苯基嘧啶根(diphenylpyrimidinato))銥(III)(縮寫：[Ir(dppm)$_2$(acac)])、雙(2,3,5-三苯基吡啡根)(二新戊醯基甲烷根)銥(III)(縮寫：[Ir(tppr)$_2$(dpm)])、(乙醯丙酮根)雙(6-甲基-4-苯基嘧啶根(phenylpyrimidinato))銥(III)(縮寫：[Ir(mppm)$_2$(acac)])、(乙醯丙酮根)雙(6-叔丁基-4-苯基嘧啶根)銥(III)(縮寫：[Ir(tBuppm)$_2$(acac)])等。尤其是藉由使用莫耳吸光係數達到 5000M$^{-1}$·cm$^{-1}$ 以上的材料如[Ir(dppm)$_2$(acac)]，可以獲得外部量子效率達到 30%左右的發光元件。

作爲第一有機化合物及第二有機化合物，較佳爲使用組合容易接受電子的化合物(典型的是雜芳族化合物)中的任一個和容易接受電洞的化合物(典型的是芳族胺化合物或咔唑化合物)中的任一個的化合物，該容易接受電子的化合物例如可舉出 2-[3-(二苯並噻吩-4-基)苯基]二苯並[f,h]喹喔啉(縮寫：2mDBTPDBq-II)、2-[4-(3,6-二苯基-9H-咔唑-9-基)苯基]二苯並[f,h]喹喔啉(縮寫：2CzPDBq-III)、7-[3-(二苯並噻吩-4-基)苯基]二苯並[f,h]喹喔啉(縮寫：7mDBTPDBq-II)、6-[3-(二苯並噻吩-4-基)苯基]二苯並[f,h]喹喔啉(縮寫：6mDBTPDBq-II)、2-[4-(二苯並噻吩-4-基)苯基]-1-苯基-1H-苯並咪唑(縮寫：DBTBIm-II)等，而該容易接受電洞的化合物例如可舉出 4,4'-雙[N-(1-萘基)-N-苯基胺基]聯苯(縮寫：NPB 或 α-NPD)、4-苯基-4'-(9-苯基-9H-咔唑-3-基)三苯胺(縮寫：PCBA1BP)、4,4'-二(1-萘

基)-4”-(9-苯基-9H-咔唑-3-基)三苯胺(縮寫：PCBNBB)、4-(1-萘基)-4’-苯基三苯胺(縮寫：αNBA1BP)、2,7-雙[N-(二苯基胺基苯基)-N-苯基胺基]-螺環-9,9’-聯芴(縮寫：DPA2SF)、4,4’,4”-三[N-(1-萘基)-N-苯基胺基]三苯胺(縮寫：1’-TNATA)、9-苯基-9H-3-(9-苯基-9H-咔唑-3-基)咔唑(縮寫：PCCP)等。藉由採用上述結構，不但可以獲得藉由從激基複合物轉移能量來提高發光效率及壽命的效果，而且還可以獲得藉由在發光層內謀求電洞傳輸和電子傳輸的載子平衡來提高發光效率及壽命的效果。但是，不侷限於此，可以採用能夠形成激基複合物的組合。

此外，激基複合物也可以在兩層介面中形成。例如，藉由層疊含第二有機化合物的層和含第一有機化合物的層，在其介面附近形成激基複合物，也可以將該兩層用作本發明的一個方式中的發光層。在此情況下，磷光化合物添加到該介面附近即可。此外，磷光化合物添加到兩層中的至少一者或兩者即可。

電子傳輸層 704 是包含具有高電子傳輸性的物質的層。作爲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、$Zn(BOX)_2$、雙[2-(2-羥基苯基)苯並噻唑]鋅(縮寫：$Zn(BTZ)_2$)等。此外，也可以使用雜芳族化合物諸如 2-(4-聯苯基)-5-(4-叔丁基苯基)-1,3,4-噁二唑(縮寫：PBD)、1,3-雙[5-(對叔丁基苯基)-1,3,4-噁二唑-2-基]苯(縮寫：OXD-7)、3-(4-叔丁基苯

基)-4-苯基-5-(4-聯苯基)-1,2,4-三唑(縮寫：TAZ)、3-(4-叔丁基苯基)-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)、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)、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 $10^{-6}cm^2/Vs$ 以上的電子遷移率的物質。注意，只要是其電子傳輸性高於電洞傳輸性，就可以使用上述物質之外的其他物質作爲電子傳輸層。

另外，電子傳輸層不限於單層，也可以是包含上述物質的兩個以上的層的疊層。

電子注入層 705 是包含具有高電子注入性的物質的層。電子注入層 705 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，可以使用氟化鉺等稀土金屬化合物。或者，還可以使用上述構成電子傳輸層 704 的物質。

或者，也可以將有機化合物與電子施體(donor)混合形成的複合材料用於電子注入層 705。這種複合材料因爲藉由電子施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，有機化合物較佳爲在傳輸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 704 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電子給予性的物質作爲電子施體即可。明確而言，較佳爲使用鹼金屬、鹼土金屬或稀土金屬，可以舉出鋰、銫、鎂、鈣、銪或鐿等。此外，較佳爲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 701、電洞傳輸層 702、發光層 703、電子傳輸層 704 和電子注入層 705 分別可以藉由蒸鍍法(包括真空蒸鍍法)、噴墨法或塗覆法等形成。

如圖 16B 所示，在第一電極 103 和第二電極 108 之間也可以層疊多個 EL 層。在此情況下，較佳爲在被層疊的第一 EL 層 800 和第二 EL 層 801 之間設置電荷發生層 803。電荷發生層 803 可以使用上述複合材料來形成。另外，電荷發生層 803 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，作爲由其他材料構成的層，可以使用包含具有電子給予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發生能量的移動或猝滅等的問題。並且，由於可以擴大材料的選擇範圍，從而容易得到兼有高發光效率和長壽命的發光元件。另外，也容易從一方的 EL 層得到磷光發光，並從另一方的 EL 層得到螢光發光。這種結構可以與上述 EL 層的結構組合而使用。

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，在具有兩個 EL 層的發光元件中，使第一 EL 層和第二 EL 層發射的光互補，因此作爲整體發光元件可以得到發射白光的發光元件。這可以應用於具有三個以上的 EL 層的發光元件。

如圖 16C 所示，EL 層 102 也可以在第一電極 103 和第二電極 108 之間具有電洞注入層 701、電洞傳輸層 702、發光層 703、電子傳輸層 704、電子注入緩衝層 706、電子繼電層 707 以及接觸於第二電極 108 的複合材料層 708。

藉由設置接觸於第二電極 108 的複合材料層 708，尤其當使用濺射法形成第二電極 108 時，可以減輕 EL 層 102 所受到的損傷，所以是較佳的。作爲複合材料層 708，可以使用在具有高電洞傳輸性的有機化合物中包含有受體物質的複合材料。

並且，藉由設置電子注入緩衝層 706，可以削弱複合材料層 708 與電子傳輸層 704 之間的注入壁壘，而可以將產生在複合材料層 708 的電子容易注入到電子傳輸層 704。

作爲電子注入緩衝層 706，可以使用如下具有高電子注入性的物質：鹼金屬；鹼土金屬；稀土金屬以及其化合物(鹼金屬化合物(包括氧化鋰等氧化物、鹵化物、碳酸鋰或碳酸銫等碳酸鹽)、鹼土金屬化合物(包括氧化物、鹵化物、碳酸鹽)、稀土金屬化合物(包括氧化物、鹵化物、碳

酸鹽))等。

當包括具有高電子傳輸性的物質和施體物質來形成電子注入緩衝層 706 時，較佳爲添加相對於具有高電子傳輸性的物質的質量比爲 0.001 以上且 0.1 以下的施體物質。另外，作爲施體物質，可以使用如下物質：鹼金屬；鹼土金屬；稀土金屬及其化合物(鹼金屬化合物(包括氧化鋰等氧化物、鹵化物、碳酸鋰或碳酸銫等碳酸鹽)、鹼土金屬化合物(包括氧化物、鹵化物、碳酸鹽)、稀土金屬化合物(包括氧化物、鹵化物、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、十甲基二茂鎳等有機化合物。另外，作爲具有高電子傳輸性的物質，可以使用與上述電子傳輸層 704 同樣的材料來形成。

再者，較佳爲在電子注入緩衝層 706 和複合材料層 708 之間形成電子繼電層 707。電子繼電層 707 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 707，可以將電子迅速傳輸到電子注入緩衝層 706。

在複合材料層 708 和電子注入緩衝層 706 之間夾持電子繼電層 707 的結構是複合材料層 708 所包含的受體物質和電子注入緩衝層 706 所包含的施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 707 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 能階設定爲複合

材料層 708 所包含的受體物質的 LUMO 能階與電子傳輸層 704 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 707 包含施體物質時，將該施體物質的施體能階也設定爲複合材料層 708 所包含的受體物質的 LUMO 能階與電子傳輸層 704 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，較佳爲將電子繼電層 707 所包含的具有高電子傳輸性的物質的 LUMO 能階設定爲-5.0eV 以上，更佳設定爲-5.0eV 以上且-3.0eV 以下。

作爲電子繼電層 707 所包含的具有高電子傳輸性的物質，較佳爲使用酞菁類的材料或具有金屬-氧接合和芳香配體的金屬錯合物。

作爲電子繼電層 707 所包含的酞菁類材料，明確而言，較佳爲使用如下物質中的任一種：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)。

作爲電子繼電層 707 所包含的具有金屬-氧接合和芳香配體的金屬錯合物，較佳爲使用具有金屬-氧的雙鍵的金屬錯合物。由於金屬-氧的雙鍵具有受體性(容易接受電子的性質)，因此電子的移動(授受)變得更加容易。並且，

可以認爲具有金屬-氧的雙鍵的金屬錯合物是穩定的。因而，藉由使用具有金屬-氧的雙鍵的金屬錯合物，可以使發光元件以低電壓進行更穩定的驅動。

作爲具有金屬-氧接合和芳香配體的金屬錯合物，較佳爲使用酞菁類材料。明確而言，較佳爲使用 VOPc (Vanadyl phthalocyanine：釩氧酞菁)、SnOPc(Phthalocyanine tin(IV)oxide complex：酞菁氧化錫(IV)錯合物)以及 TiOPc (Phthalocyanine titanium oxide complex：酞菁氧化鈦錯合物)中的任一種，因爲在分子結構上金屬-氧的雙鍵容易與其他分子相互作用而具有高受體性。

另外，作爲上述酞菁類材料，較佳爲使用具有苯氧基的材料。明確而言，較佳爲使用 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，當形成發光元件時容易處理。並且，由於可以溶解於溶劑，容易維修用於成膜的裝置。

電子繼電層 707 還可以包含施體物質。作爲施體物質，可以使用如下物質：鹼金屬；鹼土金屬；稀土金屬及其化合物(鹼金屬化合物(包括氧化鋰等氧化物、鹵化物、碳酸鋰或碳酸銫等碳酸鹽)、鹼土金屬化合物(包括氧化物、鹵化物、碳酸鹽)、稀土金屬化合物(包括氧化物、鹵化物、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、十甲基二茂鎳等有機化合物。藉由將這些施體物質包含在電子繼電層 707 中，使電子容易移動而能夠以更低的電壓驅動發光元

件。

當使施體物質包含在電子繼電層 707 中時，作爲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 708 中的受體物質的受體能階的物質。作爲具體能階，較佳爲使用在-5.0eV 以上，更佳爲在-5.0eV 以上且-3.0eV 以下的範圍內具有 LUMO 能階的物質。作爲這種物質，例如可以舉出苝衍生物、含氮稠環芳香化合物等。另外，因爲含氮稠環芳香化合物具有穩定性，所以作爲用來形成電子繼電層 707 的材料是較佳的。

作爲苝衍生物的具體例子，可以舉出如下物質：3,4,9,10-苝四羧酸二酐(縮寫：PTCDA)；3,4,9,10-苝四羧酸雙苯並咪唑(縮寫：PTCBI)；N,N'-二辛基-3,4,9,10-苝四羧酸二醯亞胺(縮寫：PTCDI-C8H)；N,N'-二己基-3,4,9,10-苝四羧酸二醯亞胺(縮寫：Hex PTC)等。

另外，作爲含氮稠環芳香化合物的具體例子，可以舉出如下物質：吡啡並[2,3-f][1,10]啡啉-2,3-二甲腈(縮寫：PPDN)、2,3,6,7,10,11-六氰-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]吡啡(縮寫：2PYPR)；2,3-雙(4-氟苯基)吡啶並[2,3-b]吡啡(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 $C_{61}$ 酪酸甲酯)等。

另外，當使電子繼電層 707 包含施體物質時，可以藉由對具有高電子傳輸性的物質和施體物質進行共蒸鍍等來形成電子繼電層 707。

電洞注入層 701、電洞傳輸層 702、發光層 703 以及電子傳輸層 704 分別可以使用上述材料形成。

藉由上述步驟，可以製造本實施方式的 EL 層 102。

在上述發光元件中，因在第一電極 103 和第二電極 108 之間產生的電位差，而電流流過，並因在 EL 層 102 中電洞和電子複合而發光。而且，該發光穿過第一電極 103 和第二電極 108 中的任一者或兩者被取出到外部。因此，第一電極 103 和第二電極 108 中的任一者或兩者成爲具有對可見光的透光性的電極。

另外，設置在第一電極 103 和第二電極 108 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，只要在遠離第一電極 103 和第二電極 108 的部分中具有電洞和電子複合的發光區，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即可。

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

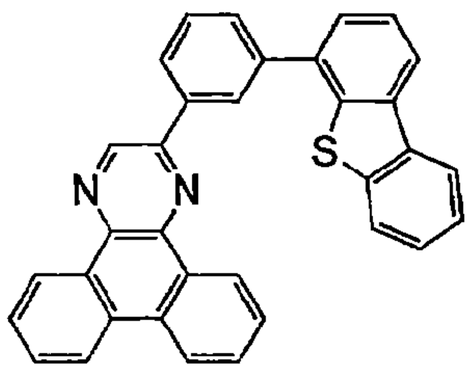
如上所述，可以製造本發明的一個方式的發光元件。

本實施方式可以與其他實施方式適當地組合。

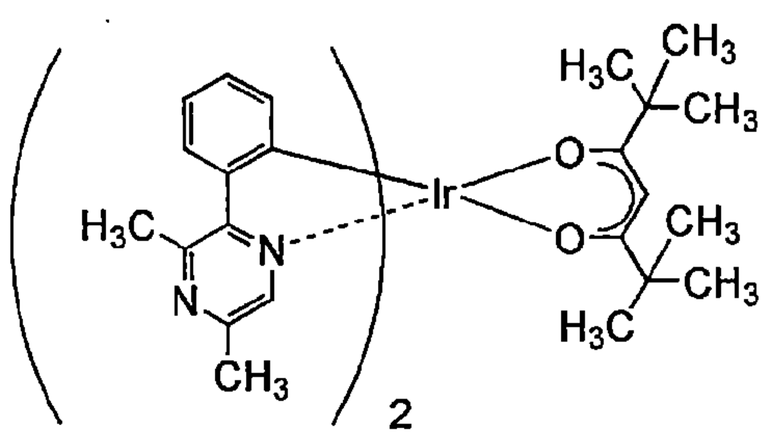
實施例 1

在本實施例中，參照圖 1A 和圖 1B 說明可以應用於本發明的一個方式的發光元件的第一有機化合物、第二有機化合物及磷光化合物的組合的一個例子。

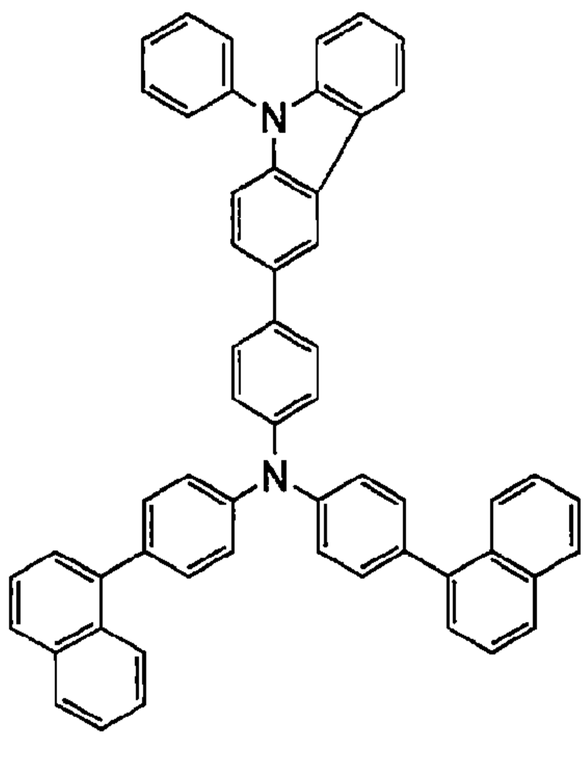
在本實施例中使用的磷光化合物是雙(3,5-二甲基-2-苯基吡哄根)(二新戊醯基甲烷根)銥(III)(縮寫：$[Ir(mppr\text{-}Me)_2(dpm)]$)。此外，在本實施例中使用的第一有機化合物是 2-[3-(二苯並噻吩-4-基)苯基]二苯並[f,h]喹噁啉(縮寫：2mDBTPDBq-II)。另外，在本實施例中使用的第二有機化合物是 4,4'-二(1-萘基)-4"-(9-苯基-9H-咔唑-3-基)三苯胺(縮寫：PCBNBB)。以下示出在本實施例中使用的材料的化學式。



2mDBTPDBq-II



[Ir(mppr-Me)$_2$(dpm)]



PCBNBB

〈吸收光譜〉

圖 1A 和圖 1B 示出作爲磷光化合物的[Ir(mppr-Me)$_2$(dpm)]的二氯甲烷溶液的紫外可見吸收光譜(以下，簡單地稱爲吸收光譜)。在吸收光譜的測量中，使用紫外可見分光光度計(日本分光株式會社製造的 V550 型)，將二氯甲烷溶液(0.093mmol/L)放在石英皿中，並在室溫下進行測量。

〈發射光譜〉

此外，圖 1A 和圖 1B 示出作爲第一有機化合物的 2mDBTPDBq-II 的薄膜的發射光譜(發射光譜 1)、作爲第二有機化合物的 PCBNBB 的薄膜的發射光譜(發射光譜 2)以及 2mDBTPDBq-II 和 PCBNBB 的混合材料的薄膜的發

射光譜(發射光譜 3)。在圖 1A 中，橫軸表示波長(nm)，而縱軸表示莫耳吸光係數 ε($M^{-1}\cdot cm^{-1}$)及發光強度(任意單位)。在圖 1B 中，橫軸表示能量(eV)，而縱軸表示莫耳吸光係數 ε($M^{-1}\cdot cm^{-1}$)及發光強度(任意單位)。

從圖 1A 的吸收光譜可知，[Ir(mppr-Me)$_2$(dpm)]在 520 nm 附近具有寬吸收帶。可以認爲該吸收帶是對發光貢獻很大的吸收帶。

與發射光譜 1、2 相比，發射光譜 3 的峰值位於長波長(低能量)一側。而且，發射光譜 3 的峰值與發射光譜 1、2 的峰值相比位於離該吸收帶更近的位置。從圖 1A 和圖 1B 可知，與吸收光譜的對發光貢獻很大的吸收帶的重疊最大的發射光譜是發射光譜 3。明確而言，吸收光譜中的該吸收帶的峰值(520nm 附近的肩峰)與發射光譜 3 的峰值之間的差異爲 0.04eV。

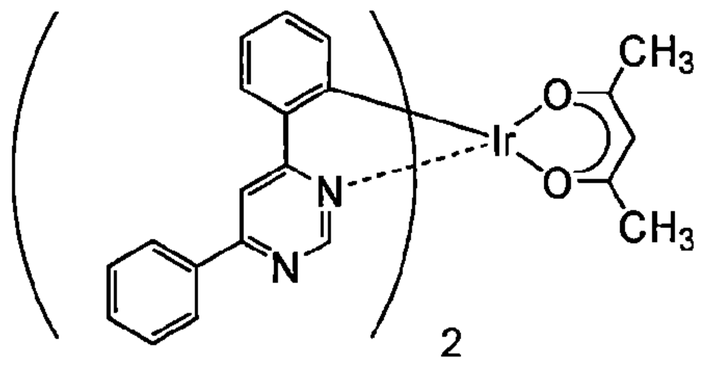
與單體的發射光譜相比，2mDBTPDBq-II 和 PCBNBB 的混合材料的發射光譜的峰值位於長波長(低能量)一側。從此可知，藉由混合 2mDBTPDBq-II 和 PCBNBB，形成激基複合物。

該混合材料的發射光譜與[Ir(mppr-Me)$_2$(dpm)]的吸收光譜中的可認爲對發光貢獻很大的吸收帶的重疊較大。因此，由於使用 2mDBTPDBq-II 和 PCBNBB 的混合材料及[Ir(mppr-Me)$_2$(dpm)]的發光元件利用該混合材料的發射光譜與磷光化合物的吸收光譜的重疊轉移能量，所以能量轉移效率高。從而，可以獲得外部量子效率高的發光元件。

實施例 2

在本實施例中，參照圖 2A 和圖 2B 說明可以應用於本發明的一個方式的發光元件的第一有機化合物、第二有機化合物及磷光化合物的組合的一個例子。

在本實施例中使用的磷光化合物是(乙醯丙酮根)雙(4,6-二苯基嘧啶根)銥(III)(縮寫：$[Ir(dppm)_2(acac)]$)。此外，在本實施例中使用的第一有機化合物是 2mDBTPDBq-II。另外，在本實施例中使用的第二有機化合物是 PCBNBB。以下示出在本實施例中使用的材料的化學式。另外，省略在實施例 1 中使用的材料的化學式。




$[Ir(dppm)_2(acac)]$

〈吸收光譜〉

圖 2A 和圖 2B 示出作爲磷光化合物的$[Ir(dppm)_2(acac)]$的二氯甲烷溶液的紫外可見吸收光譜(以下，簡單地稱爲吸收光譜)。在吸收光譜的測量中，使用紫外可見分光光度計(日本分光株式會社製造的 V-550 型)，將二氯甲烷溶液(0.093mmol/L)放在石英皿中，並在室溫下進行測量。

〈發射光譜〉

此外，圖 2A 和圖 2B 示出作爲第一有機化合物的

2mDBTPDBq-II 的薄膜的發射光譜(發射光譜 4)、作爲第二有機化合物的 PCBNBB 的薄膜的發射光譜(發射光譜 5)以及 2mDBTPDBq-II 和 PCBNBB 的混合材料的薄膜的發射光譜(發射光譜 6)。在圖 2A 中，橫軸表示波長(nm)，而縱軸表示莫耳吸光係數 $\varepsilon(M^{-1}\cdot cm^{-1})$及發光強度(任意單位)。在圖 2B 中，橫軸表示能量(eV)，而縱軸表示莫耳吸光係數 $\varepsilon(M^{-1}\cdot cm^{-1})$及發光強度(任意單位)。

從圖 2A 的吸收光譜可知，$[Ir(dppm)_2(acac)]$在 520nm 附近具有寬吸收帶。可以認爲該吸收帶是對發光貢獻很大的吸收帶。

與發射光譜 4、5 相比，發射光譜 6 的峰值位於長波長(低能量)一側。而且，發射光譜 6 的峰值與發射光譜 4、5 的峰值相比位於離該吸收帶更近的位置。從圖 2A 和圖 2B 可知，與吸收光譜的對發光貢獻很大的吸收帶的重疊最大的發射光譜是發射光譜 6。明確而言，吸收光譜中的該吸收帶的峰值(515nm)與發射光譜 6 的峰值之間的差異爲 0.02eV。

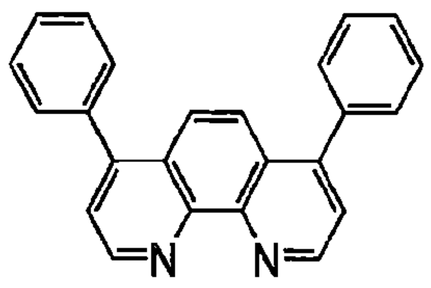
與單體的發射光譜相比，2mDBTPDBq-II 和 PCBNBB 的混合材料的發射光譜的峰值位於長波長(低能量)一側。從此可知，藉由混合 2mDBTPDBq-II 和 PCBNBB，形成激基複合物。

該混合材料的發射光譜的峰值與$[Ir(dppm)_2(acac)]$的吸收光譜中的可認爲對發光貢獻很大的吸收帶的重疊較大。因此，由於使用 2mDBTPDBq-II 和 PCBNBB 的混合

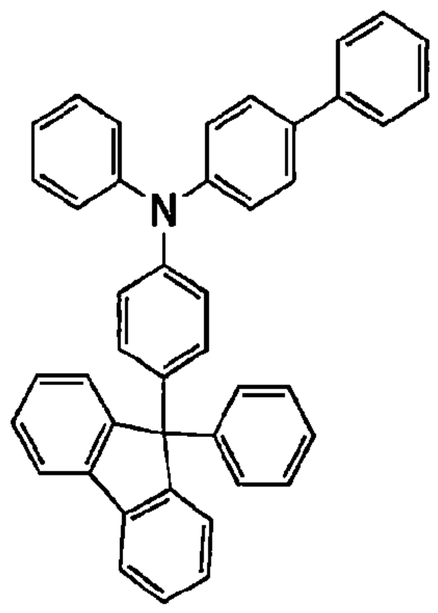
材料及[Ir(dppm)$_2$(acac)]的發光元件利用該混合材料的發射光譜與磷光化合物的吸收光譜的重疊轉移能量，所以能量轉移效率高。從而，可以獲得外部量子效率高的發光元件。

實施例 3

在本實施例中，參照圖 15 說明本發明的一個方式的發光元件。以下示出在本實施例中使用的材料的化學式。另外，省略在上述實施例中使用的材料的化學式。



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 1100 上藉由濺射法形成含氧化矽的氧化錫銦(ITSO)，由此形成用作陽極的第一電極 1101。另外，將其厚度設定爲 110nm，且將其電極面積設定爲 2mm×2mm。

接著，作爲爲了在基板 1100 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 $10^{-4}$Pa 左右的真空蒸鍍裝置中，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 1100 進行 30 分鐘左右的冷卻。

接著，以使形成有第一電極 1101 的面成爲下面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，並減壓到 $10^{-4}$Pa 左右，然後在第一電極 1101 上共蒸鍍 4-苯基-4'-(9-苯基芴-9-基)三苯胺(縮寫：BPAFLP)和氧化鉬(VI)，從而形成電洞注入層 1111。將電洞注入層 1111 的厚度設定爲 40nm，將 BPAFLP 與氧化鉬的重量比調節爲 4：2(=BPAFLP：氧化鉬)。

接著，在電洞注入層 1111 上形成厚度爲 20nm 的 BPAFLP，來形成電洞傳輸層 1112。

再者，共蒸鍍 2mDBTPDBq-II、PCBNBB、[Ir(mppr-Me)$_2$(dpm)]來在電洞傳輸層 1112 上形成發光層 1113。在此，將 2mDBTPDBq-II、PCBNBB、[Ir(mppr-Me)$_2$(dpm)]的重量比調節爲 0.8:0.2:0.05(=2mDBTPDBq-II:PCBNBB:[Ir(mppr-Me)$_2$(dpm)])。將發光層 1113 的厚度設定爲 40nm。

接著，在發光層 1113 上形成厚度爲 10nm 的 2mDBTPDBq-II 膜，來形成第一電子傳輸層 1114a。

接著，在第一電子傳輸層 1114a 上形成厚度爲 20nm

的紅菲繞啉(縮寫：BPhen)膜，來形成第二電子傳輸層1114b。

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

最後，作爲用作陰極的第二電極 1103，蒸鍍厚度爲200nm的鋁膜，而製造本實施例的發光元件 1。

(對比發光元件 2)

對比發光元件 2 的發光層 1113 共蒸鍍 2mDBTPDBq-II和[Ir(mppr-Me)$_2$(dpm)]來形成。在此，將 2mDBTPDBq-II和 [Ir(mppr-Me)$_2$(dpm)] 的重量比調節爲 1：0.05(=2mDBTPDBq-II:[Ir(mppr-Me)$_2$(dpm)])。將發光層 1113的厚度設定爲 40nm。除了發光層 1113 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。

[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 110 nm | BPAFLP:MoOx (=4:2) 40 nm | BPAFLP 20 nm | 2mDBTPDBq-II:PCBNBB:[Ir(mppr-Me)$_2$(dpm)] (=0.8:0.2:0.05) 40 nm | 2mDBTPDBq-II 10 nm | BPhen 20 nm | LiF 1 nm | Al 200 nm |
| 對比發光元件2 | ITSO 110 nm | BPAFLP:MoOx (=4:2) 40 nm | BPAFLP 20 nm | 2mDBTPDBq-II:[Ir(mppr-Me)$_2$(dpm)] (=1:0.05) 40 nm | 2mDBTPDBq-II 10 nm | BPhen 20 nm | LiF 1 nm | Al 200 nm |

在氮氛圍的手套箱中，以不使發光元件暴露於大氣的方式對發光元件 1 及對比發光元件 2 進行密封，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 3 示出發光元件 1 及對比發光元件 2 的電流密度-亮度特性。在圖 3 中，橫軸表示電流密度($mA/cm^2$)，而縱軸表示亮度($cd/m^2$)。另外，圖 4 示出電壓-亮度特性。在圖 4 中，橫軸表示電壓(V)，而縱軸表示亮度($cd/m^2$)。另外，圖 5 示出亮度-電流效率特性。在圖 5 中，橫軸表示亮度($cd/m^2$)，而縱軸表示電流效率(cd/A)。另外，圖 6 示出亮度-外部量子效率特性。在圖 6 中，橫軸表示亮度($cd/m^2$)，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 1000 $cd/m^2$ 時的電壓(V)、電流密度($mA/cm^2$)、CIE 色座標(x，y)、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 |

圖 7 示出在發光元件 1 及對比發光元件 2 中使 0.1mA 的電流流過時的發射光譜。在圖 7 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 所示那樣，$1200cd/m^2$ 的亮度下的發光元件 1 的 CIE 色座標爲(x，y)=(0.56，0.44)，$960cd/m^2$ 的亮度下的對比發光元件 2 的 CIE 色座標爲(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 顯示來源於[Ir(mppr-Me)$_2$(dpm)]的橙色光。

從表 2 及圖 3 至圖 6 可知，發光元件 1 的電流效率、功率效率、外部量子效率比對比發光元件 2 高。

在本實施例的發光元件 1 中，將實施例 1 所示的 2mDBTPDBq-II、PCBNBB 及[Ir(mppr-Me)$_2$(dpm)]用於發光層。從實施例 1 可知，與 2mDBTPDBq-II、PCBNBB 單體的發射光譜相比，2mDBTPDBq-II 和 PCBNBB 的混合材料的發射光譜(激基複合物的發射光譜)與[Ir(mppr-Me)$_2$(dpm)]的吸收光譜的重疊大。本實施例的發光元件 1 由於利用該重疊進行能量轉移，所以可以認爲能量轉移效率高，與對比發光元件 2 相比，外部量子效率高。

從上述結果可知，藉由應用本發明的一個方式，可以實現外部量子效率高的元件。

接著，進行發光元件 1 及對比發光元件 2 的可靠性測試。圖 8 示出可靠性測試的結果。在圖 8 中，縱軸表示以初始亮度爲 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，將初始亮度設定爲 5000cd/m$^2$，並且在電流密度恆定的條件下驅動發光元件 1 及對比發光元件 2。

對比發光元件 2 的 120 小時後的亮度爲初始亮度的 58%。此外，發光元件 1 的 630 小時後的亮度爲初始亮度的 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方式，可以實現可靠性高的元件。

實施例 4

在本實施例中，參照圖 15 說明本發明的一個方式的發光元件。由於在本實施例中使用的材料是在上述實施例中使用的材料，所以省略化學式。

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 1100 上藉由濺射法形成 ITSO，由此形成用作陽極的第一電極 1101。另外，將其厚度設定爲 110nm，且將其電極面積設定爲 2mm×2mm。

接著，作爲爲了在基板 1100 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 $10^{-4}$Pa 左右的真空蒸鍍裝置中，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 1100 進行 30 分鐘左右的冷卻。

接著，以使形成有第一電極 1101 的面成爲下面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，並減壓到 $10^{-4}$Pa 左右，然後在

第一電極 1101 上共蒸鍍 BPAFLP 和氧化鉬(VI)，從而形成電洞注入層 1111。將電洞注入層 1111 的厚度設定爲 40nm，將 BPAFLP 與氧化鉬的重量比調節爲 4：2(=BPAFLP：氧化鉬)。

接著，在電洞注入層 1111 上形成厚度爲 20nm 的 BPAFLP，來形成電洞傳輸層 1112。

再者，共蒸鍍 2mDBTPDBq-II、PCBNBB、[Ir(dppm)$_2$(acac)]來在電洞傳輸層 1112 上形成發光層 1113。在此，將 2mDBTPDBq-II、PCBNBB、[Ir(dppm)$_2$(acac)]的重量比調節爲 0.8:0.2:0.05(=2mDBTPDBq-II:PCBNBB:[Ir(dppm)$_2$(acac)])。將發光層 1113 的厚度設定爲 40nm。

接著，在發光層 1113 上形成厚度爲 10nm 的 2mDBTPDBq-II 膜，來形成第一電子傳輸層 1114a。

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

然後，在第二電子傳輸層 1114b 上蒸鍍厚度爲 1nm 的 LiF 膜，來形成電子注入層 1115。

最後，作爲用作陰極的第二電極 1103，蒸鍍厚度爲 200nm 的鋁膜，而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 110 nm | BPAFLP:MoOx (=4:2) 40 nm | BPAFLP 20 nm | 2mDBTPDBq-II:PCBNBB:[Ir(dppm)$_2$(acac)] (=0.8:0.2:0.05) 40 nm | 2mDBTPDBq-II 10 nm | BPhen 20 nm | LiF 1 nm | Al 200 nm |

在氮氣圍的手套箱中，以不使發光元件暴露於大氣的方式對發光元件 3 進行密封，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℃的氣圍中)進行測量。

圖 9 示出發光元件 3 的電流密度-亮度特性。在圖 9 中，橫軸表示電流密度(mA/cm$^2$)，而縱軸表示亮度(cd/m$^2$)。另外，圖 10 示出電壓-亮度特性。在圖 10 中，橫軸表示電壓(V)，而縱軸表示亮度(cd/m$^2$)。另外，圖 11 示出亮度-電流效率特性。在圖 11 中，橫軸表示亮度(cd/m$^2$)，而縱軸表示電流效率(cd/A)。另外，圖 12 示出亮度-外部量子效率特性。在圖 12 中，橫軸表示亮度(cd/m$^2$)，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/m$^2$ 時的電壓(V)、電流密度(mA/cm$^2$)、CIE 色座標(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 13 示出在發光元件 3 中使 0.1mA 的電流流過時的發射光譜。在圖 13 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 所示那樣，1100cd/m$^2$

的亮度下的發光元件 3 的 CIE 色座標爲(x，y)=(0.54，0.46)。從上述結果可知，發光元件 3 顯示來源於[Ir(dppm)$_2$(acac)]的橙色光。

從表 4 及圖 9 至圖 12 可知，發光元件 3 的電流效率、功率效率、外部量子效率分別較高。尤其是，1100 cd/m$^2$ 的亮度時的外部量子效率高，即 28%。如上所述那樣，外部量子效率的限度被認爲 25%左右。然而，這次結果超過該限度。

在本實施例的發光元件中，將實施例 2 所示的 2mDBTPDBq-II、PCBNBB 及[Ir(dppm)$_2$(acac)]用於發光層。從實施例 2 可知，與 2mDBTPDBq-II、PCBNBB 單體的發射光譜相比，2mDBTPDBq-II 和 PCBNBB 的混合材料的發射光譜(激基複合物的發射光譜)與[Ir(dppm)$_2$(acac)]的吸收光譜的重疊大。本實施例的發光元件由於利用該重疊進行能量轉移，所以可以認爲能量轉移效率高，可以獲得從未實現的高外部量子效率。

此外，在實施例 2 的結果中，在用於發光元件 3 的客體材料的吸收光譜的最長波長一側的吸收帶上峰值離發射光譜的峰值近，且峰值的莫耳吸光係數較大(>5000M$^{-1}$·cm$^{-1}$)。從上述結果可知，發光元件 3 由於能量轉移效率尤其高，所以具有從未實現的高外部量子效率。

從上述結果可知，藉由應用本發明的一個方式，可以實現外部量子效率高的元件。

接著，進行發光元件 3 的可靠性測試。圖 14 示出可

靠性測試的結果。在圖 14 中，縱軸表示以初始亮度爲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，將初始亮度設定爲 5000cd/$m^2$，並且在電流密度恆定的條件下驅動發光元件 3。

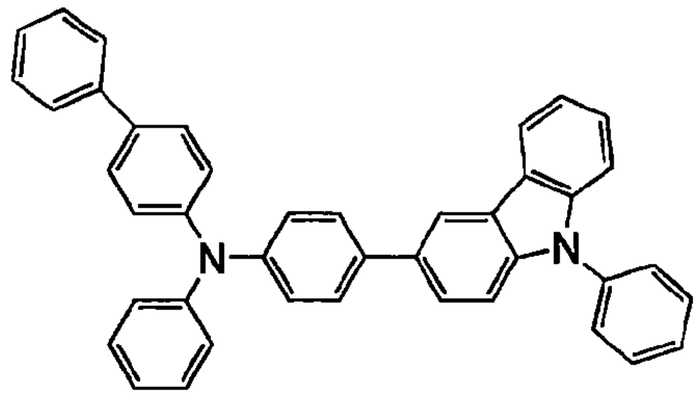
發光元件 3 在驅動 320 小時後保持初始亮度的 92%。

從上述結果可知，藉由應用本發明的一個方式，可以實現可靠性高的元件。

實施例 5

在本實施例中，參照圖 18A 和圖 18B 說明可以應用於本發明的一個方式的發光元件的第一有機化合物、第二有機化合物及磷光化合物的組合的一個例子。

在本實施例中使用的磷光化合物是[$Ir(dppm)_2(acac)$]。此外，在本實施例中使用的第一有機化合物是 2mDBTPDBq-II。另外，在本實施例中使用的第二有機化合物是 4-苯基-4'-(9-苯基-9H-咔唑-3-基)三苯胺(縮寫：PCBA1BP)。以下示出在本實施例中使用的材料的化學式。另外，省略在上述實施例中使用的材料的化學式。



PCBA1BP

〈吸收光譜〉

圖 18A 和圖 18B 示出作爲磷光化合物的[Ir(dppm)$_2$(acac)]的二氯甲烷溶液的紫外可見吸收光譜(以下，簡單地稱爲吸收光譜)。在吸收光譜的測量中使用紫外可見分光光度計(日本分光株式會社製造的 V-550 型)，將二氯甲烷溶液(0.093mmol/L)放在石英皿中，並在室溫下進行測量。

〈發射光譜〉

此外，圖 18A 和圖 18B 示出作爲第一有機化合物的 2mDBTPDBq-II 的薄膜的發射光譜(發射光譜 7)、作爲第二有機化合物的 PCBA1BP 的薄膜的發射光譜(發射光譜 8)以及 2mDBTPDBq-II 和 PCBA1BP 的混合材料的薄膜的發射光譜(發射光譜 9)。在圖 18A 中，橫軸表示波長(nm)，而縱軸表示莫耳吸光係數 ε($M^{-1}\cdot cm^{-1}$)及發光強度(任意單位)。在圖 18B 中，橫軸表示能量(eV)，而縱軸表示莫耳吸光係數 ε($M^{-1}\cdot cm^{-1}$)及發光強度(任意單位)。

從圖 18A 的吸收光譜可知，[Ir(dppm)$_2$(acac)]在 520nm 附近具有寬吸收帶。可以認爲該吸收帶是對發光貢獻很大的吸收帶。

與發射光譜 7、8 相比，發射光譜 9 的峰值位於長波長(低能量)一側。而且，發射光譜 9 的峰值與發射光譜 7、8 的峰值相比位於離該吸收帶更近的位置。從圖 18A 和圖 18B 可知，與吸收光譜的對發光貢獻很大的吸收帶的重疊最大的發射光譜是發射光譜 9。明確而言，吸收光譜中的該吸收帶的峰值(515nm)與發射光譜 9 的峰值之間的

差異爲 0.02eV。

與單體的發射光譜相比，2mDBTPDBq-II 和 PCBA1BP 的混合材料的發射光譜的峰值位於較長波長(較低能量)一側。從此可知，藉由混合 2mDBTPDBq-II 和 PCBA1BP，形成激基複合物。

該混合材料的發射光譜的峰值與[Ir(dppm)$_2$(acac)]的吸收光譜中的可認爲對發光貢獻很大的吸收帶的重疊較大。因此，由於使用 2mDBTPDBq-II 和 PCBA1BP 的混合材料及[Ir(dppm)$_2$(acac)]的發光元件利用該混合材料的發射光譜與磷光化合物的吸收光譜的重疊轉移能量，所以能量轉移效率高。從而，可以獲得外部量子效率高的發光元件。

實施例 6

在本實施例中，參照圖 15 說明本發明的一個方式的發光元件。由於在本實施例中使用的材料是在上述實施例中使用的材料，所以省略化學式。

以下示出本實施例的發光元件 4 的製造方法。

(發光元件 4)

首先，在玻璃基板 1100 上藉由濺射法形成 ITSO，由此形成用作陽極的第一電極 1101。另外，將其厚度設定爲 110nm，且將其電極面積設定爲 2mm×2mm。

接著，作爲爲了在基板 1100 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 $10^{-4}$Pa 左右的真空蒸鍍裝置中，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 1100 進行 30 分鐘左右的冷卻。

接著，以使形成有第一電極 1101 的面成爲下面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，並減壓到 $10^{-4}$Pa 左右，然後在第一電極 1101 上共蒸鍍 BPAFLP 和氧化鉬(VI)，從而形成電洞注入層 1111。將電洞注入層 1111 的厚度設定爲 40nm，將 BPAFLP 與氧化鉬的重量比調節爲 4：2 (=BPAFLP：氧化鉬)。

接著，在電洞注入層 1111 上形成厚度爲 20nm 的 BPAFLP，來形成電洞傳輸層 1112。

再者，共蒸鍍 2mDBTPDBq-II、PCBA1BP、[$Ir(dppm)_2(acac)$]來在電洞傳輸層 1112 上形成發光層 1113。在此，將 2mDBTPDBq-II、PCBA1BP、[$Ir(dppm)_2(acac)$]的重量比調節爲 0.8：0.2：0.1(=2mDBTPDBq-II：PCBA1BP：[$Ir(dppm)_2(acac)$])。將發光層 1113 的厚度設定爲 40nm。

接著，在發光層 1113 上形成厚度爲 15nm 的 2mDBTPDBq-II 膜，來形成第一電子傳輸層 1114a。

接著，在第一電子傳輸層 1114a 上形成厚度爲 15nm 的 BPhen 膜，來形成第二電子傳輸層 1114b。

然後，在第二電子傳輸層 1114b 上蒸鍍厚度爲 1nm 的 LiF 膜，來形成電子注入層 1115。

最後，作爲用作陰極的第二電極 1103，蒸鍍厚度爲 200nm 的鋁膜，而製造本實施例的發光元件 4。

注意，在上述蒸鍍過程中，均採用電阻加熱法進行蒸鍍。

表 5 示出藉由上述步驟獲得的發光元件 4 的元件結構。

[表5]

| | 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4 | ITSO 110 nm | BPAFLP:MoOx (=4:2) 40 nm | BPAFLP 20 nm | 2mDBTPDBq-II:PCBA1BP:[Ir(dppm)$_2$(acac)] (=0.8:0.2:0.1) 40 nm | 2mDBTPDBq-II 15 nm | BPhen 15 nm | LiF 1 nm | Al 200 nm |

在氮氛圍的手套箱中，以不使發光元件暴露於大氣的方式對發光元件 4 進行密封，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 19 示出發光元件 4 的電流密度-亮度特性。在圖 19 中，橫軸表示電流密度(mA/cm$^2$)，而縱軸表示亮度(cd/m$^2$)。另外，圖 20 示出電壓-亮度特性。在圖 20 中，橫軸表示電壓(V)，而縱軸表示亮度(cd/m$^2$)。另外，圖 21 示出亮度-電流效率特性。在圖 21 中，橫軸表示亮度(cd/m$^2$)，而縱軸表示電流效率(cd/A)。另外，圖 22 示出亮度-外部量子效率特性。在圖 22 中，橫軸表示亮度(cd/m$^2$)，而縱軸表示外部量子效率(%)。

此外，表 6 示出發光元件 4 在亮度 1100 cd/m$^2$時的電

壓(V)、電流密度($mA/cm^2$)、CIE 色座標(x，y)、電流效率(cd/A)、功率效率(lm/W)和外部量子效率(%)。

[表6]

| | 電壓 (V) | 電流密度 ($mA/cm^2$) | 色座標 (x, y) | 電流效率 (cd/A) | 功率效率 (lm/W) | 外部量子效率 (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 發光元件4 | 3.0 | 1.4 | (0.57, 0.43) | 76 | 70 | 31 |

圖 23 示出在發光元件 4 中使 0.1mA 的電流流過時的發射光譜。在圖 23 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 6 所示那樣，1100 $cd/m^2$ 的亮度下的發光元件 4 的 CIE 色座標爲(x，y)=(0.57，0.43)。從上述結果可知，發光元件 4 顯示來源於[$Ir(dppm)_2(acac)$]的橙色光。

從表 6 及圖 19 至圖 22 可知，發光元件 4 的電流效率、功率效率、外部量子效率分別較高。尤其是，1100 $cd/m^2$ 的亮度時的外部量子效率高，即 31%。如上所述那樣，外部量子效率的限度被認爲 25%左右。然而，這次外部量子效率之結果超過該限度。

在本實施例的發光元件中，將實施例 5 所示的 2mDBTPDBq-II、PCBA1BP 及[$Ir(dppm)_2(acac)$]用於發光層。從實施例 5 可知，與 2mDBTPDBq-II、PCBA1BP 單體的發射光譜相比，2mDBTPDBq-II 和 PCBA1BP 的混合材料的發射光譜(激基複合物的發射光譜)與[$Ir(dppm)_2(acac)$]的吸收光譜的重疊較大。本實施例的發光元件由於利用該重疊進行能量轉移，所以可以認爲能量轉移效率高，可以獲得從未實現的高外部量子效率。

此外，在實施例 5 的結果中，在用於發光元件 4 的客體材料的吸收光譜的最長波長一側的吸收帶上峰值離發射光譜的峰值近，且峰值的莫耳吸光係數較大(>5000 $M^{-1}\cdot cm^{-1}$)。從上述結果可知，發光元件 4 由於能量轉移效率尤其高，所以具有從未實現的高外部量子效率。

從上述結果可知，藉由應用本發明的一個方式，可以實現外部量子效率高的元件。

接著，進行發光元件 4 的可靠性測試。圖 24 示出可靠性測試的結果。在圖 24 中，縱軸表示以初始亮度爲 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，將初始亮度設定爲 5000cd/$m^2$，並且在電流密度恆定的條件下驅動發光元件 4。

發光元件 4 在驅動 170 小時後保持初始亮度的 95%。

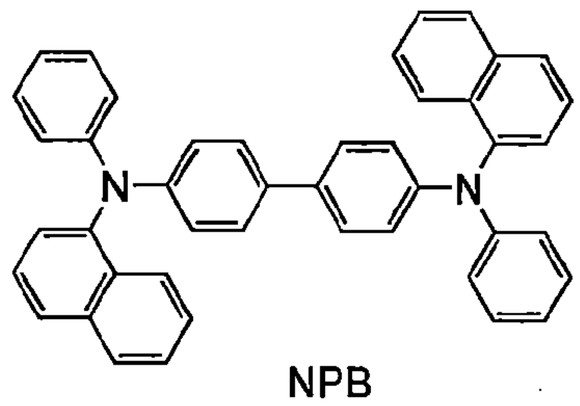
從上述結果可知，藉由應用本發明的一個方式，可以實現可靠性高的元件。

實施例 7

在本實施例中，參照圖 26A 和圖 26B 說明可以應用於本發明的一個方式的發光元件的第一有機化合物、第二有機化合物及磷光化合物的組合的一個例子。

在本實施例中使用的磷光化合物是[$Ir(dppm)_2(acac)$]。此外，在本實施例中使用的第一有機化合物是 2mDBTPDBq-II。另外，在本實施例中使用的第二有機化合物是 4,4'-雙[N-

(1-萘基)-N-苯基胺基]聯苯(縮寫：NPB)。以下示出在本實施例中使用的材料的化學式。另外，省略在上述實施例中使用的材料的化學式。



NPB

〈吸收光譜〉

圖 26A 和圖 26B 示出作爲磷光化合物的[Ir(dppm)$_2$(acac)]的二氯甲烷溶液的紫外可見吸收光譜(以下，簡單地稱爲吸收光譜)。在吸收光譜的測量中使用紫外可見分光光度計(日本分光株式會社製造的 V-550 型)，將二氯甲烷溶液(0.093mmol/L)放在石英皿中，並在室溫下進行測量。

〈發射光譜〉

此外，圖 26A 和圖 26B 示出作爲第一有機化合物的 2mDBTPDBq-II 的薄膜的發射光譜(發射光譜 10)以及 2mDBTPDBq-II 和 NPB 的混合材料的薄膜的發射光譜(發射光譜 11)。在圖 26A 中，橫軸表示波長(nm)，而縱軸表示莫耳吸光係數 ε($M^{-1}\cdot cm^{-1}$)及發光強度(任意單位)。在圖 26B 中，橫軸表示能量(eV)，而縱軸表示莫耳吸光係數 ε($M^{-1}\cdot cm^{-1}$)及發光強度(任意單位)。

從圖 26A 的吸收光譜可知，[Ir(dppm)$_2$(acac)]在 520nm 附近具有寬吸收帶。可以認爲該吸收帶是對發光貢獻很大的吸收帶。

與發射光譜 10 相比，發射光譜 11 的峰值位於長波長(低能量)一側。而且，發射光譜 11 的峰值與發射光譜 10 的峰值相比位於離該吸收帶更近的位置。此外，作爲第二有機化合物的 NPB 的發射光譜的峰值被認爲位於 430nm 附近。由此，與 NPB 的發射光譜相比，發射光譜 11 的峰值位於較長波長(較低能量)一側。而且，發射光譜 11 的峰值與 NPB 的發射光譜的峰值相比位於離該吸收帶更近的位置。從上述結果可知，與吸收光譜的對發光貢獻很大的吸收帶的重疊最大的發射光譜是發射光譜 11。明確而言，吸收光譜中的該吸收帶的峰值(515nm)與發射光譜 11 的峰值之間的差異爲 0.09eV。

與單體的發射光譜相比，2mDBTPDBq-II 和 NPB 的混合材料的發射光譜的峰值位於較長波長(較低能量)一側。從此可知，藉由混合 2mDBTPDBq-II 和 NPB，形成激基複合物。

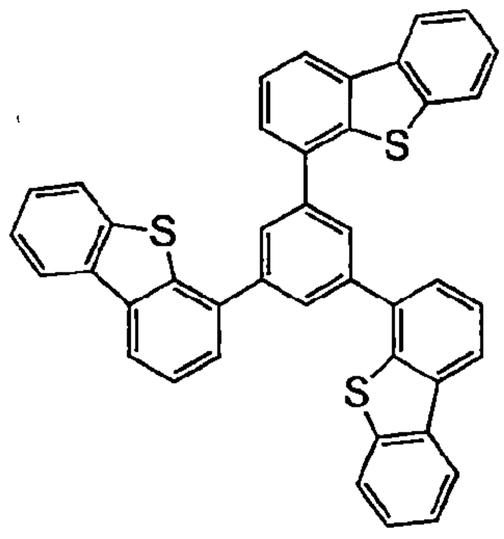
該混合材料的發射光譜的峰值與[Ir(dppm)$_2$(acac)]的吸收光譜中的可認爲對發光貢獻很大的吸收帶的重疊較大。因此，由於使用 2mDBTPDBq-II 和 NPB 的混合材料及[Ir(dppm)$_2$(acac)]的發光元件利用該混合材料的發射光譜與磷光化合物的吸收光譜的重疊轉移能量，所以能量轉移效率高。從而，可以獲得外部量子效率高的發光元件。

實施例 8

在本實施例中，參照圖 15 說明本發明的一個方式的

發光元件。以下示出在本實施例中使用的材料的化學式。

另外，省略在上述實施例中使用的材料的結構式。



DBT3P-II

以下示出本實施例的發光元件 5 及對比發光元件 6 的製造方法。

(發光元件 5)

首先，在玻璃基板 1100 上藉由濺射法形成 ITSO 膜，由此形成用作陽極的第一電極 1101。另外，將其厚度設定爲 110nm，且將其電極面積設定爲 2mm×2mm。

接著，作爲爲了在基板 1100 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 $10^{-4}$Pa 左右的真空蒸鍍裝置中，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 1100 進行 30 分鐘左右的冷卻。

接著，以使形成有第一電極 1101 的面成爲下面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，並減壓到 $10^{-4}$Pa 左右，然後在

第一電極 1101 上共蒸鍍 4,4',4"-(1,3,5-苯三基)三(二苯並噻吩)(縮寫：DBT3P-II)和氧化鉬(VI)，從而形成電洞注入層 1111。將電洞注入層 1111 的厚度設定爲 40nm，將 DBT3P-II 與氧化鉬的重量比調節爲 4：2(=DBT3P-II：氧化鉬)。

接著，在電洞注入層 1111 上形成厚度爲 20nm 的 BPAFLP，來形成電洞傳輸層 1112。

再者，共蒸鍍 2mDBTPDBq-II、NPB、[Ir(dppm)$_2$(acac)]來在電洞傳輸層 1112 上形成發光層 1113。在此，將 2mDBTPDBq-II、NPB、[Ir(dppm)$_2$(acac)]的重量比調節爲 0.8：0.2：0.05(=2mDBTPDBq-II：NPB：[Ir(dppm)$_2$(acac)])。將發光層 1113 的厚度設定爲 40nm。

接著，在發光層 1113 上形成厚度爲 10nm 的 2mDBTPDBq-II 膜，來形成第一電子傳輸層 1114a。

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

然後，在第二電子傳輸層 1114b 上蒸鍍厚度爲 1nm 的 LiF 膜，來形成電子注入層 1115。

最後，作爲用作陰極的第二電極 1103，蒸鍍厚度爲 200nm 的鋁膜，而製造本實施例的發光元件 5。

(對比發光元件 6)

對比發光元件 6 的發光層 1113 共蒸鍍 2mDBTPDBq-II 和[Ir(dppm)$_2$(acac)]來形成。在此，將 2mDBTPDBq-II 和

[$Ir(dppm)_2(acac)$]的重量比調節爲 1：0.05(=2mDBTPDBq-II：[$Ir(dppm)_2(acac)$])。將發光層 1113 的厚度設定爲 40nm。除了發光層 1113 之外，採用與發光元件 5 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 7 示出藉由上述步驟獲得的發光元件 5 及對比發光元件 6 的元件結構。

[表7]

| | 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5 | ITSO 110 nm | DBT3P-II:MoOx (=4:2) 40 nm | BPAFLP 20 nm | 2mDBTPDBq-II:NPB:[$Ir(dppm)_2(acac)$] (=0.8:0.2:0.05) 40 nm | 2mDBTPDBq-II 10 nm | BPhen 20 nm | LiF 1 nm | Al 200 nm |
| 對比發光元件6 | ITSO 110 nm | DBT3P-II:MoOx (=4:2) 40 nm | BPAFLP 20 nm | 2mDBTPDBq-II:[$Ir(dppm)_2(acac)$] (=1:0.05) 40 nm | 2mDBTPDBq-II 10 nm | BPhen 20 nm | LiF 1 nm | Al 200 nm |

在氮氛圍的手套箱中，以不使發光元件暴露於大氣的方式對發光元件 5 及對比發光元件 6 進行密封，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 27 示出發光元件 5 及對比發光元件 6 的電流密度-亮度特性。在圖 27 中，橫軸表示電流密度($mA/cm^2$)，而縱軸表示亮度($cd/m^2$)。另外，圖 28 示出電壓-亮度特性。在圖 28 中，橫軸表示電壓(V)，而縱軸表示亮度($cd/m^2$)。另外，圖 29 示出亮度-電流效率特性。在圖 29 中，橫軸表示亮度($cd/m^2$)，而縱軸表示電流效率(cd/A)。另外，圖 30 示出亮度-外部量子效率特性。在圖 30 中，橫軸表示亮度($cd/m^2$)，而縱軸表示外部量子效率(%)。

此外，表 8 示出發光元件 5 及對比發光元件 6 在亮度大約 1000 $cd/m^2$ 時的電壓(V)、電流密度($mA/cm^2$)、CIE 色座標(x，y)、電流效率(cd/A)、功率效率(lm/W)和外部量子效率(%)。

[表8]

| | 電壓 (V) | 電流密度 ($mA/cm^2$) | 色座標 (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5 | 2.9 | 1.5 | (0.57, 0.43) | 1100 | 75 | 81 | 29 |
| 對比發光元件6 | 2.9 | 1.3 | (0.56, 0.44) | 830 | 65 | 71 | 24 |

圖 31 示出在發光元件 5 及對比發光元件 6 中使 0.1 mA 的電流流過時的發射光譜。在圖 31 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 8 所示那樣，1100$cd/m^2$ 的亮度下的發光元件 5 的 CIE 色座標爲(x，y)=(0.57，0.43)，830$cd/m^2$ 的亮度下的對比發光元件 6 的 CIE 色座標爲(x，y)=(0.56，0.44)。從上述結果可知，發光元件 5 和對比發光元件 6 顯示來源於[$Ir(dppm)_2(acac)$]的橙色光。

從表 8 及圖 27 至圖 30 可知，發光元件 5 的電流效率、功率效率、外部量子效率比對比發光元件 6 高。

在發光元件 5 中，將實施例 7 所示的 2mDBTPDBq-II、NPB 及[$Ir(dppm)_2(acac)$]用於發光層。從實施例 7 可知，與 2mDBTPDBq-II 單體的發射光譜相比，2mDBTPDBq-II 和 NPB 的混合材料的發射光譜(激基複合物的發射光譜)與[$Ir(dppm)_2(acac)$]的吸收光譜中的對發光貢獻很大的吸收帶的重疊較大。發光元件 5 由於利用該重疊進行能量轉

移，所以可以認爲能量轉移效率高，與對比發光元件 6 相比，外部量子效率較高。

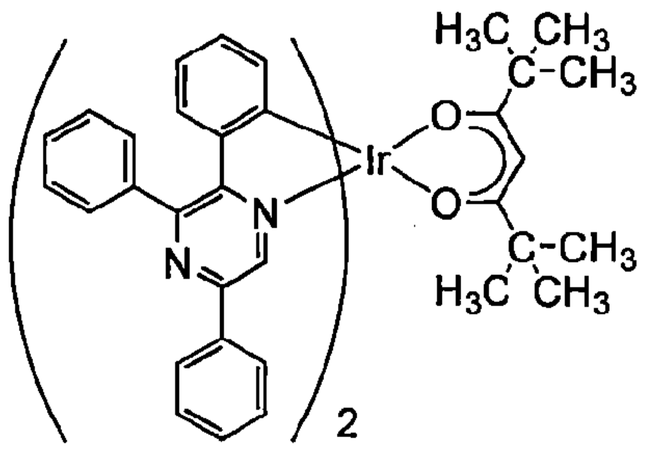
此外，在實施例 7 的結果中，在用於發光元件 5 的磷光化合物的吸收光譜的最長波長一側的吸收帶上峰值離發射光譜的峰值近，且峰值的莫耳吸光係數較大(>5000 $M^{-1}\cdot cm^{-1}$)。從上述結果可知，發光元件 5 由於能量轉移效率尤其高，所以外部量子效率與習知的發光元件相比高。

從上述結果可知，藉由應用本發明的一個方式，可以實現外部量子效率高的元件。

實施例 9

在本實施例中，參照圖 32A 和圖 32B 說明可以應用於本發明的一個方式的發光元件的第一有機化合物、第二有機化合物及磷光化合物的組合的一個例子。

在本實施例中使用的磷光化合物是雙(2,3,5-三苯基吡哄根)(二新戊醯基甲烷根)銥(III)(縮寫：$[Ir(tppr)_2(dpm)]$)。此外，在本實施例中使用的第一有機化合物是 2mDBTPDBq-II。另外，在本實施例中使用的第二有機化合物是 NPB。以下示出在本實施例中使用的材料的化學式。另外，省略在上述實施例中使用的材料的化學式。




[Ir(tppr)$_2$(dpm)]

〈吸收光譜〉

圖 32A 和圖 32B 示出作爲磷光化合物的[Ir(tppr)$_2$(dpm)]的二氯甲烷溶液的紫外可見吸收光譜(以下，簡單地稱爲吸收光譜)。在吸收光譜的測量中使用紫外可見分光光度計(日本分光株式會社製造的 V-550 型)，將二氯甲烷溶液(0.094mmol/L)放在石英皿中，並在室溫下進行測量。

〈發射光譜〉

此外，圖 32A 和圖 32B 示出作爲第一有機化合物的 2mDBTPDBq-II 的薄膜的發射光譜(發射光譜 12)以及 2mDBTPDBq-II 和 NPB 的混合材料的薄膜的發射光譜(發射光譜 13)。在圖 32A 中，橫軸表示波長(nm)，而縱軸表示莫耳吸光係數 ε($M^{-1}\cdot cm^{-1}$)及發光強度(任意單位)。在圖 32B 中，橫軸表示能量(eV)，而縱軸表示莫耳吸光係數 ε($M^{-1}\cdot cm^{-1}$)及發光強度(任意單位)。

從圖 32A 的吸收光譜可知，[Ir(tppr)$_2$(dpm)]在 530nm 附近具有寬吸收帶。可以認爲該吸收帶是對發光貢獻很大的吸收帶。

與發射光譜 12 相比，發射光譜 13 的峰值位於較長波長(較低能量)一側。而且，發射光譜 13 的峰值與發射光

譜 12 的峰值相比位於離該吸收帶更近的位置。此外，作爲第二有機化合物的 NPB 的發射光譜的峰值被認爲位於 430nm 附近。由此，與 NPB 的發射光譜相比，發射光譜 13 的峰值位於長波長(較低能量)一側。而且，發射光譜 13 的峰值與 NPB 的發射光譜的峰值相比位於離該吸收帶更近的位置。從上述結果可知，與吸收光譜的對發光貢獻很大的吸收帶的重疊最大的發射光譜是發射光譜 13。明確而言，吸收光譜中的該吸收帶的峰值(530nm 附近的肩峰)與發射光譜 13 的峰值之間的差異爲 0.01eV。

與單體的發射光譜相比，2mDBTPDBq-II 和 NPB 的混合材料的發射光譜的峰值位於較長波長(較低能量)一側。從此可知，藉由混合 2mDBTPDBq-II 和 NPB，形成激基複合物。

該混合材料的發射光譜的峰值與[Ir(tppr)$_2$(dpm)]的吸收光譜中的可認爲對發光貢獻很大的吸收帶的重疊較大。因此，由於使用 2mDBTPDBq-II 和 NPB 的混合材料及[Ir(tppr)$_2$(dpm)]的發光元件利用該混合材料的發射光譜與磷光化合物的吸收光譜的重疊轉移能量，所以能量轉移效率高。從而，可以獲得外部量子效率高的發光元件。

實施例 10

在本實施例中，參照圖 15 說明本發明的一個方式的發光元件。由於在本實施例中使用的材料是在上述實施例中使用的材料，所以省略化學式。

以下示出本實施例的發光元件 7 及對比發光元件 8 的製造方法。

(發光元件 7)

共蒸鍍 2mDBTPDBq-II、NPB、[Ir(tppr)$_2$(dpm)]來形成發光元件 7 的發光層 1113。在此，將 2mDBTPDBq-II、NPB、[Ir(tppr)$_2$(dpm)]的重量比調節爲 0.8：0.2：0.05(=2mDBTPDBq-II：NPB：[Ir(tppr)$_2$(dpm)])。將發光層 1113 的厚度設定爲 40nm。除了發光層 1113 之外，採用與實施例 8 所示的發光元件 5 同樣的方式製造。

(對比發光元件 8)

對比發光元件 8 的發光層 1113 共蒸鍍 2mDBTPDBq-II 和[Ir(tppr)$_2$(dpm)]來形成。在此，將 2mDBTPDBq-II 和[Ir(tppr)$_2$(dpm)]的重量比調節爲 1：0.05(=2mDBTPDBq-II：[Ir(tppr)$_2$(dpm)])。將發光層 1113 的厚度設定爲 40nm。除了發光層 1113 之外，採用與實施例 8 所示的發光元件 5 同樣的方式製造。

表 9 示出藉由上述步驟獲得的發光元件 7 及對比發光元件 8 的元件結構。

[表9]

| | 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7 | ITSO 110 nm | DBT3P-II:MoOx (=4:2) 40 nm | BPAFLP 20 nm | 2mDBTPDBq-II:NPB:[Ir(tppr)$_2$(dpm)] (=0.8:0.2:0.05) 40 nm | 2mDBTPDBq-II 10 nm | BPhen 20 nm | LiF 1 nm | Al 200 nm |
| 對比發光元件8 | ITSO 110 nm | DBT3P-II:MoOx (=4:2) 40 nm | BPAFLP 20 nm | 2mDBTPDBq-II:[Ir(tppr)$_2$(dpm)] (=1:0.05) 40 nm | 2mDBTPDBq-II 10 nm | BPhen 20 nm | LiF 1 nm | Al 200 nm |

在氮氣圍的手套箱中，以不使發光元件暴露於大氣的方式對發光元件 7 及對比發光元件 8 進行密封，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℃的氣圍中)進行測量。

圖 33 示出發光元件 7 及對比發光元件 8 的電流密度-亮度特性。在圖 33 中，橫軸表示電流密度(mA/cm$^2$)，而縱軸表示亮度(cd/m$^2$)。另外，圖 34 示出電壓-亮度特性。在圖 34 中，橫軸表示電壓(V)，而縱軸表示亮度(cd/m$^2$)。另外，圖 35 示出亮度-電流效率特性。在圖 35 中，橫軸表示亮度(cd/m$^2$)，而縱軸表示電流效率(cd/A)。另外，圖 36 示出亮度-外部量子效率特性。在圖 36 中，橫軸表示亮度(cd/m$^2$)，而縱軸表示外部量子效率(%)。

此外，表 10 示出發光元件 7 及對比發光元件 8 在亮度大約 1000cd/m$^2$ 時的電壓(V)、電流密度(mA/cm$^2$)、CIE 色座標(x，y)、電流效率(cd/A)、功率效率(lm/W)和外部量子效率(%)。

[表10]

| | 電壓 (V) | 電流密度 (mA/cm$^2$) | 色座標 (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7 | 3.3 | 4.1 | (0.66, 0.34) | 1100 | 26 | 25 | 22 |
| 對比發光元件8 | 3.6 | 7.4 | (0.66, 0.34) | 1000 | 14 | 12 | 11 |

圖 37 示出在發光元件 7 及對比發光元件 8 中使 0.1mA 的電流流過時的發射光譜。在圖 37 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 10 所示那樣，1100cd/$m^2$ 的亮度下的發光元件 7 的 CIE 色座標爲(x，y)=(0.66，0.34)，1000cd/$m^2$ 的亮度下的對比發光元件 8 的 CIE 色座標爲(x，y)=(0.66，0.34)。從上述結果可知，發光元件 7 和對比發光元件 8 顯示來源於[$Ir(tppr)_2(dpm)$]的紅色光。

從表 10 及圖 33 至圖 36 可知，發光元件 7 的電流效率、功率效率、外部量子效率比對比發光元件 8 高。

在發光元件 7 中，將實施例 9 所示的 2mDBTPDBq-II、NPB 及[$Ir(tppr)_2(dpm)$]用於發光層。從實施例 9 可知，與 2mDBTPDBq-II 單體的發射光譜相比，2mDBTPDBq-II 和 NPB 的混合材料的發射光譜(激基複合物的發射光譜)與[$Ir(tppr)_2(dpm)$]的吸收光譜中的可認爲對發光貢獻很大的吸收帶重疊較大。發光元件 7 由於利用該重疊進行能量轉移，所以可以認爲能量轉移效率高，與對比發光元件 8 相比，外部量子效率較高。

從上述結果可知，藉由應用本發明的一個方式，可以實現外部量子效率高的元件。

接著，進行發光元件 7 及對比發光元件 8 的可靠性測試。圖 38 示出可靠性測試的結果。在圖 38 中，縱軸表示以初始亮度爲 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，將初始亮度設定爲 5000cd/$m^2$，並且在電流密度恆定的條件下驅動發光元件 7 及對比發光元件 8。

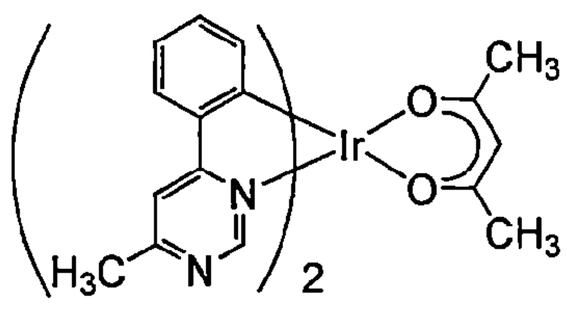
對比發光元件 8 的 97 小時後的亮度爲初始亮度的 63%。此外，發光元件 7 的 98 小時後的亮度爲初始亮度的 87%。從上述結果可知，發光元件 7 的壽命比對比發光元件 8 長。

從上述結果可知，藉由應用本發明的一個方式，可以實現可靠性高的元件。

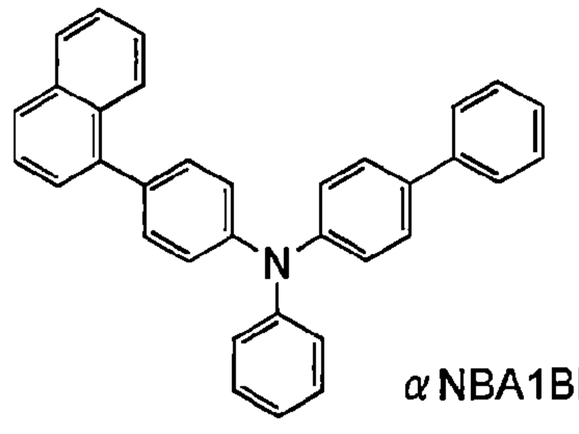
實施例 11

在本實施例中，參照圖 39A 和圖 39B 說明可以應用於本發明的一個方式的發光元件的第一有機化合物、第二有機化合物及磷光化合物的組合的一個例子。

在本實施例中使用的磷光化合物是(乙醯丙酮根)雙(6-甲基-4-苯基嘧啶根)銥(III)(縮寫：[Ir(mppm)$_2$(acac)])。此外，在本實施例中使用的第一有機化合物是 2mDBTPDBq-II。另外，在本實施例中使用的第二有機化合物是 PCBA1BP 及 4-(1-萘基)-4'-苯基三苯胺(縮寫：αNBA1BP)的兩種。以下示出在本實施例中使用的材料的化學式。另外，省略在上述實施例中使用的材料的化學式。




[Ir(mppm)$_2$(acac)]




αNBA1BP

〈吸收光譜〉

圖 39A 和圖 39B 示出作爲磷光化合物的[Ir(mppm)$_2$(acac)]的二氯甲烷溶液的紫外可見吸收光譜(以下，簡單地稱爲吸收光譜)。在吸收光譜的測量中使用紫外可見分光光度計(日本分光株式會社製造的 V-550 型)，將二氯甲烷溶液(0.10mmol/L)放在石英皿中，並在室溫下進行測量。

〈發射光譜〉

此外，圖 39A 和圖 39B 示出作爲第一有機化合物的 2mDBTPDBq-II 的薄膜的發射光譜(發射光譜 14)、作爲第二有機化合物的 PCBA1BP 的薄膜的發射光譜(發射光譜 15)、作爲第二有機化合物的 αNBA1BP 的薄膜的發射光譜(發射光譜 16)、2mDBTPDBq-II 和 PCBA1BP 的混合材料的薄膜的發射光譜(發射光譜 17)以及 2mDBTPDBq-II 和 αNBA1BP 的混合材料的薄膜的發射光譜(發射光譜 18)。在圖 39A 中，橫軸表示波長(nm)，而縱軸表示莫耳吸光係數 ε($M^{-1}\cdot cm^{-1}$)及發光強度(任意單位)。在圖 39B 中，橫軸表示能量(eV)，而縱軸表示莫耳吸光係數 ε($M^{-1}\cdot cm^{-1}$)及發光強度(任意單位)。

從圖 39A 的吸收光譜可知，[Ir(mppm)$_2$(acac)]在 490 nm 附近具有寬吸收帶。可以認爲該吸收帶是對發光貢獻很大的吸收帶。

與單體的發射光譜相比，2mDBTPDBq-II 和 PCBA1BP 的混合材料的發射光譜(發射光譜 17)的峰值、2mDBTPDBq-

II 和 αNBA1BP 的混合材料的發射光譜(發射光譜 18)的峰值分別位於長波長(低能量)一側。從此可知，藉由混合 2mDBTPDBq-II 和 PCBA1BP，形成激基複合物。此外，從此可知，藉由混合 2mDBTPDBq-II 和 αNBA1BP，形成激基複合物。

上述混合材料的發射光譜的峰值與[Ir(mppm)$_2$(acac)]的吸收光譜中的可認爲對發光貢獻很大的吸收帶的重疊較大。因此，由於使用 2mDBTPDBq-II 和 PCBA1BP 的混合材料及[Ir(mppm)$_2$(acac)]的發光元件、使用 2mDBTPDBq-II 和 αNBA1BP 的混合材料及[Ir(mppm)$_2$(acac)]的發光元件利用該混合材料的發射光譜與磷光化合物的吸收光譜的重疊轉移能量，所以能量轉移效率高。從而，可以獲得外部量子效率高的發光元件。

在此，與發射光譜 17 相比，發射光譜 18 的峰值位於較短波長(較高能量)一側。而且，發射光譜 18 的峰值與發射光譜 17 的峰值相比位於離該吸收帶更近的位置。明確而言，吸收光譜中的該吸收帶的峰值(490nm 附近的肩峰)與發射光譜 17 的峰值之間的差異爲 0.15eV，並且吸收光譜中的該吸收帶的峰值(490nm 附近的肩峰)與發射光譜 18 的峰值之間的差異爲 0.01eV。

發射光譜 17 的峰值與發射光譜 18 的峰值之間的差異可以認爲基於 PCBA1BP 的 HOMO 能階與 αNBA1BP 的 HOMO 能階之間的差異。明確而言，PCBA1BP 的 HOMO 能階爲-5.43eV，而 αNBA1BP 的 HOMO 能階爲-5.52eV(藉

由迴圈伏安法(CV)測定算出這些數值)。αNBA1BP 的 HOMO 能階比 PCBA1BP 的 HOMO 能階低(較深)，由此可以認爲與發射光譜 17 相比發射光譜 18 的峰值位於較短波長(較高能量)一側。

實施例 12

在本實施例中，參照圖 15 說明本發明的一個方式的發光元件。由於在本實施例中使用的材料是在上述實施例中使用的材料，所以省略化學式。

以下示出本實施例的發光元件 9 及發光元件 10 的製造方法。

(發光元件 9)

首先，在玻璃基板 1100 上藉由濺射法形成 ITSO，由此形成用作陽極的第一電極 1101。另外，將其厚度設定爲 110nm，且將其電極面積設定爲 2mm×2mm。

接著，作爲爲了在基板 1100 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 $10^{-4}$Pa 左右的真空蒸鍍裝置中，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 1100 進行 30 分鐘左右的冷卻。

接著，以使形成有第一電極 1101 的面成爲下面的方

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，並減壓到 $10^{-4}$Pa 左右，然後在第一電極 1101 上共蒸鍍 BPAFLP 和氧化鉬(VI)，從而形成電洞注入層 1111。將電洞注入層 1111 的厚度設定爲 40nm，將 BPAFLP 與氧化鉬的重量比調節爲 4：2(=BPAFLP：氧化鉬)。

接著，在電洞注入層 1111 上形成厚度爲 20nm 的 BPAFLP，來形成電洞傳輸層 1112。

再者，共蒸鍍 2mDBTPDBq-II、PCBA1BP、[Ir(mppm)$_2$(acac)]來在電洞傳輸層 1112 上形成發光層 1113。在此，將 2mDBTPDBq-II、PCBA1BP、[Ir(mppm)$_2$(acac)]的重量比調節爲 0.8：0.2：0.05(=2mDBTPDBq-II：PCBA1BP：[Ir(mppm)$_2$(acac)])。將發光層 1113 的厚度設定爲 40nm。

接著，在發光層 1113 上形成厚度爲 10nm 的 2mDBTPDBq-II 膜，來形成第一電子傳輸層 1114a。

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

然後，在第二電子傳輸層 1114b 上蒸鍍厚度爲 1nm 的 LiF 膜，來形成電子注入層 1115。

最後，作爲用作陰極的第二電極 1103，蒸鍍厚度爲 200nm 的鋁膜，而製造本實施例的發光元件 9。

(發光元件 10)

發光元件 10 的發光層 1113 共蒸鍍 2mDBTPDBq-II、

αNBA1BP、[Ir(mppm)$_2$(acac)]來形成。在此，將 2mDBTPDBq-II、αNBA1BP、[Ir(mppm)$_2$(acac)]的重量比調節爲 0.8：0.2：0.05(=2mDBTPDBq-II：αNBA1BP：[Ir(mppm)$_2$(acac)])。將發光層 1113 的厚度設定爲 40nm。除了發光層 1113 之外，採用與發光元件 9 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 11 示出藉由上述步驟獲得的發光元件 9 及發光元件 10 的元件結構。

[表11]

| | 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9 | ITSO 110 nm | BPAFLP:MoOx (=4:2) 40 nm | BPAFLP 20 nm | 2mDBTPDBq-II:PCBA1BP:[Ir(mppm)$_2$(acac)] (=0.8:0.2:0.05) 40 nm | 2mDBTPDBq-II 10 nm | BPhen 20 nm | LiF 1 nm | Al 200 nm |
| 發光元件10 | ITSO 110 nm | BPAFLP:MoOx (=4:2) 40 nm | BPAFLP 20 nm | 2mDBTPDBq-II:αNBA1BP:[Ir(mppm)$_2$(acac)] (=0.8:0.2:0.05) 40 nm | 2mDBTPDBq-II 10 nm | BPhen 20 nm | LiF 1 nm | Al 200 nm |

在氮氛圍的手套箱中，以不使發光元件暴露於大氣的方式對發光元件 9 及發光元件 10 進行密封，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 40 示出發光元件 9 及發光元件 10 的電流密度-亮度特性。在圖 40 中，橫軸表示電流密度(mA/cm$^2$)，而縱軸表示亮度(cd/m$^2$)。另外，圖 41 示出電壓-亮度特性。在圖 41 中，橫軸表示電壓(V)，而縱軸表示亮度(cd/m$^2$)。另外，圖 42 示出亮度-電流效率特性。在圖 42 中，橫軸表示亮度(cd/m$^2$)，而縱軸表示電流效率(cd/A)。另外，圖 43 示出亮度-外部量子效率特性。在圖 43 中，橫軸表示亮度

(cd/$m^2$)，而縱軸表示外部量子效率(%)。

此外，表 12 示出發光元件 9 及發光元件 10 在亮度大約 1000cd/$m^2$ 時的電壓(V)、電流密度(mA/$cm^2$)、CIE 色座標(x，y)、電流效率(cd/A)、功率效率(lm/W)和外部量子效率(%)。

[表12]

| | 電壓 (V) | 電流密度 (mA/$cm^2$) | 色座標 (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9 | 3.2 | 1.6 | (0.43, 0.56) | 1100 | 69 | 68 | 20 |
| 發光元件10 | 3.0 | 1.1 | (0.43, 0.56) | 860 | 75 | 79 | 21 |

圖 44 示出在發光元件 9 及發光元件 10 中使 0.1mA 的電流流過時的發射光譜。在圖 44 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 12 所示那樣，1100cd/$m^2$ 的亮度下的發光元件 9 的 CIE 色座標爲(x，y)=(0.43，0.56)，860cd/$m^2$ 的亮度下的發光元件 10 的 CIE 色座標爲(x，y)=(0.43，0.56)。從上述結果可知，發光元件 9 和發光元件 10 顯示來源於[Ir(mppm)$_2$(acac)]的黃綠色光。

從表 12 及圖 40 至圖 43 可知，發光元件 9 及發光元件 10 的電流效率、功率效率、外部量子效率分別較高。

在發光元件 9 及發光元件 10 中，將實施例 11 所示的 PCBA1BP 或 αNBA1BP、2mDBTPDBq-II、[Ir(mppm)$_2$(acac)]用於發光層。從實施例 11 可知，與 2mDBTPDBq-II 與 PCBA1BP 或 αNBA1BP 的混合材料的發射光譜(激基複合物的發射光譜)與[Ir(mppm)$_2$(acac)]的吸收光譜中的可認爲

對發光貢獻很大的吸收帶的重疊大。發光元件 9 及發光元件 10 由於利用該重疊進行能量轉移，所以可以認爲能量轉移效率高，且外部量子效率高。

從上述結果可知，藉由應用本發明的一個方式，可以實現外部量子效率高的元件。

接著，進行發光元件 9 及發光元件 10 的可靠性測試。圖 45 示出可靠性測試的結果。在圖 45 中，縱軸表示以初始亮度爲 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，將初始亮度設定爲 5000cd/$m^2$，並且在電流密度恆定的條件下驅動發光元件 9 及發光元件 10。

發光元件 9 的 260 小時後的亮度爲初始亮度的 74%。此外，發光元件 10 的 260 小時後的亮度爲初始亮度的 75%。從上述結果可知，發光元件 9 及發光元件 10 的壽命較長。

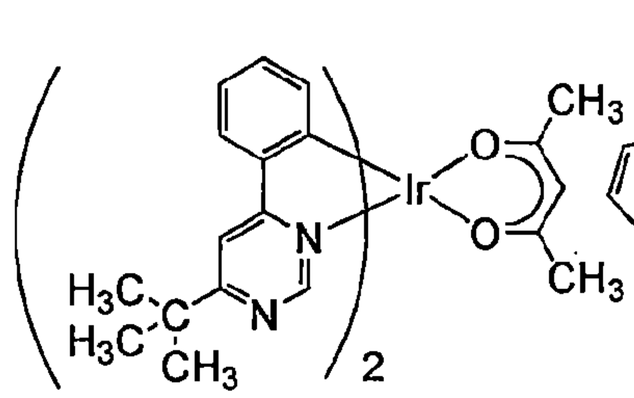
從上述結果可知，藉由應用本發明的一個方式，可以實現可靠性高的元件。

實施例 13

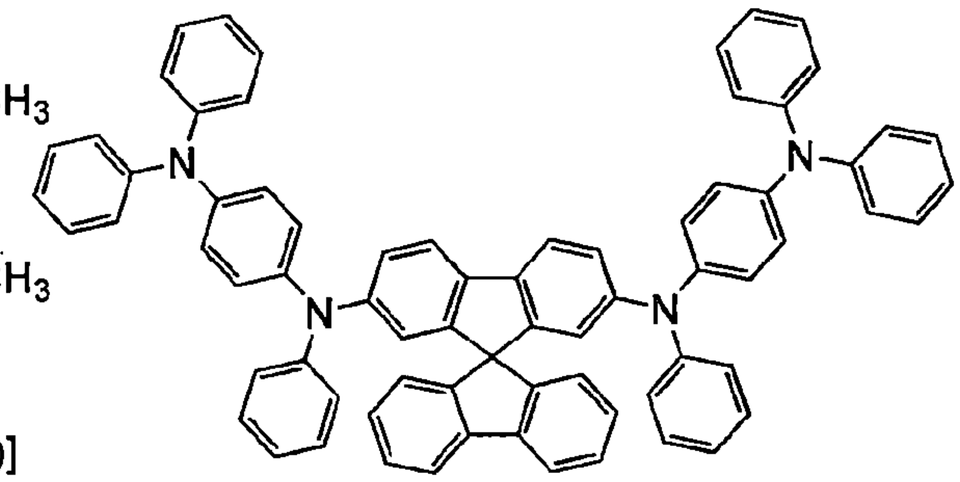
在本實施例中，參照圖 46A 和圖 46B 說明可以應用於本發明的一個方式的發光元件的第一有機化合物、第二有機化合物及磷光化合物的組合的一個例子。

在本實施例中使用的磷光化合物是(乙醯丙酮根)雙(6-

叔丁基-4-苯基嘧啶根)銥(III)(縮寫：[Ir(tBuppm)$_2$(acac)])。此外，在本實施例中使用的第一有機化合物是2mDBTPDBq-II。另外，在本實施例中使用的第二有機化合物是 NPB 及 2,7-雙[N-(二苯基胺基苯基)-N-苯基胺基]-螺環-9,9'-聯芴(縮寫：DPA2SF)的兩種。以下示出在本實施例中使用的材料的化學式。另外，省略在上述實施例中使用的材料的化學式。



[Ir(tBuppm)$_2$(acac)]



DPA2SF

〈吸收光譜〉

圖 46A 和圖 46B 示出作爲磷光化合物的[Ir(tBuppm)$_2$(acac)]的二氯甲烷溶液的紫外可見吸收光譜(以下，簡單地稱爲吸收光譜)。在吸收光譜的測量中使用紫外可見分光光度計(日本分光株式會社製造的 V-550 型)，將二氯甲烷溶液(0.093mmol/L)放在石英皿中，並在室溫下進行測量。

〈發射光譜〉

此外，圖 46A 和圖 46B 示出作爲第一有機化合物的2mDBTPDBq-II 的薄膜的發射光譜(發射光譜 19)、作爲第二有機化合物的 DPA2SF 的薄膜的發射光譜(發射光譜 20)、2mDBTPDBq-II 和 DPA2SF 的混合材料的薄膜的發射

光譜(發射光譜 21)以及 2mDBTPDBq-II 和 NPB 的混合材料的薄膜的發射光譜(發射光譜 22)。在圖 46A 中，橫軸表示波長(nm)，而縱軸表示莫耳吸光係數 ε($M^{-1}\cdot cm^{-1}$)及發光強度(任意單位)。在圖 46B 中，橫軸表示能量(eV)，而縱軸表示莫耳吸光係數 ε($M^{-1}\cdot cm^{-1}$)及發光強度(任意單位)。

從圖 46A 的吸收光譜可知，[Ir(tBuppm)$_2$(acac)]在 490nm 附近具有寬吸收帶。可以認爲該吸收帶是對發光貢獻很大的吸收帶。

與單體的發射光譜相比，2mDBTPDBq-II 和 DPA2SF 的混合材料的發射光譜(發射光譜 21)的峰值位於長波長(低能量)一側。從此可知，藉由混合 2mDBTPDBq-II 和 DPA2SF，形成激基複合物。

此外，已知 NPB 單體的發射光譜的峰值位於 430nm 附近。從圖 46A 可知，由於 2mDBTPDBq-II 和 NPB 的混合材料的發射光譜(發射光譜 22)的峰值位於比 430nm 長的波長一側，所以藉由混合 2mDBTPDBq-II 和 NPB，形成激基複合物。

上述混合材料的發射光譜的峰值與[Ir(tBuppm)$_2$(acac)]的吸收光譜中的可認爲對發光貢獻很大的吸收帶的重疊較大。因此，由於使用 2mDBTPDBq-II 和 DPA2SF 的混合材料及[Ir(tBuppm)$_2$(acac)]的發光元件、使用 2mDBTPDBq-II 和 NPB 的混合材料及[Ir(tBuppm)$_2$(acac)]的發光元件利用該混合材料的發射光譜與磷光化合物的吸收光譜的重疊轉移能量，所以能量轉移效率高。從而，可以獲得外部量子

效率高的發光元件。

在此，與發射光譜 21 相比，發射光譜 22 的峰值位於短波長(高能量)一側。而且，發射光譜 22 的峰值與發射光譜 21 的峰值相比位於離該吸收帶更近的位置。如上所述，從圖 46A 和圖 46B 可知，與吸收光譜的對發光貢獻很大的吸收帶重疊最大的發射光譜是發射光譜 22。明確而言，吸收光譜中的該吸收帶的峰值與發射光譜 21 的峰值之間的差異爲 0.39eV，並且吸收光譜中的該吸收帶的峰值與發射光譜 22 的峰值之間的差異爲 0.19eV。

發射光譜 21 的峰值與發射光譜 22 的峰值之間的差異可以認爲基於作爲第二有機化合物使用的 DPA2SF 的 HOMO 能階與 NPB 的 HOMO 能階之間的差異。明確而言，DPA2SF 的 HOMO 能階爲-5.09eV，而 NPB 的 HOMO 能階爲-5.38eV(藉由迴圈伏安法(CV)測定算出這些數值)。NPB 的 HOMO 能階比 DPA2SF 的 HOMO 能階低(較深)，由此可以認爲與發射光譜 21 相比發射光譜 22 的峰值位於較短波長(較高能量)一側。

如上所述，由於使用 2mDBTPDBq-II 和 NPB 的混合材料及[Ir(tBuppm)$_2$(acac)]的發光元件與使用 2mDBTPDBq-II 和 DPA2SF 的混合材料及[Ir(tBuppm)$_2$(acac)]的發光元件相比，利用該混合材料的發射光譜與磷光化合物的吸收光譜的更大的重疊而轉移能量，所以能量轉移效率更高。從而，可以獲得外部量子效率更高的發光元件。

此外，從本實施例可知，藉由只改變第二有機化合物

而不改變第一有機化合物，可以使第一有機化合物和第二有機化合物的混合材料的發射光譜與磷光化合物的吸收光譜的重疊大。換言之，在改變磷光化合物的發光顏色(吸收光譜的對發光貢獻很大的吸收帶的位置)的情況下，也只改變第二有機化合物，可以獲得使該重疊變大的組合，從而可以獲得外部量子效率高且壽命長的發光元件。

實施例 14

在本實施例中，參照圖 15 說明本發明的一個方式的發光元件。由於在本實施例中使用的材料是在上述實施例中使用的材料，所以省略化學式。

以下示出本實施例的發光元件 11 及發光元件 12 的製造方法。

(發光元件 11)

首先，在玻璃基板 1100 上藉由濺射法形成 ITSO，由此形成用作陽極的第一電極 1101。另外，將其厚度設定爲 110nm，且將其電極面積設定爲 2mm×2mm。

接著，作爲爲了在基板 1100 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 $10^{-4}$Pa 左右的真空蒸鍍裝置中，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 1100 進行 30

分鐘左右的冷卻。

接著，以使形成有第一電極 1101 的面成爲下面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，並減壓到 $10^{-4}$Pa 左右，然後在第一電極 1101 上共蒸鍍 DBT3P-II 和氧化鉬(VI)，從而形成電洞注入層 1111。將電洞注入層 1111 的厚度設定爲 40nm，將 DBT3P-II 與氧化鉬的重量比調節爲 4：2 (=DBT3P-II：氧化鉬)。

接著，在電洞注入層 1111 上形成厚度爲 20nm 的 BPAFLP，來形成電洞傳輸層 1112。

再者，共蒸鍍 2mDBTPDBq-II、DPA2SF、[Ir(tBuppm)$_2$(acac)]來在電洞傳輸層 1112 上形成發光層 1113。在此，將 2mDBTPDBq-II、DPA2SF、[Ir(tBuppm)$_2$(acac)]的重量比調節爲 0.8：0.2：0.05(=2mDBTPDBq-II：DPA2SF：[Ir(tBuppm)$_2$(acac)])。將發光層 1113 的厚度設定爲 40nm。

接著，在發光層 1113 上形成厚度爲 10nm 的 2mDBTPDBq-II 膜，來形成第一電子傳輸層 1114a。

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

然後，在第二電子傳輸層 1114b 上蒸鍍厚度爲 1nm 的 LiF 膜，來形成電子注入層 1115。

最後，作爲用作陰極的第二電極 1103，蒸鍍厚度爲 200nm 的鋁膜，而製造本實施例的發光元件 11。

(發光元件 12)

發光元件 12 的發光層 1113 共蒸鍍 2mDBTPDBq-II、NPB、[Ir(tBuppm)$_2$(acac)]來形成。在此，將 2mDBTPDBq-II、NPB、[Ir(tBuppm)$_2$(acac)]的重量比調節爲 0.8：0.2：0.05(=2mDBTPDBq-II：NPB：Ir(tBuppm)$_2$(acac)])。將發光層 1113 的厚度設定爲 40nm。除了發光層 1113 之外，採用與發光元件 11 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 13 示出藉由上述步驟獲得的發光元件 11 及發光元件 12 的元件結構。

[表13]

| | 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11 | ITSO<br>110 nm | DBT3P-II:MoOx<br>(=4:2)<br>40 nm | BPAFLP<br>20 nm | 2mDBTPDBq-II:DPA2SF:[Ir(tBuppm)$_2$(acac)]<br>(=0.8:0.2:0.05)<br>40 nm | 2mDBTPDBq-II<br>10 nm | BPhen<br>20 nm | LiF<br>1 nm | Al<br>200 nm |
| 發光元件12 | ITSO<br>110 nm | DBT3P-II:MoOx<br>(=4:2)<br>40 nm | BPAFLP<br>20 nm | 2mDBTPDBq-II:NPB:[Ir(tBuppm)$_2$(acac)]<br>(=0.8:0.2:0.05)<br>40 nm | 2mDBTPDBq-II<br>10 nm | BPhen<br>20 nm | LiF<br>1 nm | Al<br>200 nm |

在氮氛圍的手套箱中，以不使發光元件暴露於大氣的方式對發光元件 11 及發光元件 12 進行密封，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 47 示出發光元件 11 及發光元件 12 的電流密度-亮度特性。在圖 47 中，橫軸表示電流密度(mA/cm$^2$)，而縱軸表示亮度(cd/m$^2$)。另外，圖 48 示出電壓-亮度特性。在圖 48 中，橫軸表示電壓(V)，而縱軸表示亮度(cd/m$^2$)。另外，圖 49 示出亮度-電流效率特性。在圖 49 中，橫軸表

示亮度($cd/m^2$)，而縱軸表示電流效率(cd/A)。另外，圖 50 示出亮度-外部量子效率特性。在圖 50 中，橫軸表示亮度($cd/m^2$)，而縱軸表示外部量子效率(%)。

此外，表 14 示出發光元件 11 及發光元件 12 在亮度大約 $1000cd/m^2$ 時的電壓(V)、電流密度($mA/cm^2$)、CIE 色座標(x，y)、電流效率(cd/A)、功率效率(lm/W)和外部量子效率(%)。

[表14]

| | 電壓 (V) | 電流密度 ($mA/cm^2$) | 色座標 (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11 | 2.9 | 1.7 | (0.43, 0.56) | 890 | 52 | 56 | 15 |
| 發光元件12 | 2.8 | 1.0 | (0.42, 0.57) | 820 | 84 | 95 | 23 |

圖 51 示出在發光元件 11 及發光元件 12 中使 0.1mA 的電流流過時的發射光譜。在圖 51 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 14 所示那樣，$890cd/m^2$ 的亮度下的發光元件 11 的 CIE 色座標爲(x，y)=(0.43，0.56)，$820cd/m^2$ 的亮度下的發光元件 12 的 CIE 色座標爲(x，y)=(0.42，0.57)。從上述結果可知，發光元件 11 和發光元件 12 顯示來源於[$Ir(tBuppm)_2(acac)$]的黃綠色光。

從表 14 及圖 47 至圖 50 可知，發光元件 11 及發光元件 12 的電流效率、功率效率、外部量子效率分別較高。

在發光元件 11 及發光元件 12 中，將實施例 13 所示的 DPA2SF 或 NPB、2mDBTPDBq-II、[$Ir(tBuppm)_2(acac)$]用於發光層。從實施例 13 可知，2mDBTPDBq-II 與

DPA2SF 或 NPB 的混合材料的發射光譜(激基複合物的發射光譜)與[Ir(tBuppm)$_2$(acac)]的吸收光譜中的可認爲對發光貢獻很大的吸收帶的重疊大。發光元件 11 及發光元件 12 由於利用該重疊進行能量轉移，所以可以認爲能量轉移效率高，且外部量子效率高。尤其是，2mDBTPDBq-II 和 NPB 的混合材料的發射光譜與 2mDBTPDBq-II 和 DPA2SF 的混合材料的發射光譜相比與該吸收帶的重疊大。因此，可以認爲發光元件 12 由於利用該大重疊轉移能量，所以與發光元件 11 相比能量轉移效率高，且外部量子效率高。此外，從參照實施例 13 的結果可知，激基複合物的發射光譜的峰值的能值與吸收光譜的最低能量一側的吸收帶的峰值的能值之間的差異較佳爲 0.3eV 以內。

在本實施例中，藉由只改變第二有機化合物(使用 NPB 代替 DPA2SF)而不改變第一有機化合物(相當於 2mDBTPDBq-II)，可以獲得外部量子效率更高的發光元件。

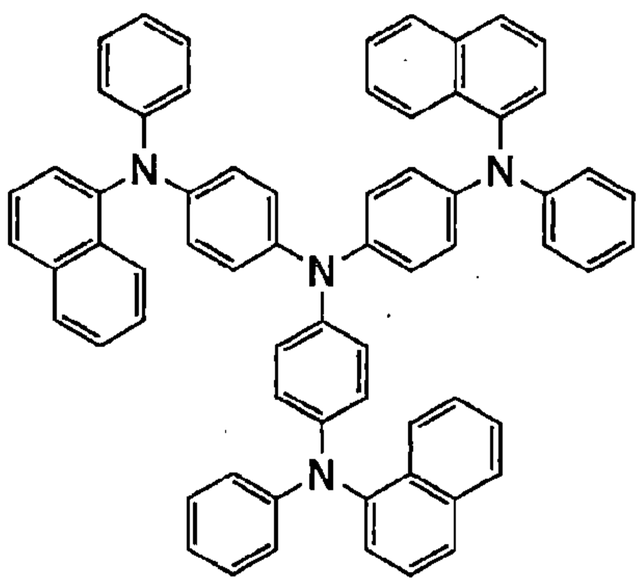
從上述結果可知，藉由應用本發明的一個方式，可以實現外部量子效率高的元件。

實施例 15

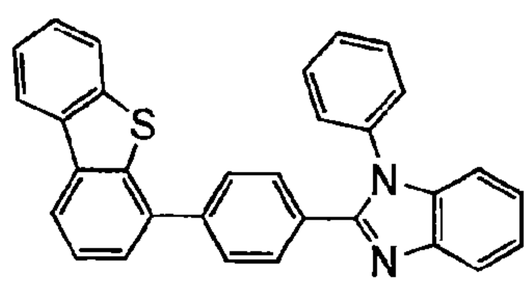
在本實施例中，參照圖 52A 和圖 52B 說明可以應用於本發明的一個方式的發光元件的第一有機化合物、第二有機化合物及磷光化合物的組合的一個例子。

在本實施例中使用的磷光化合物是[Ir(mppr-Me)$_2$(dpm)]。

另外，在本實施例中使用的第一有機化合物是 2mDBTPDBq-II 及 2-[4-(二苯並噻吩-4-基)苯基]-1-苯基-1H-苯並咪唑(縮寫：DBTBIm-II)的兩種。此外，在本實施例中使用的第二有機化合物是 4,4',4"-三[N-(1-萘基)-N-苯基胺基]三苯胺(縮寫：1'-TNATA)。以下示出在本實施例中使用的材料的化學式。另外，省略在上述實施例中使用的材料的化學式。



1'-TNATA



DBTBIm-II

〈吸收光譜〉

圖 52A 和圖 52B 示出作爲磷光化合物的[Ir(mppr-Me)$_2$(dpm)]的二氯甲烷溶液的紫外可見吸收光譜(以下，簡單地稱爲吸收光譜)。在吸收光譜的測量中使用紫外可見分光光度計(日本分光株式會社製造的 V-550 型)，將二氯甲烷溶液(0.093mmol/L)放在石英皿中，並在室溫下進行測量。

〈發射光譜〉

此外，圖 52A 和圖 52B 示出作爲第一有機化合物的 2mDBTPDBq-II 的薄膜的發射光譜(發射光譜 23)、作爲第一有機化合物的 DBTBIm-II 的薄膜的發射光譜(發射光譜 24)、作爲第二有機化合物的 1'-TNATA 的薄膜的發射光

譜(發射光譜 25)、2mDBTPDBq-II 和 1'-TNATA 的混合材料的薄膜的發射光譜(發射光譜 26)、DBTBIm-II 和 1'-TNATA 的混合材料的薄膜的發射光譜(發射光譜 27)。在圖 52A 中，橫軸表示波長(nm)，而縱軸表示莫耳吸光係數 $\varepsilon(M^{-1}\cdot cm^{-1})$及發光強度(任意單位)。在圖 52B 中，橫軸表示能量(eV)，而縱軸表示莫耳吸光係數 $\varepsilon(M^{-1}\cdot cm^{-1})$及發光強度(任意單位)。

從圖 52A 的吸收光譜可知，$[Ir(mppr\text{-}Me)_2(dpm)]$在 520nm 附近具有寬吸收帶。可以認爲該吸收帶是對發光貢獻很大的吸收帶。

與單體的發射光譜相比，2mDBTPDBq-II 和 1'-TNATA 的混合材料的發射光譜(發射光譜 26)的峰值、DBTBIm-II 和 1'-TNATA 的混合材料的發射光譜(發射光譜 27)的峰值分別位於長波長(低能量)一側。從此可知，藉由混合 2mDBTPDBq-II 和 1'-TNATA，形成激基複合物。此外，藉由混合 DBTBIm-II 和 1'-TNATA，形成激基複合物。

上述混合材料的發射光譜的峰值與$[Ir(mppr\text{-}Me)_2(dpm)]$的吸收光譜中的可認爲對發光貢獻很大的吸收帶的重疊較大。因此，由於使用 2mDBTPDBq-II 和 1'-TNATA 的混合材料及$[Ir(mppr\text{-}Me)_2(dpm)]$的發光元件、使用 DBTBIm-II 和 1'-TNATA 的混合材料及$[Ir(mppr\text{-}Me)_2(dpm)]$的發光元件利用該混合材料的發射光譜與磷光化合物的吸收光譜的重疊轉移能量，所以能量轉移效率高。從而，可以獲得外

部量子效率高的發光元件。

在此，與發射光譜 26 相比，發射光譜 27 的峰值位於較短波長(較高能量)一側。而且，發射光譜 27 的峰值與發射光譜 26 的峰值相比位於離該吸收帶更近的位置。如上所述，從圖 52A 和圖 52B 可知，與吸收光譜的對發光貢獻很大的吸收帶重疊最大的發射光譜是發射光譜 27。明確而言，該吸收帶的吸收光譜的峰值(520nm 附近的肩峰)與發射光譜 26 的峰值之間的差異爲 0.35eV，並且該吸收帶的吸收光譜的峰值(520nm 附近的肩峰)與發射光譜 27 的峰值之間的差異爲 0.01eV。

發射光譜 26 的峰值與發射光譜 27 的峰值之間的差異可以認爲基於作爲第一有機化合物使用的 2mDBTPDBq-II 的 LUMO 能階與 DBTBIm-II 的 LUMO 能階之間的差異。明確而言，2mDBTPDBq-II 的 LUMO 能階爲-2.95eV，而 DBTBIm-II 的 LUMO 能階爲-2.52eV(藉由迴圈伏安法(CV)測定算出這些數值)。DBTBIm-II 的 LUMO 能階比 2mDBTPDBq-II 的 LUMO 能階較高(較淺)，由此即使與 HOMO 能階高的 1'-TNATA 混合也混合材料的發射光譜的峰值不位於太長波長(換言之，與發射光譜 26 相比，發射光譜 27 的峰值位於短波長一側)。

如上所述，由於使用 DBTBIm-II 和 1'-TNATA 的混合材料及[Ir(mppr-Me)$_2$(dpm)]的發光元件與使用 2mDBTPDBq-II 和 1'-TNATA 的混合材料及[Ir(mppr-Me)$_2$(dpm)]的發光元件相比，利用該混合材料的發射光譜與磷光化合物的吸收光譜

的更大的重疊而轉移能量，所以能量轉移效率更高。從而，可以獲得外部量子效率更高的發光元件。

此外，從本實施例可知，藉由只改變第一有機化合物而不改變第二有機化合物，可以使第一有機化合物和第二有機化合物的混合材料的發射光譜與磷光化合物的吸收光譜的重疊大。換言之，在改變磷光化合物的發光顏色(吸收光譜的對發光貢獻很大的吸收帶的位置)的情況下，也只改變第一有機化合物，可以獲得使該重疊變大的組合，從而可以獲得外部量子效率高且壽命長的發光元件。

實施例 16

在本實施例中，參照圖 15 說明本發明的一個方式的發光元件。由於在本實施例中使用的材料是在上述實施例中使用的材料，所以省略化學式。

以下示出本實施例的發光元件 13 及發光元件 14 的製造方法。

(發光元件 13)

首先，在玻璃基板 1100 上藉由濺射法形成 ITSO，由此形成用作陽極的第一電極 1101。另外，將其厚度設定爲 110nm，且將其電極面積設定爲 2mm×2mm。

接著，作爲爲了在基板 1100 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 $10^{-4}$Pa 左右的真空蒸鍍裝置中，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 1100 進行 30 分鐘左右的冷卻。

接著，以使形成有第一電極 1101 的面成爲下面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，並減壓到 $10^{-4}$Pa 左右，然後在第一電極 1101 上共蒸鍍 BPAFLP 和氧化鉬(VI)，從而形成電洞注入層 1111。將電洞注入層 1111 的厚度設定爲 40nm，將 BPAFLP 與氧化鉬的重量比調節爲 4：2 (=BPAFLP：氧化鉬)。

接著，在電洞注入層 1111 上形成厚度爲 20nm 的 BPAFLP，來形成電洞傳輸層 1112。

再者，共蒸鍍 2mDBTPDBq-II、1'-TNATA、[Ir(mppr-Me)$_2$(dpm)]來在電洞傳輸層 1112 上形成發光層 1113。在此，將 2mDBTPDBq-II、1'-TNATA、[Ir(mppr-Me)$_2$(dpm)]的重量比調節爲 0.8：0.2：0.05(=2mDBTPDBq-II：1'-TNATA：[Ir(mppr-Me)$_2$(dpm)])。將發光層 1113 的厚度設定爲 20nm。

接著，在發光層 1113 上形成厚度爲 30nm 的 2mDBTPDBq-II 膜，來形成第一電子傳輸層 1114a。

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

然後，在第二電子傳輸層 1114b 上蒸鍍厚度爲 1nm

的 LiF 膜，來形成電子注入層 1115。

最後，作爲用作陰極的第二電極 1103，蒸鍍厚度爲 200nm 的鋁膜，而製造本實施例的發光元件 13。

(發光元件 14)

發光元件 14 的發光層 1113 共蒸鍍 DBTBIm-II、1'-TNATA、[Ir(mppr-Me)$_2$(dpm)]來形成。在此，將 DBTBIm-II、1'-TNATA、[Ir(mppr-Me)$_2$(dpm)]的重量比調節爲 0.8：0.2：0.05(=DBTBIm-II：1'-TNATA：Ir(mppr-Me)$_2$(dpm)])。將發光層 1113 的厚度設定爲 20nm。

發光元件 14 的第一電子傳輸層 1114a 使用厚度爲 30nm 的 DBTBIm-II 形成。除了發光層 1113 及第一電子傳輸層 1114a 之外，採用與發光元件 13 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 15 示出藉由上述步驟獲得的發光元件 13 及發光元件 14 的元件結構。

[表15]

| | 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13 | ITSO 110 nm | BPAFLP:MoOx (=4:2) 40 nm | BPAFLP 20 nm | 2mDBTPDBq-II:1'-TNATA:[Ir(mppr-Me)$_2$(dpm)] (=0.8:0.2:0.05) 20 nm | 2mDBTPDBq-II 30 nm | BPhen 20 nm | LiF 1 nm | Al 200 nm |
| 發光元件14 | ITSO 110 nm | BPAFLP:MoOx (=4:2) 40 nm | BPAFLP 20 nm | DBTBIm-II:1'-TNATA:[Ir(mppr-Me)$_2$(dpm)] (=0.8:0.2:0.05) 20 nm | DBTBIm-II 30 nm | BPhen 20 nm | LiF 1 nm | Al 200 nm |

在氮氛圍的手套箱中，以不使發光元件暴露於大氣的方式對發光元件 13 及發光元件 14 進行密封，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 53 示出發光元件 13 及發光元件 14 的電流密度-亮度特性。在圖 53 中，橫軸表示電流密度($mA/cm^2$)，而縱軸表示亮度($cd/m^2$)。另外，圖 54 示出電壓-亮度特性。在圖 54 中，橫軸表示電壓(V)，而縱軸表示亮度($cd/m^2$)。另外，圖 55 示出亮度-電流效率特性。在圖 55 中，橫軸表示亮度($cd/m^2$)，而縱軸表示電流效率(cd/A)。另外，圖 56 示出亮度-外部量子效率特性。在圖 56 中，橫軸表示亮度($cd/m^2$)，而縱軸表示外部量子效率(%)。

此外，表 16 示出發光元件 13 及發光元件 14 在亮度 $860cd/m^2$ 時的電壓(V)、電流密度($mA/cm^2$)、CIE 色座標(x，y)、電流效率(cd/A)、功率效率(lm/W)和外部量子效率(%)。

[表16]

| | 電壓 (V) | 電流密度 ($mA/cm^2$) | 色座標 (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13 | 3.1 | 2.9 | (0.53, 0.46) | 860 | 29 | 30 | 11 |
| 發光元件14 | 3.8 | 1.5 | (0.53, 0.46) | 860 | 58 | 48 | 21 |

圖 57 示出在發光元件 13 及發光元件 14 中使 0.1mA 的電流流過時的發射光譜。在圖 57 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 16 所示那樣，$860cd/m^2$ 的亮度下的發光元件 13 及發光元件 14 的 CIE 色座標爲(x，y)=(0.53，0.46)。從上述結果可知，發光元件 13 和發光元件 14 顯示來源於 $[Ir(mppr\text{-}Me)_2(dpm)]$ 的橙色光。

從表 16 及圖 53 至圖 56 可知，發光元件 13 及發光元

件 14 的電流效率、功率效率、外部量子效率分別較高。

在發光元件 13 及發光元件 14 中，將實施例 15 所示的 2mDBTPDBq-II 或 DBTBIm-II、1'-TNATA、[Ir(mppr-Me)$_2$(dpm)]用於發光層。從實施例 15 可知，2mDBTPDBq-II 或 DBTBIm-II 與 1'-TNATA 的混合材料的發射光譜(激基複合物的發射光譜)與[Ir(mppr-Me)$_2$(dpm)]的吸收光譜中的可認爲對發光貢獻很大的吸收帶的重疊大。發光元件 13 及發光元件 14 由於利用該重疊進行能量轉移，所以可以認爲能量轉移效率高，且外部量子效率高。尤其是，DBTBIm-II 和 1'-TNATA 的混合材料的發射光譜與 2mDBTPDBq-II 和 1'-TNATA 的混合材料的發射光譜相比與該吸收帶的重疊大。因此，可以認爲發光元件 14 由於利用該大重疊轉移能量，所以與發光元件 13 相比能量轉移效率高，且外部量子效率高。此外，從參照實施例 15 的結果可知，激基複合物的發射光譜的峰值的能值與吸收光譜的最低能量一側的吸收帶的峰值的能值之間的差異較佳爲 0.3eV 以內。

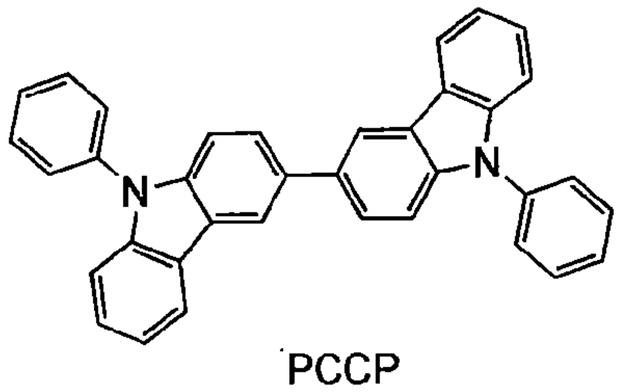
在本實施例中，藉由只改變第一有機化合物(使用 DBTBIm-II 代替 2mDBTPDBq-II)而不改變第二有機化合物(相當於 1'-TNATA)，可以獲得外部量子效率更高的發光元件。

從上述結果可知，藉由應用本發明的一個方式，可以實現外部量子效率高的元件。

實施例 17

在本實施例中，參照圖 58A 和圖 58B 說明可以應用於本發明的一個方式的發光元件的第一有機化合物、第二有機化合物及磷光化合物的組合的一個例子。

在本實施例中使用的磷光化合物是[Ir(mppr-Me)$_2$(dpm)]。另外，在本實施例中使用的第一有機化合物是 2mDBTPDBq-II。此外，在本實施例中使用的第二有機化合物是 PCBNBB 及 9-苯基-9H-3-(9-苯基-9H-咔唑-3-基)咔唑(縮寫：PCCP)的兩種。以下示出在本實施例中使用的材料的化學式。另外，省略在上述實施例中使用的材料的化學式。



PCCP

〈吸收光譜〉

圖 58A 和圖 58B 示出作爲磷光化合物的[Ir(mppr-Me)$_2$(dpm)]的二氯甲烷溶液的紫外可見吸收光譜(以下，簡單地稱爲吸收光譜)。在吸收光譜的測量中使用紫外可見分光光度計(日本分光株式會社製造的 V-550 型)，將二氯甲烷溶液(0.093mmol/L)放在石英皿中，並在室溫下進行測量。

〈發射光譜〉

此外，圖 58A 和圖 58B 示出作爲第一有機化合物的 2mDBTPDBq-II 的薄膜的發射光譜(發射光譜 28)、作爲第

二有機化合物的 PCBNBB 的薄膜的發射光譜(發射光譜 29)、作爲第二有機化合物的 PCCP 的薄膜的發射光譜(發射光譜 30)、2mDBTPDBq-II 和 PCBNBB 的混合材料的薄膜的發射光譜(發射光譜 31)、2mDBTPDBq-II 和 PCCP 的混合材料的薄膜的發射光譜(發射光譜 32)。在圖 58A 中，橫軸表示波長(nm)，而縱軸表示莫耳吸光係數 $\varepsilon(M^{-1}\cdot cm^{-1})$及發光強度(任意單位)。在圖 58B 中，橫軸表示能量(eV)，而縱軸表示莫耳吸光係數 $\varepsilon(M^{-1}\cdot cm^{-1})$及發光強度(任意單位)。

從圖 58A 的吸收光譜可知，$[Ir(mppr\text{-}Me)_2(dpm)]$在 500nm 附近具有寬吸收帶。可以認爲該吸收帶是對發光貢獻很大的吸收帶。

與單體的發射光譜相比，2mDBTPDBq-II 和 PCBNBB 的混合材料的發射光譜(發射光譜 31)的峰值、2mDBTPDBq-II 和 PCCP 的混合材料的發射光譜(發射光譜 32)的峰值分別位於長波長(低能量)一側。從此可知，藉由混合 2mDBTPDBq-II 和 PCBNBB，形成激基複合物。此外，藉由混合 2mDBTPDBq-II 和 PCCP，形成激基複合物。

上述混合材料的發射光譜的峰值與$[Ir(mppr\text{-}Me)_2(dpm)]$的吸收光譜中的可認爲對發光貢獻很大的吸收帶的重疊較大。因此，由於使用 2mDBTPDBq-II 和 PCBNBB 的混合材料及$[Ir(mppr\text{-}Me)_2(dpm)]$的發光元件、使用 2mDBTPDBq-II 和 PCCP 的混合材料及$[Ir(mppr\text{-}Me)_2(dpm)]$的發光元件利用該混合材料的發射光譜與磷光化合物的吸收光譜的重疊

轉移能量，所以能量轉移效率高。從而，可以獲得外部量子效率高的發光元件。

此外，從本實施例可知，作爲形成激基複合物的第一有機化合物和第二有機化合物中的一方，除了芳香胺化合物以外還可以使用咔唑化合物。

實施例 18

在本實施例中，參照圖 15 說明本發明的一個方式的發光元件。由於在本實施例中使用的材料是在上述實施例中使用的材料，所以省略其之化學式。

以下示出本實施例的發光元件 15 及發光元件 16 的製造方法。

(發光元件 15)

首先，在玻璃基板 1100 上藉由濺射法形成 ITSO，由此形成用作陽極的第一電極 1101。另外，將其厚度設定爲 110nm，且將其電極面積設定爲 2mm×2mm。

接著，作爲爲了在基板 1100 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 $10^{-4}$Pa 左右的真空蒸鍍裝置中，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 1100 進行 30 分鐘左右的冷卻。

接著，以使形成有第一電極 1101 的面成爲下面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，並減壓到 $10^{-4}$Pa 左右，然後在第一電極 1101 上共蒸鍍 BPAFLP 和氧化鉬(VI)，從而形成電洞注入層 1111。將電洞注入層 1111 的厚度設定爲 40nm，將 BPAFLP 與氧化鉬的重量比調節爲 4：2 (=BPAFLP：氧化鉬)。

接著，在電洞注入層 1111 上形成厚度爲 20nm 的 BPAFLP，來形成電洞傳輸層 1112。

再者，共蒸鍍 2mDBTPDBq-II、PCBNBB、[Ir(mppr-Me)$_2$(dpm)]來在電洞傳輸層 1112 上形成發光層 1113。在此，將 2mDBTPDBq-II、PCBNBB、[Ir(mppr-Me)$_2$(dpm)]的重量比調節爲 0.8：0.2：0.05(=2mDBTPDBq-II：PCBNBB：[Ir(mppr-Me)$_2$(dpm)])。將發光層 1113 的厚度設定爲 20nm。

接著，在發光層 1113 上共蒸鍍 2mDBTPDBq-II、PCBNBB、[Ir(mppr-Me)$_2$(dpm)]，在發光層 1113 上形成第一電子傳輸層 1114a。在此，將 2mDBTPDBq-II、PCBNBB、[Ir(mppr-Me)$_2$(dpm)]的重量比調節爲 0.8：0.2：0.05 (=2mDBTPDBq-II：PCBNBB：[Ir(mppr-Me)$_2$(dpm)])。此外，將第一電子傳輸層 1114a 的厚度設定爲 40nm。

接著，在第一電子傳輸層 1114a 上形成厚度爲 10nm 的 BPhen 膜，來形成第二電子傳輸層 1114b。

然後，在第二電子傳輸層 1114b 上蒸鍍厚度爲 1nm 的 LiF 膜，來形成電子注入層 1115。

最後，作爲用作陰極的第二電極 1103，蒸鍍厚度爲 200nm 的鋁膜，而製造本實施例的發光元件 15。

(發光元件 16)

發光元件 16 的發光層 1113 共蒸鍍 2mDBTPDBq-II、PCCP、[Ir(mppr-Me)$_2$(dpm)]來形成。在此，將 2mDBTPDBq-II、PCCP、[Ir(mppr-Me)$_2$(dpm)]的重量比調節爲 0.8：0.2：0.05(=2mDBTPDBq-II：PCCP：Ir(mppr-Me)$_2$(dpm)]。將發光層 1113 的厚度設定爲 20nm。除了發光層 1113 之外，採用與發光元件 15 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 17 示出藉由上述步驟獲得的發光元件 15 及發光元件 16 的元件結構。

[表17]

| | 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15 | ITSO 110 nm | BPAFLP:MoOx (=4:2) 40 nm | BPAFLP 20 nm | 2mDBTPDBq-II:PCBNBB:[Ir(mppr-Me)$_2$(dpm)] (=0.8:0.2:0.05) 20 nm | 2mDBTPDBq-II:PCBNBB:[Ir(mppr-Me)$_2$(dpm)] (=0.8:0.2:0.05) 40 nm | BPhen 10 nm | LiF 1 nm | Al 200 nm |
| 發光元件16 | ITSO 110 nm | BPAFLP:MoOx (=4:2) 40 nm | BPAFLP 20 nm | 2mDBTPDBq-II:PCCP:[Ir(mppr-Me)$_2$(dpm)] (=0.8:0.2:0.05) 20 nm | 2mDBTPDBq-II:PCBNBB:[Ir(mppr-Me)$_2$(dpm)] (=0.8:0.2:0.05) 40 nm | BPhen 10 nm | LiF 1 nm | Al 200 nm |

在氮氛圍的手套箱中，以不使發光元件暴露於大氣的方式對發光元件 15 及發光元件 16 進行密封，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 59 示出發光元件 15 及發光元件 16 的電流密度-亮度特性。在圖 59 中，橫軸表示電流密度(mA/cm$^2$)，而縱

軸表示亮度($cd/m^2$)。另外，圖 60 示出電壓-亮度特性。在圖 60 中，橫軸表示電壓(V)，而縱軸表示亮度($cd/m^2$)。另外，圖 61 示出亮度-電流效率特性。在圖 61 中，橫軸表示亮度($cd/m^2$)，而縱軸表示電流效率(cd/A)。另外，圖 62 示出亮度-外部量子效率特性。在圖 62 中，橫軸表示亮度($cd/m^2$)，而縱軸表示外部量子效率(%)。

此外，表 18 示出發光元件 15 及發光元件 16 在亮度 $1200cd/m^2$ 時的電壓(V)、電流密度($mA/cm^2$)、CIE 色座標(x，y)、電流效率(cd/A)、功率效率(lm/W)和外部量子效率(%)。

[表18]

| | 電壓 (V) | 電流密度 ($mA/cm^2$) | 色座標 (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15 | 3.0 | 1.7 | (0.54, 0.45) | 1200 | 67 | 70 | 24 |
| 發光元件16 | 3.0 | 1.7 | (0.54, 0.46) | 1200 | 69 | 72 | 24 |

圖 63 示出在發光元件 15 及發光元件 16 中使 0.1mA 的電流流過時的發射光譜。在圖 63 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 18 所示那樣，$1200cd/m^2$ 的亮度下的發光元件 15 的 CIE 色座標爲(x，y)=(0.54，0.45)，$1200cd/m^2$ 的亮度下的發光元件 16 的 CIE 色座標爲(x，y)=(0.54，0.46)。從上述結果可知，發光元件 15 和發光元件 16 顯示來源於[$Ir(mppr\text{-}Me)_2(dpm)$]的橙色光。

從表 18 及圖 59 至圖 62 可知，發光元件 15 及發光元件 16 的電流效率、功率效率、外部量子效率分別較高。

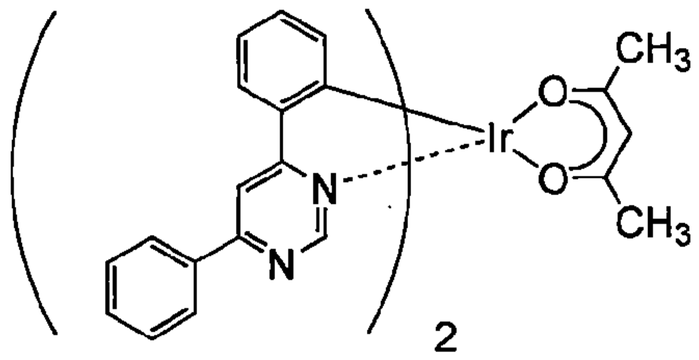
在發光元件 15 及發光元件 16 中，將實施例 17 所示的 2mDBTPDBq-II、PCBNBB 或 PCCP、[Ir(mppr-Me)$_2$(dpm)]用於發光層。從實施例 17 可知，與 2mDBTPDBq-II、PCBNBB 或 PCCP 的混合材料的發射光譜(激基複合物的發射光譜)與[Ir(mppr-Me)$_2$(dpm)]的吸收光譜中的可認爲對發光貢獻很大的吸收帶的重疊大。發光元件 15 及發光元件 16 由於利用該重疊進行能量轉移，所以可以認爲能量轉移效率高，且外部量子效率高。

此外，從本實施例可知，除了芳香胺化合物(PCBNBB)以外，還可以使用咔唑化合物(PCCP)形成激基複合物，且可以獲得外部量子效率高的發光元件。

從上述結果可知，藉由應用本發明的一個方式，可以實現外部量子效率高的元件。

(參考例 1)

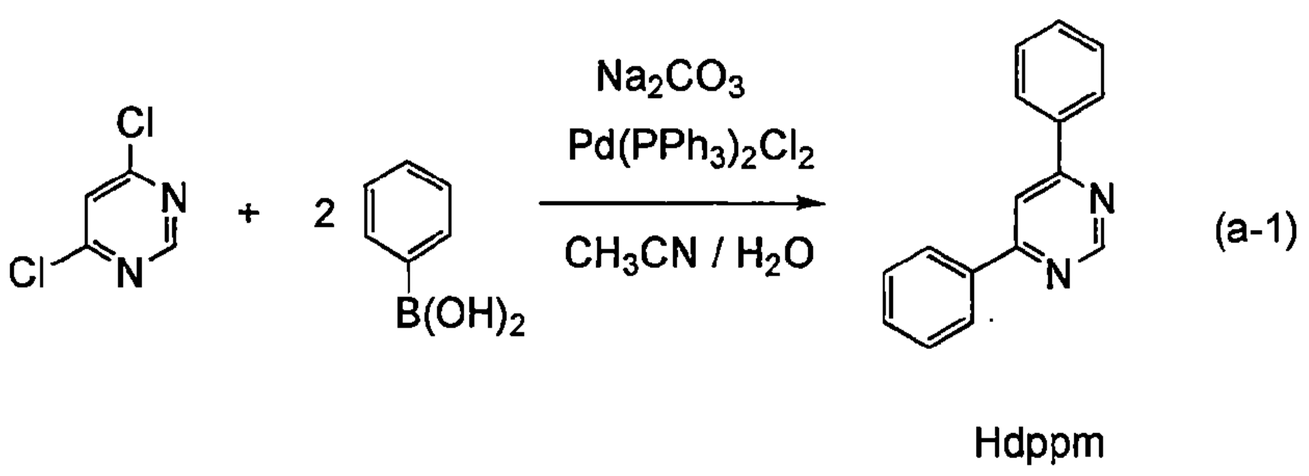
以下，示出在上述實施例中使用的有機金屬錯合物，即(乙醯丙酮根)雙(4,6-二苯基嘧啶根)銥(III)(別稱：雙[2-(6-苯基-4-嘧啶基-κN3)苯基-κC](2,4-戊二酮-κ$^2$O,O')銥(III))(縮寫：[Ir(dppm)$_2$(acac)])的合成例。以下，示出[Ir(dppm)$_2$(acac)]的結構。




[Ir(dppm)$_2$(acac)]

〈步驟 1：4,6-二苯基嘧啶(縮寫：Hdppm)的合成〉

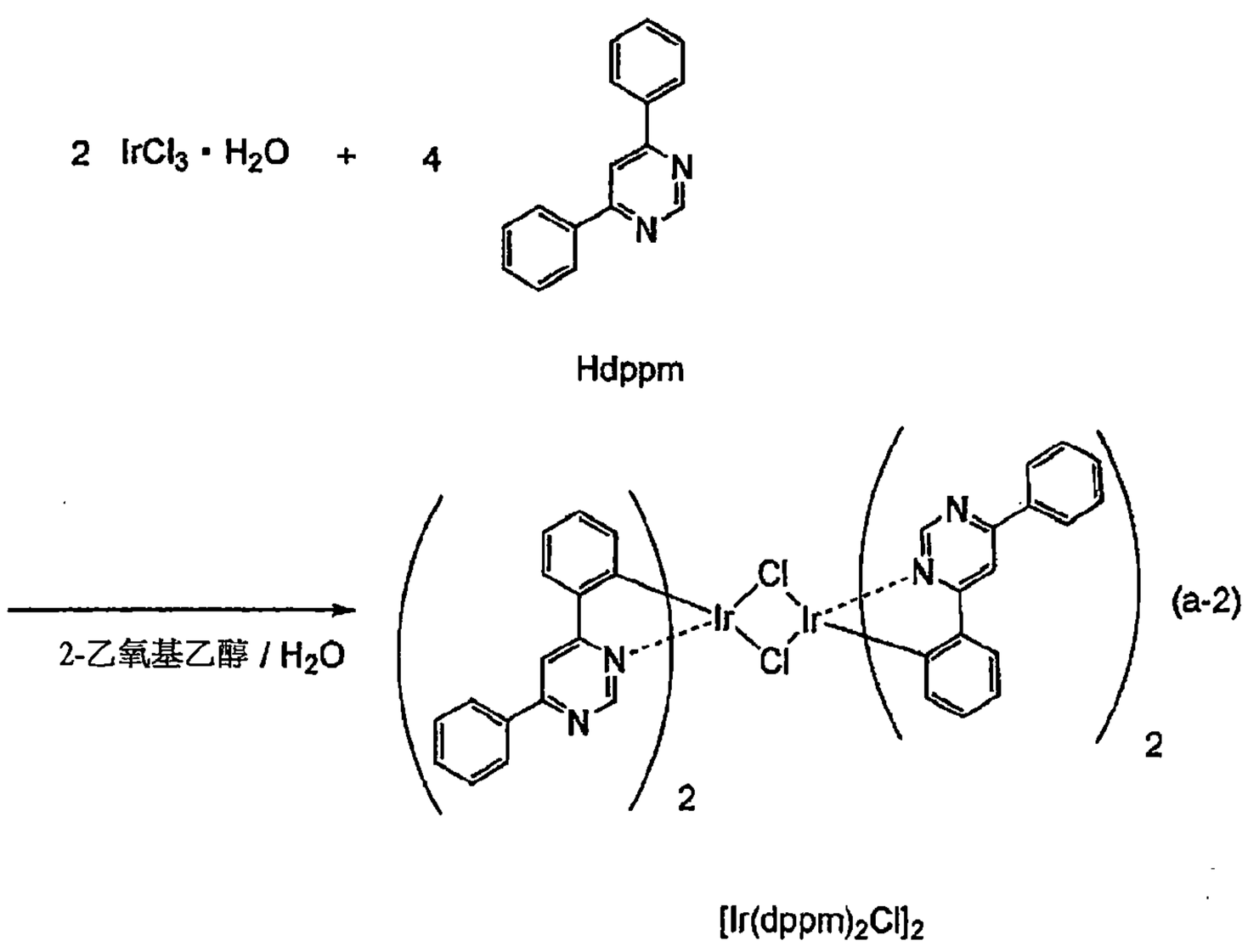
首先，在裝有回流管的回收燒瓶中放入 5.02g 4,6-二氯嘧啶、8.29g 苯基硼酸、7.19g 碳酸鈉、0.29g 雙(三苯基膦)合鈀(II)二氯化物(縮寫：$Pd(PPh_3)_2Cl_2$)、20mL 水和 20mL 乙腈，且將燒瓶中的空氣替換爲氬氣。藉由對該反應容器照射微波(2.45GHz，100W)60 分鐘來進行加熱。在此，在燒瓶中進一步放入 2.08g 苯基硼酸、1.79g 碳酸鈉、0.070g $Pd(PPh_3)_2Cl_2$、5mL 水和 5mL 乙腈，且藉由對混合溶液再次使用微波(2.45GHz，100W)照射 60 分鐘進行加熱。然後，將水加到該溶液中且將有機層用二氯甲烷萃取。將所得到的萃取液用水洗滌且用硫酸鎂乾燥。在乾燥之後，將溶液過濾。將該溶液的溶劑蒸餾出，且隨後將所得到的殘餘物藉由矽膠柱色譜法使用二氯甲烷作爲展開溶劑來純化。結果，得到嘧啶衍生物 Hdppm(黃白色粉末，產率 38%)。注意，對於微波照射，使用微波合成裝置(由 CEM 公司製造，Discover)。步驟 1 的合成方案(a-1)顯示如下。




〈步驟 2：二-μ-氯-雙[雙(4,6-二苯基嘧啶根)銥(III)](縮寫：

$[Ir(dppm)_2Cl]_2$)的合成〉

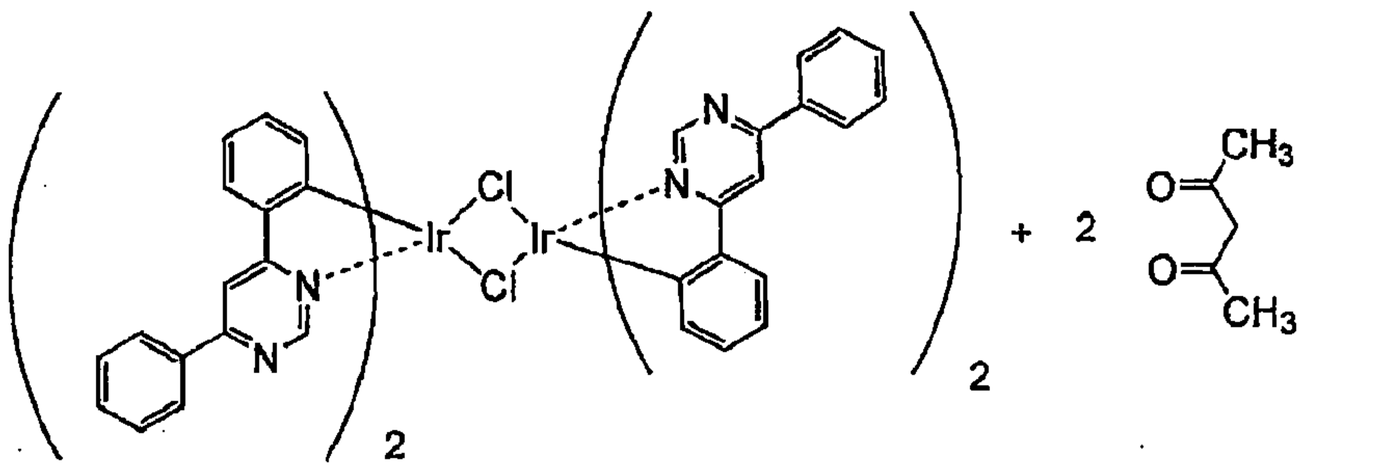
接著，在裝有回流管的回收燒瓶中放入 15mL 2-乙氧基乙醇、5mL 水、1.10g 在上述步驟 1 中得到的 Hdppm 和 0.69g 氯化銥水合物($IrCl_3 \cdot H_2O$)，且將燒瓶中的空氣替換爲氬氣。然後，進行使用微波(2.45GHz，100W)的照射 1 小時以引起反應。在將溶劑蒸餾出且將所得到的殘餘物用乙醇過濾並洗滌以得到雙核錯合物$[Ir(dppm)_2Cl]_2$(紅棕色粉末，產率 88%)。步驟 2 的合成方案(a-2)顯示如下。



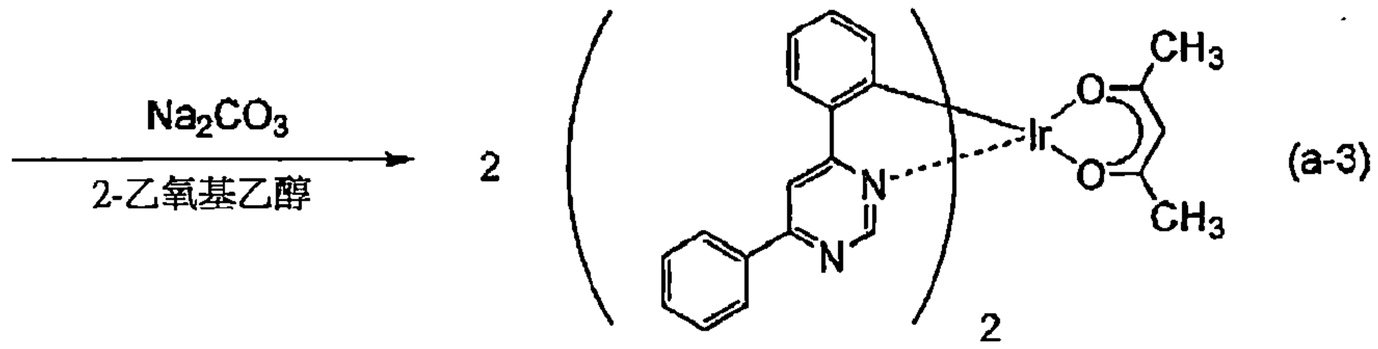

〈步驟 3：(乙醯丙酮根)雙(4,6-二苯基嘧啶根)銥(III)(縮寫：$[Ir(dppm)_2(acac)]$)的合成〉

再者，在裝有回流管的回收燒瓶中放入 40mL 2-乙氧基乙醇、1.44g 在上述步驟 2 中得到的$[Ir(dppm)_2Cl]_2$、0.30g 乙醯丙酮和 1.07g 碳酸鈉，且將燒瓶中的空氣替換

爲氬氣。然後，進行使用微波(2.45GHz，120W)的照射 60 分鐘以引起反應。將溶劑蒸餾出，將得到的殘餘物溶解於二氯甲烷中，且進行過濾以除去不溶物質。將所得到的濾液用水洗滌且隨後用飽和鹽水洗滌，且用硫酸鎂乾燥。在乾燥之後，將溶液過濾。將該溶液的溶劑蒸餾出，且隨後所得到的殘餘物藉由矽膠柱色譜法使用二氯甲烷：乙酸乙酯=50：1(體積比)作爲展開溶劑來純化。然後，用二氯甲烷和己烷的混合溶劑進行重結晶以得到作爲目的物的橙色粉末(產率 32%)。步驟 3 的合成方案(a-3)顯示如下。




$[Ir(dppm)_2Cl]_2$




$[Ir(dppm)_2(acac)]$

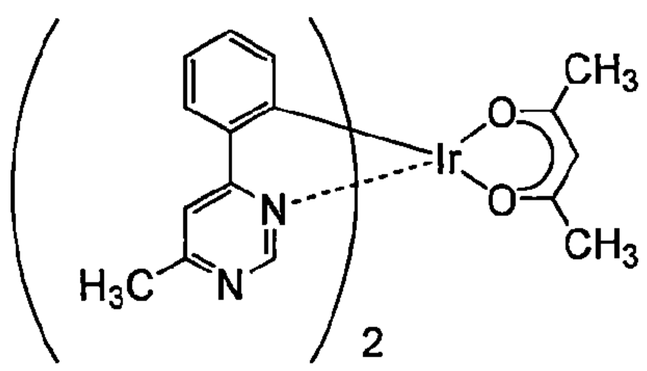
在上述步驟 3 中得到的橙色粉末的核磁共振譜($^1H$ NMR)的分析結果顯示如下。從上述結果可知得到了有機金屬錯合物$[Ir(dppm)_2(acac)]$。

$^1H$ NMR. $\delta(CDCl_3)$:1.83(s,6H),5.29(s,1H),6.48(d,2H),6.80(t

,2H),6.90(t,2H),7.55-7.63(m,6H),7.77(d,2H),8.17(s,2H),8.24(d,4H),9.17(s,2H)。

(參考例 2)

以下，示出在上述實施例中使用的有機金屬錯合物，即(乙醯丙酮根)雙(6-甲基-4-苯基嘧啶根)銥(III)(別稱：雙[2-(6-甲基-4-嘧啶基-κN3)苯基-κC](2,4-戊二酮根-$\kappa^2$O,O')銥(III))(縮寫：[Ir(mppm)$_2$(acac)])的合成例。以下，示出[Ir(mppm)$_2$(acac)]的結構。

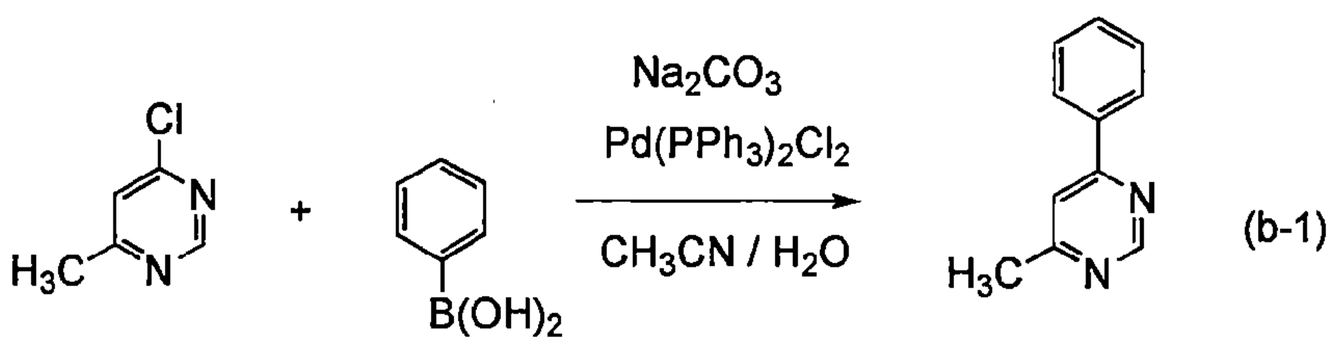



[Ir(mppm)$_2$(acac)]

〈步驟 1：4-甲基-6-苯基嘧啶(縮寫：Hmppm)的合成〉

首先，在裝有回流管的回收燒瓶中放入 4.90g 4-氯-6-甲基嘧啶、4.80g 苯基硼酸、4.03g 碳酸鈉、0.16g 雙(三苯基膦)合鈀(II)二氯化物(縮寫：$Pd(PPh_3)_2Cl_2$)、20mL 水和 10mL 乙腈，且將燒瓶中的空氣替換爲氬氣。藉由對該反應容器照射微波(2.45GHz，100W)60 分鐘來進行加熱。在此，在燒瓶中進一步放入 2.28g 苯基硼酸、2.02g 碳酸鈉、0.082g $Pd(PPh_3)_2Cl_2$、5mL 水和 10mL 乙腈，且藉由對混合溶液再次使用微波(2.45GHz，100W)照射 60 分鐘進

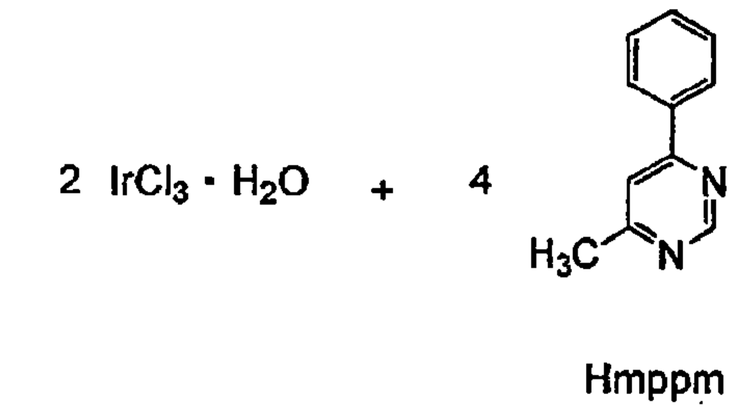
行加熱。然後，將水加到該溶液中且用二氯甲烷萃取。將所得到的萃取液用飽和碳酸鈉水溶液、水洗滌且隨後用飽和鹽水洗滌，且用硫酸鎂乾燥。在乾燥之後，將溶液過濾。將該溶液的溶劑蒸餾出，且隨後將所得到的殘餘物藉由矽膠柱色譜法使用二氯甲烷：乙酸乙酯=9：1(體積比)作爲展開溶劑來純化。結果，得到目的的嘧啶衍生物Hmppm(橙色油狀物質，產率 46%)。注意，對於微波照射，使用微波合成裝置(由 CEM 公司製造，Discover)。步驟 1 的合成方案(b-1)顯示如下。



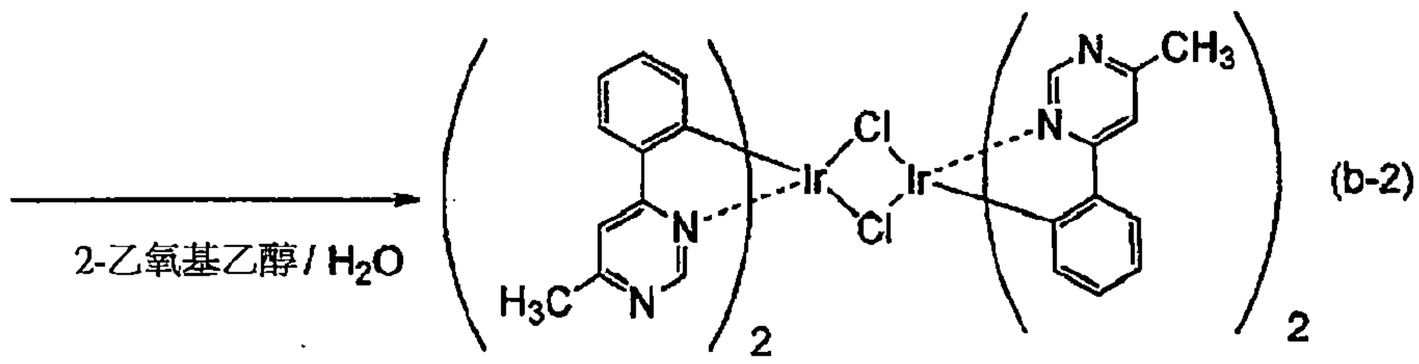

Hmppm

〈步驟 2：二-μ-氯-雙[雙(6-甲基-4-苯基嘧啶根)銥(III)](縮寫：$[Ir(mppm)_2Cl]_2$)的合成〉

接著，在裝有回流管的回收燒瓶中放入 15mL 2-乙氧基乙醇、5mL 水、1.51g 在上述步驟 1 中得到的 Hmppm 和 1.26g 氯化銥水合物($IrCl_3 \cdot H_2O$)，且將燒瓶中的空氣替換爲氬氣。然後，進行使用微波(2.45GHz，100W)的照射 1 小時以引起反應。在將溶劑蒸餾出且將所得到的殘餘物用乙醇洗滌並過濾以得到雙核錯合物$[Ir(mppm)_2Cl]_2$(深綠色粉末，產率 77%)。步驟 2 的合成方案(b-2)顯示如下。




Hmppm




$[Ir(mppm)_2Cl]_2$

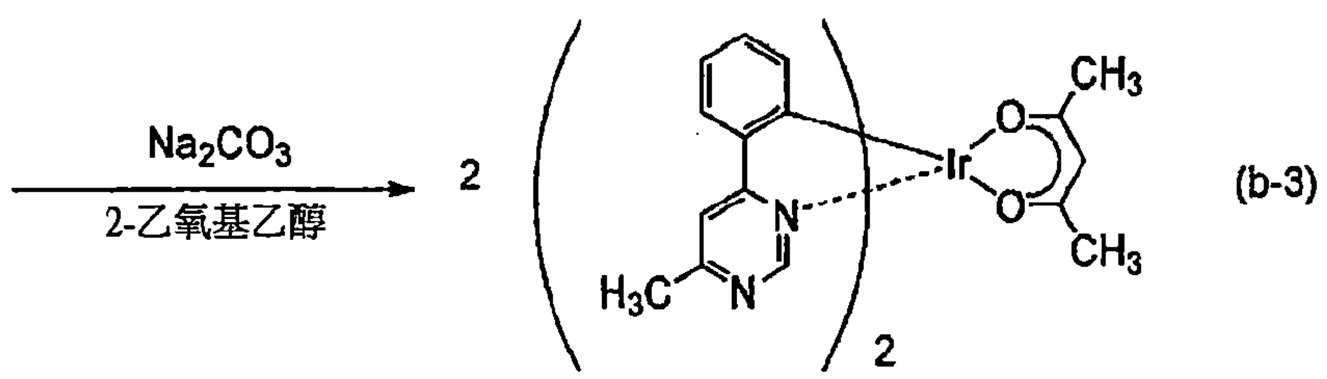
〈步驟 3：(乙醯丙酮根)雙(6-甲基-4-苯基嘧啶根)銥(III)(縮寫：$[Ir(mppm)_2(acac)]$)的合成〉

再者，在裝有回流管的回收燒瓶中放入 40mL 2-乙氧基乙醇、1.84g 在上述步驟 2 中得到的雙核錯合物 $[Ir(mppm)_2Cl]_2$、0.48g 乙醯丙酮和 1.73g 碳酸鈉，且將燒瓶中的空氣替換爲氬氣。然後，進行使用微波(2.45GHz，120W)的照射 60 分鐘以引起反應。將溶劑蒸餾出，將得到的殘餘物溶解於二氯甲烷中，且進行過濾以除去不溶物質。將所得到的濾液用水洗滌且隨後用飽和鹽水洗滌，且用硫酸鎂乾燥。在乾燥之後，將溶液過濾。將該溶液的溶劑蒸餾出，且隨後所得到的殘餘物藉由矽膠柱色譜法使用二氯甲烷：乙酸乙酯=4：1(體積比)作爲展開溶劑來純化。然後，用二氯甲烷和己烷的混合溶劑進行重結晶以得到作爲目的物的黃色粉末(產率 22%)。步驟 3 的合成方案

(b-3)顯示如下。



[Ir(mppm)$_2$Cl]$_2$



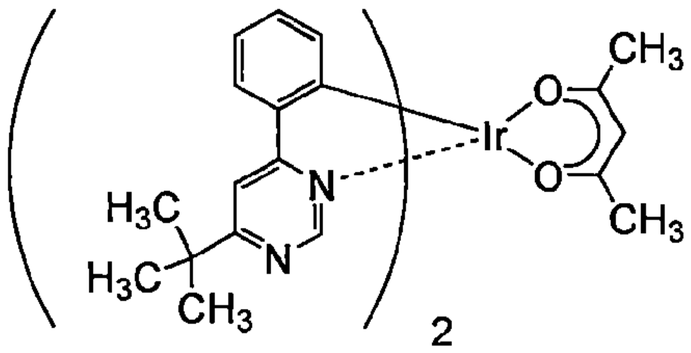
[Ir(mppm)$_2$(acac)]

在上述步驟 3 中得到的黃色粉末的核磁共振譜($^1$H NMR)的分析結果顯示如下。從上述結果可知得到了有機金屬錯合物[Ir(mppm)$_2$(acac)]。

$^1$H NMR. δ($CDCl_3$):1.78(s,6H),2.81(s,6H),5.24(s,1H),6.37(d,2H),6.77(t,2H),6.85(t,2H),7.61-7.63(m,4H),8.97(s,2H)。

(參考例 3)

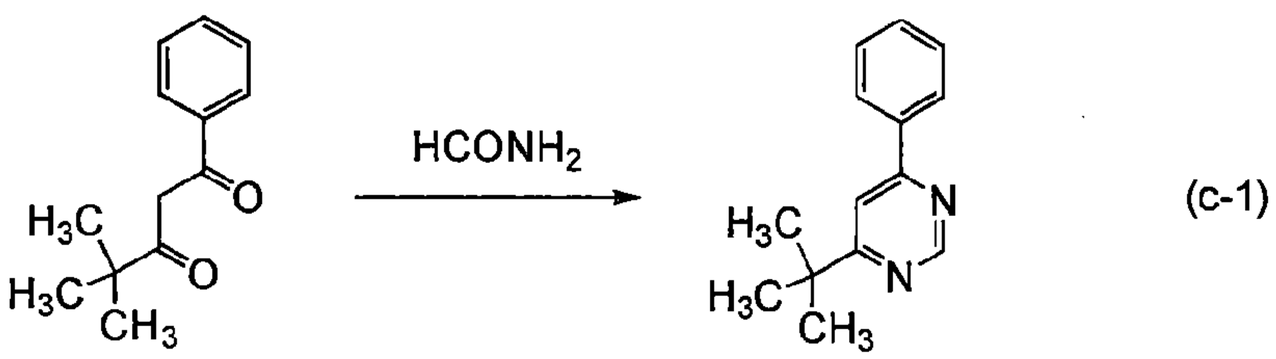
以下，示出在上述實施例中使用的有機金屬錯合物，即(乙醯丙酮根)雙(6-叔丁基-4-苯基嘧啶根)銥(III)(別稱：雙[2-(6-叔丁基-4-嘧啶基-κN3)苯基-κC](2,4-戊二酮根-$\kappa^2$O,O')銥(III))(縮寫：[Ir(tBuppm)$_2$(acac)])的合成例。以下，示出[Ir(tBuppm)$_2$(acac)]的結構。



[Ir(tBuppm)$_2$(acac)]

〈步驟 1：4-叔丁基-6-苯基嘧啶(縮寫：HtBuppm)的合成〉

首先，在裝有回流管的回收燒瓶中放入 22.5g 4,4-二甲基-1-戊基苯-1,3-二酮和 50g 甲醯胺，且將燒瓶中的空氣替換爲氮氣。使該反應容器加熱以將反應溶液回流 5 小時。然後，將該溶液注入到氫氧化鈉水溶液，將有機層用二氯甲烷萃取。將所得到的有機層用水、飽和鹽水洗滌且用硫酸鎂乾燥。在乾燥之後，將溶液過濾。將該溶液的溶劑蒸餾出，且隨後將所得到的殘餘物藉由矽膠柱色譜法使用已烷：乙酸乙酯=10：1(體積比)作爲展開溶劑來純化。結果，得到嘧啶衍生物 HtBuppm(無色油狀物質，產率 14%)。步驟 1 的合成方案(c-1)顯示如下。



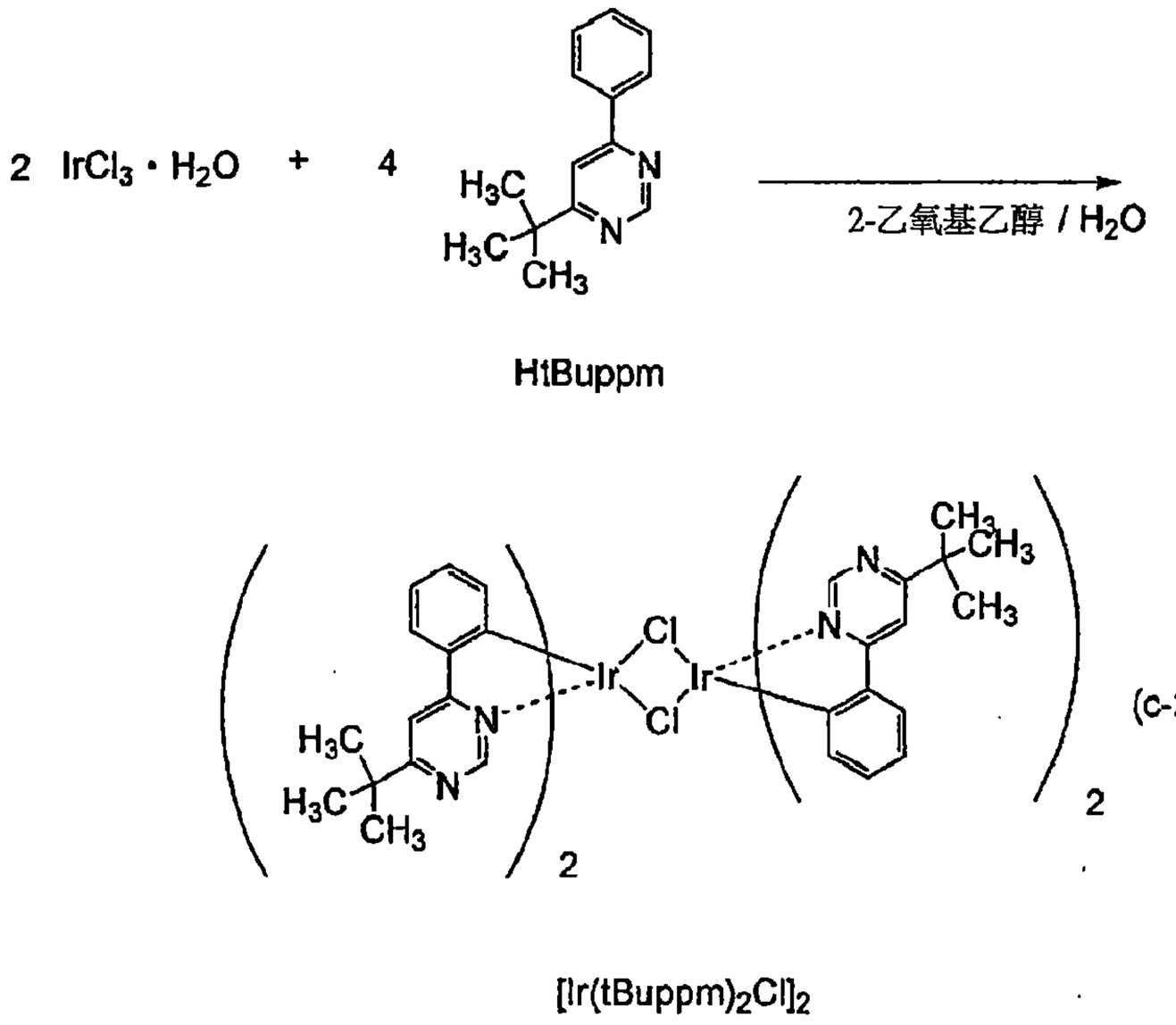
(c-1)

HtBuppm

〈步驟 2：二-μ-氯-雙[雙(6-叔丁基-4-苯基嘧啶根)銥(III)](縮寫：[Ir(tBuppm)$_2$Cl]$_2$)的合成〉

接著，在裝有回流管的回收燒瓶中放入 15mL 2-乙氧

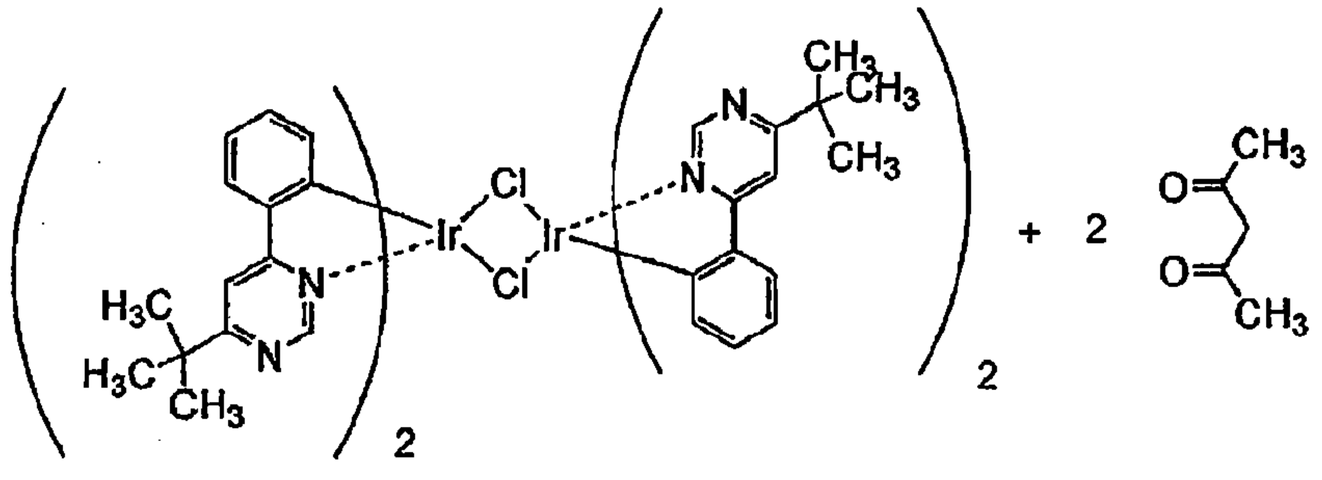
基乙醇、5mL 水、1.49g 在上述步驟 1 中得到的 HtBuppm 和 1.04g 氯化銥水合物($IrCl_3 \cdot H_2O$)，且將燒瓶中的空氣替換爲氬氣。然後，進行使用微波(2.45GHz，100W)的照射 1 小時以引起反應。將該溶液的溶劑蒸餾出，且隨後將所得到的殘餘物用乙醇抽濾並洗滌以得到雙核錯合物 $[Ir(tBuppm)_2Cl]_2$(黃綠色粉末，產率 73%)。步驟 2 的合成方案(c-2)顯示如下。



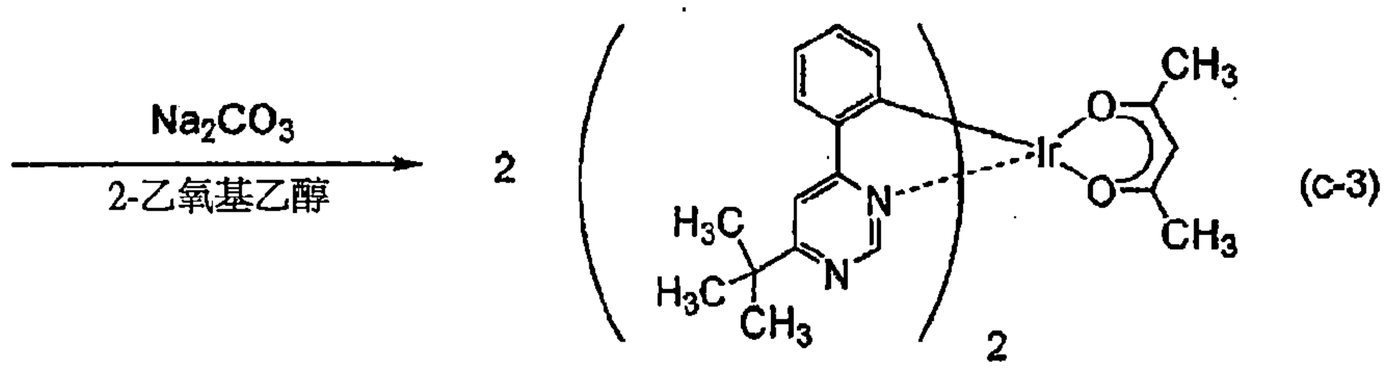

〈步驟 3：(乙醯丙酮根)雙(6-叔丁基-4-苯基嘧啶根)銥(III)(縮寫：$[Ir(tBuppm)_2(acac)]$)的合成〉

再者，在裝有回流管的回收燒瓶中放入 40mL 2-乙氧基乙醇、1.61g 在上述步驟 2 中得到的雙核錯合物 $[Ir(tBuppm)_2Cl]_2$、0.36g 乙醯丙酮和 1.27g 碳酸鈉，且將燒瓶中的空氣替換爲氬氣。然後，進行使用微波(2.45GHz，

120W)的照射 60 分鐘以引起反應。將溶劑蒸餾出，將得到的殘餘物用乙醇抽濾並用水、乙醇洗滌。將該固體溶解於二氯甲烷中，藉由以矽藻土(日本和光純藥工業株式會社、目錄號碼：531-16855)、氧化鋁、矽藻土的順序層疊的過濾助劑進行過濾。用二氯甲烷和己烷的混合溶劑對將溶劑蒸餾出來得到的固體進行重結晶以得到作爲目的物的黃色粉末(產率 68%)。步驟 3 的合成方案(c-3)顯示如下。




[Ir(tBuppm)$_2$Cl]$_2$



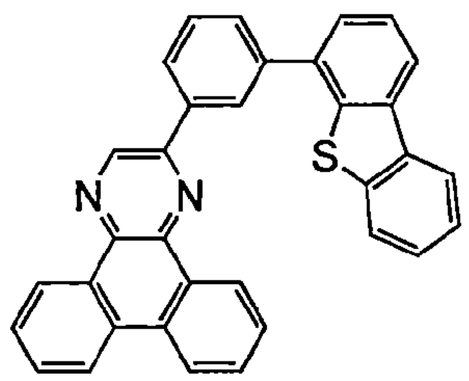

[Ir(tBuppm)$_2$(acac)]

在上述步驟 3 中得到的黃色粉末的核磁共振譜($^1$H NMR)的分析結果顯示如下。從上述結果可知得到了有機金屬錯合物[Ir(tBuppm)$_2$(acac)]。

$^1$H NMR. δ($CDCl_3$):1.50(s,18H),1.79(s,6H),5.26(s,1H),6.33(d,2H),6.77(t,2H),6.85(t,2H),7.70(d,2H),7.76(s,2H),9.02(s,2H)。

(參考例 4)

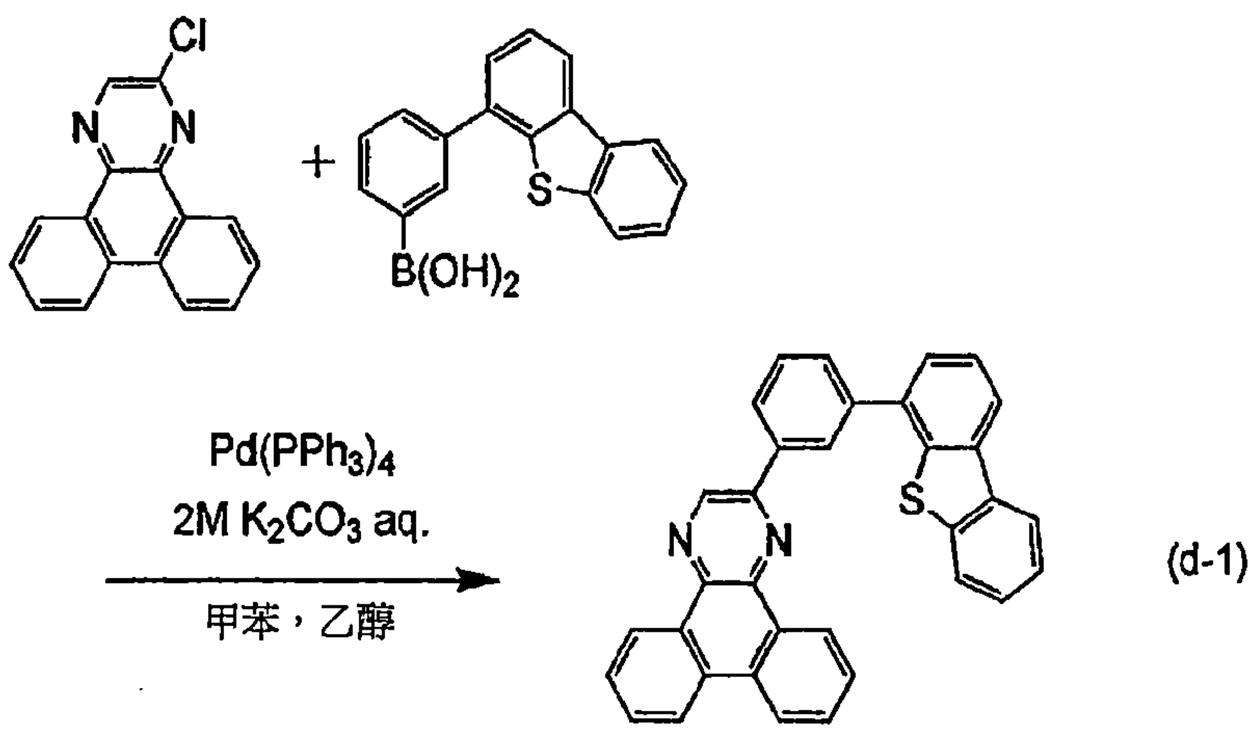
以下說明在上述實施例中使用的 2-[3-(二苯並噻吩-4-基)苯基]二苯並[f,h]喹噁啉(縮寫：2mDBTPDBq-II)的合成方法。



2mDBTPDBq-II

《2-[3-(二苯並噻吩-4-基)苯基]二苯並[f,h]喹噁啉(縮寫：2mDBTPDBq-II)的合成》

2-[3-(二苯並噻吩-4-基)苯基]二苯並[f,h]喹噁啉(縮寫：2mDBTPDBq-II)的合成方案(d-1)顯示如下。




(d-1)

2mDBTPDBq-II

在 2L 三頸燒瓶中放入 5.3g(20mmol)2-氯二苯並[f,h]

喹喔啉、6.1g(20mmol)3-(二苯並噻吩-4-基)苯基硼酸、460mg(0.4mmol)四(三苯基膦)合鈀(0)、300mL 甲苯、20mL 乙醇和 20mL 2M 碳酸鉀水溶液。藉由在減壓下攪拌使該混合物脫氣，且將三頸燒瓶中的空氣替換爲氮氣。將該混合物在氮氣流下在 100℃下攪拌 7.5 小時。在冷卻到室溫之後，將得到的混合物過濾以得到白色物質。將藉由過濾得到的物質用水和乙醇以該順序洗滌，隨後乾燥。將得到的固體溶解在大約 600mL 熱甲苯中，接著藉由矽藻土、矽酸鎂抽濾，由此得到無色透明的濾液。將得到的濾液濃縮並藉由使用大約 700mL 矽膠的柱色譜法純化。該色譜法使用熱甲苯作爲展開溶劑進行。將丙酮和乙醇加到在此得到的固體中，接著用超聲波照射。隨後，將產生的懸浮固體過濾並將得到的固體乾燥以得到 7.85g 白色粉末，產率 80%。

上述目的物相對可溶於熱甲苯，但它是當冷卻時容易析出的材料。此外，該物質不易溶解於其他有機溶劑諸如丙酮和乙醇中。因此，藉由利用這些不同的溶解度，可以藉由以上簡單方法高收率地合成。明確而言，在反應結束之後，將混合物回到室溫，藉由過濾來收集析出的固體，由此可以容易去除大部分的雜質。此外，藉由將熱甲苯用作展開溶劑的柱色譜法，能夠容易地使容易析出的目的物純化。

藉由利用梯度昇華法昇華精煉所得到的 4.0g 白色粉末。在壓力爲 5.0Pa，且氬流量爲 5mL/min 的條件下，以

300℃加熱白色粉末來進行昇華精煉。在昇華精煉之後，得到3.5g作爲目的物的白色粉末，產率88%。

使用核磁共振譜($^1$H NMR)確認到該化合物爲目的物的2-[3-(二苯並噻吩-4-基)苯基]二苯並[f,h]喹喔啉(縮寫：2mDBTPDBq-II)。

以下示出所得到的物質的$^1$H NMR資料。

$^1$H NMR($CDCl_3$,300MHz):δ(ppm)=7.45-7.52(m,2H)、7.59-7.65(m,2H)、7.71-7.91(m,7H)、8.20-8.25(m,2H)、8.41(d,J=7.8Hz,1H)、8.65(d,J=7.5Hz,2H)、8.77-8.78(m,1H)、9.23(dd,J=7.2Hz,1.5Hz,1H)、9.42(dd,J=7.8Hz,1.5Hz,1H)、9.48(s,1H)。

【符號說明】

102：EL層

103：第一電極

108：第二電極

701：電洞注入層

702：電洞傳輸層

703：發光層

704：電子傳輸層

705：電子注入層

706：電子注入緩衝層

707：電子繼電層

708：複合材料層

800：第一 EL 層

801：第二 EL 層

803：電荷發生層

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

1113：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

# 申請專利範圍

1.一種發光元件，包括：

第一電極；

該第一電極上的發光層；以及

該發光層上的第二電極，

其中，該發光層包含第一化合物、第二化合物以及銥錯合物，

其中，該第一化合物和該第二化合物形成激基複合物，

其中，該激基複合物的發射光譜與該銥錯合物的吸收光譜的最長波長一側的吸收帶重疊，以及

其中，該發射光譜的峰值的能值與該吸收光譜的最長波長一側的吸收帶的峰值的能值之間的差異爲 0.1eV 以內。

2.一種發光元件，包括：

第一電極；

該第一電極上的發光層；以及

該發光層上的第二電極，

其中，該發光層包含第一化合物、第二化合物以及銥錯合物，

其中，該第一化合物和該第二化合物形成激基複合物，

其中，該激基複合物的發射光譜與該銥錯合物的吸收光譜的最長波長一側的吸收帶重疊，

其中，該發射光譜的峰值的能值與該吸收光譜的最長波長一側的吸收帶的峰值的能值之間的差異爲 0.1eV 以內，以及

其中，該吸收光譜的最長波長一側的吸收帶的峰值爲 490nm 至 530nm。

3.一種發光元件，包括：

第一電極；

該第一電極上的發光層；以及

該發光層上的第二電極，

其中，該發光層包含第一化合物、第二化合物以及銥錯合物，

其中，該第一化合物和該第二化合物形成激基複合物，

其中，該激基複合物的發射光譜與該銥錯合物的吸收光譜的最長波長一側的吸收帶重疊，

其中，該發射光譜的最大峰值的能值與該吸收光譜的最長波長一側的吸收帶的峰值的能值之間的差異爲 0.1eV 以內，以及

其中，該吸收光譜的最長波長一側的吸收帶的峰值爲 490nm 至 530nm。

4.一種發光元件，包括：

第一電極；

該第一電極上的發光層；以及

該發光層上的第二電極，

其中，該發光層包含第一化合物、第二化合物以及銥錯合物，

其中，該第一化合物和該第二化合物形成激基複合物，

其中，該激基複合物的發射光譜與該銥錯合物的吸收光譜的最長波長一側的吸收帶重疊，以及

其中，該發射光譜的峰值的能值與該吸收光譜的最長波長一側的吸收帶的峰值的能值之間的差異爲 0.2eV 以內。

5.一種發光元件，包括：

第一電極；

該第一電極上的發光層；以及

該發光層上的第二電極；

其中，該發光層包含第一化合物、第二化合物以及銥錯合物，

其中，該第一化合物和該第二化合物形成激基複合物，

其中，該激基複合物的發射光譜與該銥錯合物的吸收光譜的最長波長一側的吸收帶重疊，

其中，該發射光譜的峰值的能值與該吸收光譜的最長波長一側的吸收帶的峰值的能值之間的差異爲 0.2eV 以內，以及

其中，該吸收光譜的最長波長一側的吸收帶的峰值爲 490nm 至 530nm。

6.一種發光元件，包括：

第一電極；

該第一電極上的發光層；以及

該發光層上的第二電極，

其中，該發光層包含第一化合物、第二化合物以及銥錯合物，

其中，該第一化合物和該第二化合物形成激基複合物，

其中，該激基複合物的發射光譜與該銥錯合物的吸收光譜的最長波長一側的吸收帶重疊，

其中，該發射光譜的最大峰值的能值與該吸收光譜的最長波長一側的吸收帶的峰值的能值之間的差異爲0.2eV以內，以及

其中，該吸收光譜的最長波長一側的吸收帶的峰值爲490nm至530nm。

7.一種發光元件，包括：

第一電極；

該第一電極上的發光層；以及

該發光層上的第二電極，

其中，該發光層包含第一有機化合物、第二有機化合物以及銥錯合物，

其中，該第一有機化合物和該第二有機化合物形成激基複合物，

其中，該第一有機化合物的三重激發態能階及該第二

有機化合物的三重激發態能階係各高於該銥錯合物的三重激發態能階，

其中，該激基複合物的發射光譜與該銥錯合物的吸收光譜的最長波長一側的吸收帶重疊，以及

其中，該發射光譜的峰值的能值與該吸收光譜的最長波長一側的吸收帶的峰值的能值之間的差異爲 0.1eV 以內。

8.一種發光元件，包括：

第一電極；

該第一電極上的發光層；以及

該發光層上的第二電極；

其中，該發光層包含第一有機化合物、第二有機化合物以及銥錯合物，

其中，該第一有機化合物和該第二有機化合物形成激基複合物，

其中，該第一有機化合物的三重激發態能階及該第二有機化合物的三重激發態能階係各高於該銥錯合物的三重激發態能階，

其中，該激基複合物的發射光譜與該銥錯合物的吸收光譜的最長波長一側的吸收帶重疊，

其中，該發射光譜的峰值的能值與該吸收光譜的最長波長一側的吸收帶的峰值的能值之間的差異爲 0.1eV 以內，以及

其中，該吸收光譜的最長波長一側的吸收帶的峰值

爲 490nm 至 530nm。

9.一種發光元件，包括：

第一電極；

該第一電極上的發光層；以及

該發光層上的第二電極，

其中，該發光層包含第一有機化合物、第二有機化合物以及銥錯合物，

其中，該第一有機化合物和該第二有機化合物形成激基複合物，

其中，該第一有機化合物的三重激發態能階及該第二有機化合物的三重激發態能階係各高於該銥錯合物的三重激發態能階，

其中，該激基複合物的發射光譜與該銥錯合物的吸收光譜的最長波長一側的吸收帶重疊，

其中，該發射光譜的最大峰值的能值與該吸收光譜的最長波長一側的吸收帶的峰值的能值之間的差異爲 0.1eV 以內，以及

其中，該吸收光譜的最長波長一側的吸收帶的峰值爲 490nm 至 530nm。

10.一種發光元件，包括：

第一電極；

該第一電極上的發光層；以及

該發光層上的第二電極，

其中，該發光層包含第一有機化合物、第二有機化合

物以及銥錯合物，

其中，該第一有機化合物和該第二有機化合物形成激基複合物，

其中，該第一有機化合物的三重激發態能階及該第二有機化合物的三重激發態能階係各高於該銥錯合物的三重激發態能階，

其中，該激基複合物的發射光譜與該銥錯合物的吸收光譜的最長波長一側的吸收帶重疊，以及

其中，該發射光譜的峰值的能值與該吸收光譜的最長波長一側的吸收帶的峰值的能值之間的差異爲 0.2eV 以內。

11.一種發光元件，包括：

第一電極；

該第一電極上的發光層；以及

該發光層上的第二電極，

其中，該發光層包含第一有機化合物、第二有機化合物以及銥錯合物，

其中，該第一有機化合物和該第二有機化合物形成激基複合物，

其中，該第一有機化合物的三重激發態能階及該第二有機化合物的三重激發態能階係各高於該銥錯合物的三重激發態能階，

其中，該激基複合物的發射光譜與該銥錯合物的吸收光譜的最長波長一側的吸收帶重疊，

其中，該發射光譜的峰值的能值與該吸收光譜的最長波長一側的吸收帶的峰值的能值之間的差異爲 0.2eV 以內，以及

其中，該吸收光譜的最長波長一側的吸收帶的峰值爲 490nm 至 530nm。

12.一種發光元件，包括：

第一電極；

該第一電極上的發光層；以及

該發光層上的第二電極，

其中，該發光層包含第一有機化合物、第二有機化合物以及銥錯合物，

其中，該第一有機化合物和該第二有機化合物形成激基複合物，

其中，該第一有機化合物的三重激發態能階及該第二有機化合物的三重激發態能階係各高於該銥錯合物的三重激發態能階，

其中，該激基複合物的發射光譜與該銥錯合物的吸收光譜的最長波長一側的吸收帶重疊，

其中，該發射光譜的最大峰值的能值與該吸收光譜的最長波長一側的吸收帶的峰值的能值之間的差異爲 0.2eV 以內，以及

其中，該吸收光譜的最長波長一側的吸收帶的峰值爲 490nm 至 530nm。

13.一種發光元件，包括：

第一電極；

該第一電極上的電洞注入層；

該電洞注入層上的發光層；以及

該發光層上的第二電極，

其中，該電洞注入層包含電子受體(electron acceptor)，

其中，該發光層包含第一化合物、第二化合物以及銥錯合物，

其中，該第一化合物和該第二化合物形成激基複合物，

其中，該激基複合物的發射光譜與該銥錯合物的吸收光譜的最長波長一側的吸收帶重疊，以及

其中，該發射光譜的峰值的能值與該吸收光譜的最長波長一側的吸收帶的峰值的能值之間的差異爲 0.1eV 以內。

14.一種發光元件，包括：

第一電極；

該第一電極上的電洞注入層；

該電洞注入層上的發光層；以及

該發光層上的第二電極，

其中，該電洞注入層包含電子受體，

其中，該發光層包含第一化合物、第二化合物以及銥錯合物，

其中，該第一化合物和該第二化合物形成激基複合物，

其中，該激基複合物的發射光譜與該銥錯合物的吸收光譜的最長波長一側的吸收帶重疊，

其中，該發射光譜的峰值的能值與該吸收光譜的最長波長一側的吸收帶的峰值的能值之間的差異爲 0.1eV 以內，以及

其中，該吸收光譜的最長波長一側的吸收帶的峰值爲 490nm 至 530nm。

15.一種發光元件，包括：

第一電極；

該第一電極上的電洞注入層；

該電洞注入層上的發光層；以及

該發光層上的第二電極，

其中，該電洞注入層包含電子受體，

其中，該發光層包含第一化合物、第二化合物以及銥錯合物，

其中，該第一化合物和該第二化合物形成激基複合物，

其中，該激基複合物的發射光譜與該銥錯合物的吸收光譜的最長波長一側的吸收帶重疊，

其中，該發射光譜的最大峰值的能值與該吸收光譜的最長波長一側的吸收帶的峰值的能值之間的差異爲 0.1eV 以內，以及

其中，該吸收光譜的最長波長一側的吸收帶的峰值爲 490nm 至 530nm。

16.一種發光元件，包括：

第一電極；

該第一電極上的電洞注入層；

該電洞注入層上的發光層；以及

該發光層上的第二電極，

其中，該電洞注入層包含電子受體，

其中，該發光層包含第一化合物、第二化合物以及銥錯合物，

其中，該第一化合物和該第二化合物形成激基複合物，

其中，該激基複合物的發射光譜與該銥錯合物的吸收光譜的最長波長一側的吸收帶重疊，以及

其中，該發射光譜的峰值的能值與該吸收光譜的最長波長一側的吸收帶的峰值的能值之間的差異爲 0.2eV 以內。

17.一種發光元件，包括：

第一電極；

該第一電極上的電洞注入層；

該電洞注入層上的發光層；以及

該發光層上的第二電極，

其中，該電洞注入層包含電子受體，

其中，該發光層包含第一化合物、第二化合物以及銥錯合物，

其中，該第一化合物和該第二化合物形成激基複合

物，

其中，該激基複合物的發射光譜與該銥錯合物的吸收光譜的最長波長一側的吸收帶重疊，

其中，該發射光譜的峰值的能值與該吸收光譜的最長波長一側的吸收帶的峰值的能值之間的差異爲 0.2eV 以內，以及

其中，該吸收光譜的最長波長一側的吸收帶的峰值爲 490nm 至 530nm。

18.一種發光元件，包括：

第一電極；

該第一電極上的電洞注入層；

該電洞注入層上的發光層；以及

該發光層上的第二電極，

其中，該電洞注入層包含電子受體，

其中，該發光層包含第一化合物、第二化合物以及銥錯合物，

其中，該第一化合物和該第二化合物形成激基複合物，

其中，該激基複合物的發射光譜與該銥錯合物的吸收光譜的最長波長一側的吸收帶重疊，

其中，該發射光譜的最大峰值的能值與該吸收光譜的最長波長一側的吸收帶的峰值的能值之間的差異爲 0.2eV 以內，以及

其中，該吸收光譜的最長波長一側的吸收帶的峰值

爲 490nm 至 530nm。

19.一種發光元件，包括：

第一電極；

該第一電極上的電洞注入層；

該電洞注入層上的發光層；以及

該發光層上的第二電極，

其中，該電洞注入層包含電子受體，

其中，該發光層包含第一有機化合物、第二有機化合物以及銥錯合物，

其中，該第一有機化合物和該第二有機化合物形成激基複合物，

其中，該第一有機化合物的三重激發態能階及該第二有機化合物的三重激發態能階係各高於該銥錯合物的三重激發態能階，

其中，該激基複合物的發射光譜與該銥錯合物的吸收光譜的最長波長一側的吸收帶重疊，以及

其中，該發射光譜的峰值的能值與該吸收光譜的最長波長一側的吸收帶的峰值的能值之間的差異爲 0.1eV 以內。

20.一種發光元件，包括：

第一電極；

該第一電極上的電洞注入層；

該電洞注入層上的發光層；以及

該發光層上的第二電極，

其中，該電洞注入層包含電子受體，

其中，該發光層包含第一有機化合物、第二有機化合物以及銥錯合物，

其中，該第一有機化合物和該第二有機化合物形成激基複合物，

其中，該第一有機化合物的三重激發態能階及該第二有機化合物的三重激發態能階係各高於該銥錯合物的三重激發態能階，

其中，該激基複合物的發射光譜與該銥錯合物的吸收光譜的最長波長一側的吸收帶重疊，

其中，該發射光譜的峰值的能值與該吸收光譜的最長波長一側的吸收帶的峰值的能值之間的差異爲 0.1eV 以內，以及

其中，該吸收光譜的最長波長一側的吸收帶的峰值爲 490nm 至 530nm。

21.一種發光元件，包括：

第一電極；

該第一電極上的電洞注入層；

該電洞注入層上的發光層；以及

該發光層上的第二電極，

其中，該電洞注入層包含電子受體，

其中，該發光層包含第一有機化合物、第二有機化合物以及銥錯合物，

其中，該第一有機化合物和該第二有機化合物形成激

基複合物，

其中，該第一有機化合物的三重激發態能階及該第二有機化合物的三重激發態能階係各高於該銥錯合物的三重激發態能階，

其中，該激基複合物的發射光譜與該銥錯合物的吸收光譜的最長波長一側的吸收帶重疊，

其中，該發射光譜的最大峰值的能值與該吸收光譜的最長波長一側的吸收帶的峰值的能值之間的差異爲0.1eV以內，以及

其中，該吸收光譜的最長波長一側的吸收帶的峰值爲490nm至530nm。

22.一種發光元件，包括：

第一電極；

該第一電極上的電洞注入層；

該電洞注入層上的發光層；以及

該發光層上的第二電極，

其中，該電洞注入層包含電子受體，

其中，該發光層包含第一有機化合物、第二有機化合物以及銥錯合物，

其中，該第一有機化合物和該第二有機化合物形成激基複合物，

其中，該第一有機化合物的三重激發態能階及該第二有機化合物的三重激發態能階係各高於該銥錯合物的三重激發態能階，

其中，該激基複合物的發射光譜與該銥錯合物的吸收光譜的最長波長一側的吸收帶重疊，以及

其中，該發射光譜的峰值的能值與該吸收光譜的最長波長一側的吸收帶的峰值的能值之間的差異爲 0.2eV 以內。

23.一種發光元件，包括：

第一電極；

該第一電極上的電洞注入層；

該電洞注入層上的發光層；以及

該發光層上的第二電極，

其中，該電洞注入層包含電子受體，

其中，該發光層包含第一有機化合物、第二有機化合物以及銥錯合物，

其中，該第一有機化合物和該第二有機化合物形成激基複合物，

其中，該第一有機化合物的三重激發態能階及該第二有機化合物的三重激發態能階係各高於該銥錯合物的三重激發態能階，

其中，該激基複合物的發射光譜與該銥錯合物的吸收光譜的最長波長一側的吸收帶重疊，

其中，該發射光譜的峰值的能值與該吸收光譜的最長波長一側的吸收帶的峰值的能值之間的差異爲 0.2eV 以內，以及

其中，該吸收光譜的最長波長一側的吸收帶的峰值

爲 490nm 至 530nm。

24.一種發光元件，包括：

第一電極；

該第一電極上的電洞注入層；

該電洞注入層上的發光層；以及

該發光層上的第二電極，

其中，該電洞注入層包含電子受體，

其中，該發光層包含第一有機化合物、第二有機化合物以及銥錯合物，

其中，該第一有機化合物和該第二有機化合物形成激基複合物，

其中，該第一有機化合物的三重激發態能階及該第二有機化合物的三重激發態能階係各高於該銥錯合物的三重激發態能階，

其中，該激基複合物的發射光譜與該銥錯合物的吸收光譜的最長波長一側的吸收帶重疊，

其中，該發射光譜的最大峰值的能值與該吸收光譜的最長波長一側的吸收帶的峰值的能值之間的差異爲 0.2eV 以內，以及

其中，該吸收光譜的最長波長一側的吸收帶的峰值爲 490nm 至 530nm。

25.根據申請專利範圍第 1 至 6 及 13 至 18 項中任一項之發光元件，

其中，該第一化合物包含雜環化合物，以及

其中，該第二化合物包含咔唑化合物。

26.根據申請專利範圍第 1 至 24 項中任一項之發光元件，其中，該吸收光譜的最長波長側的吸收帶的莫耳吸光係數 (molar absorption coefficient) 爲 $2000M^{-1}\cdot cm^{-1}$ 以上。

27.根據申請專利範圍第 1 至 24 項中任一項之發光元件，其中，該發射光譜爲螢光光譜。

28.根據申請專利範圍第 1、2、7、8、13、14、19 及 20 項中任一項之發光元件，其中，該發射光譜的峰值的能值與該吸收光譜的最長波長一側的吸收帶的峰值的能值之間的差異爲 0.01eV 以內。

29.根據申請專利範圍第 13 至 24 項中任一項之發光元件，其中，該電洞注入層進一步包含芳香胺化合物 (aromatic amine compound)。

30.根據申請專利範圍第 1 至 24 項中任一項之發光元件，其進一步包括在該發光層與該第二電極之間的電子傳輸層，

其中，該電子傳輸層包含雜芳族化合物。

31.根據申請專利範圍第 1 至 24 項中任一項之發光元件，其進一步包括在該發光層與該第二電極之間的電子注入層，

其中，該電子注入層包含鹼金屬、鹼土金屬、以及鹼金屬或鹼土金屬的合金之任一者。

32.根據申請專利範圍第 1 至 24 項中任一項之發光元件，其中，該第二電極包含鹼金屬、鹼土金屬、鎂、稀土

金屬、鋁、以及銀之任一者。

# 圖式

圖 1A

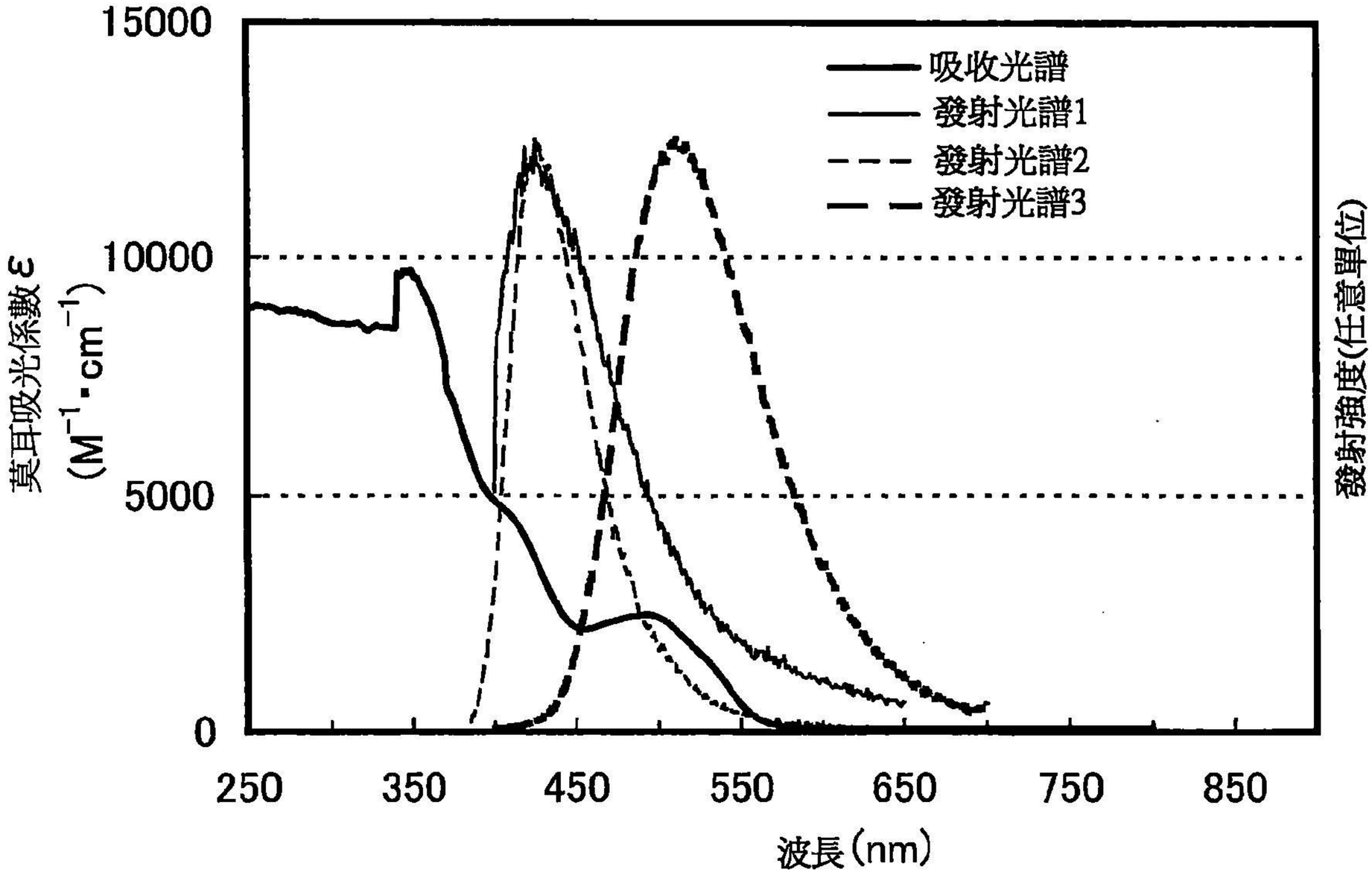

15000
10000
5000
0
250
350
450
550
650
750
850
莫耳吸光係數ε
(M⁻¹·cm⁻¹)
發射強度(任意單位)
波長(nm)
吸收光譜
發射光譜1
發射光譜2
發射光譜3

圖 1B

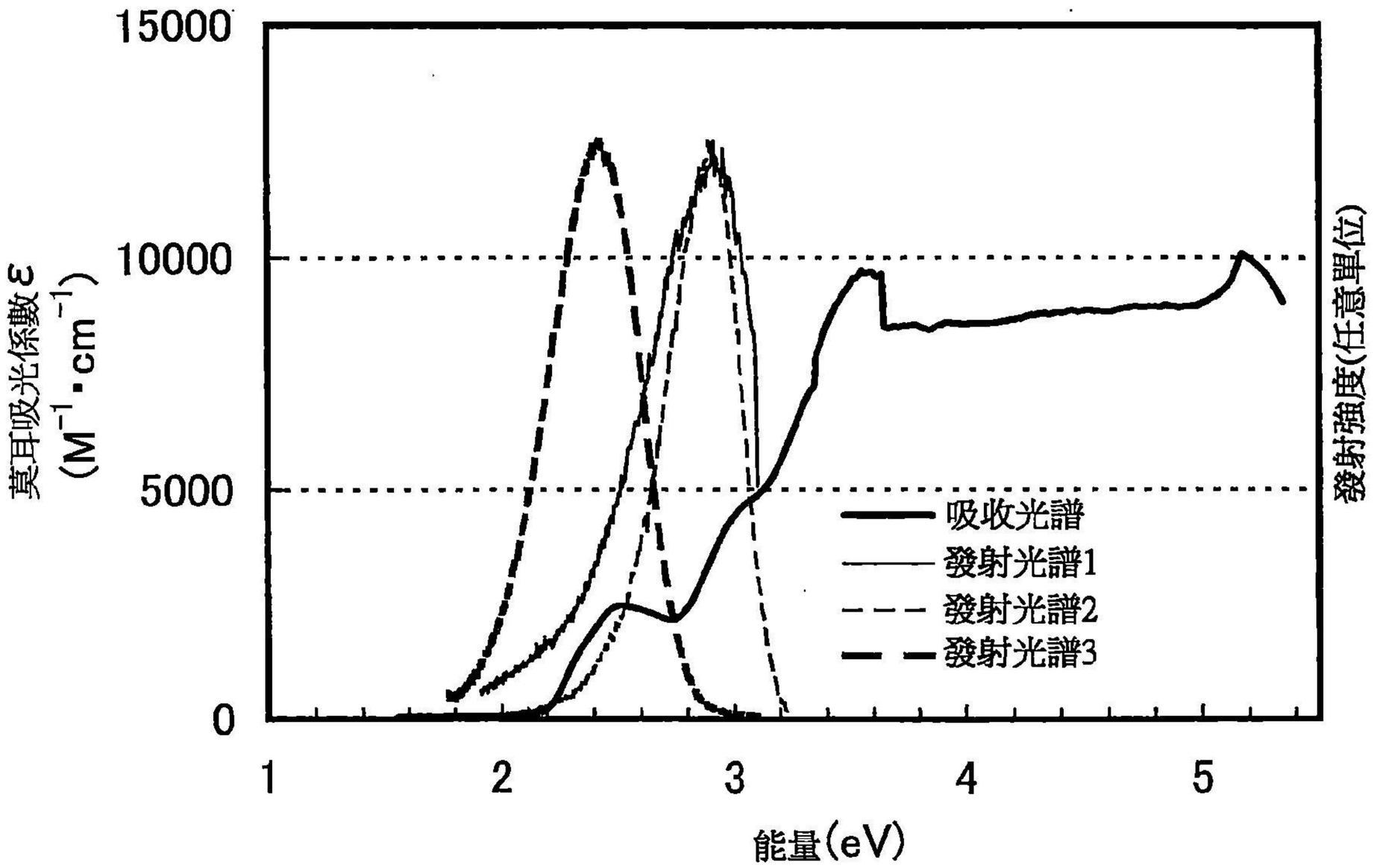

15000
10000
5000
0
1
2
3
4
5
莫耳吸光係數ε
(M⁻¹·cm⁻¹)
發射強度(任意單位)
能量(eV)
吸收光譜
發射光譜1
發射光譜2
發射光譜3

圖 2A

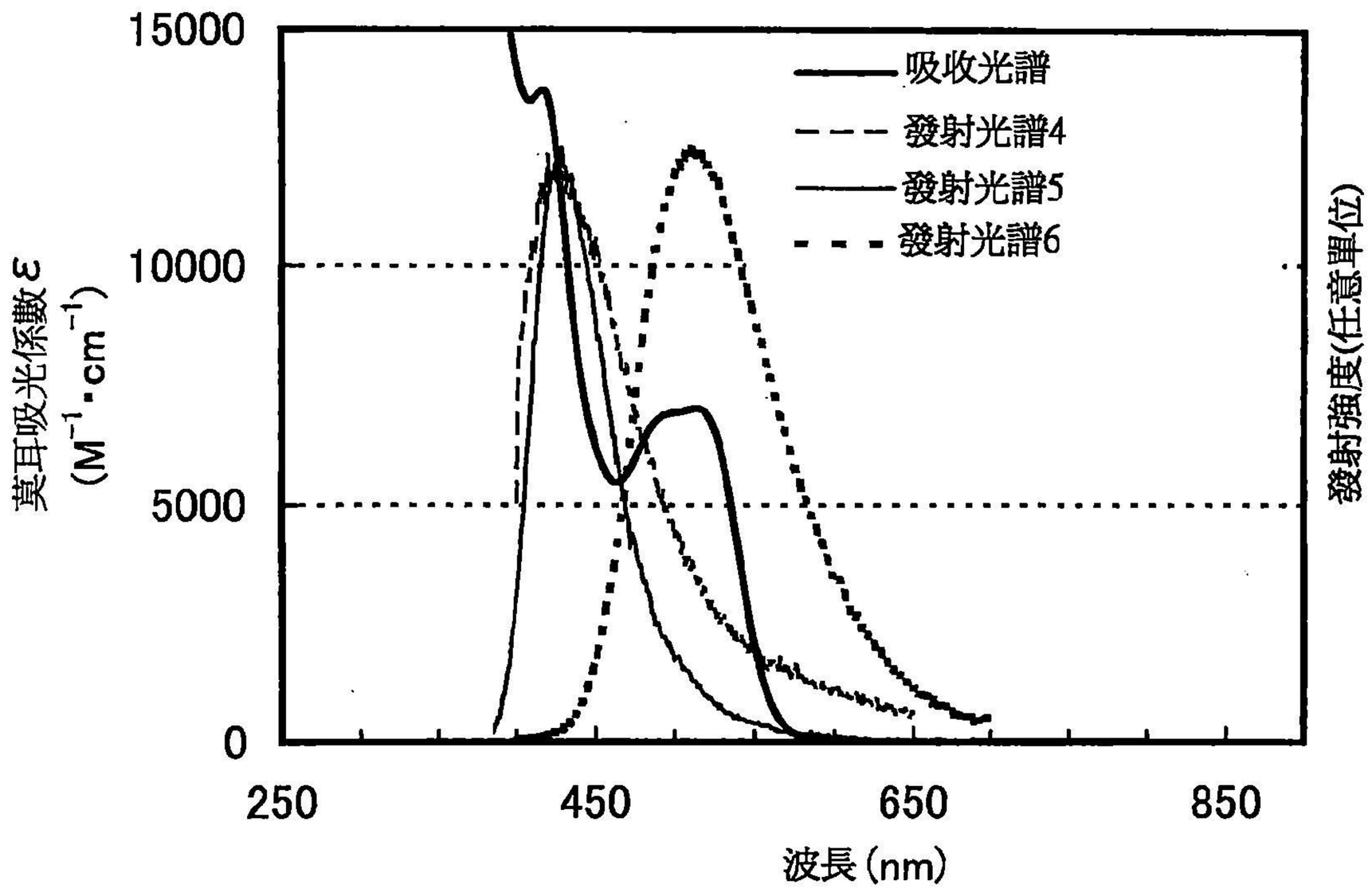

15000
10000
5000
0
250
450
650
850
波長 (nm)
莫耳吸光係數ε
(M⁻¹·cm⁻¹)
發射強度(任意單位)
吸收光譜
發射光譜4
發射光譜5
發射光譜6

圖 2B

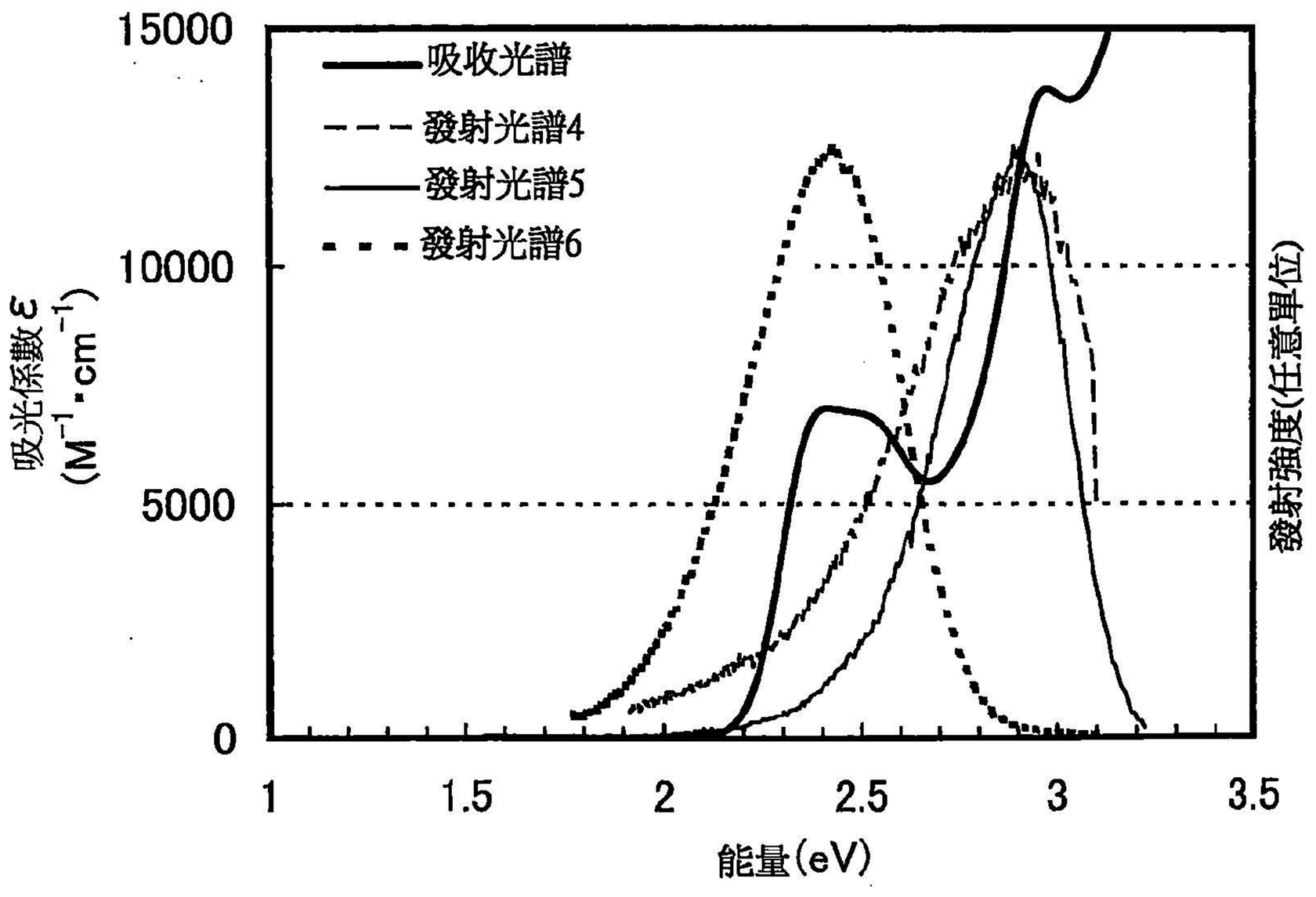

15000
10000
5000
0
1
1.5
2
2.5
3
3.5
能量(eV)
吸光係數ε
(M⁻¹·cm⁻¹)
發射強度(任意單位)
吸收光譜
發射光譜4
發射光譜5
發射光譜6

圖 3

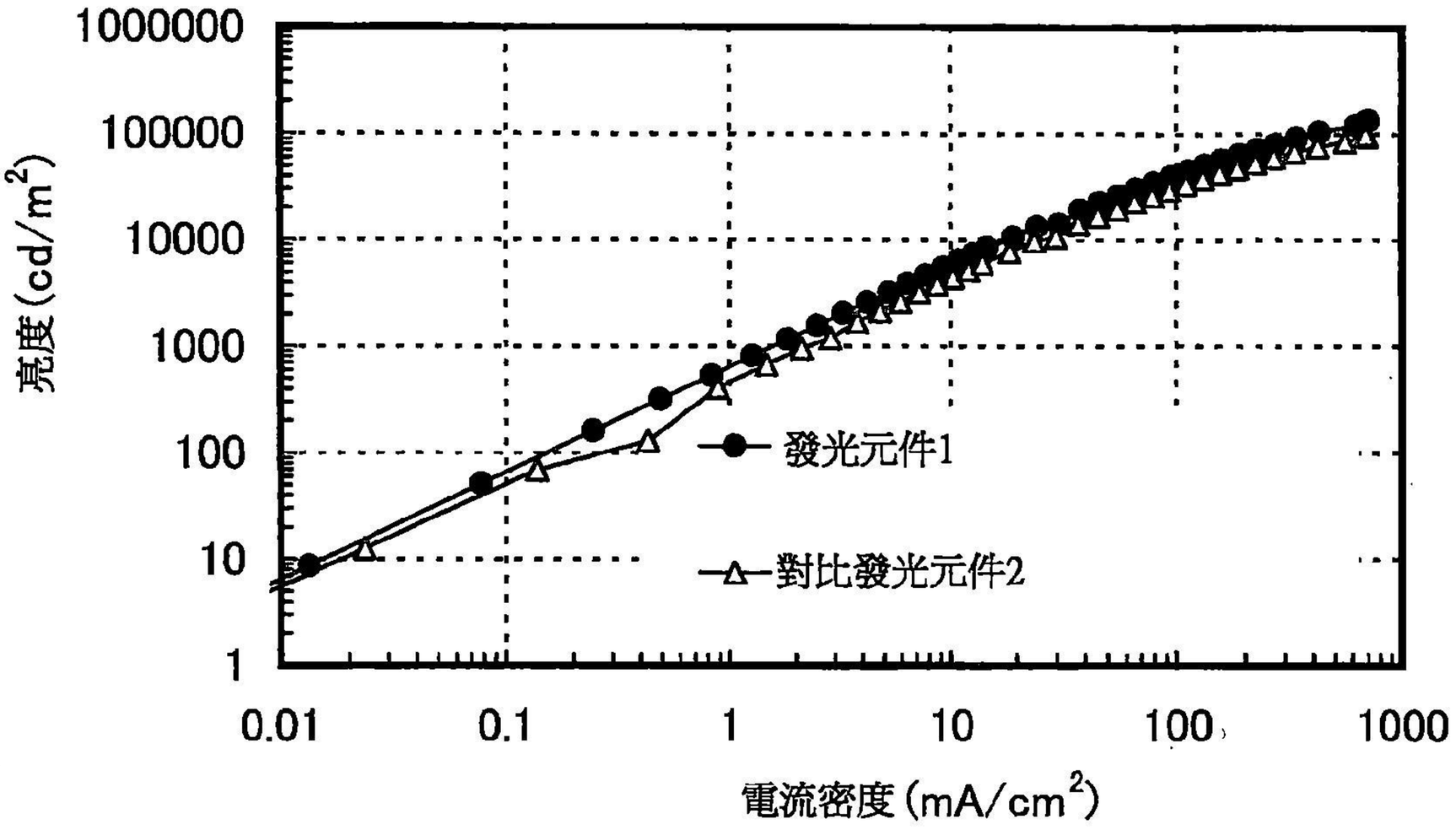

1000000
100000
10000
1000
100
10
1
亮度 (cd/m2)
發光元件1
對比發光元件2
0.01
0.1
1
10
100
1000
電流密度 (mA/cm2)

圖 4

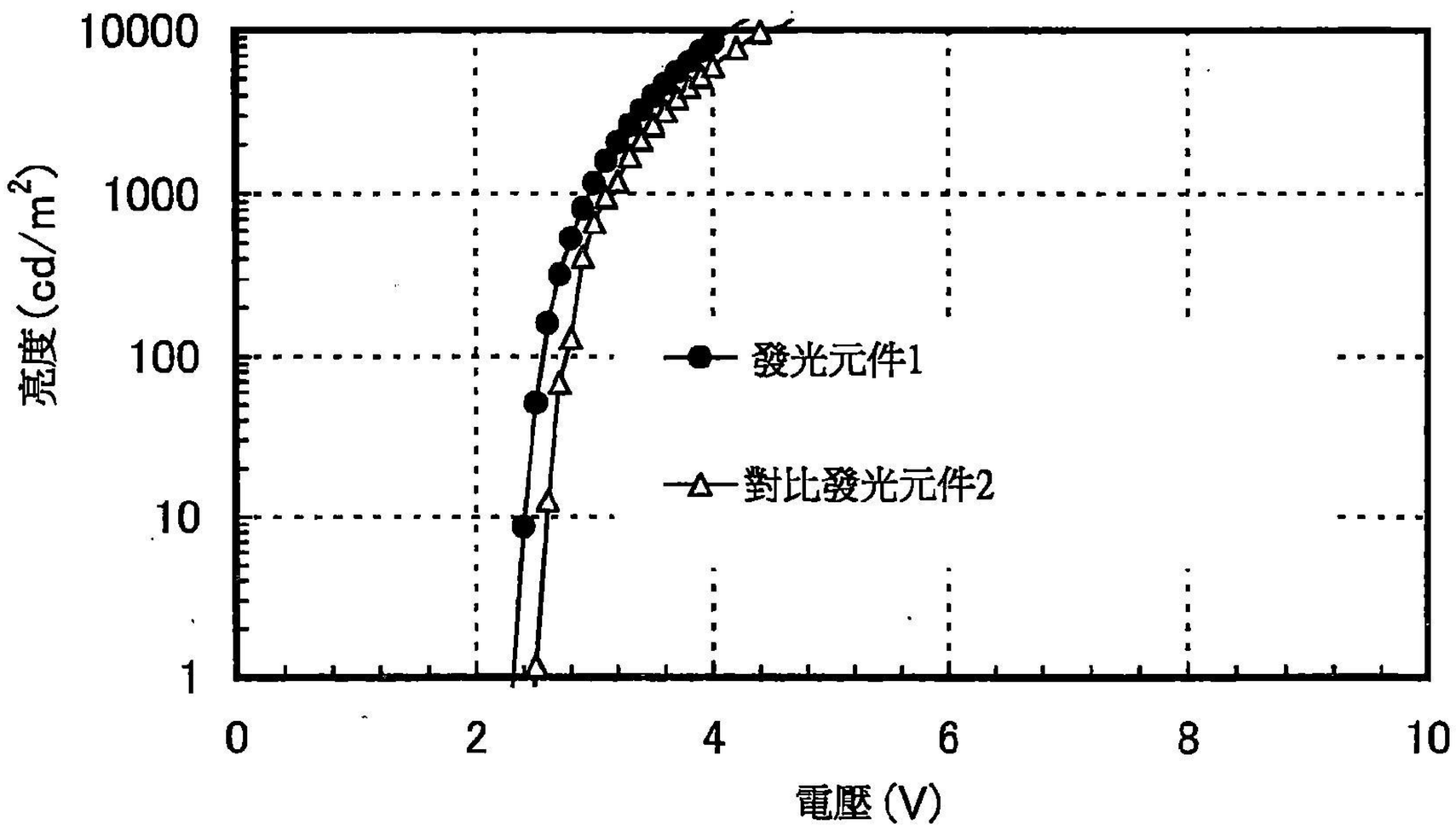

10000
1000
100
10
1
亮度 (cd/m2)
發光元件1
對比發光元件2
0
2
4
6
8
10
電壓 (V)

圖 5

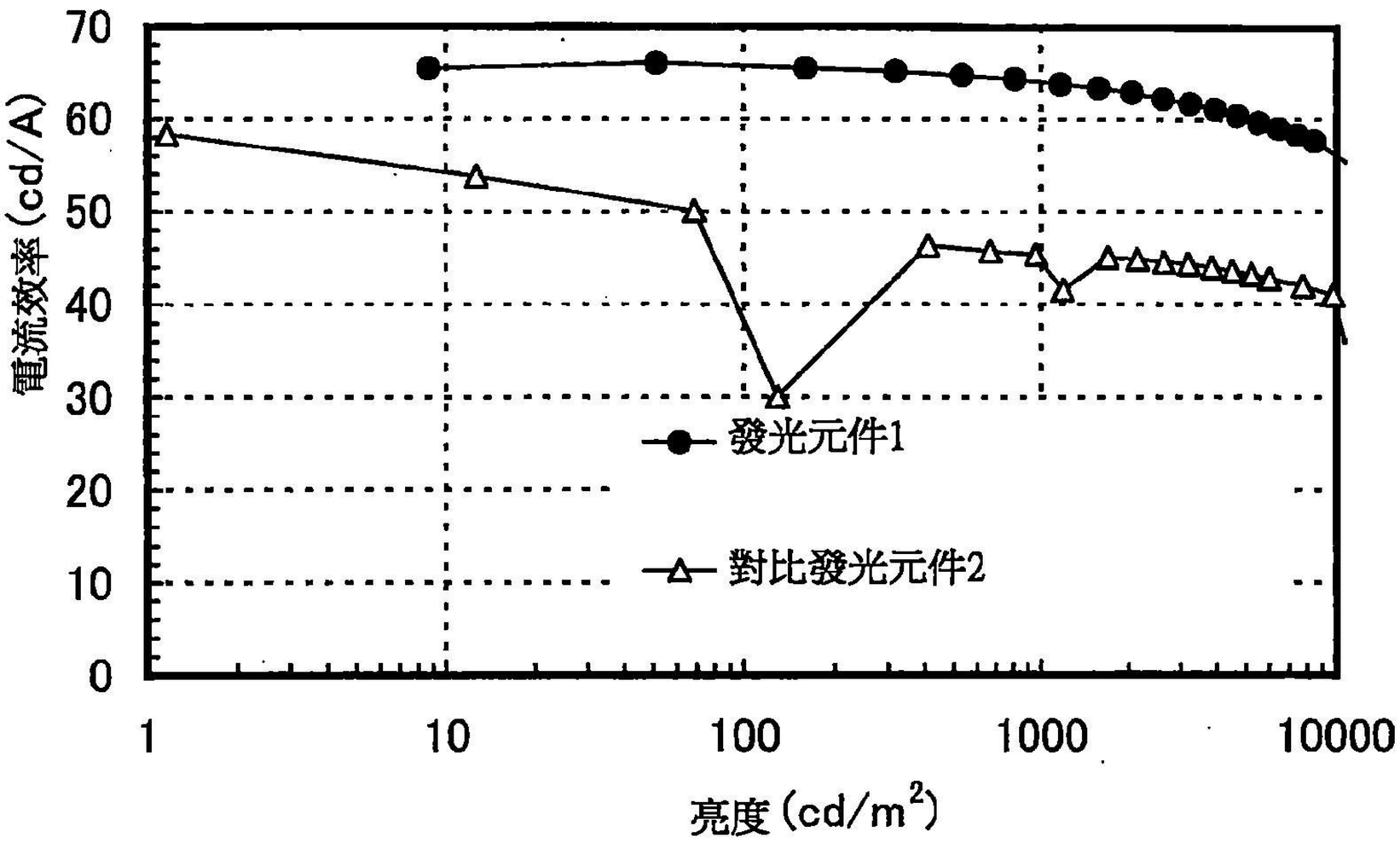

70
60
50
40
30
20
10
0
電流效率 (cd/A)
發光元件1
對比發光元件2
1
10
100
1000
10000
亮度 (cd/m²)

圖 6

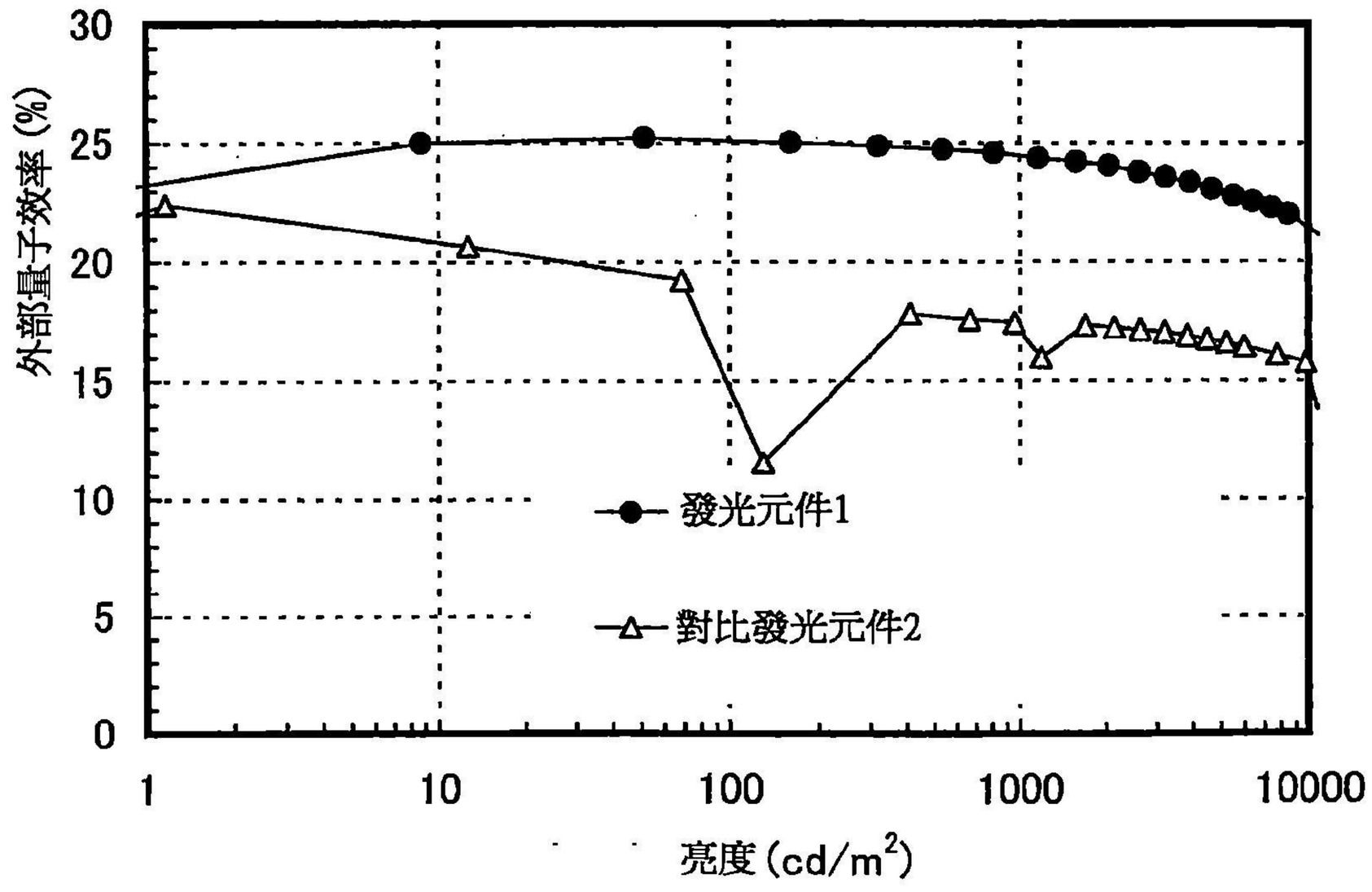

30
25
20
15
10
5
0
外部量子效率 (%)
發光元件1
對比發光元件2
1
10
100
1000
10000
亮度 (cd/m²)

圖 7

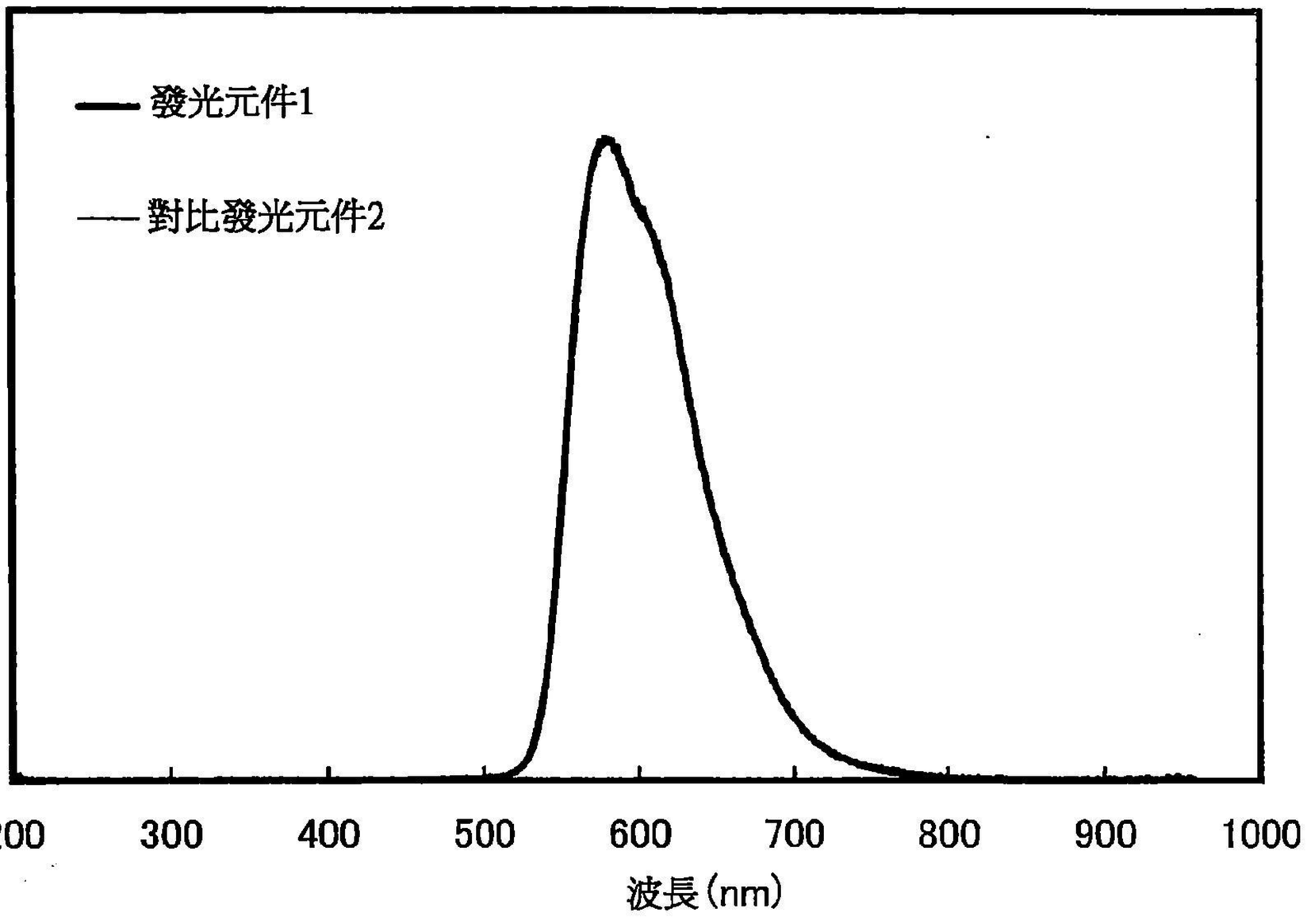

發光元件1
對比發光元件2
發射強度(任意單位)
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
波長(nm)

圖 8

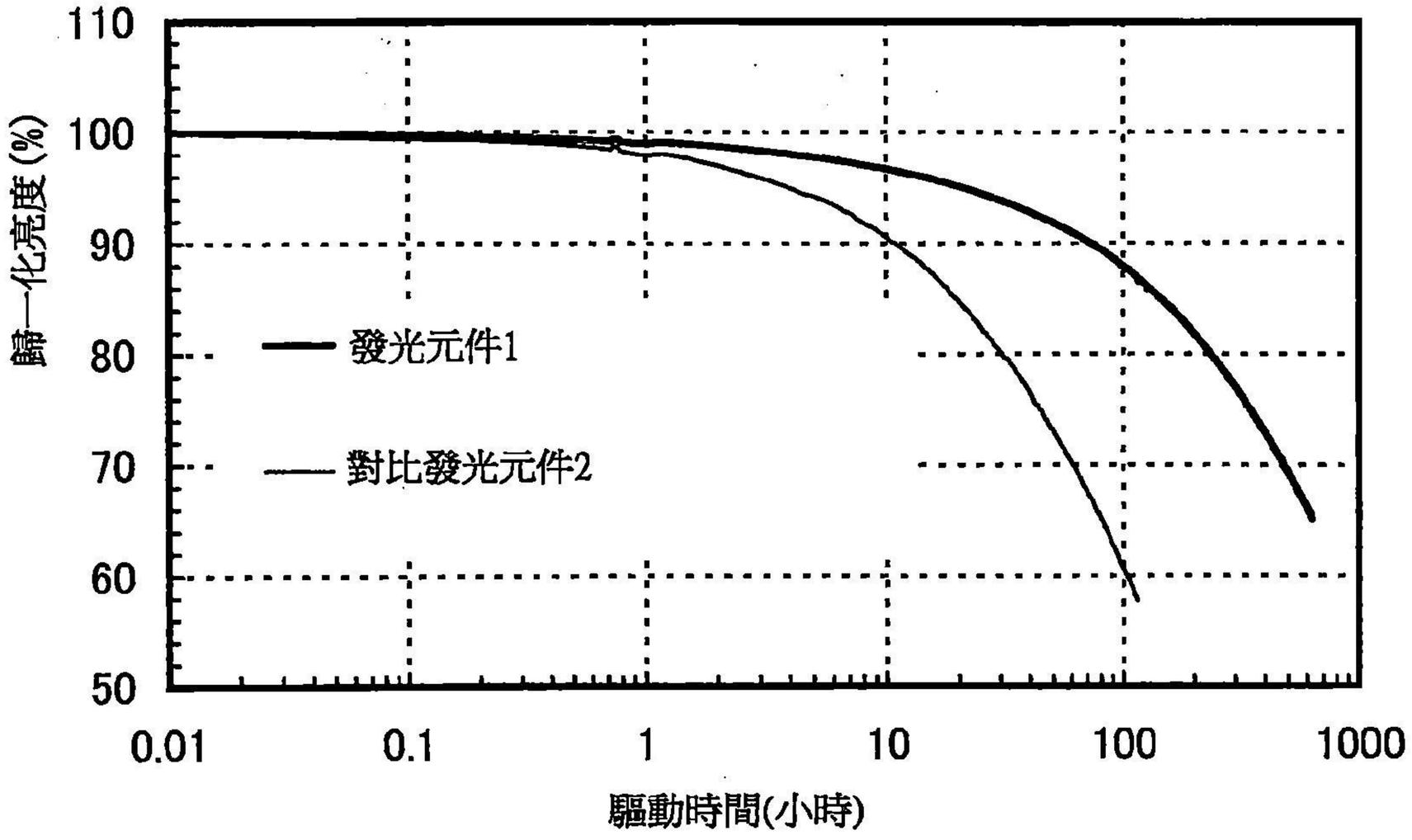

110
100
90
80
70
60
50
歸一化亮度(%)
發光元件1
對比發光元件2
0.01
0.1
1
10
100
1000
驅動時間(小時)

圖 9

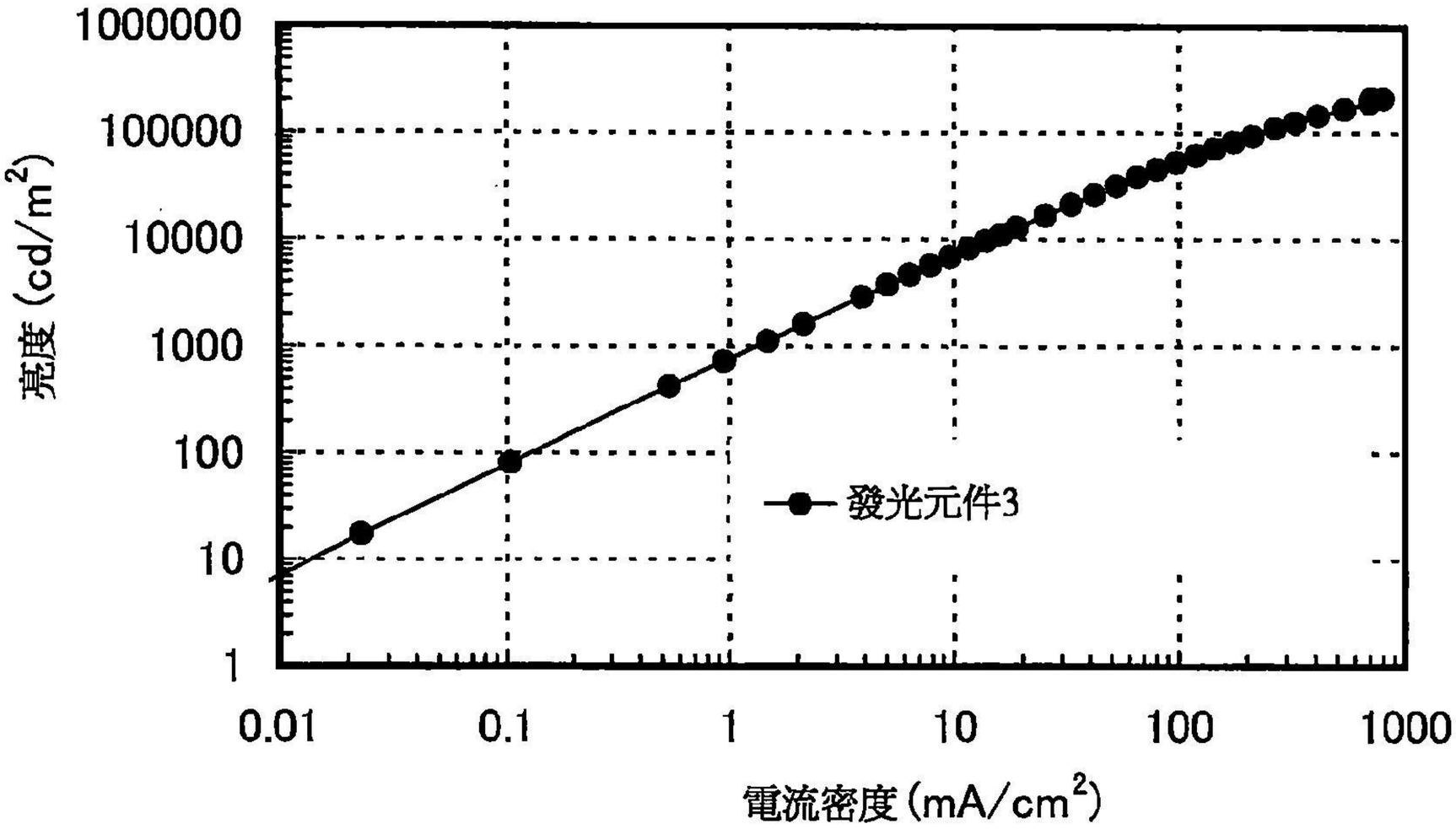

1000000
100000
10000
1000
100
10
1
亮度 (cd/m2)
發光元件3
0.01
0.1
1
10
100
1000
電流密度 (mA/cm2)

圖 10

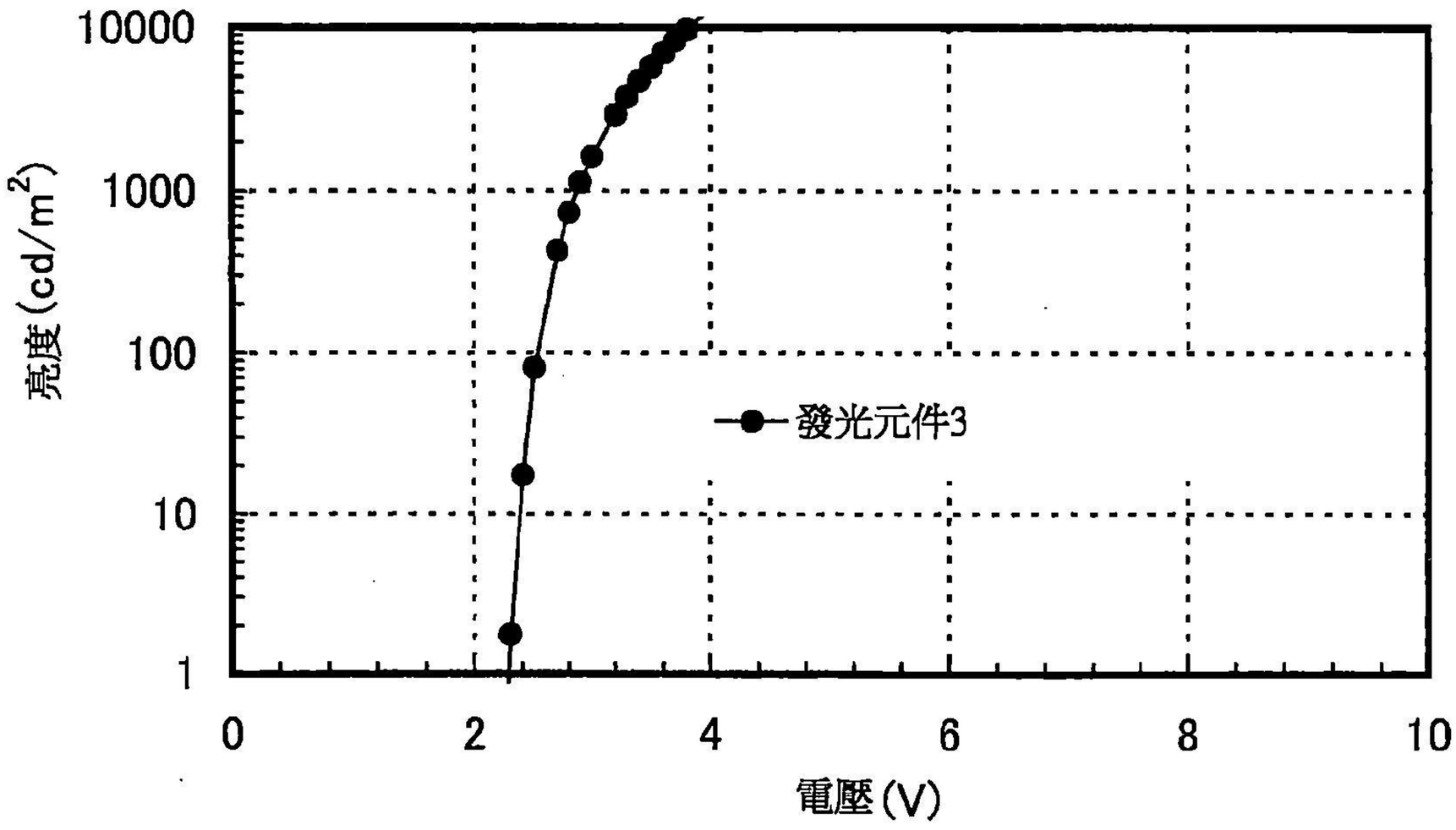

10000
1000
100
10
1
亮度 (cd/m2)
發光元件3
0
2
4
6
8
10
電壓 (V)

圖 11

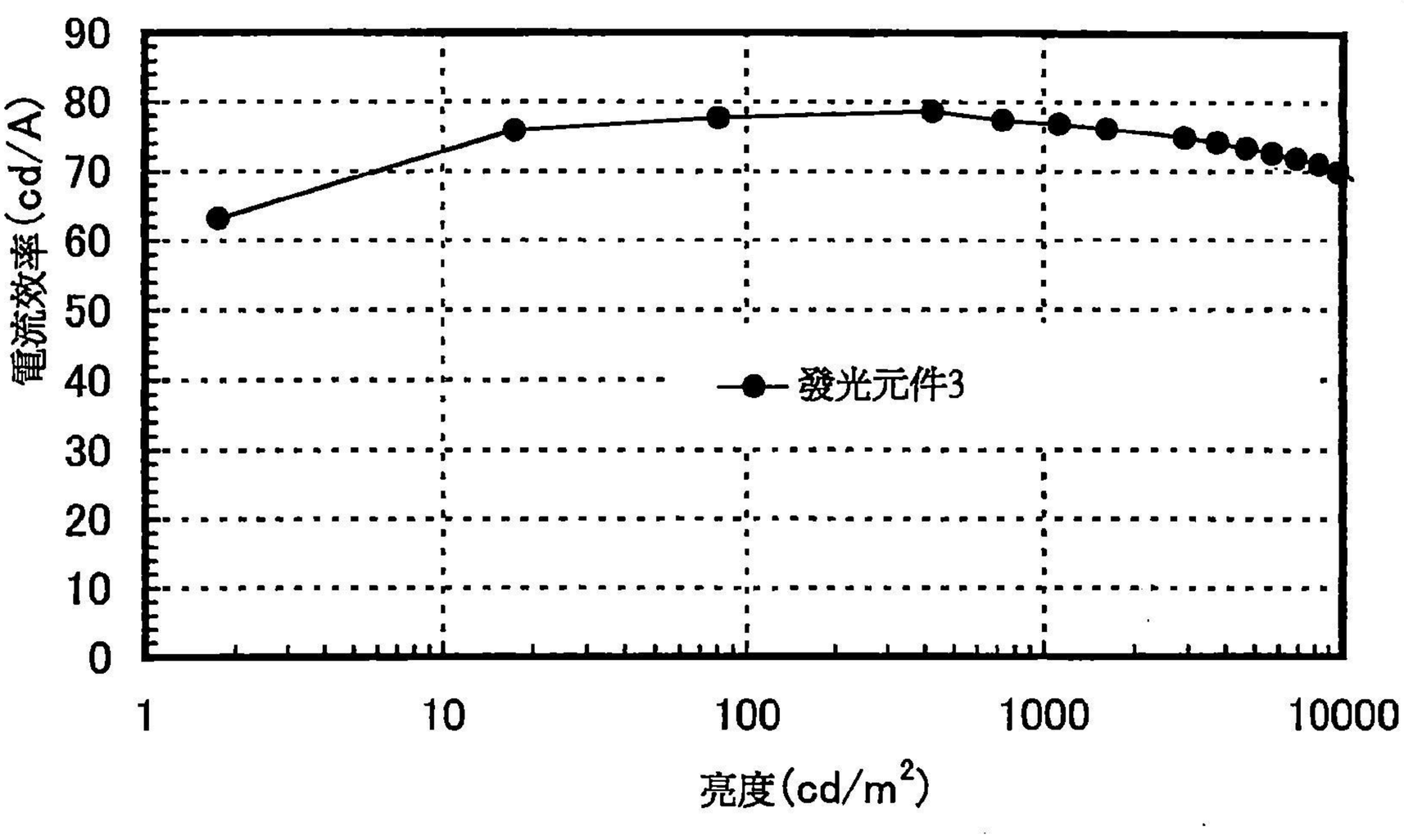

電流效率(cd/A)
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
1
10
100
1000
10000
發光元件3
亮度(cd/m²)

圖 12

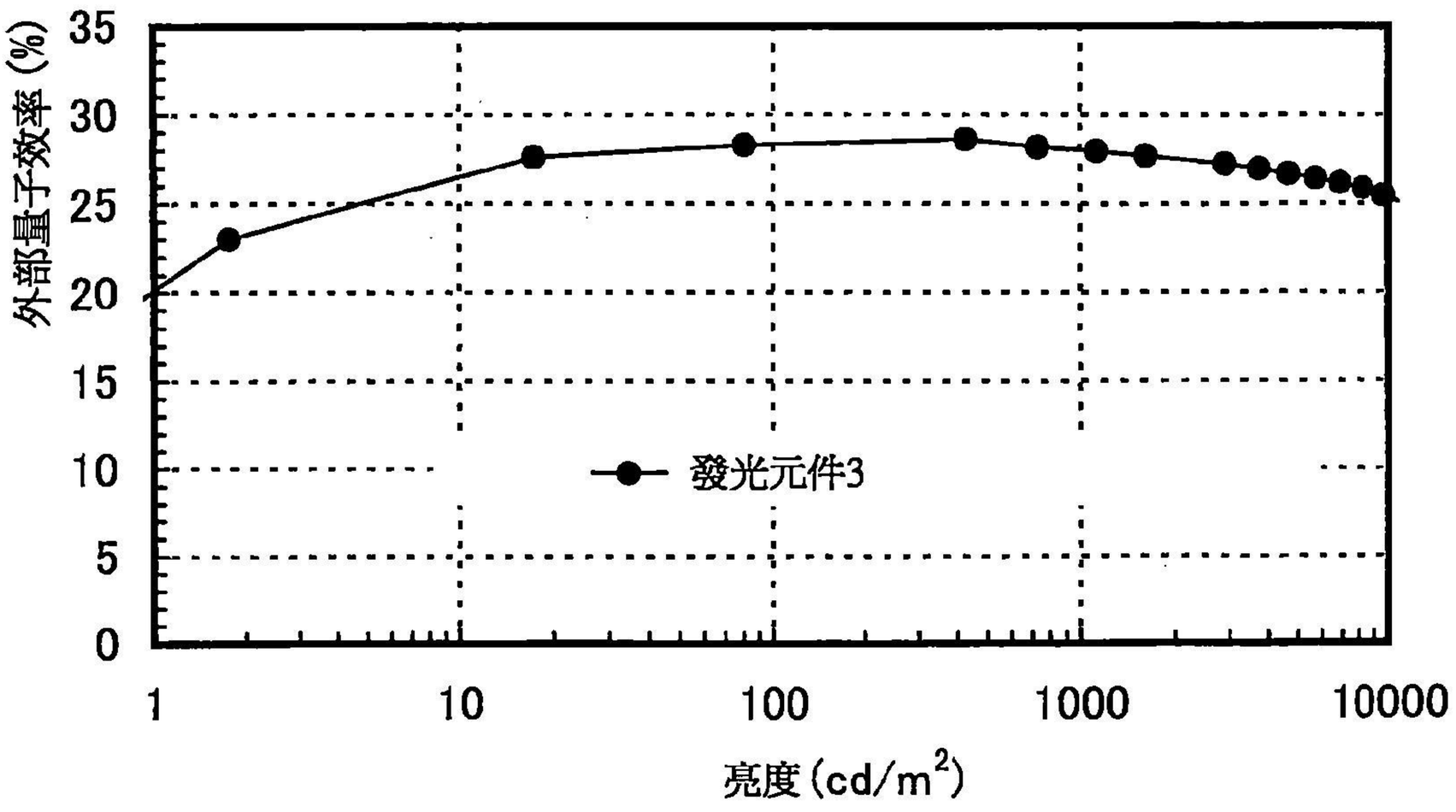

外部量子效率(%)
35
30
25
20
15
10
5
0
1
10
100
1000
10000
發光元件3
亮度(cd/m²)

圖 13

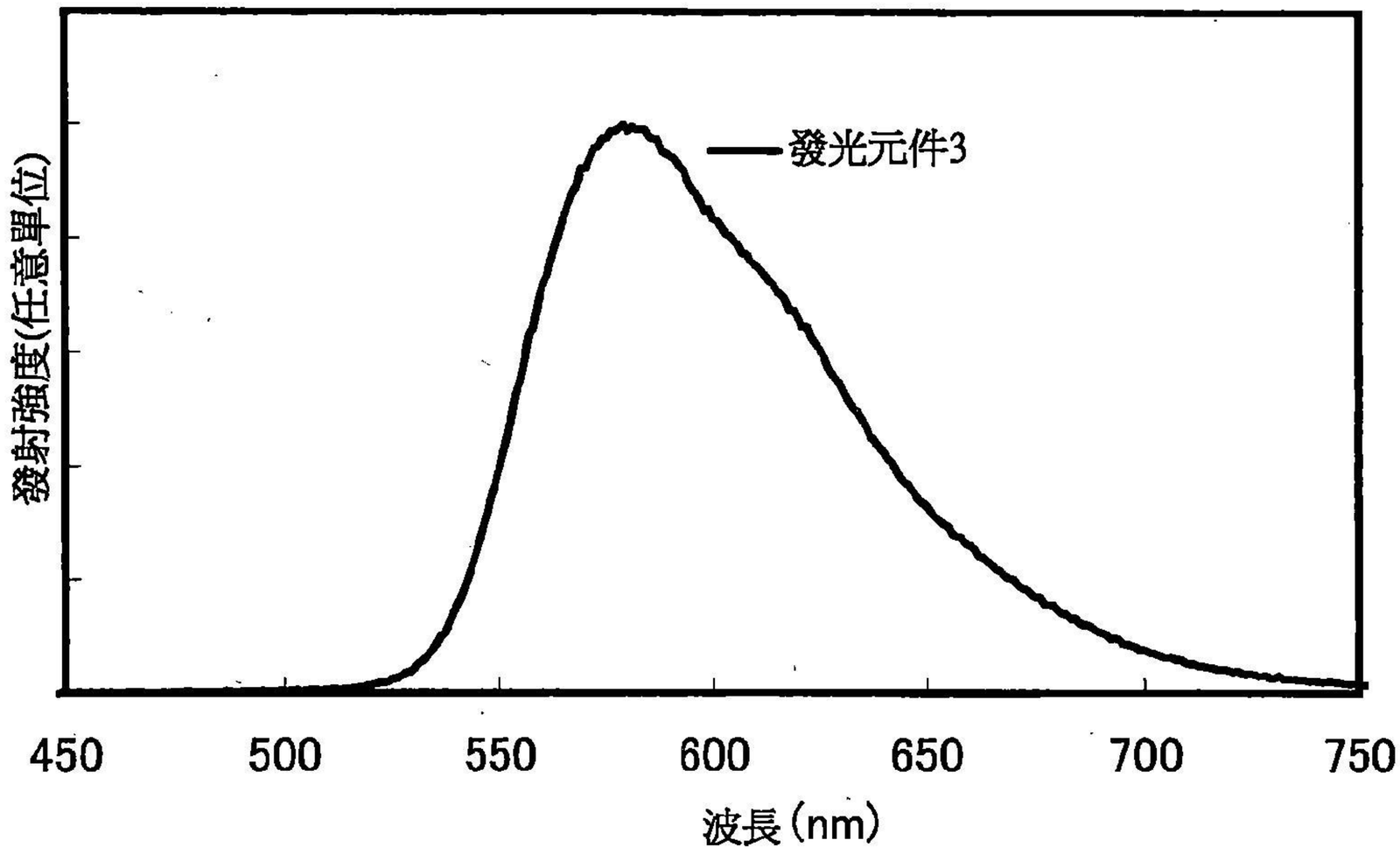


圖 14

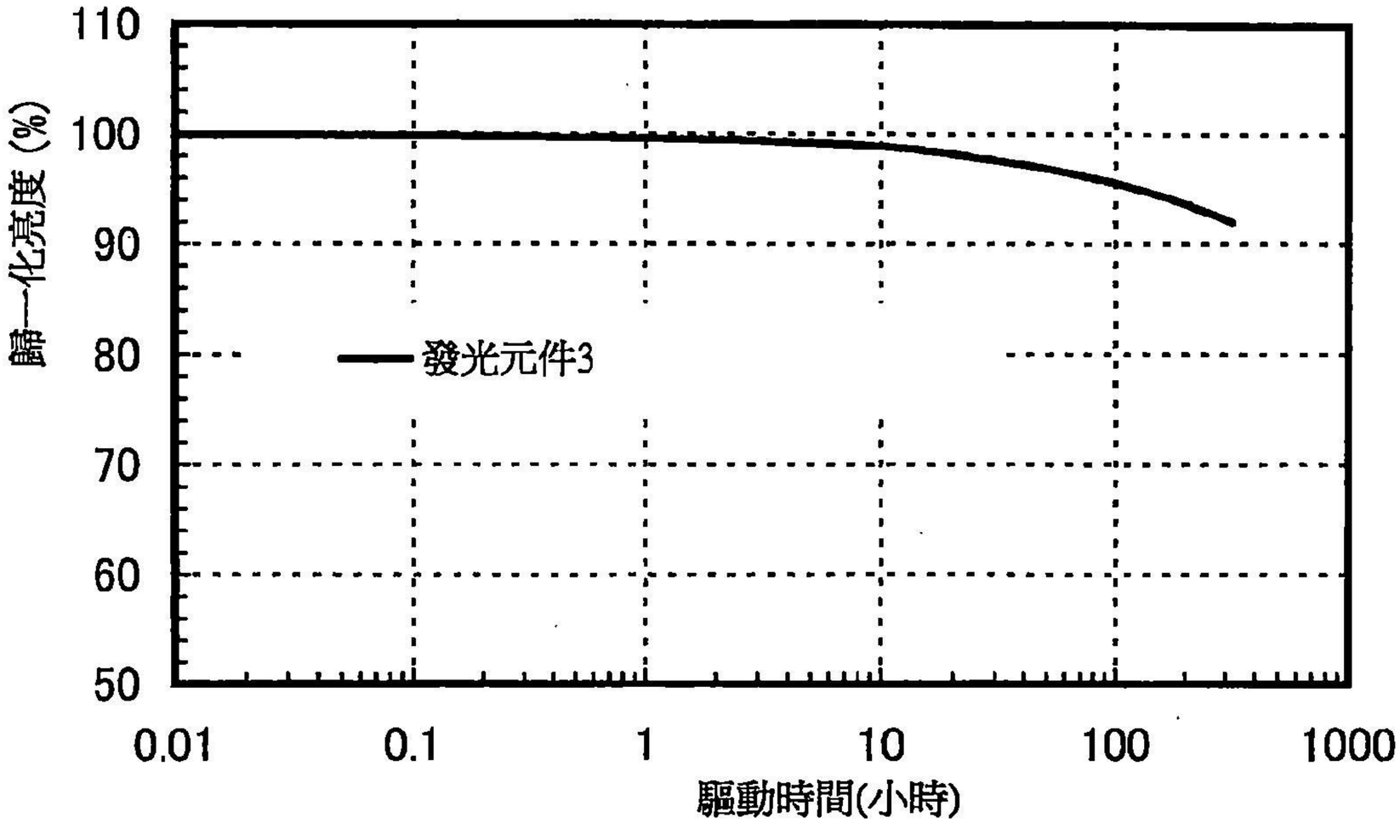


圖 15

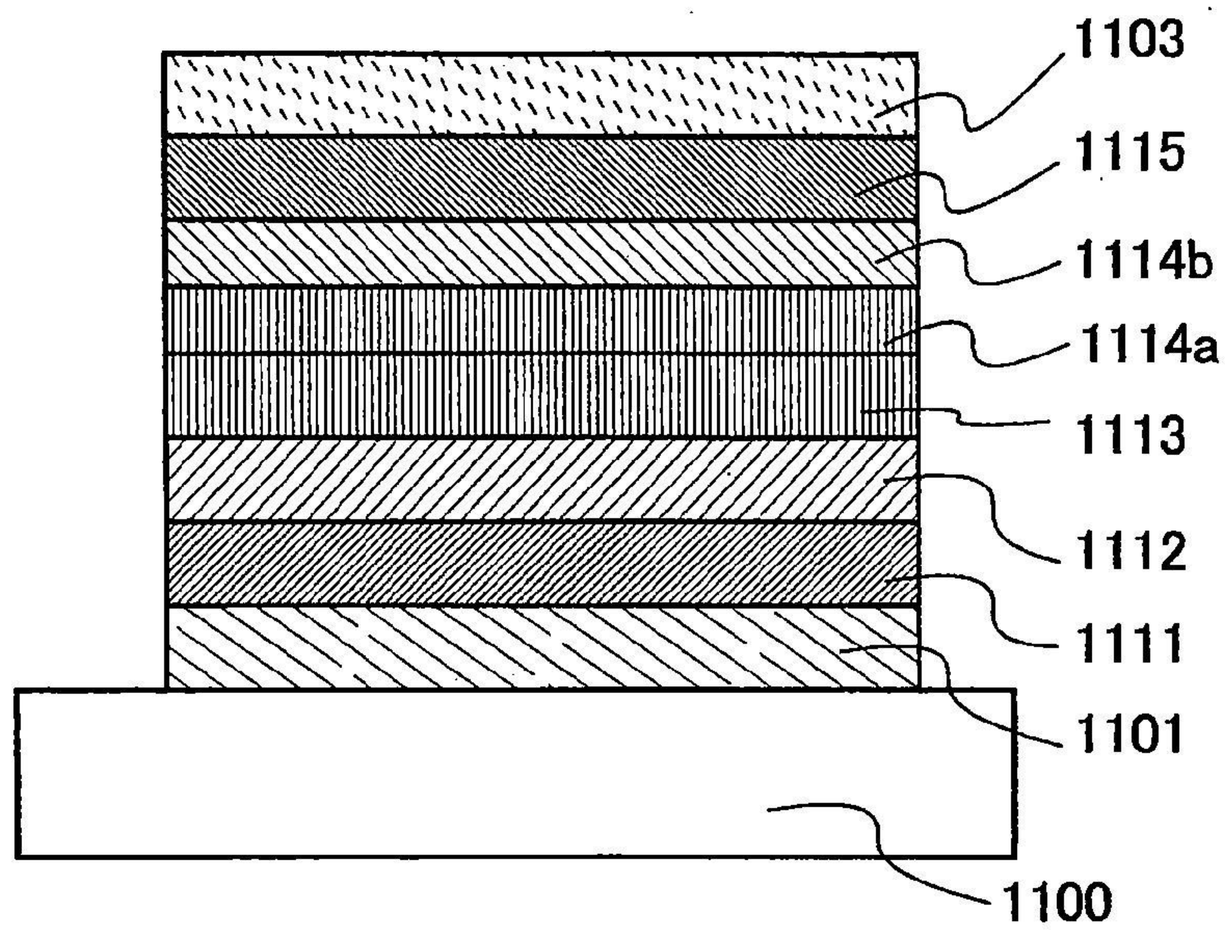


圖 16A

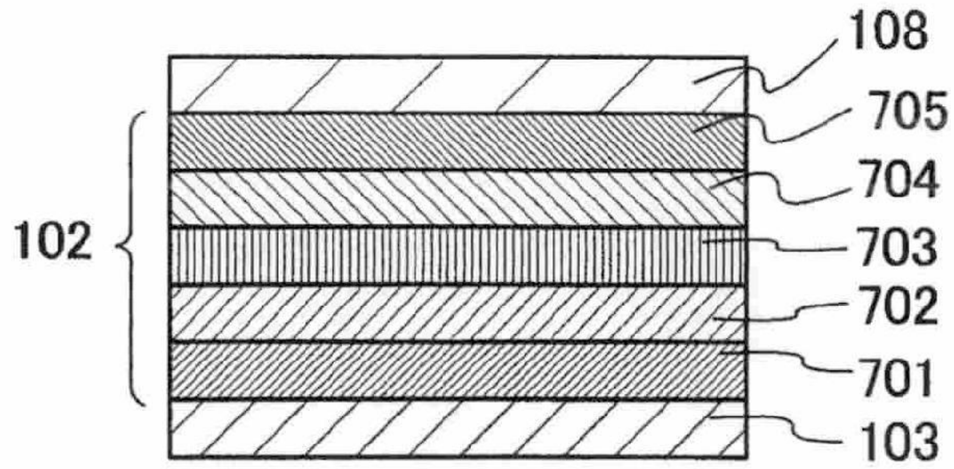



圖 16B

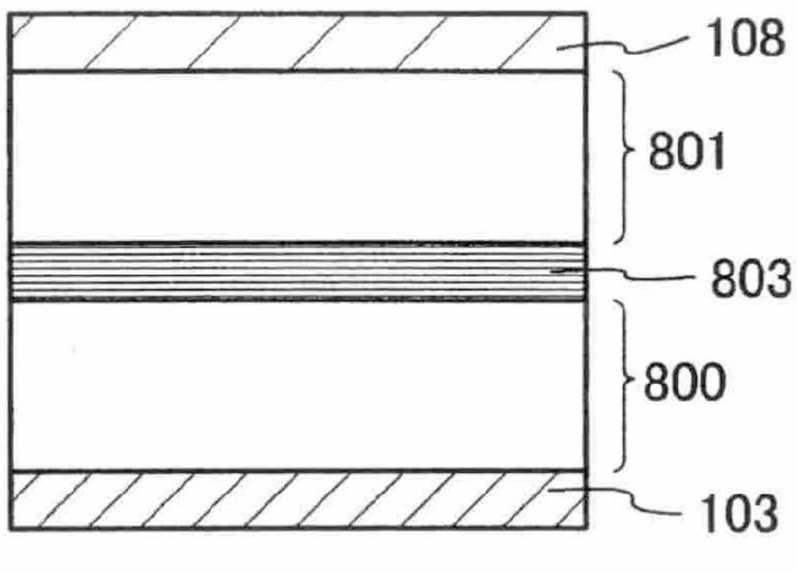



圖 16C

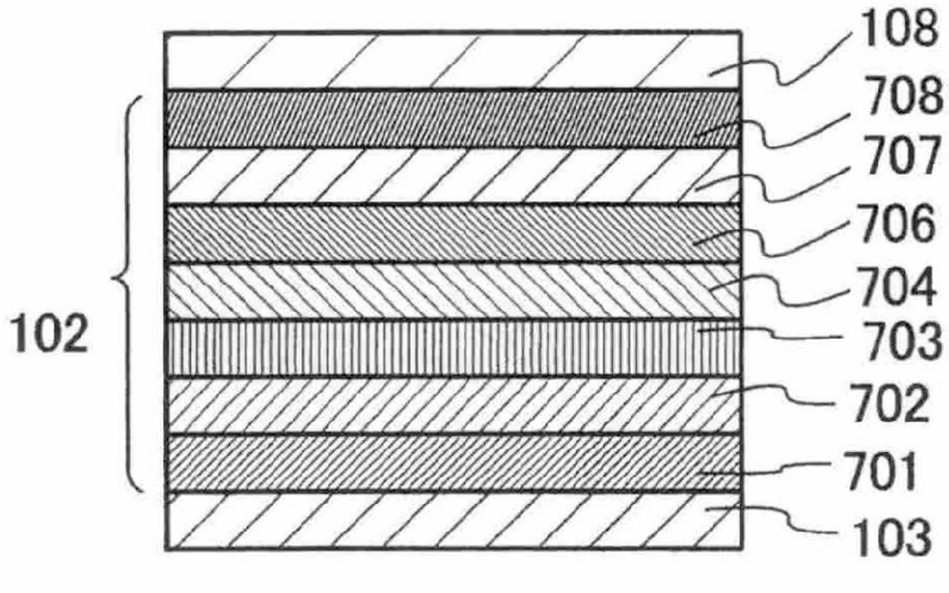


圖 17

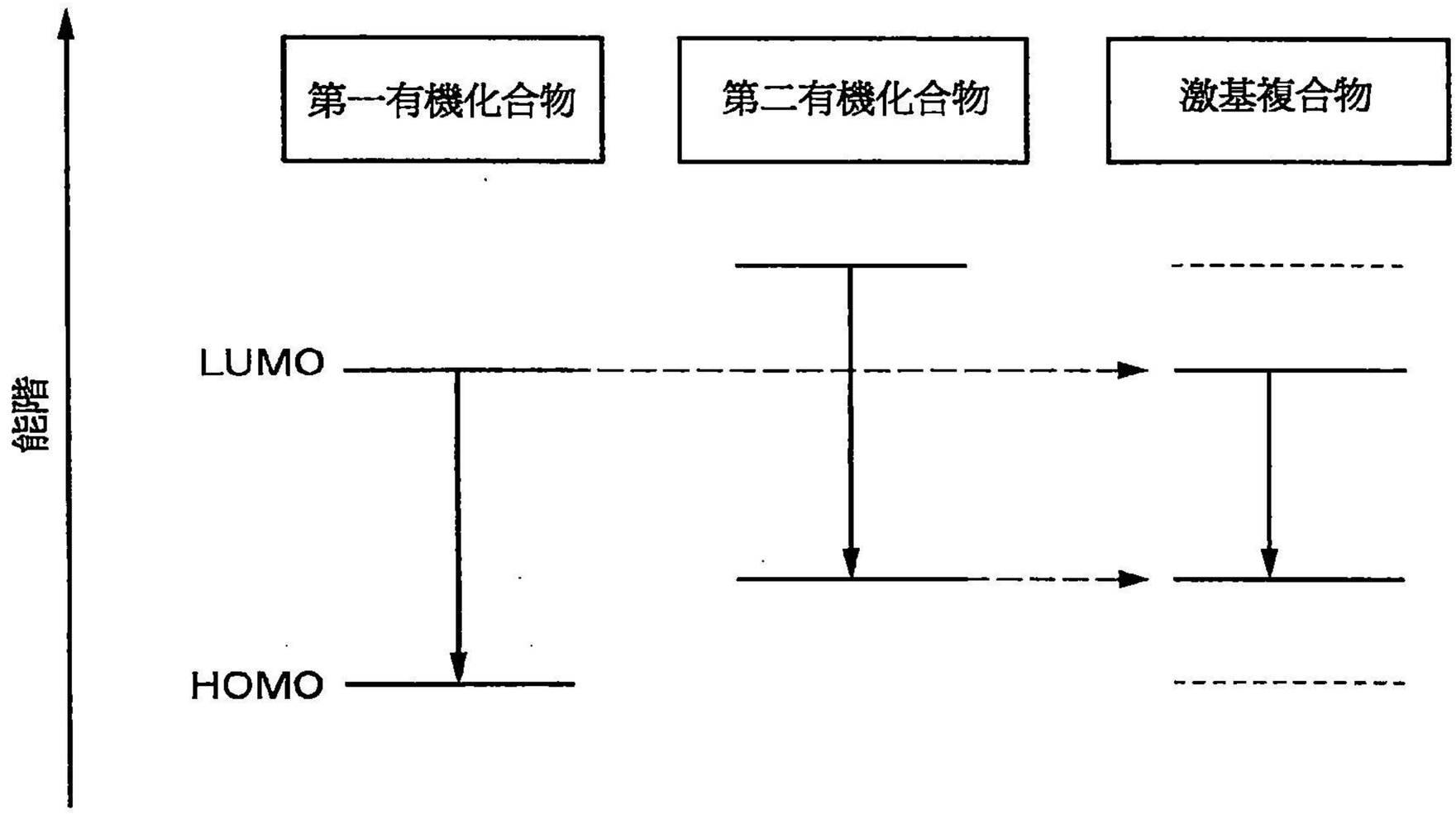


圖 18A

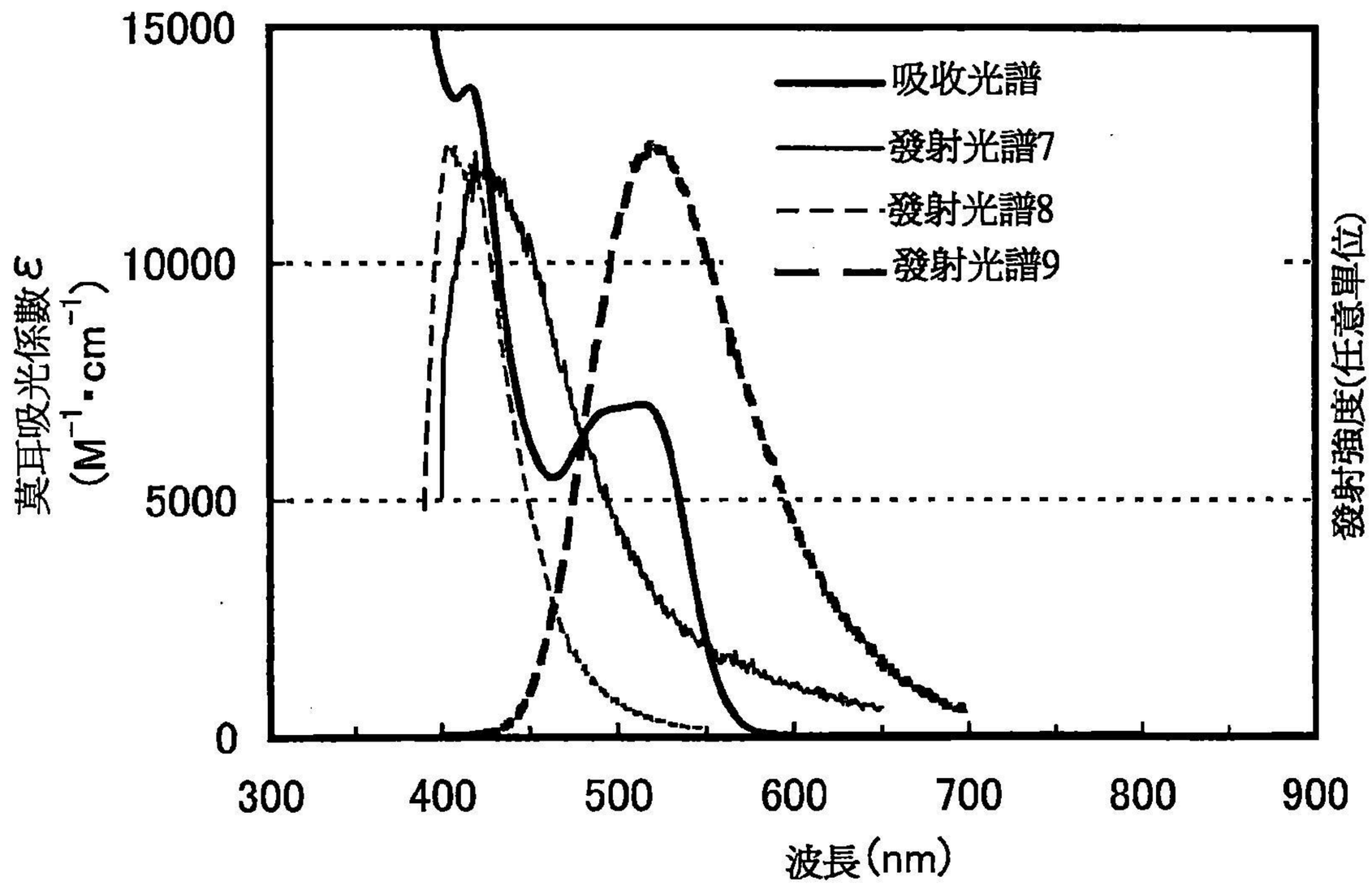

15000
10000
5000
0
莫耳吸光係數ε
($M^{-1}$·$cm^{-1}$)
吸收光譜
發射光譜7
發射光譜8
發射光譜9
發射強度(任意單位)
300
400
500
600
700
800
900
波長(nm)

圖 18B

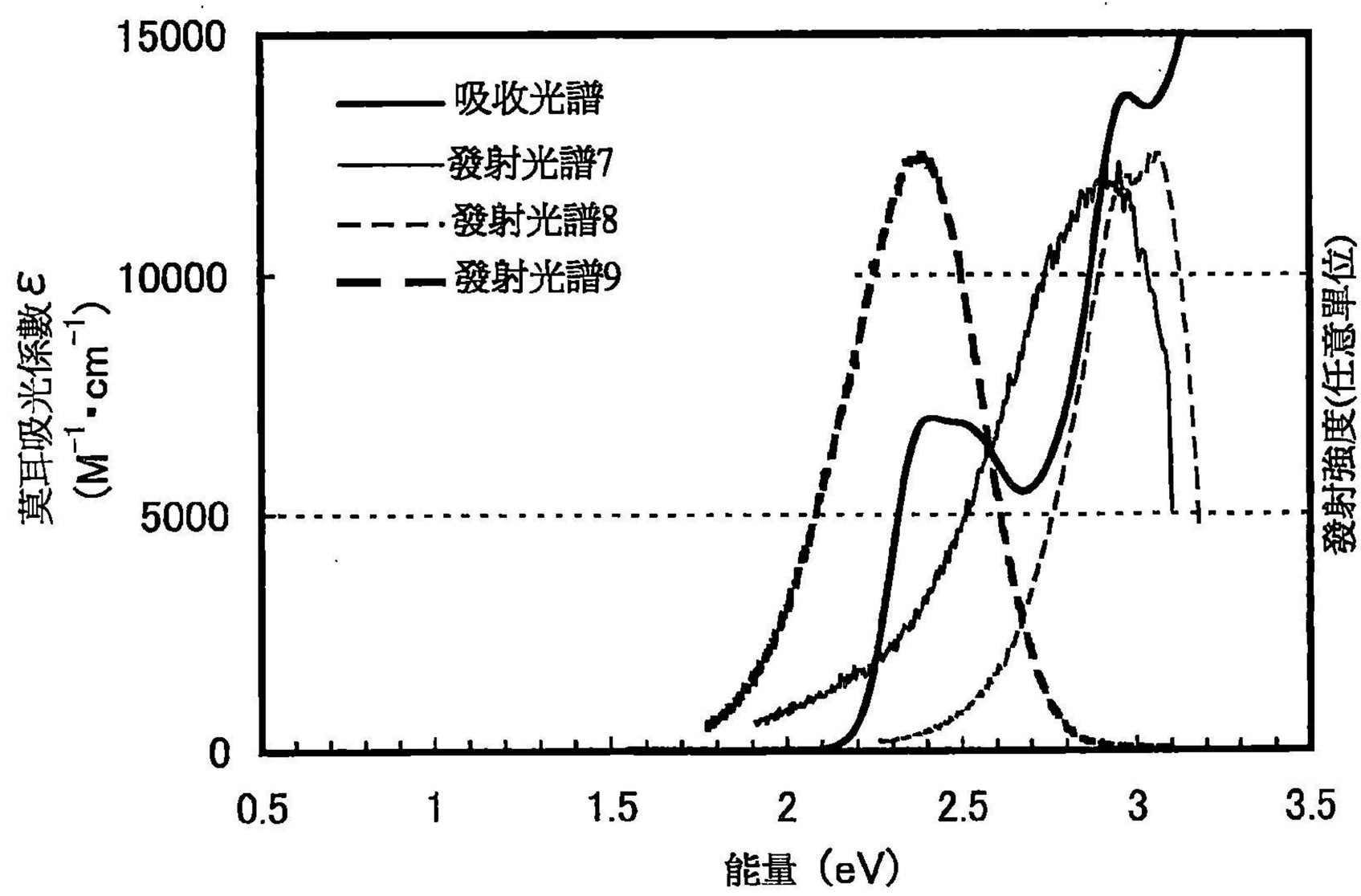

15000
10000
5000
0
莫耳吸光係數ε
($M^{-1}$·$cm^{-1}$)
吸收光譜
發射光譜7
發射光譜8
發射光譜9
發射強度(任意單位)
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
能量（eV）

圖 19

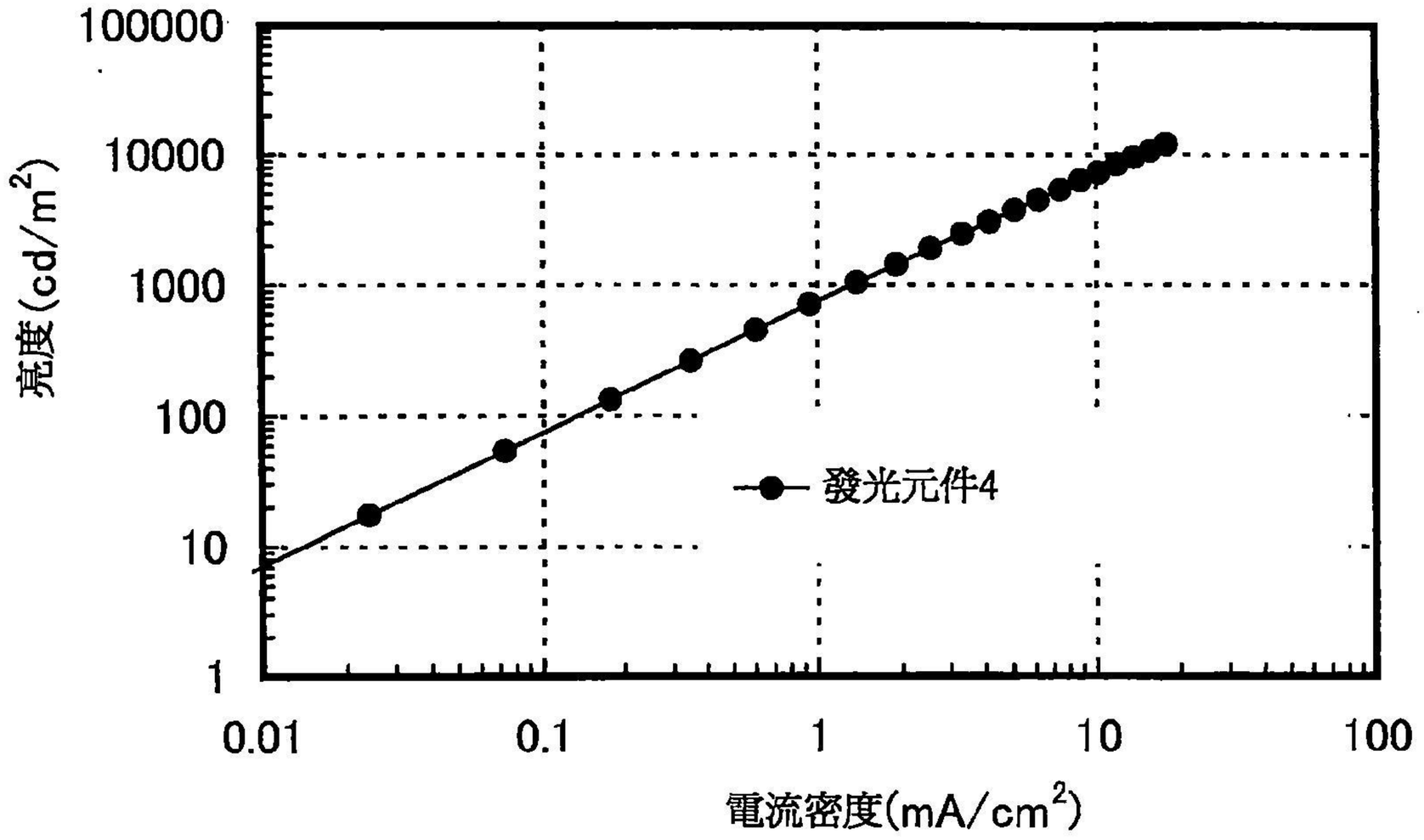

100000
10000
1000
100
10
1
亮度(cd/m2)
發光元件4
0.01
0.1
1
10
100
電流密度(mA/cm2)

圖 20

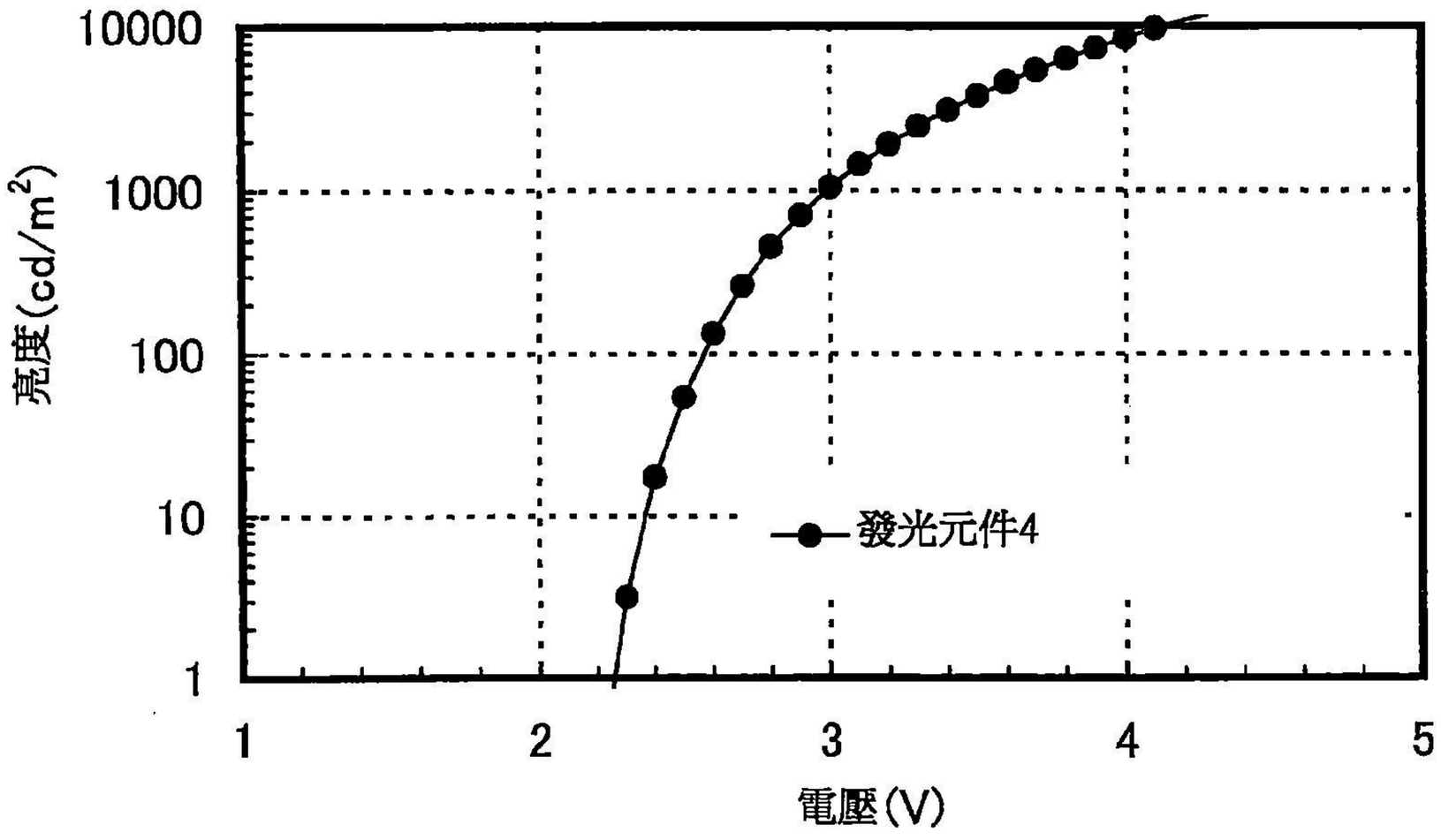

10000
1000
100
10
1
亮度(cd/m2)
發光元件4
1
2
3
4
5
電壓(V)

圖 21

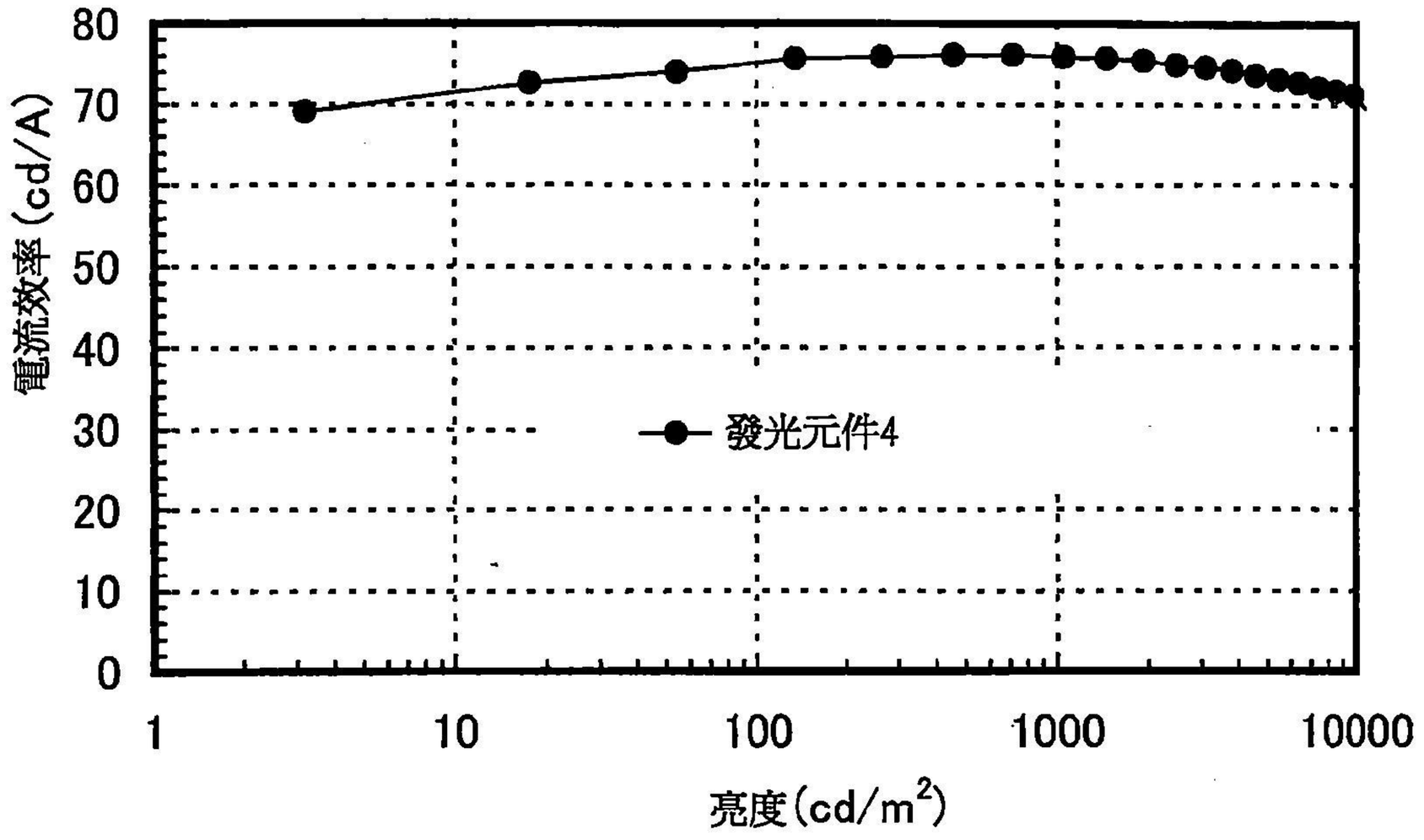

電流效率 (cd/A)
80
70
60
50
40
30
20
10
0
發光元件4
1
10
100
1000
10000
亮度(cd/m²)

圖 22

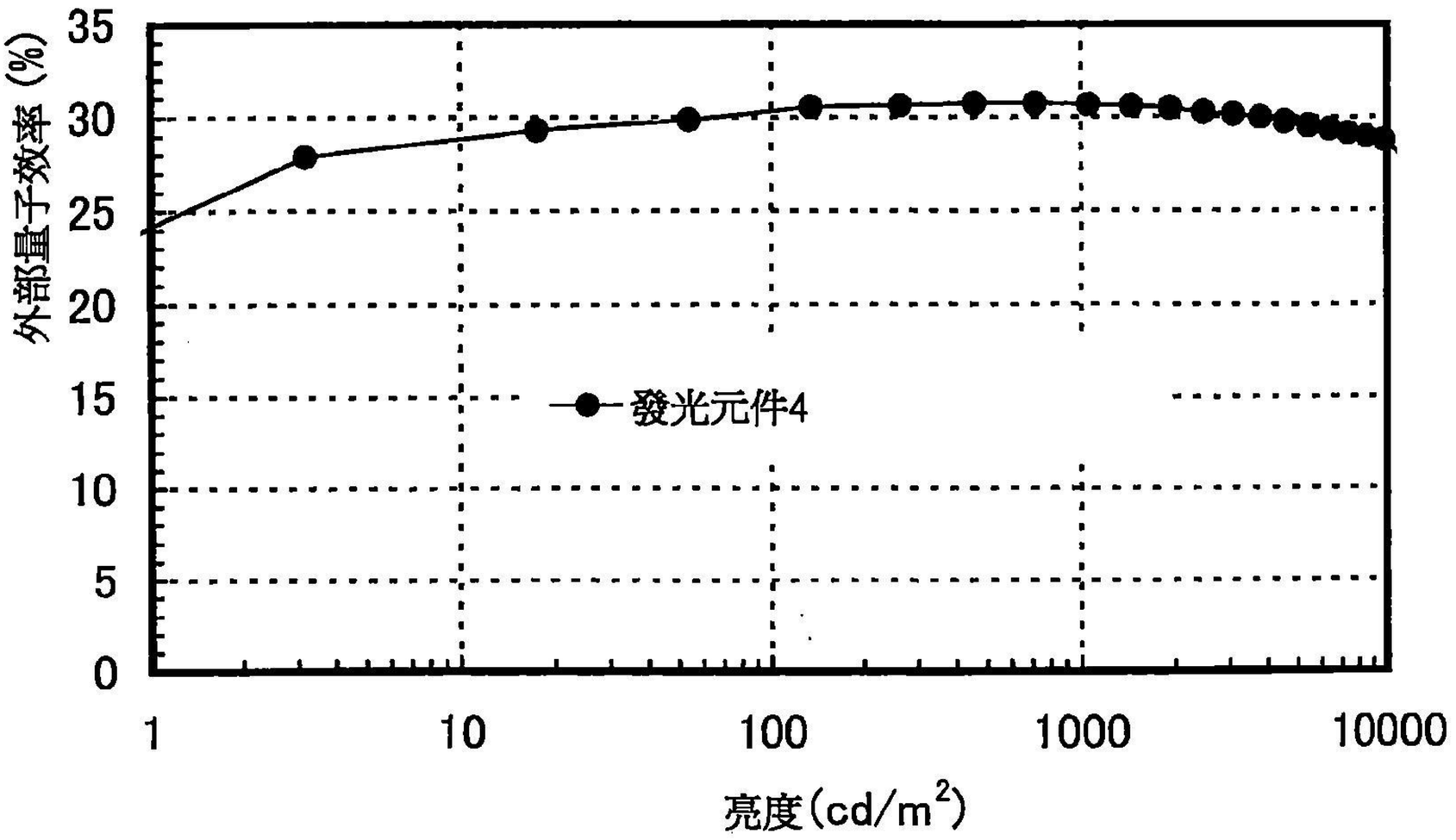

外部量子效率 (%)
35
30
25
20
15
10
5
0
發光元件4
1
10
100
1000
10000
亮度(cd/m²)

圖 23

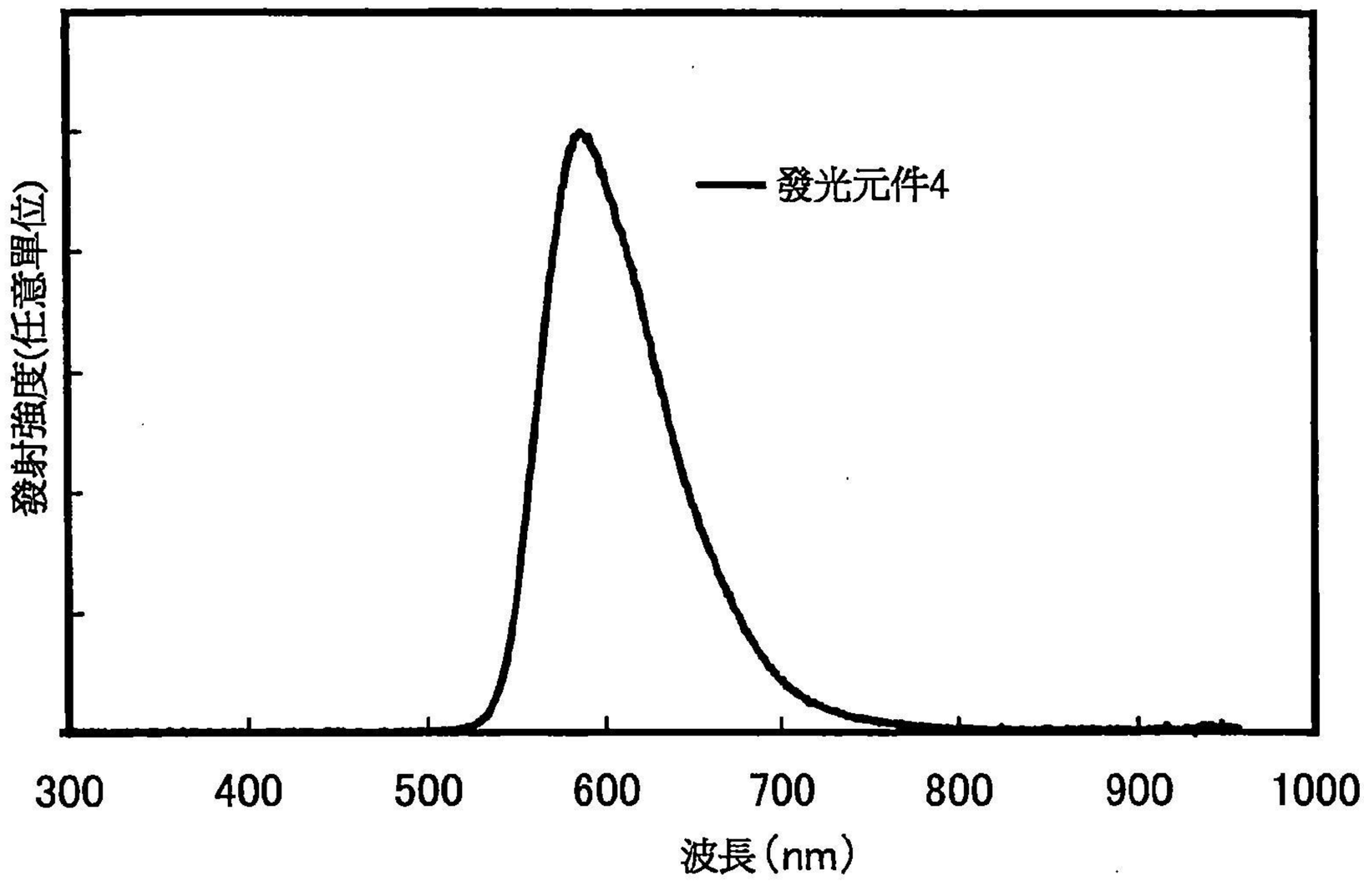


圖 24

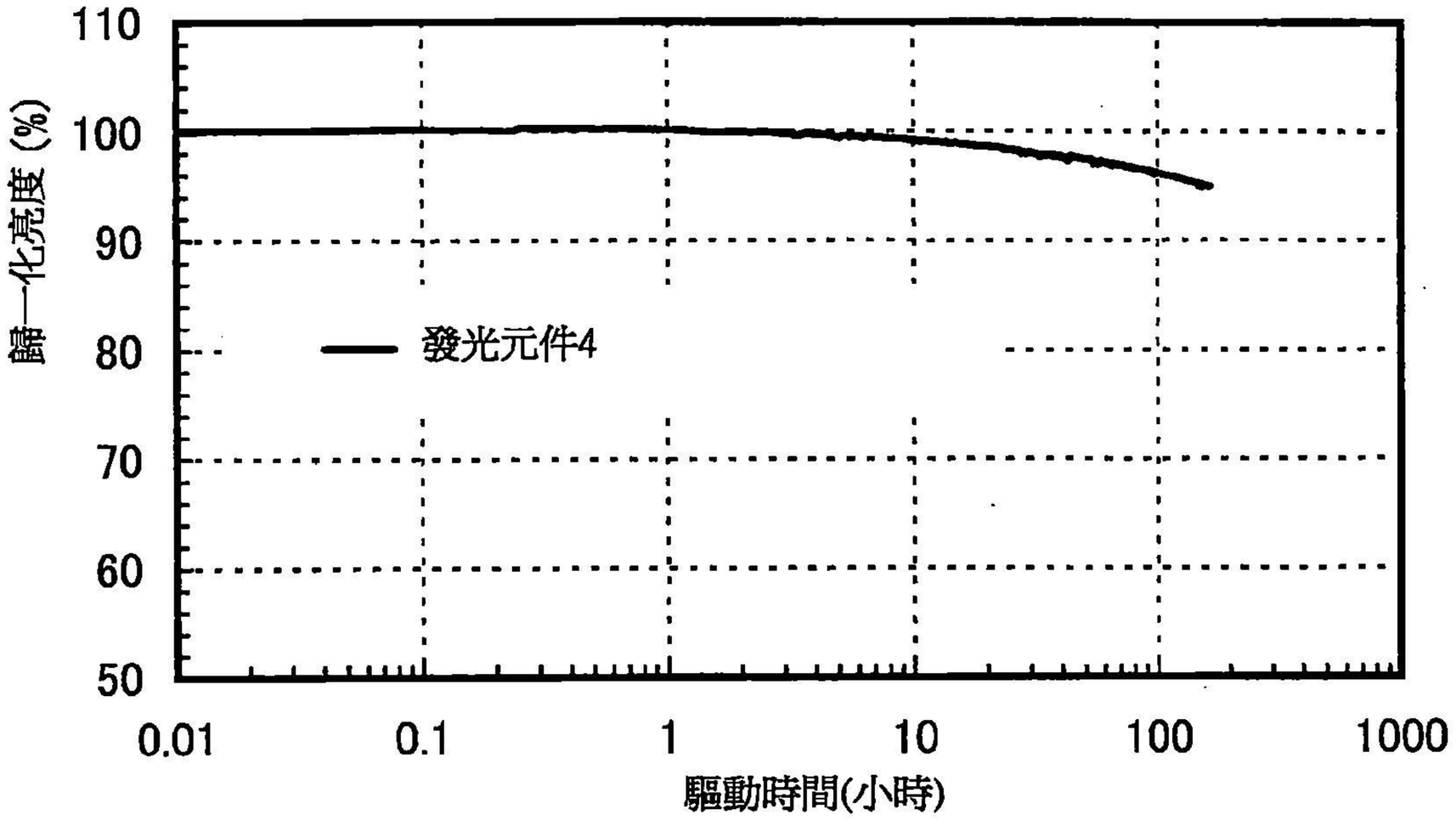
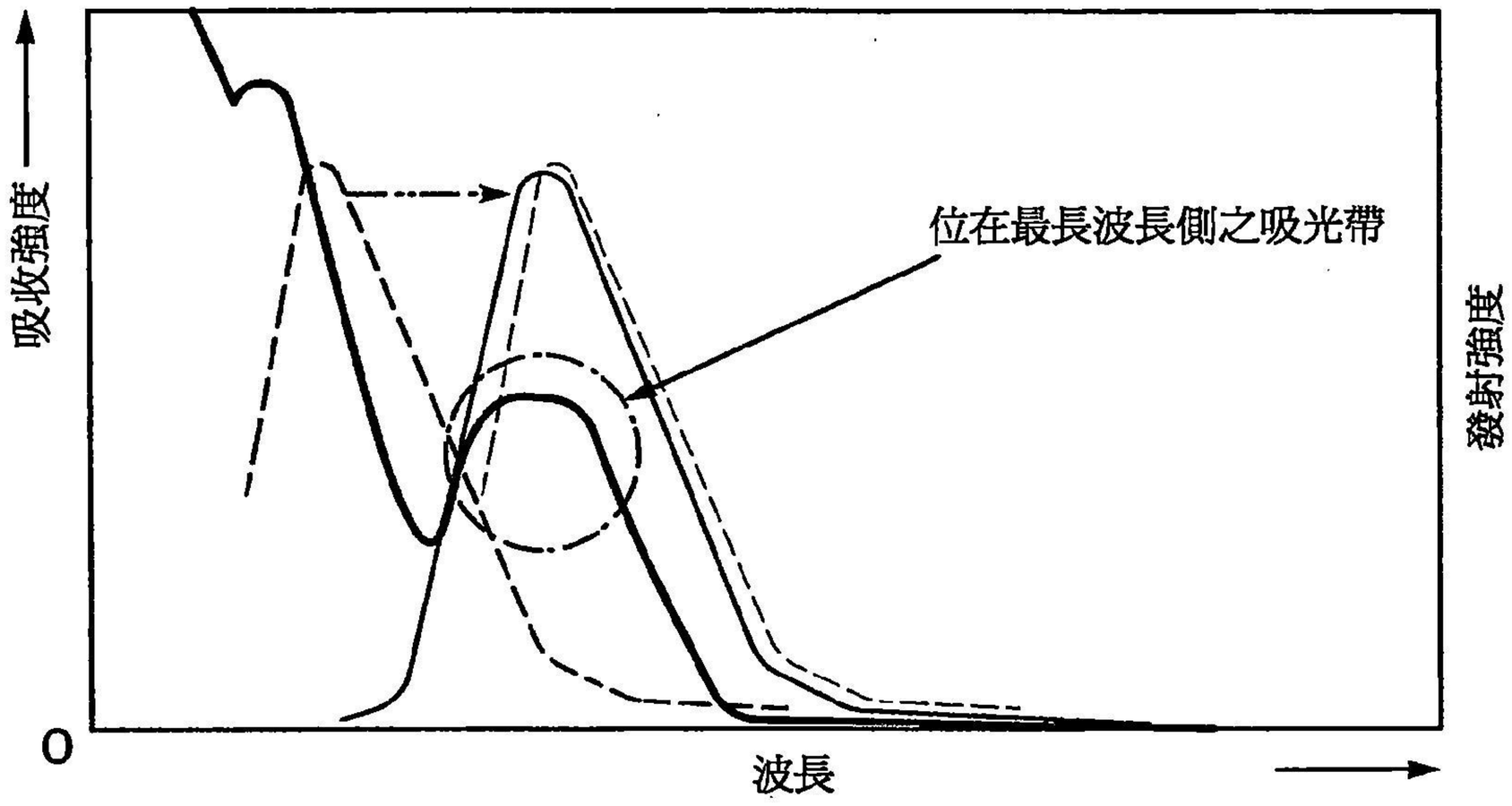


圖 25




－－ 第一或第二有機化合物之螢光光譜
-－- 第一或第二有機化合物之磷光光譜
━ 磷光化合物之吸收光譜
── 激基複合物之發射光譜

圖 26A

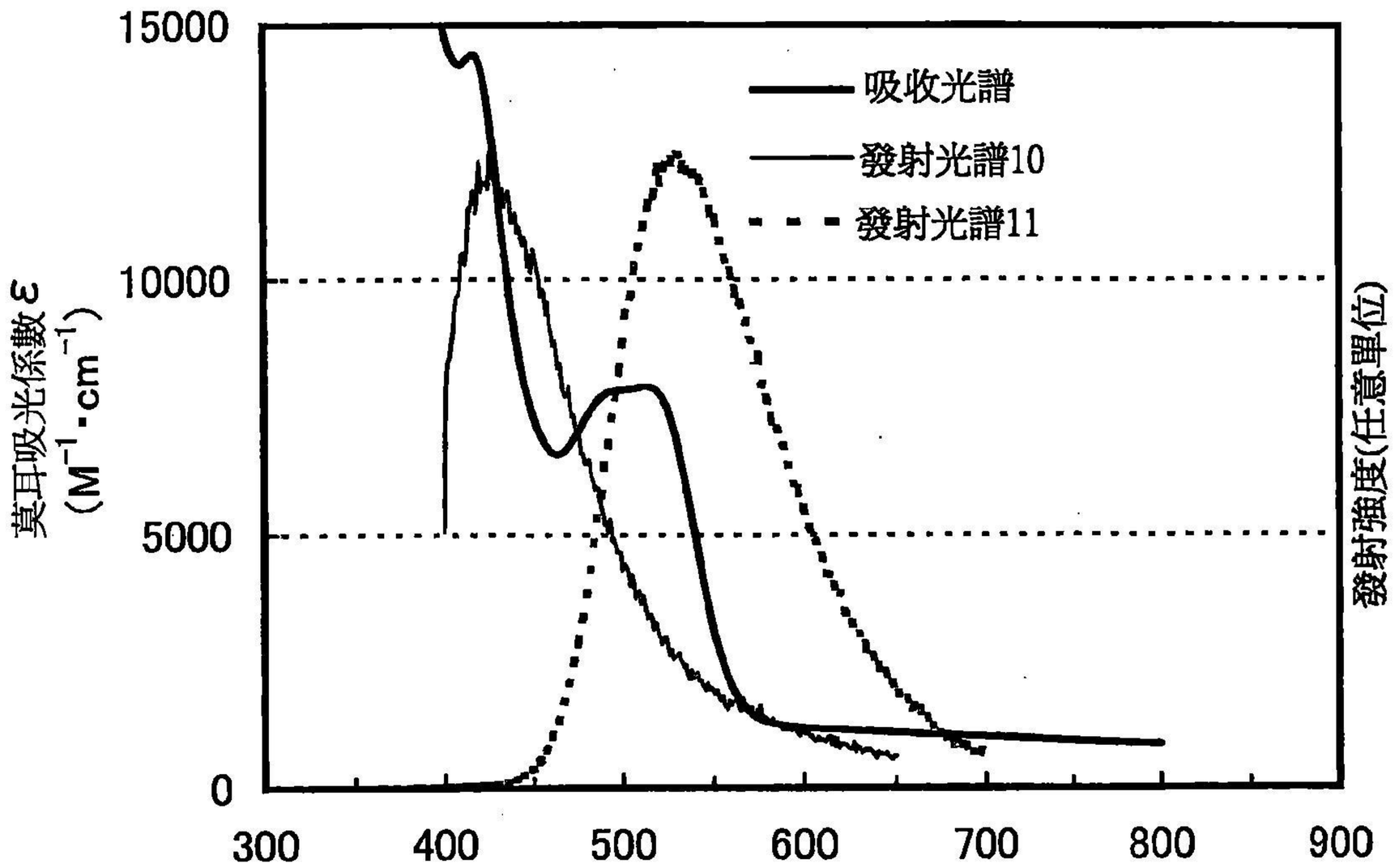

15000
10000
5000
0
莫耳吸光係數ε
($M^{-1}$·$cm^{-1}$)
300
400
500
600
700
800
900
波長(nm)
吸收光譜
發射光譜10
發射光譜11
發射強度(任意單位)

圖 26B

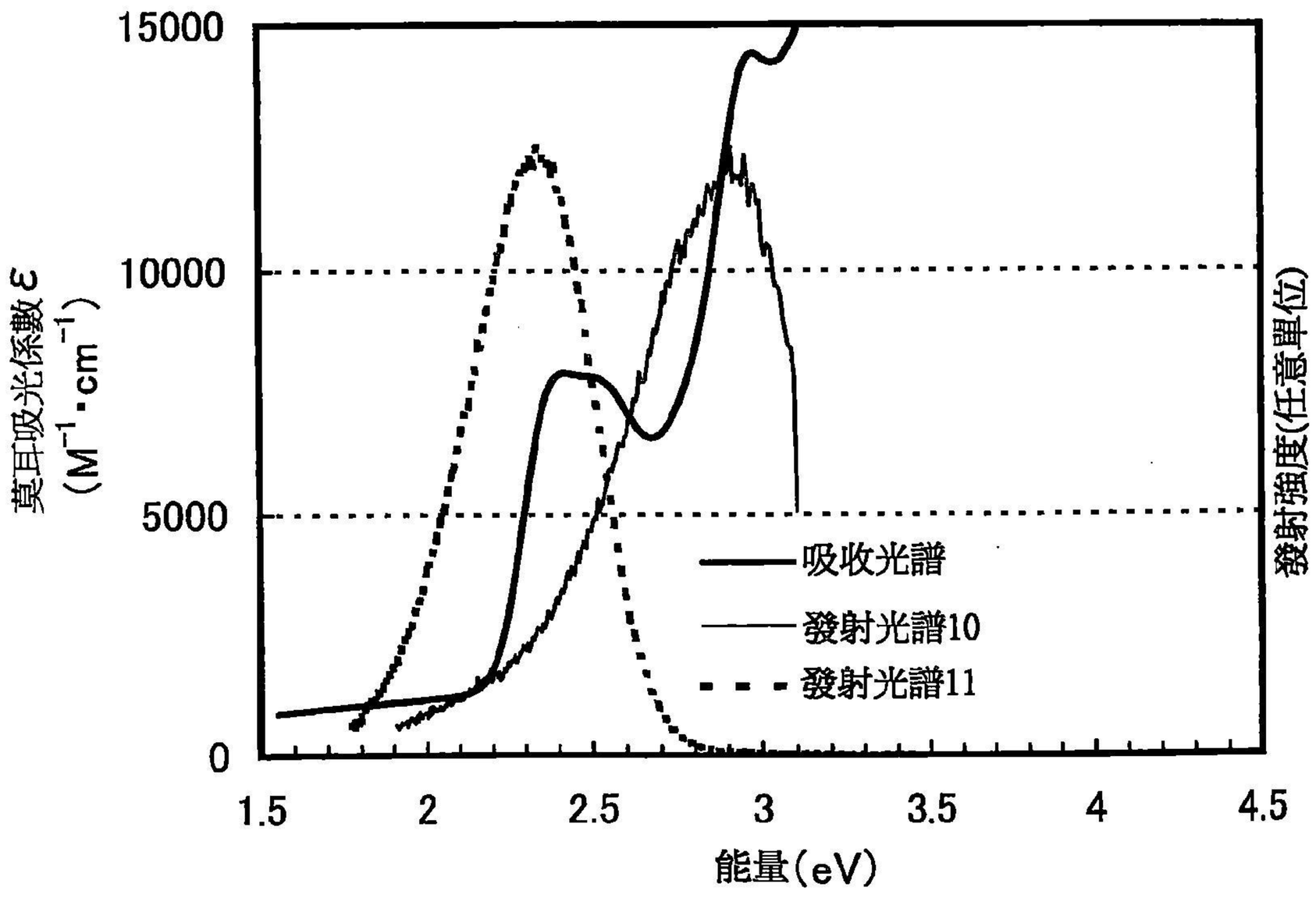

15000
10000
5000
0
莫耳吸光係數ε
($M^{-1}$·$cm^{-1}$)
1.5
2
2.5
3
3.5
4
4.5
能量(eV)
吸收光譜
發射光譜10
發射光譜11
發射強度(任意單位)

圖 27

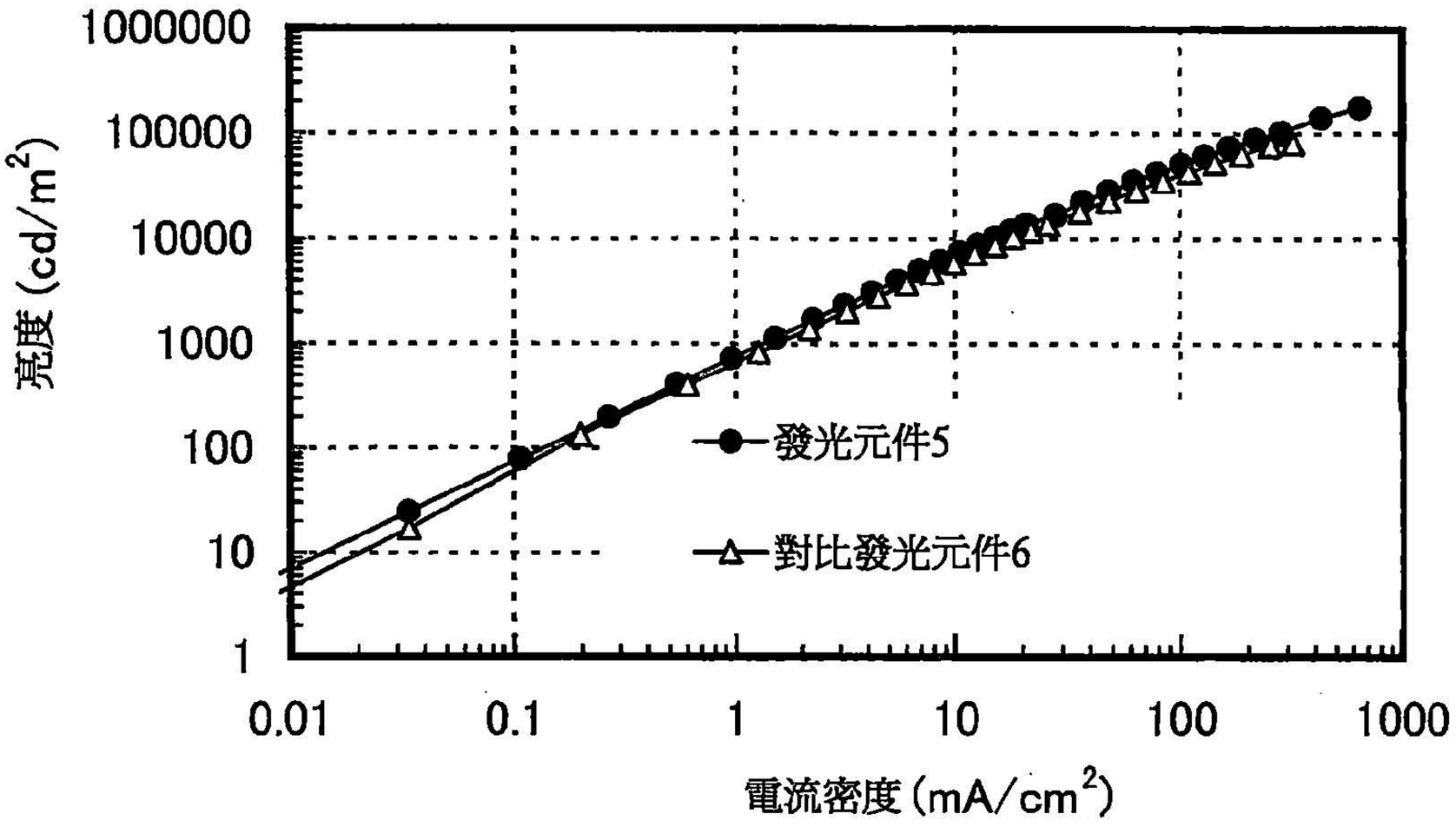

1000000
100000
10000
1000
100
10
1
亮度 (cd/m2)
0.01
0.1
1
10
100
1000
電流密度 (mA/cm2)
發光元件5
對比發光元件6

圖 28

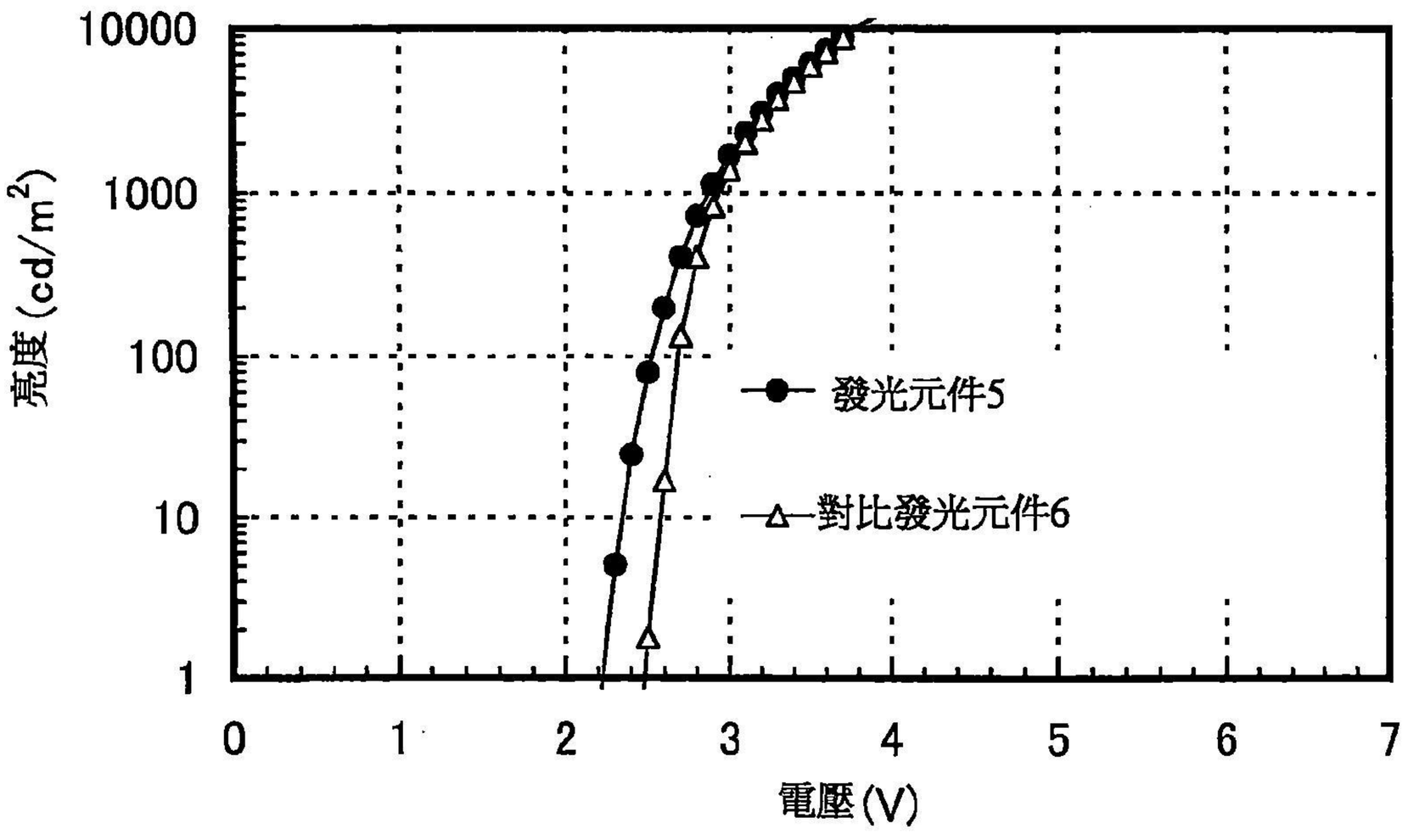

10000
1000
100
10
1
亮度 (cd/m2)
0
1
2
3
4
5
6
7
電壓 (V)
發光元件5
對比發光元件6

圖 29

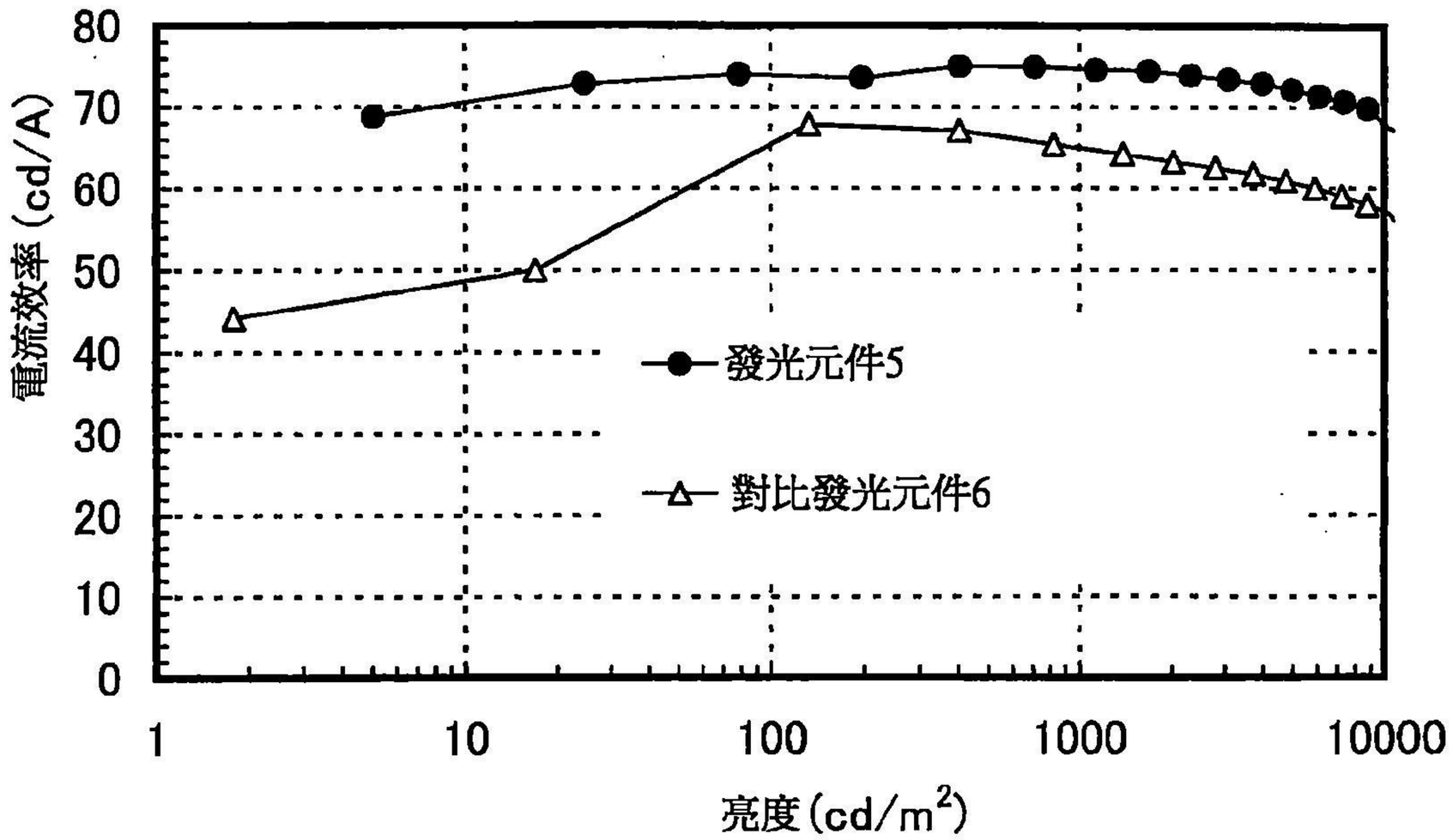

電流效率 (cd/A)
80
70
60
50
40
30
20
10
0
1
10
100
1000
10000
亮度 (cd/m²)
發光元件5
對比發光元件6

圖 30

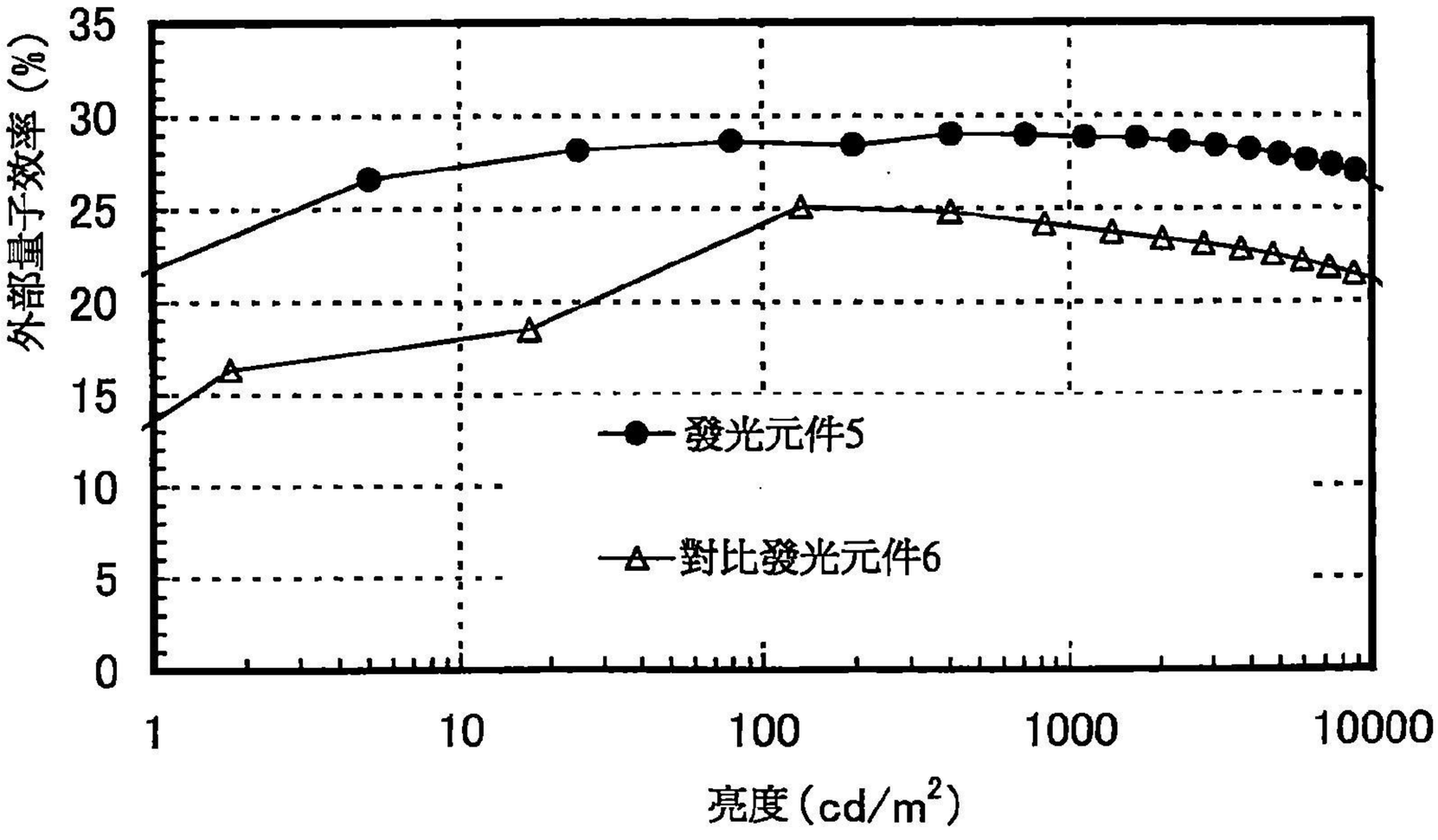

外部量子效率 (%)
35
30
25
20
15
10
5
0
1
10
100
1000
10000
亮度 (cd/m²)
發光元件5
對比發光元件6

圖 31

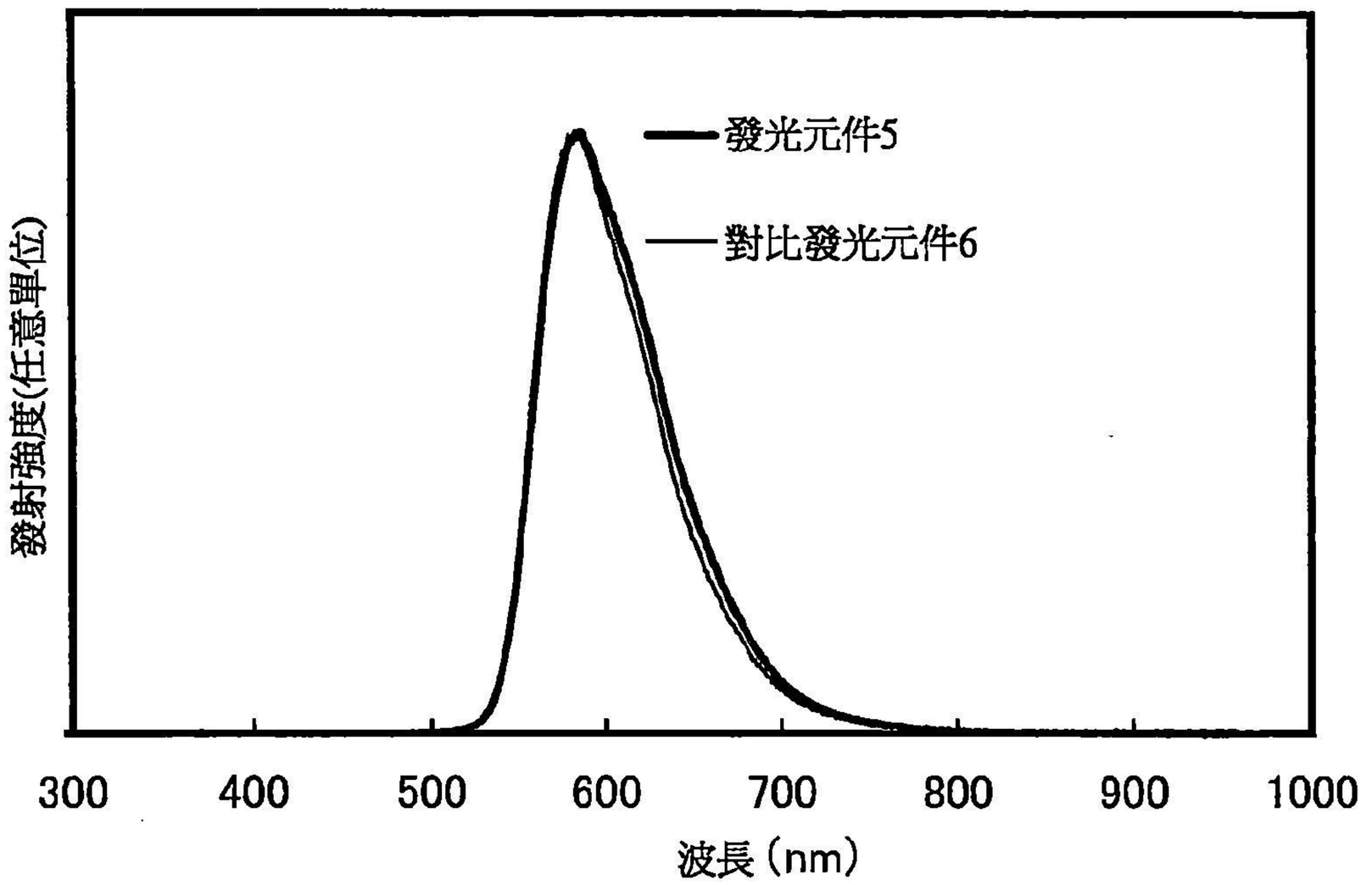


圖 32A

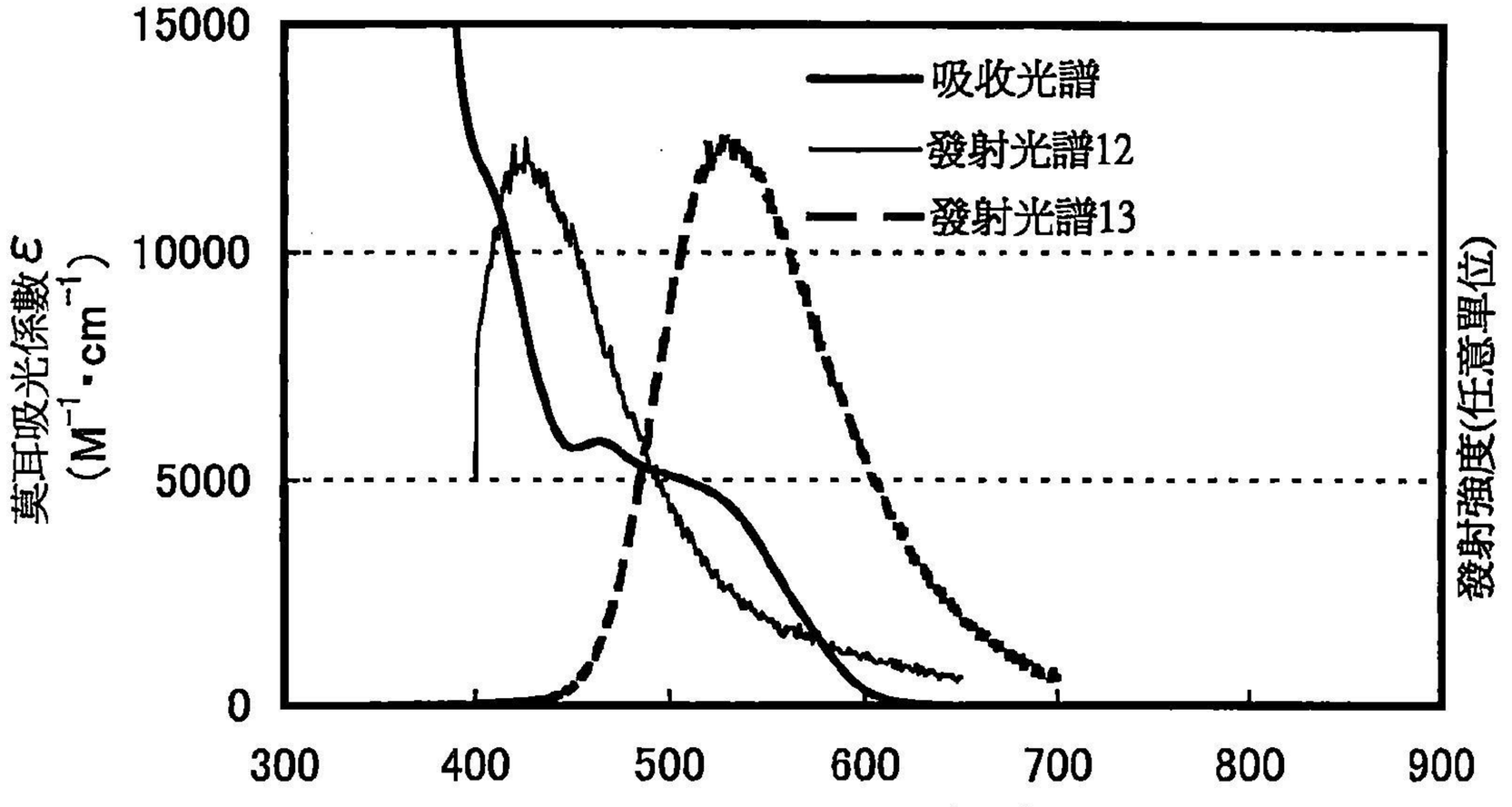

15000
10000
5000
0
莫耳吸光係數ε
($M^{-1}\cdot cm^{-1}$)
吸收光譜
發射光譜12
發射光譜13
發射強度(任意單位)
300
400
500
600
700
800
900
波長(nm)

圖 32B

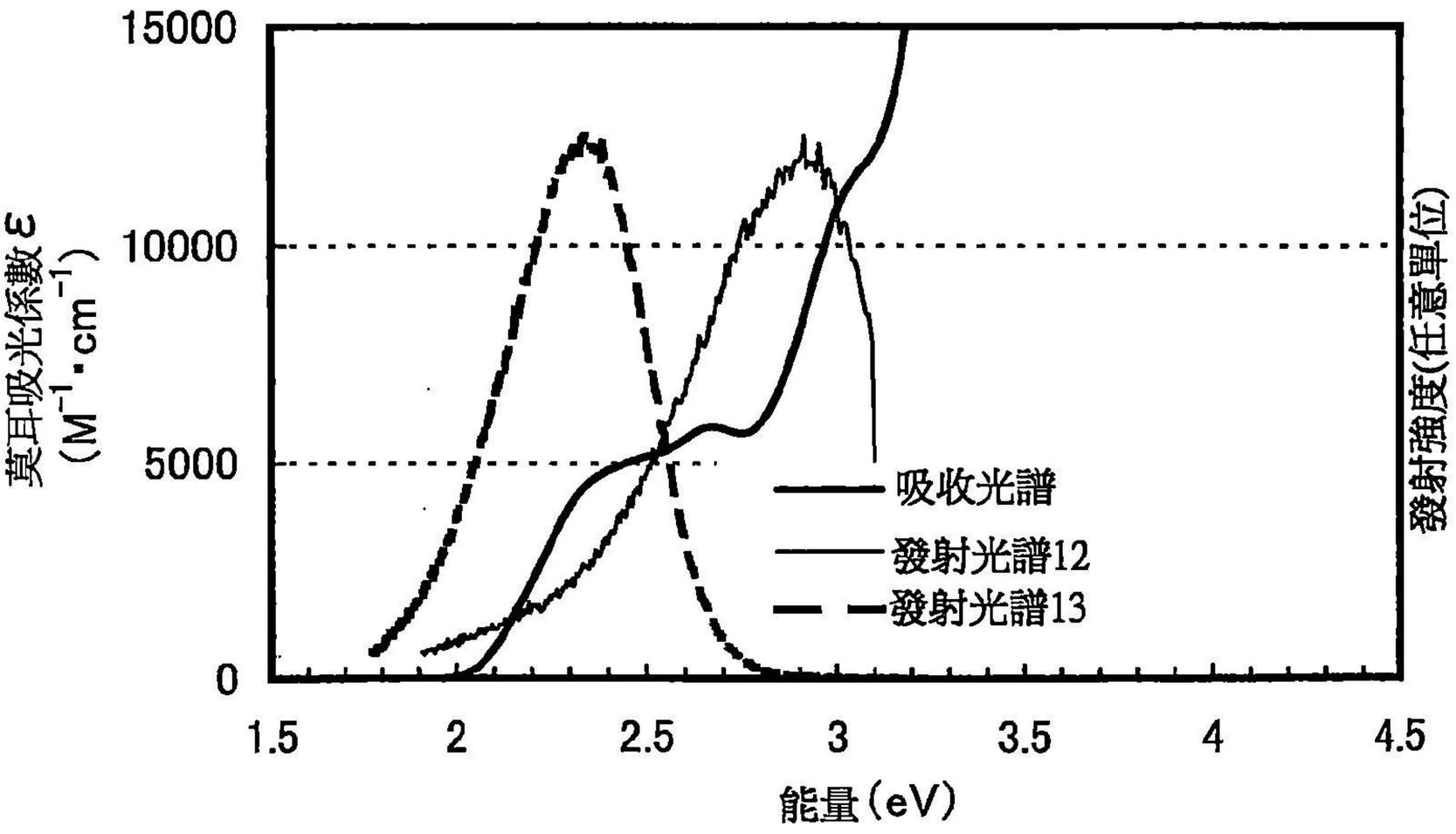

15000
10000
5000
0
莫耳吸光係數ε
($M^{-1}\cdot cm^{-1}$)
吸收光譜
發射光譜12
發射光譜13
發射強度(任意單位)
1.5
2
2.5
3
3.5
4
4.5
能量(eV)

圖 33

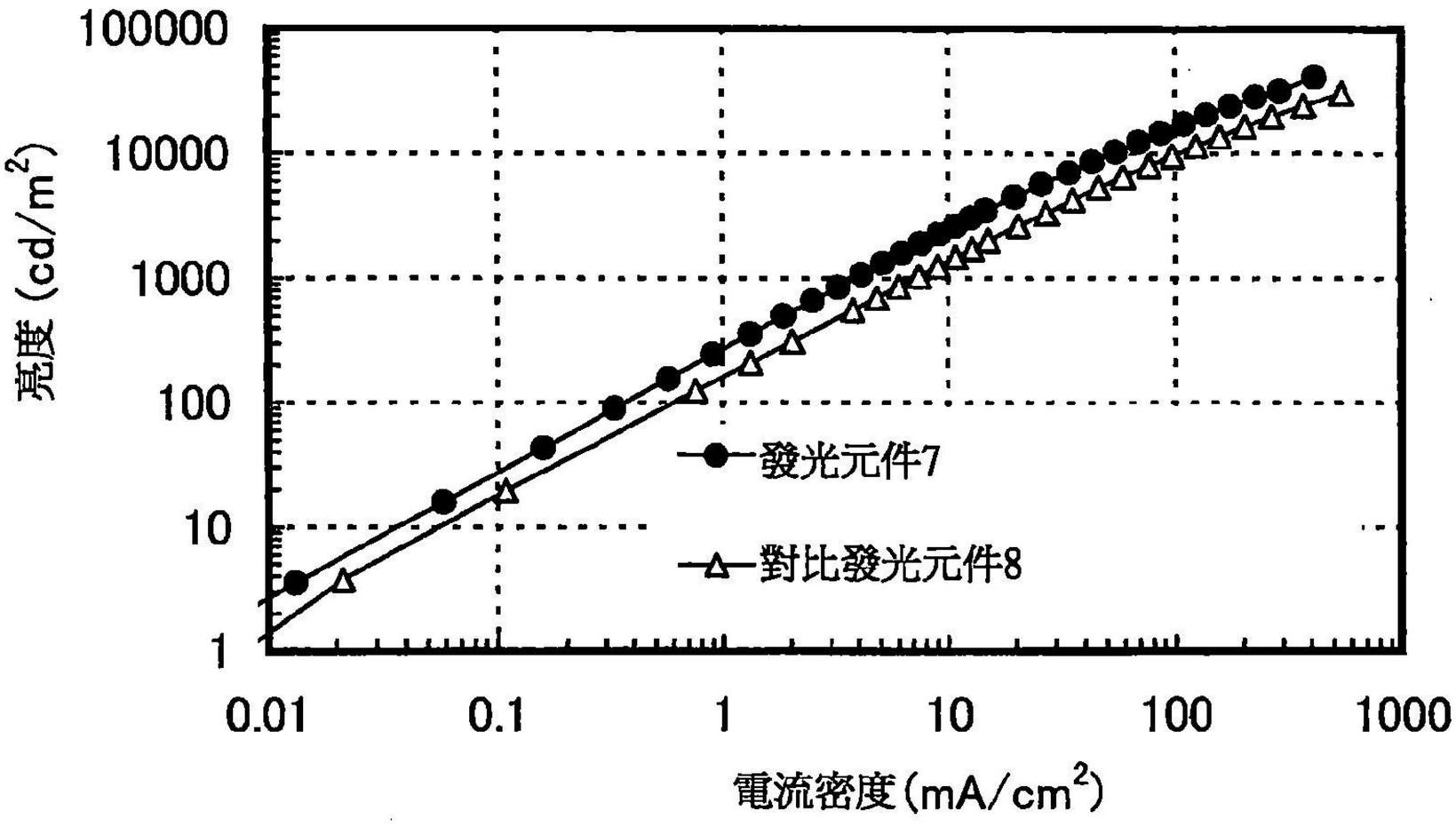

100000
10000
1000
100
10
1
亮度 (cd/m2)
發光元件7
對比發光元件8
0.01
0.1
1
10
100
1000
電流密度(mA/cm2)

圖 34

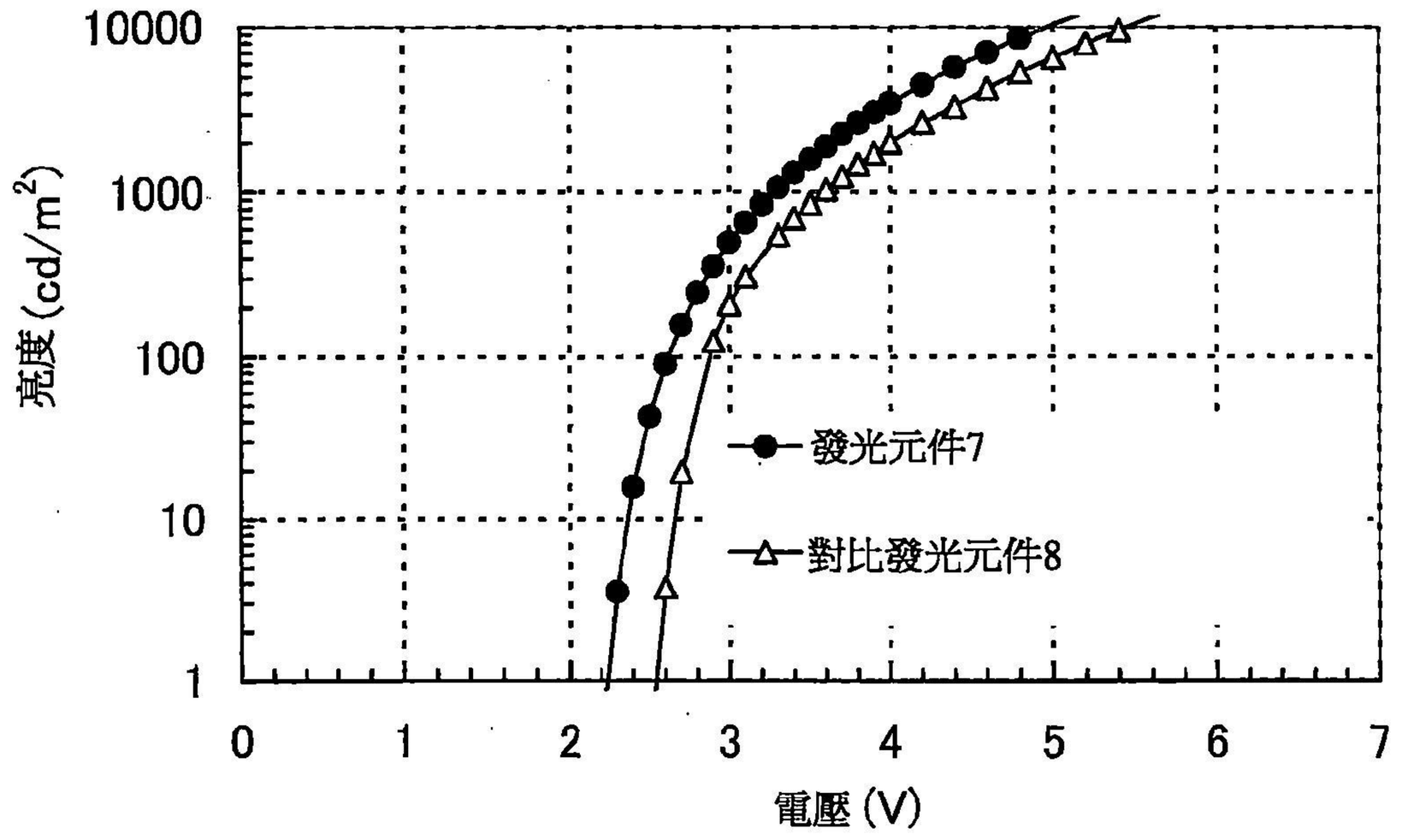

10000
1000
100
10
1
亮度 (cd/m2)
發光元件7
對比發光元件8
0
1
2
3
4
5
6
7
電壓 (V)

圖 35

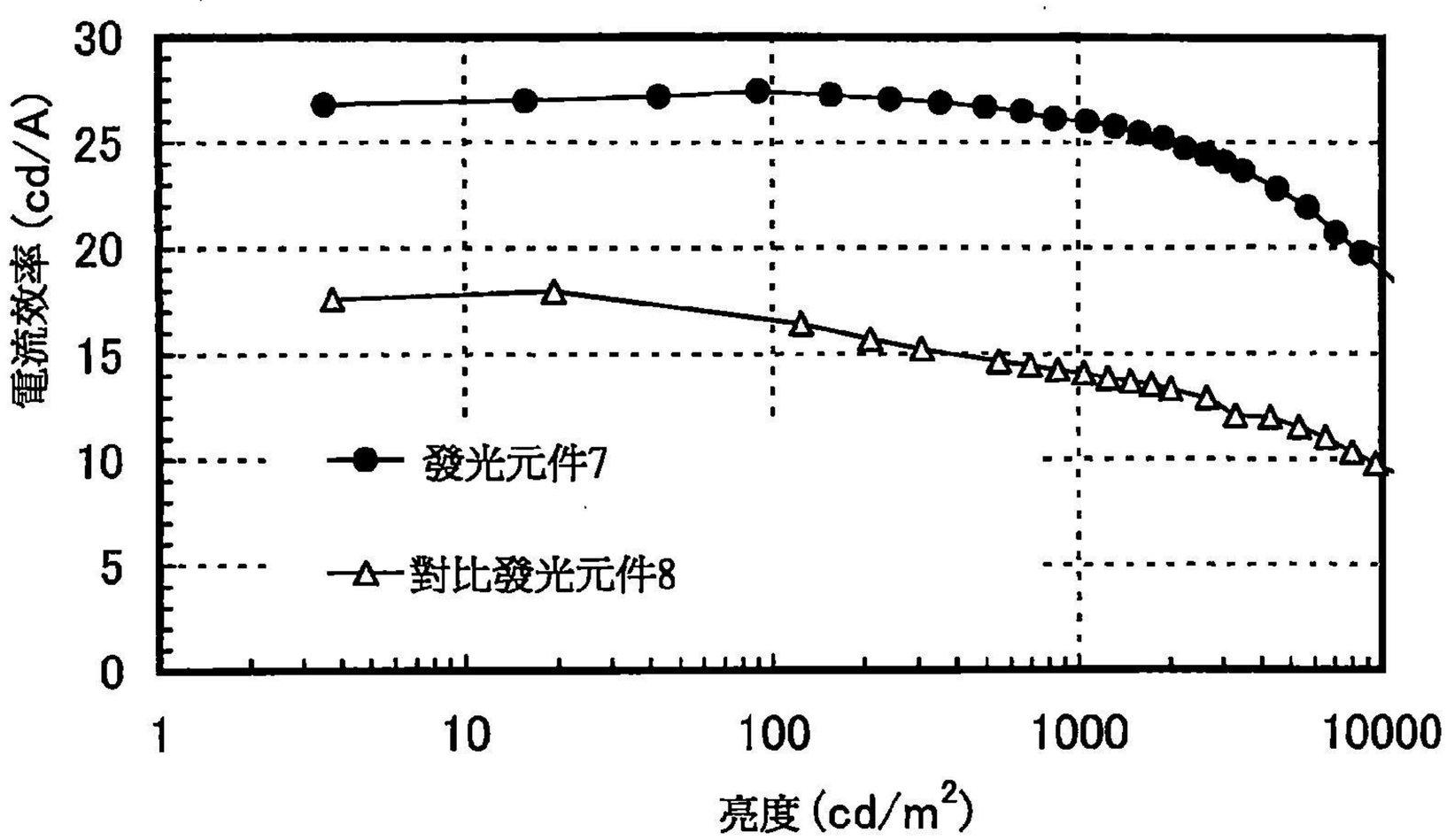

電流效率 (cd/A)
30
25
20
15
10
5
0
發光元件7
對比發光元件8
1
10
100
1000
10000
亮度 (cd/m2)

圖 36

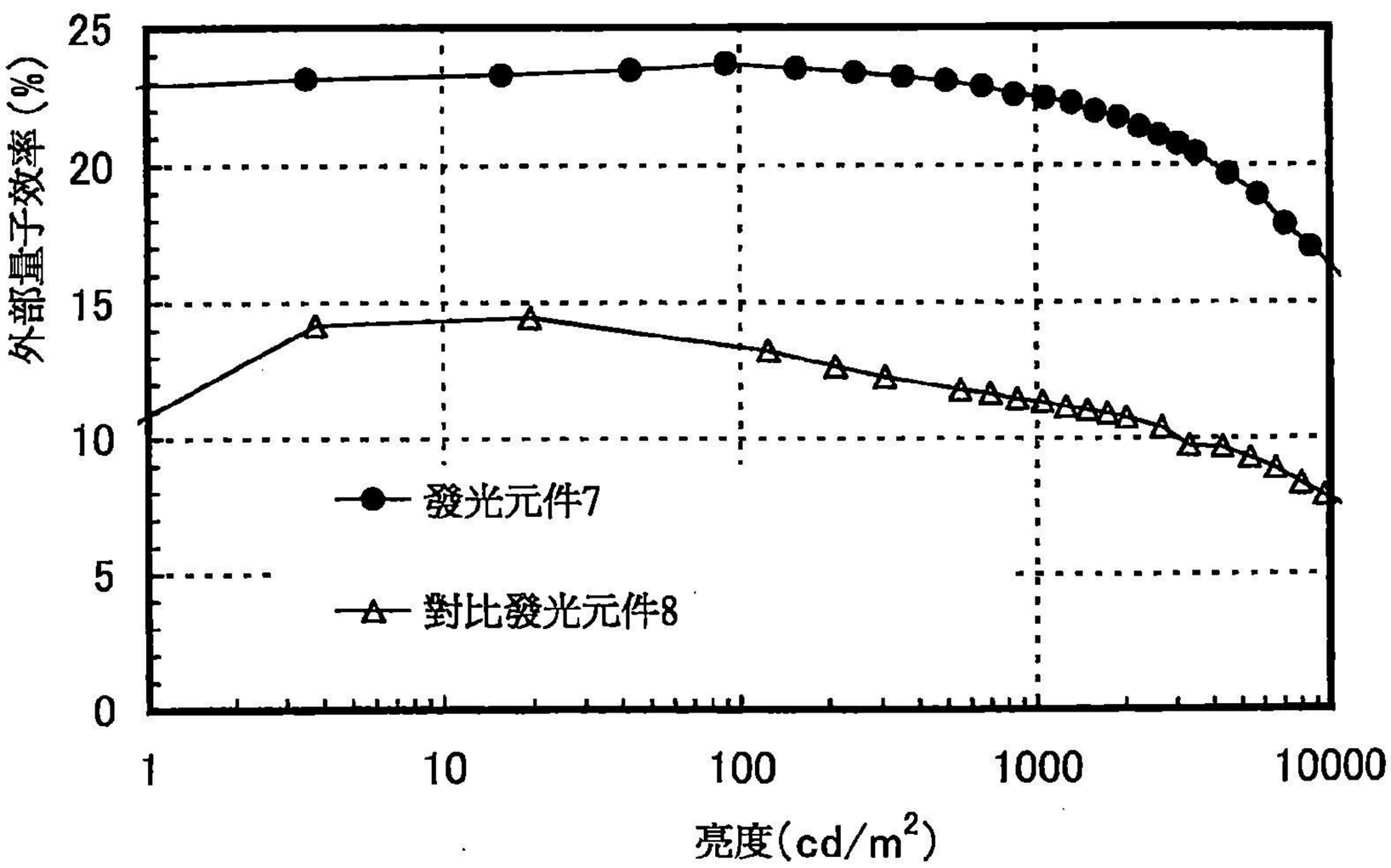

外部量子效率 (%)
25
20
15
10
5
0
發光元件7
對比發光元件8
1
10
100
1000
10000
亮度(cd/m2)

圖 37

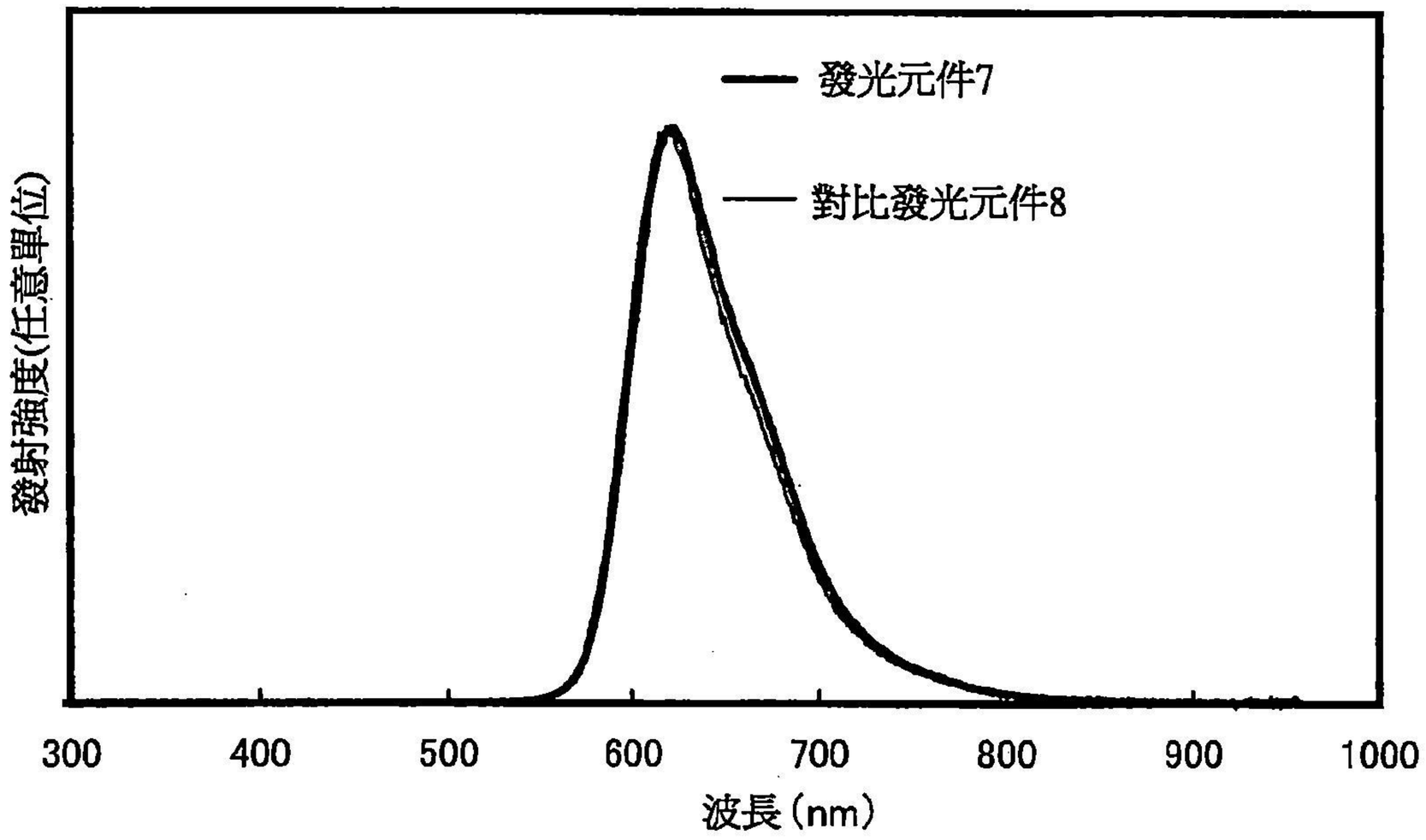


圖 38

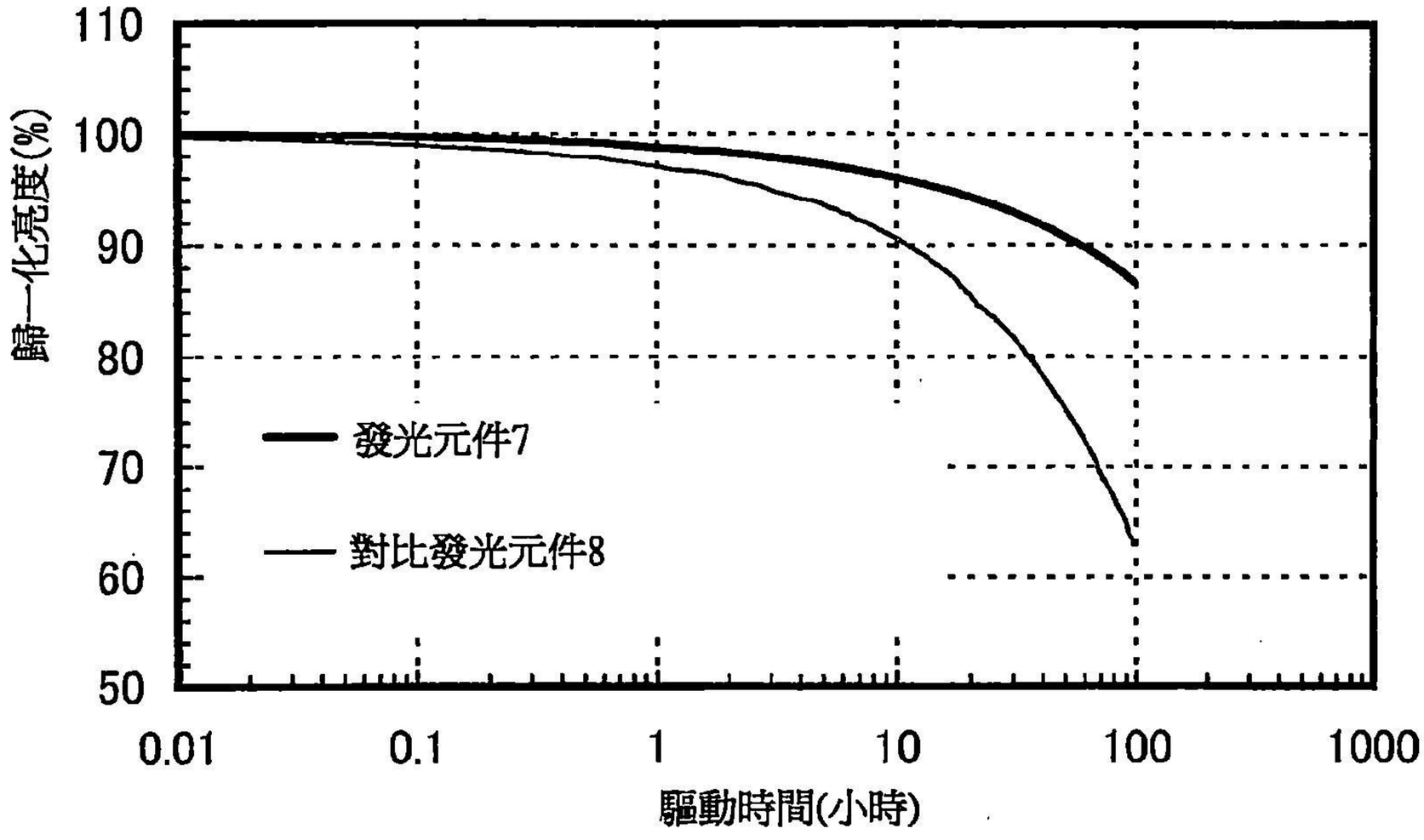

歸一化亮度(%)
110
100
90
80
70
60
50
0.01
0.1
1
10
100
1000
發光元件7
對比發光元件8
驅動時間(小時)

圖 39A

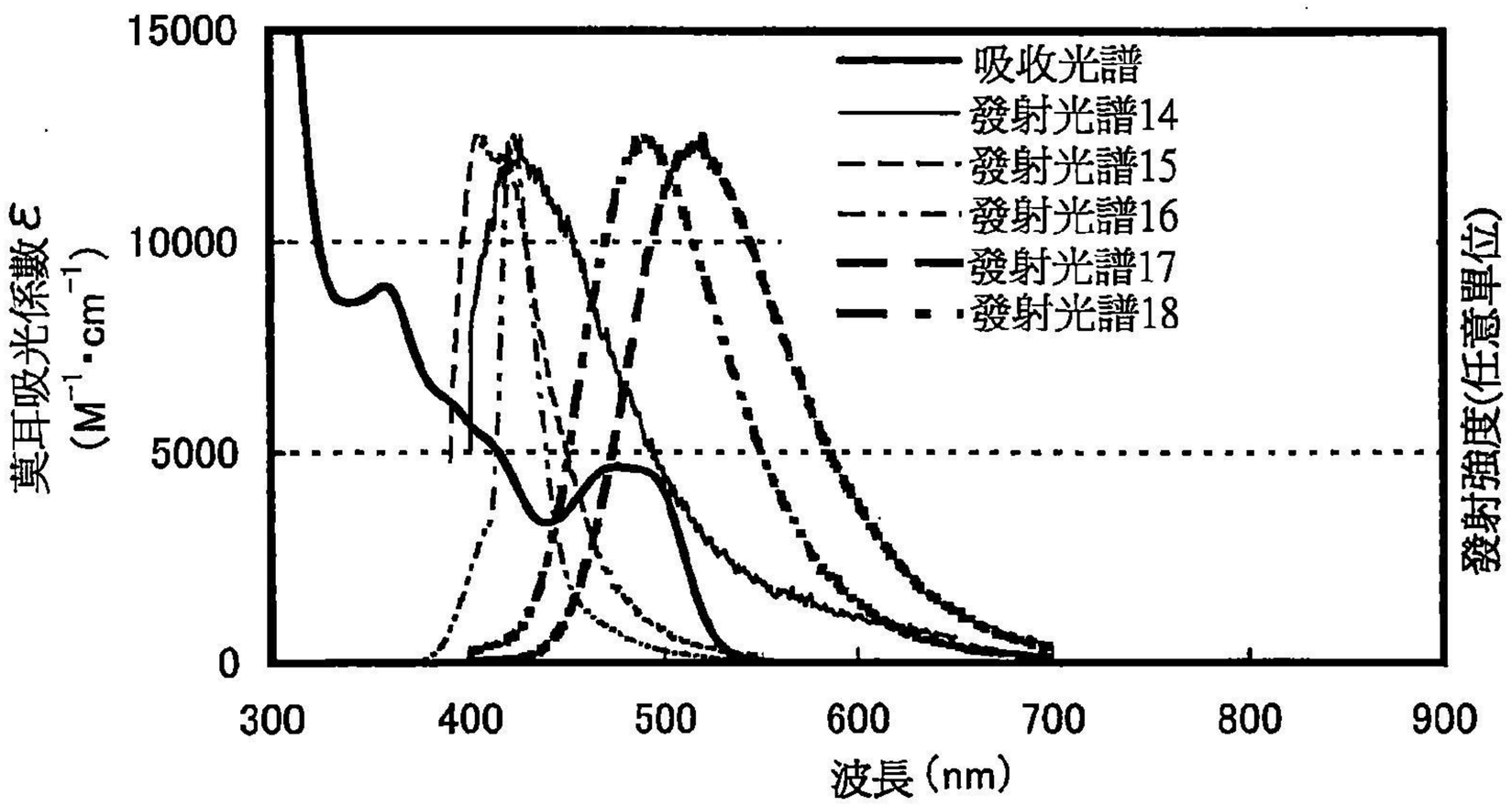

15000
10000
5000
0
300
400
500
600
700
800
900
莫耳吸光係數ε
(M⁻¹·cm⁻¹)
發射強度(任意單位)
波長(nm)
吸收光譜
發射光譜14
發射光譜15
發射光譜16
發射光譜17
發射光譜18

圖 39B

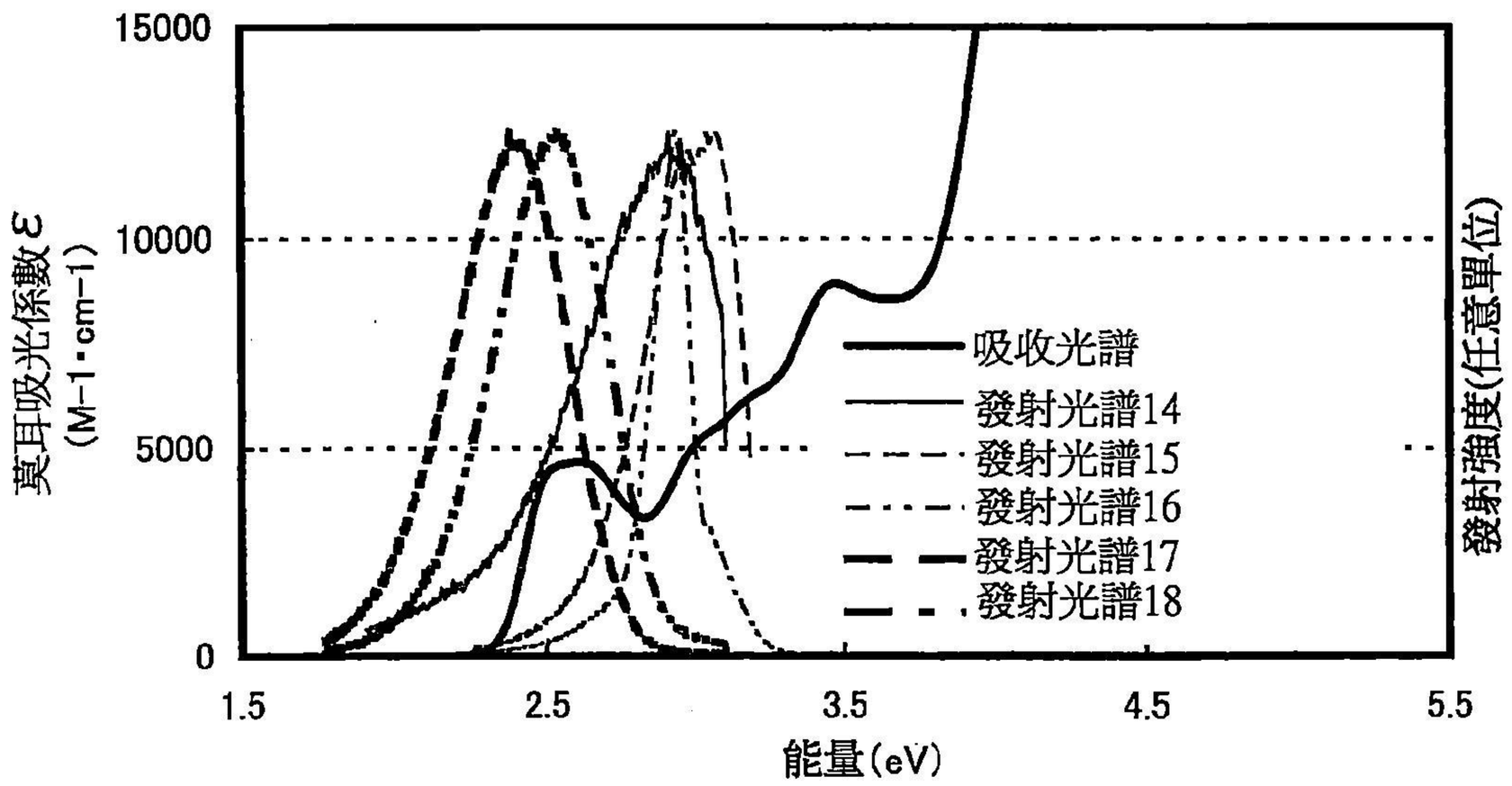

15000
10000
5000
0
1.5
2.5
3.5
4.5
5.5
莫耳吸光係數ε
(M-1·cm-1)
發射強度(任意單位)
能量(eV)
吸收光譜
發射光譜14
發射光譜15
發射光譜16
發射光譜17
發射光譜18

圖 40

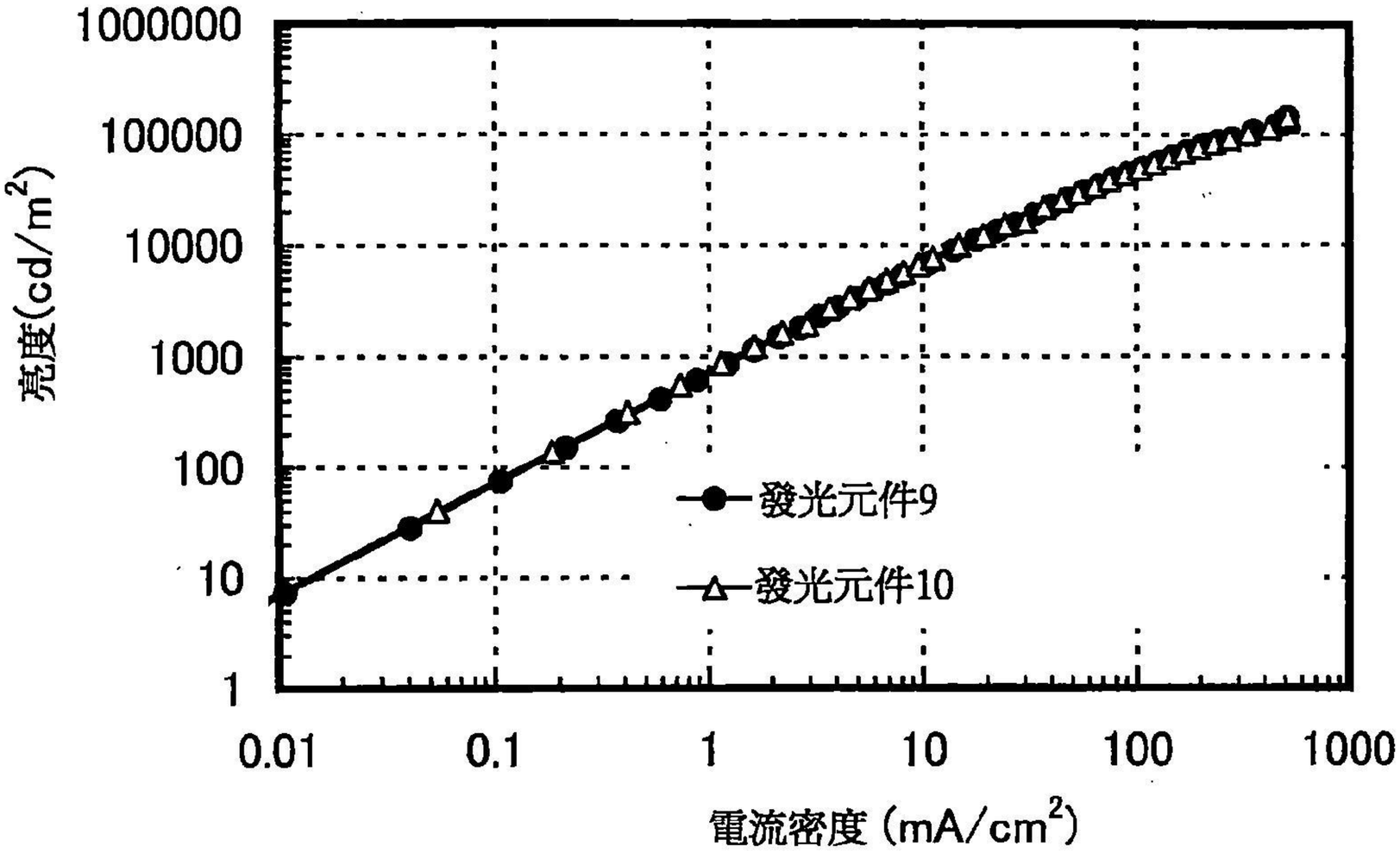

1000000
100000
10000
1000
100
10
1
亮度(cd/m²)
0.01
0.1
1
10
100
1000
電流密度 (mA/cm²)
發光元件9
發光元件10

圖 41

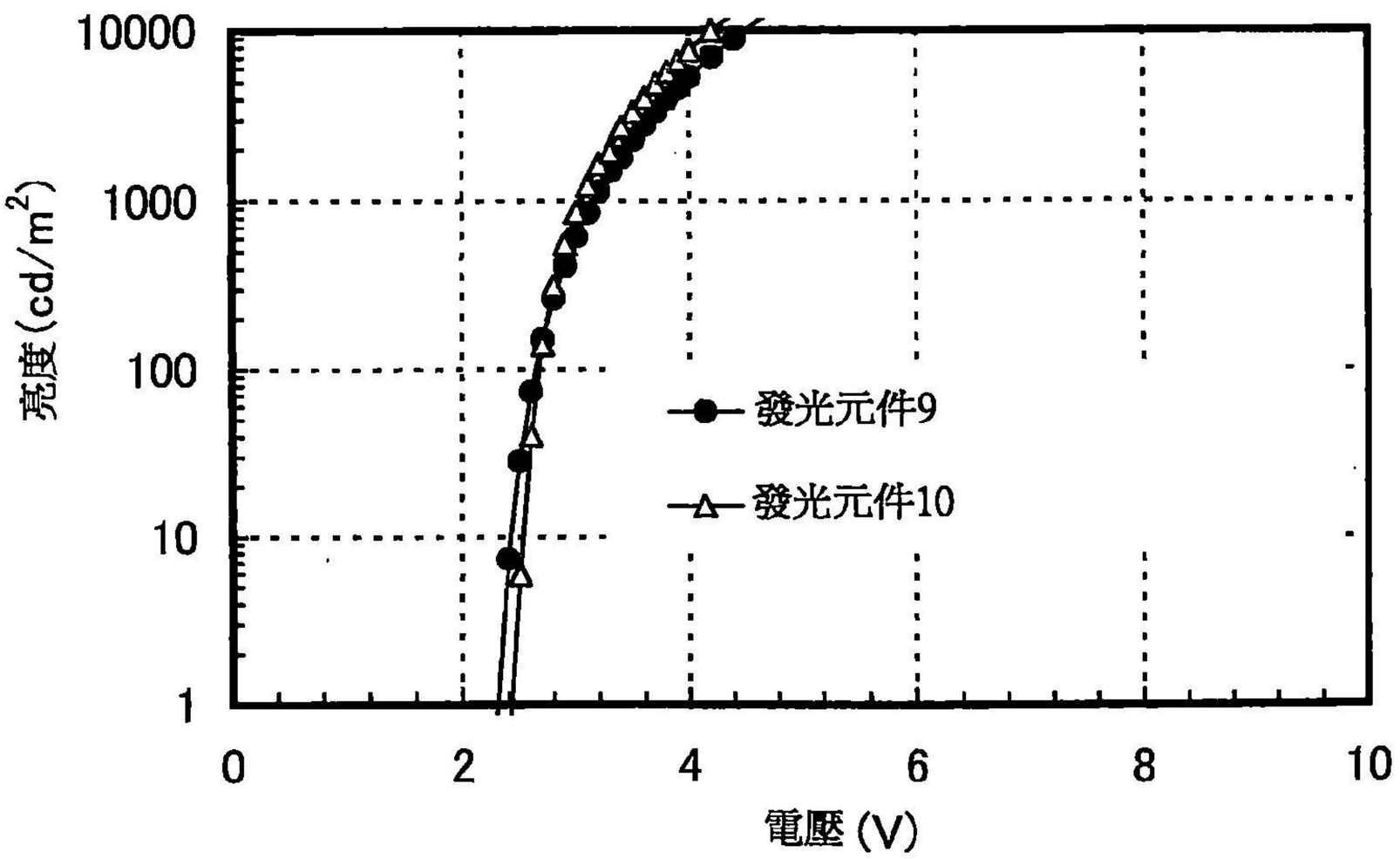

10000
1000
100
10
1
亮度(cd/m²)
0
2
4
6
8
10
電壓 (V)
發光元件9
發光元件10

圖 42

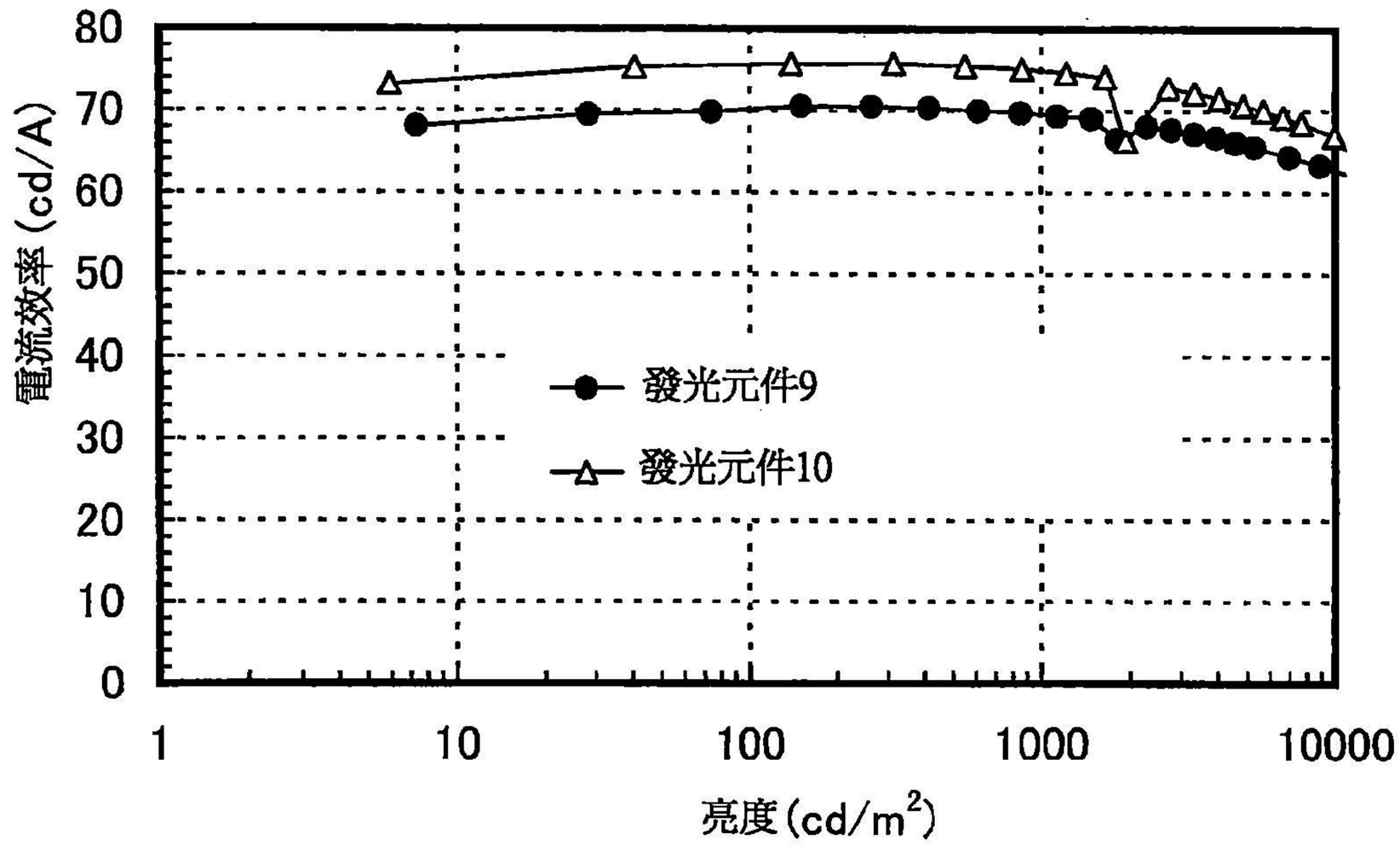

80
70
60
50
40
30
20
10
0
電流效率 (cd/A)
發光元件9
發光元件10
1
10
100
1000
10000
亮度(cd/m²)

圖 43

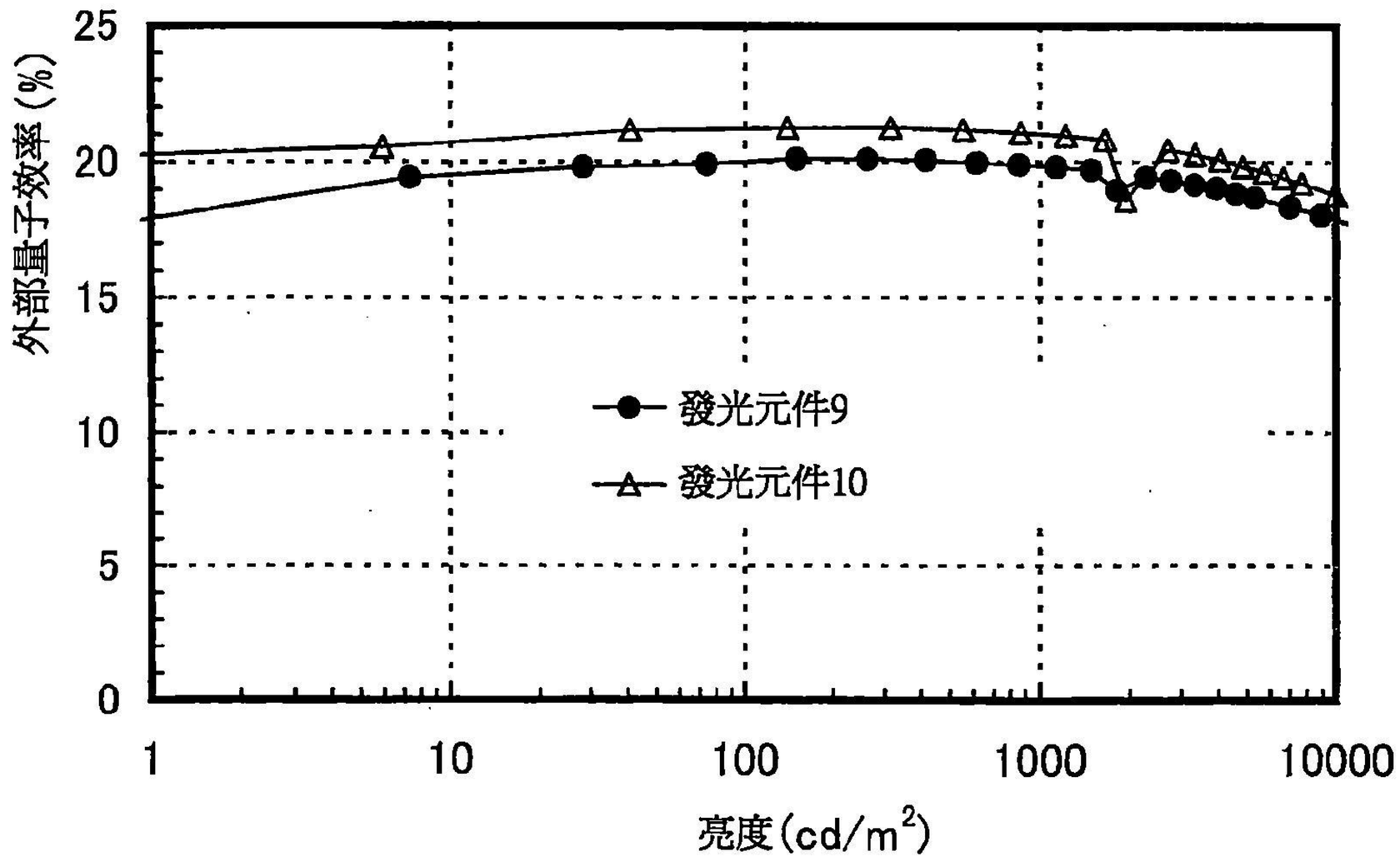

25
20
15
10
5
0
外部量子效率 (%)
發光元件9
發光元件10
1
10
100
1000
10000
亮度(cd/m²)

圖 44

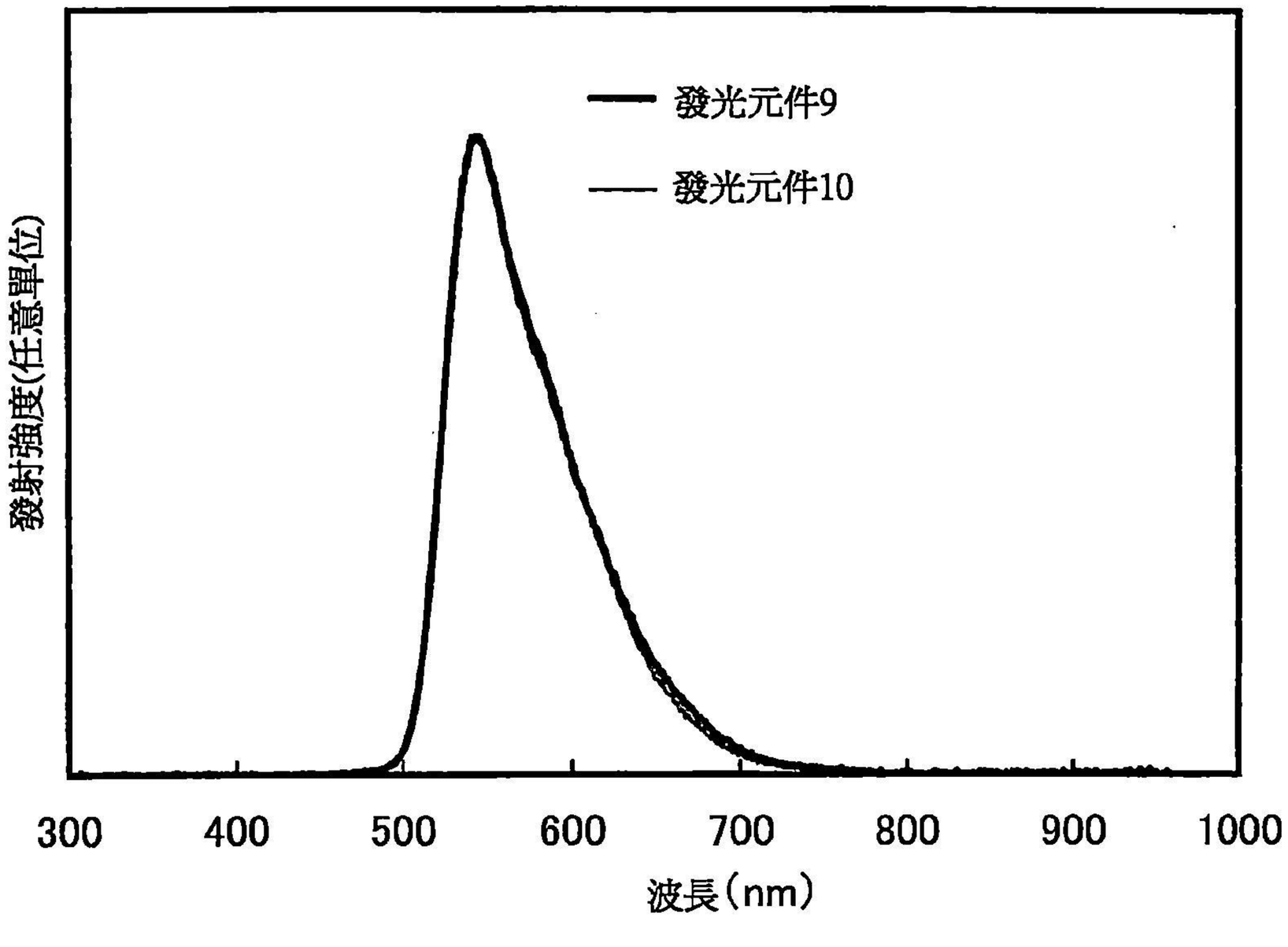


圖 45

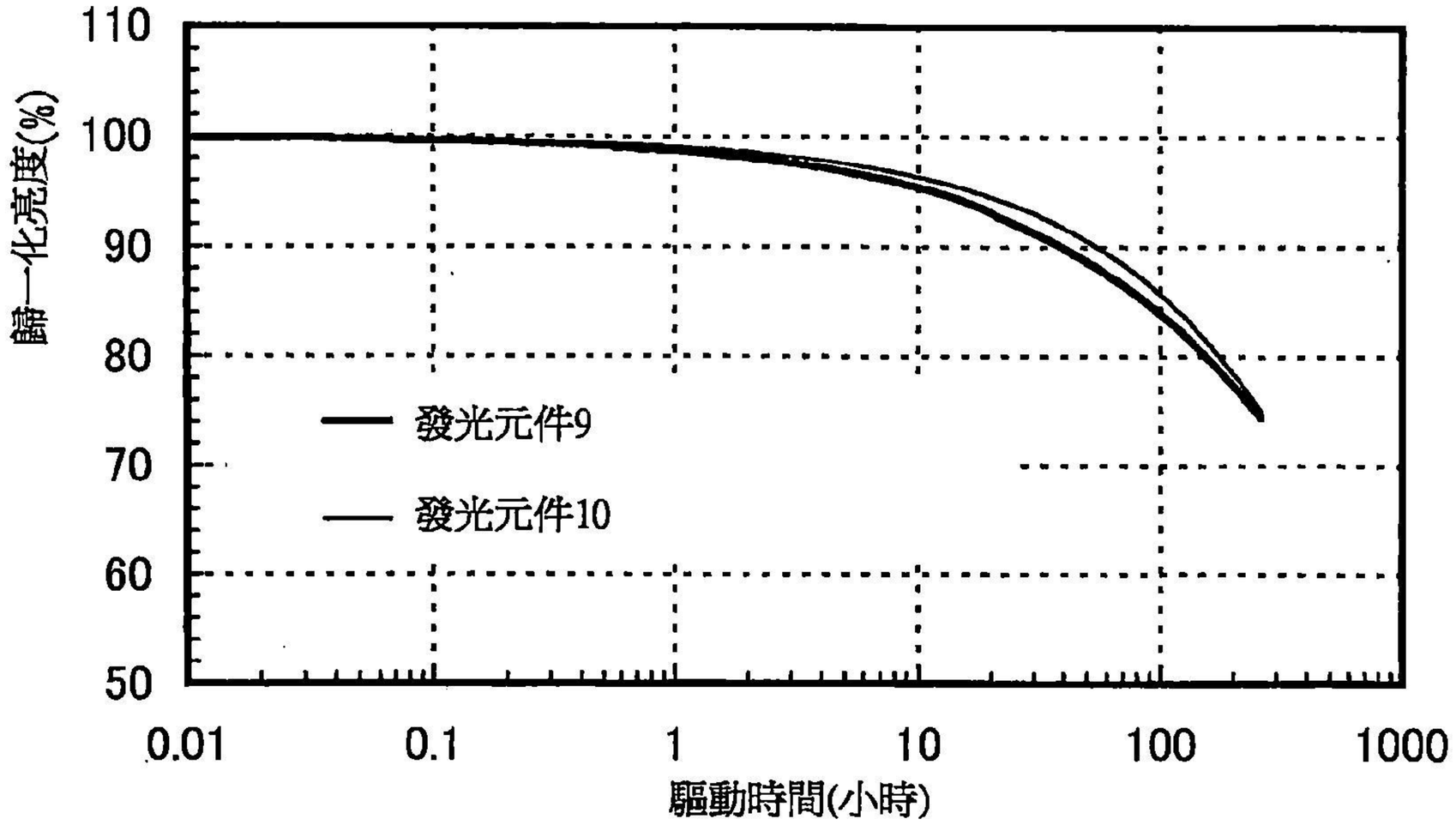

歸一化亮度(%)
110
100
90
80
70
60
50
發光元件9
發光元件10
0.01
0.1
1
10
100
1000
驅動時間(小時)

圖 46A

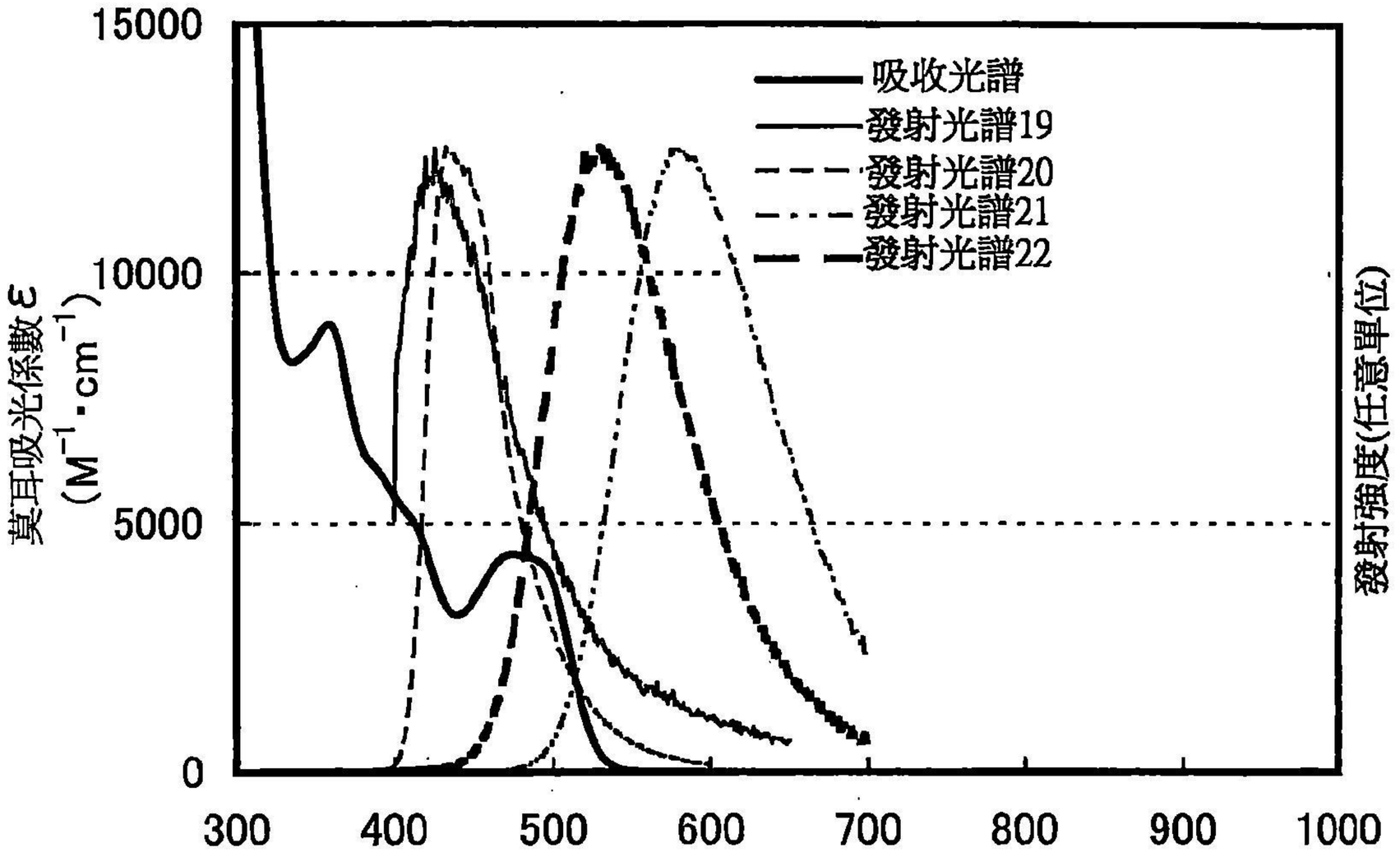

15000
10000
5000
0
莫耳吸光係數ε
($M^{-1}\cdot cm^{-1}$)
發射強度(任意單位)
吸收光譜
發射光譜19
發射光譜20
發射光譜21
發射光譜22
300
400
500
600
700
800
900
1000
波長(nm)

圖 46B

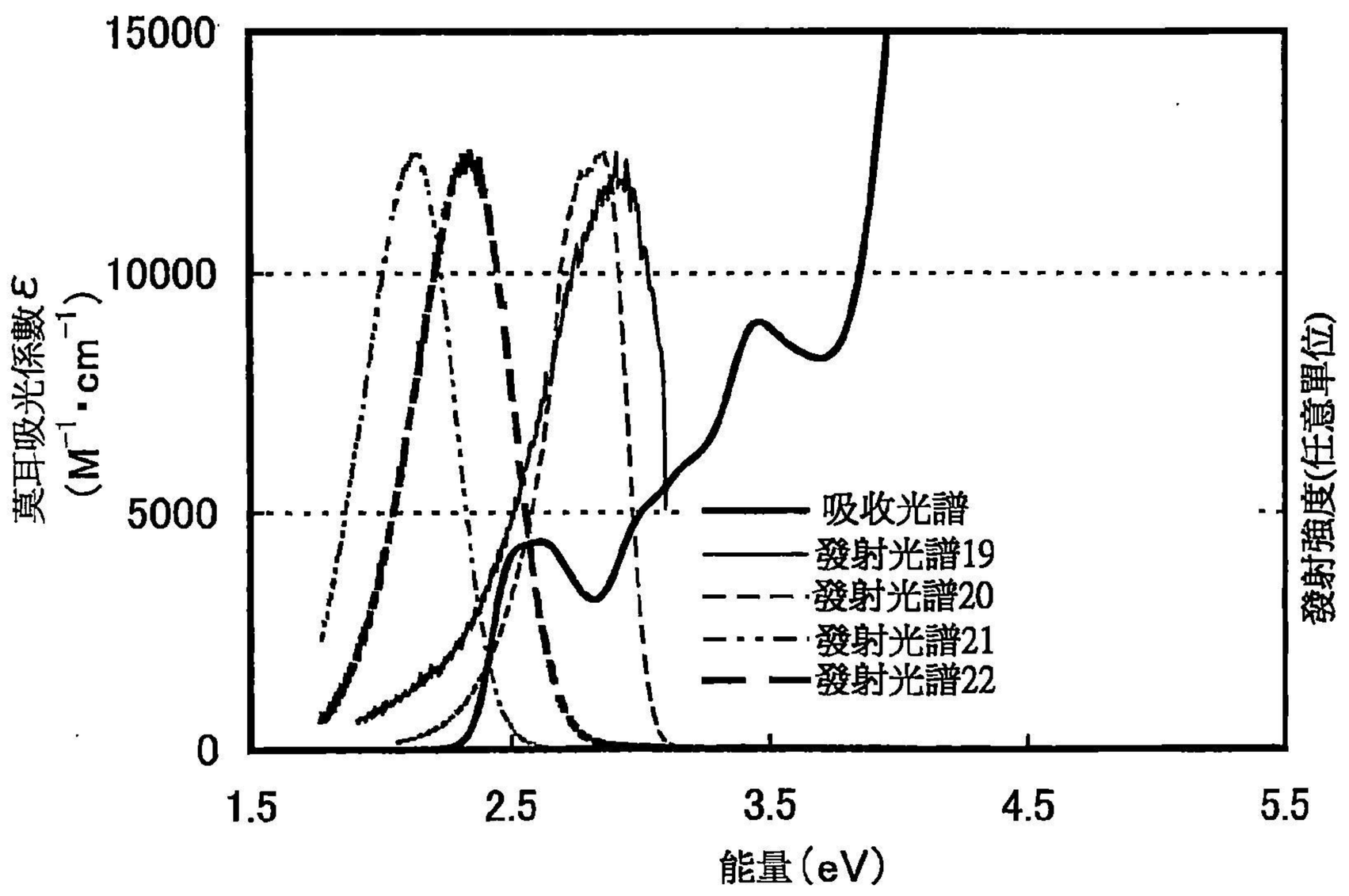

15000
10000
5000
0
莫耳吸光係數ε
($M^{-1}\cdot cm^{-1}$)
發射強度(任意單位)
吸收光譜
發射光譜19
發射光譜20
發射光譜21
發射光譜22
1.5
2.5
3.5
4.5
5.5
能量(eV)

圖 47

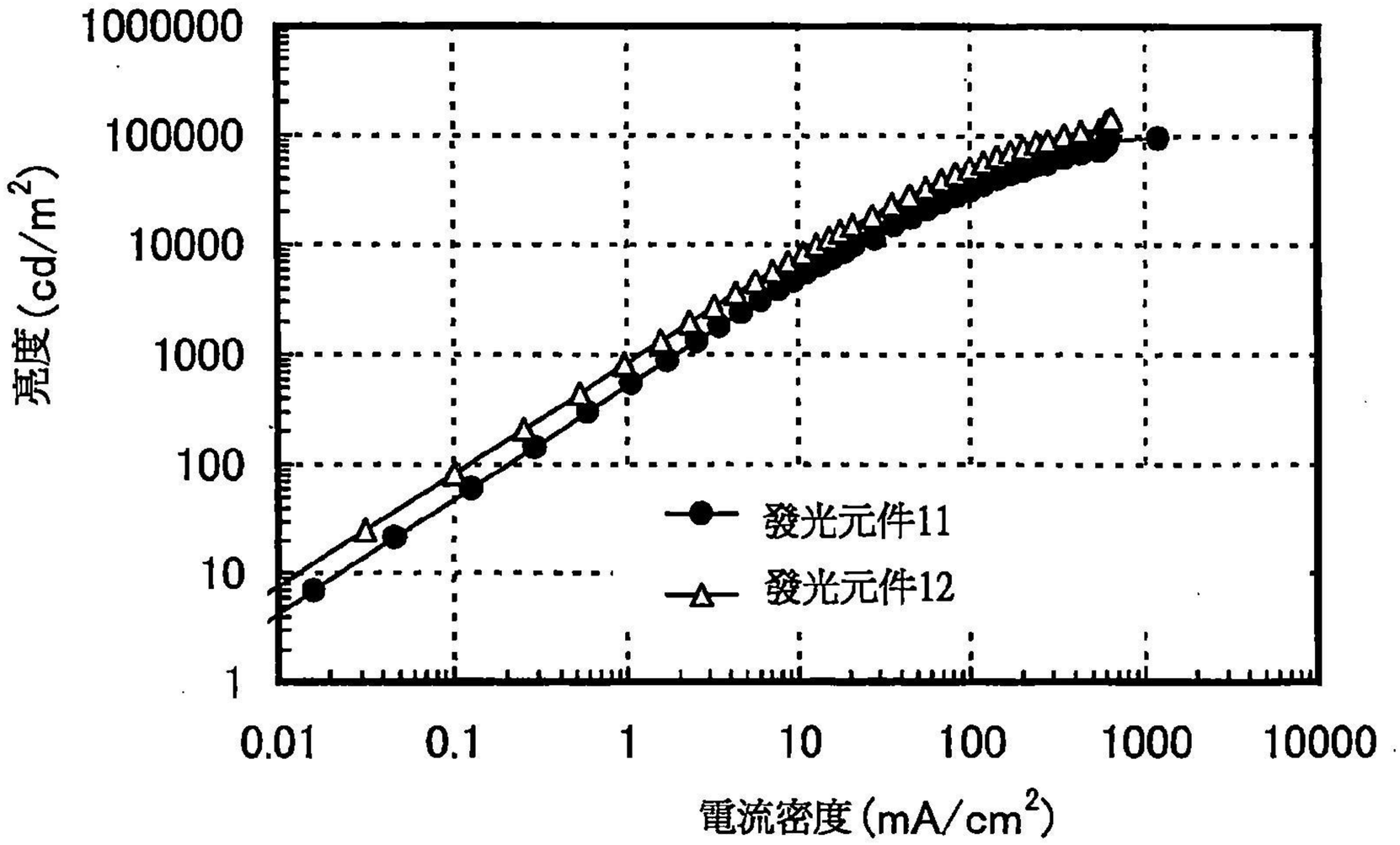

1000000
100000
10000
1000
100
10
1
亮度 (cd/m²)
發光元件11
發光元件12
0.01
0.1
1
10
100
1000
10000
電流密度 (mA/cm²)

圖 48

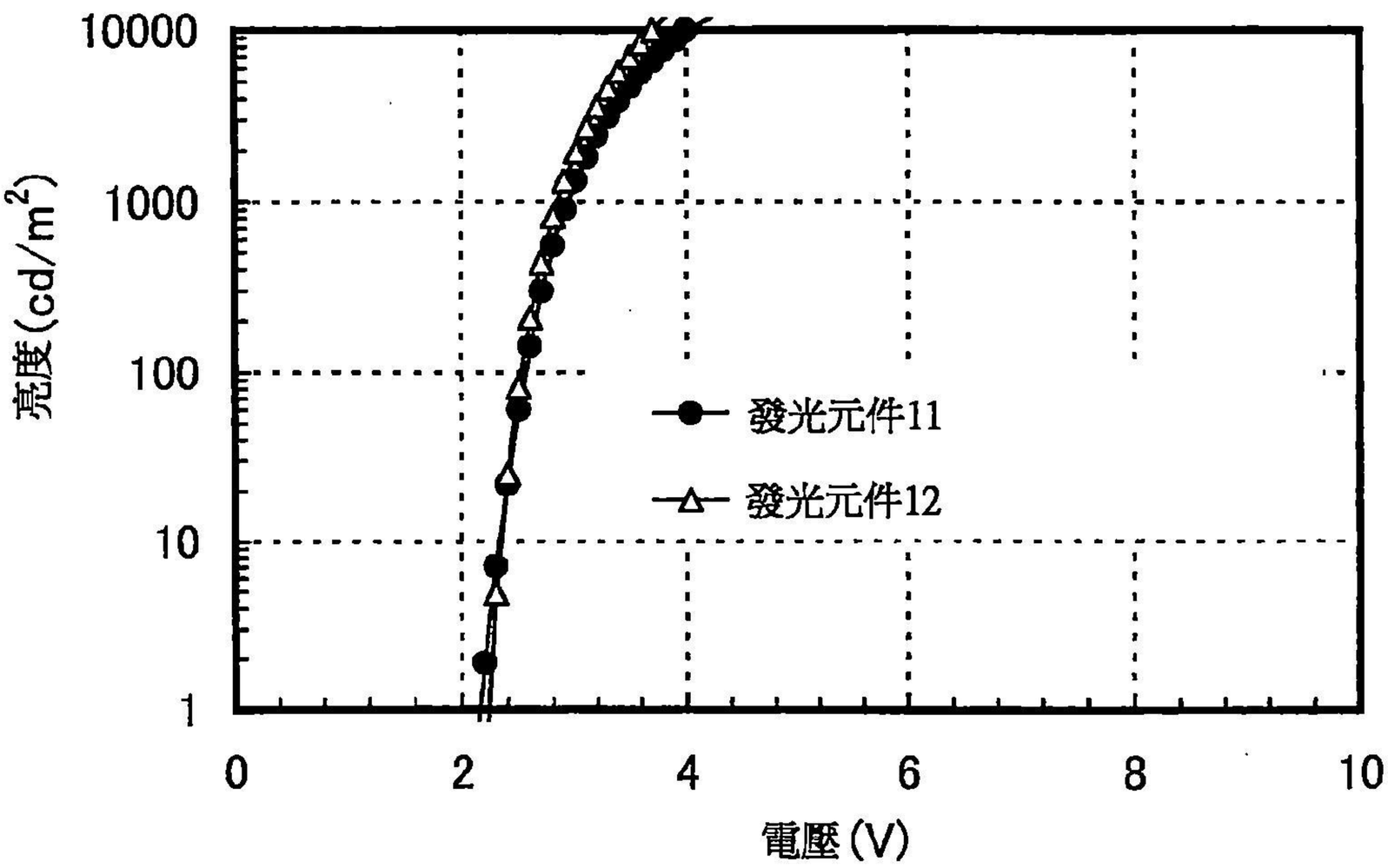

10000
1000
100
10
1
亮度(cd/m²)
發光元件11
發光元件12
0
2
4
6
8
10
電壓 (V)

圖 49

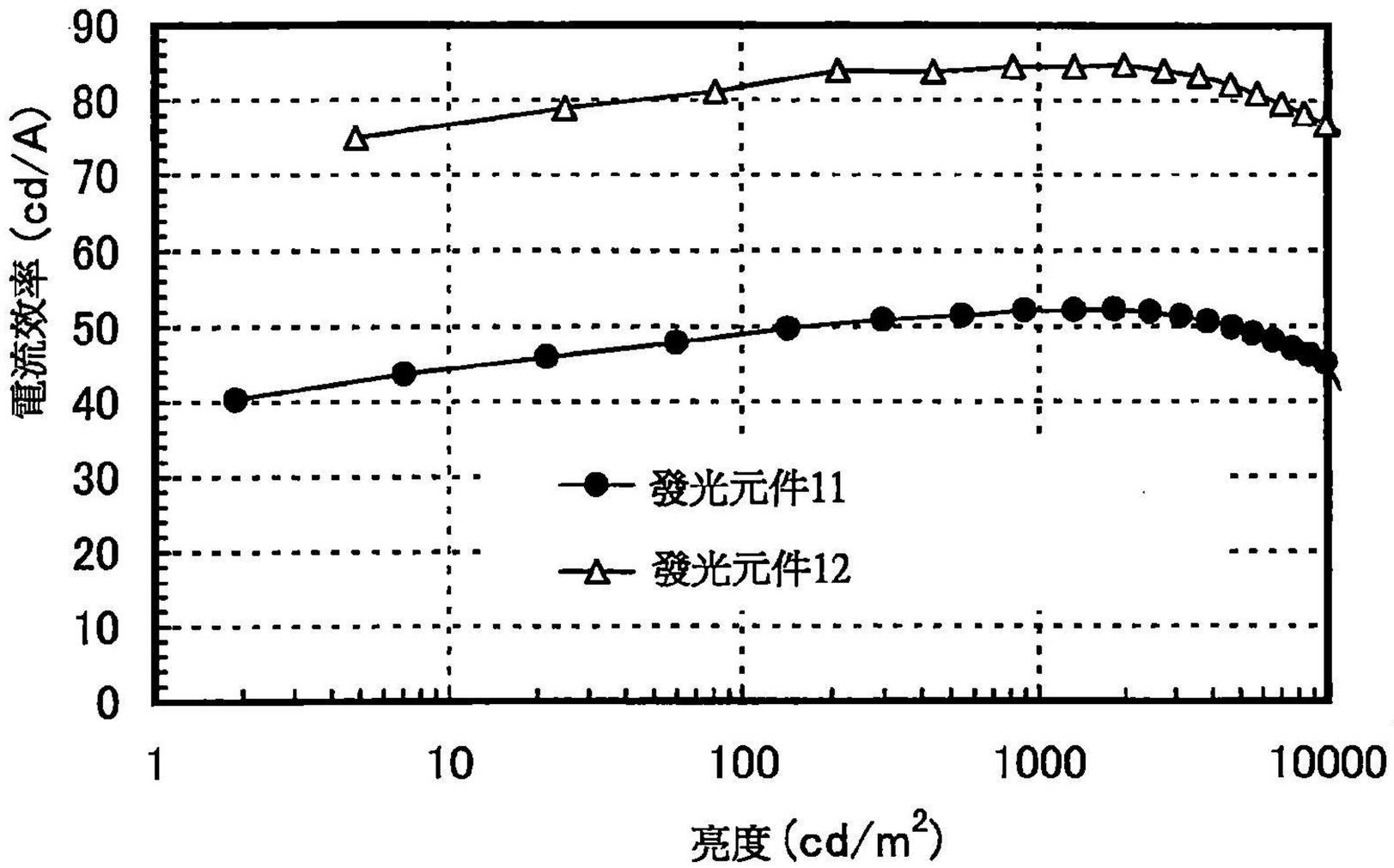

電流效率 (cd/A)
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
1
10
100
1000
10000
亮度 (cd/m²)
發光元件11
發光元件12

圖 50

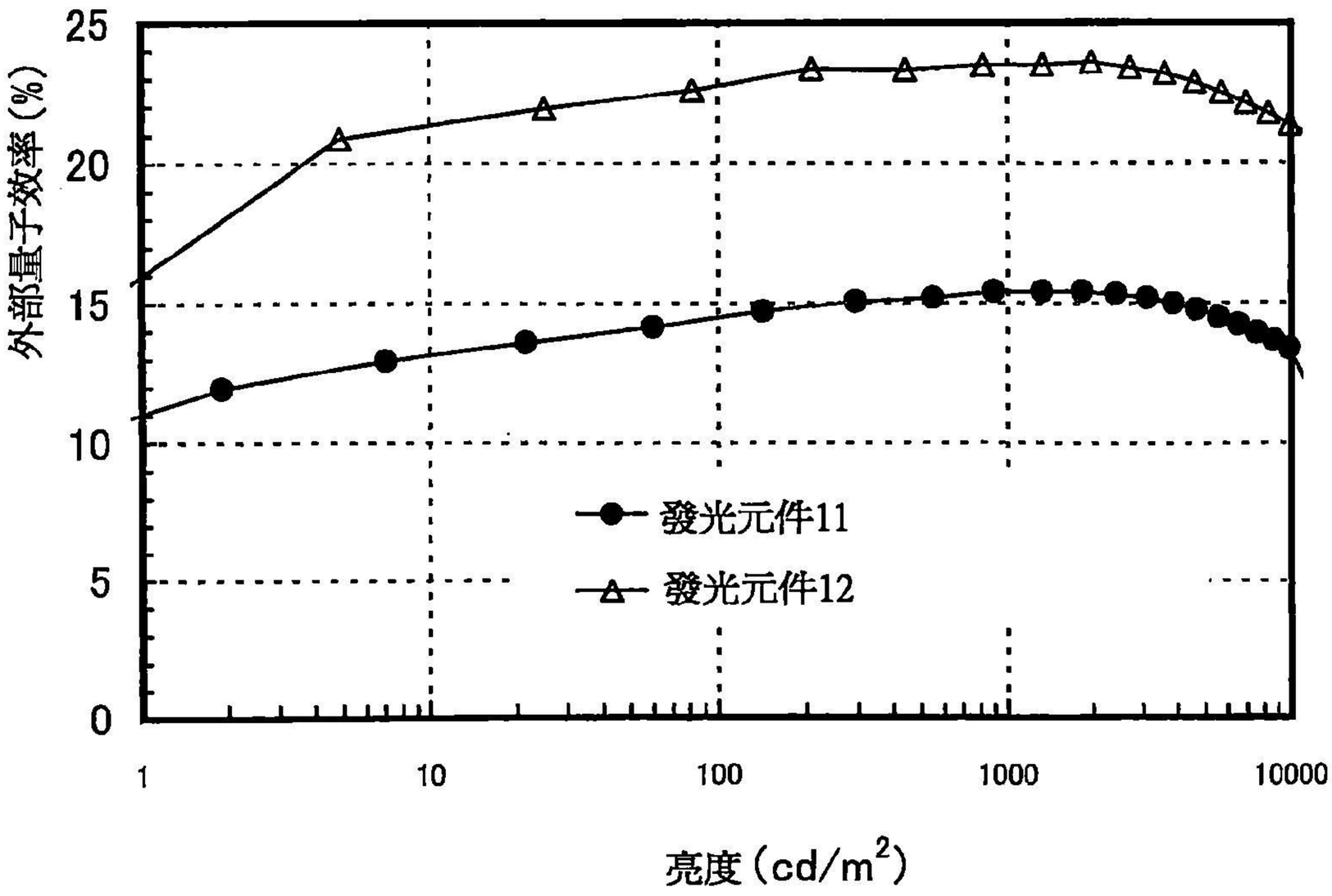

外部量子效率 (%)
25
20
15
10
5
0
1
10
100
1000
10000
亮度 (cd/m²)
發光元件11
發光元件12

圖 51

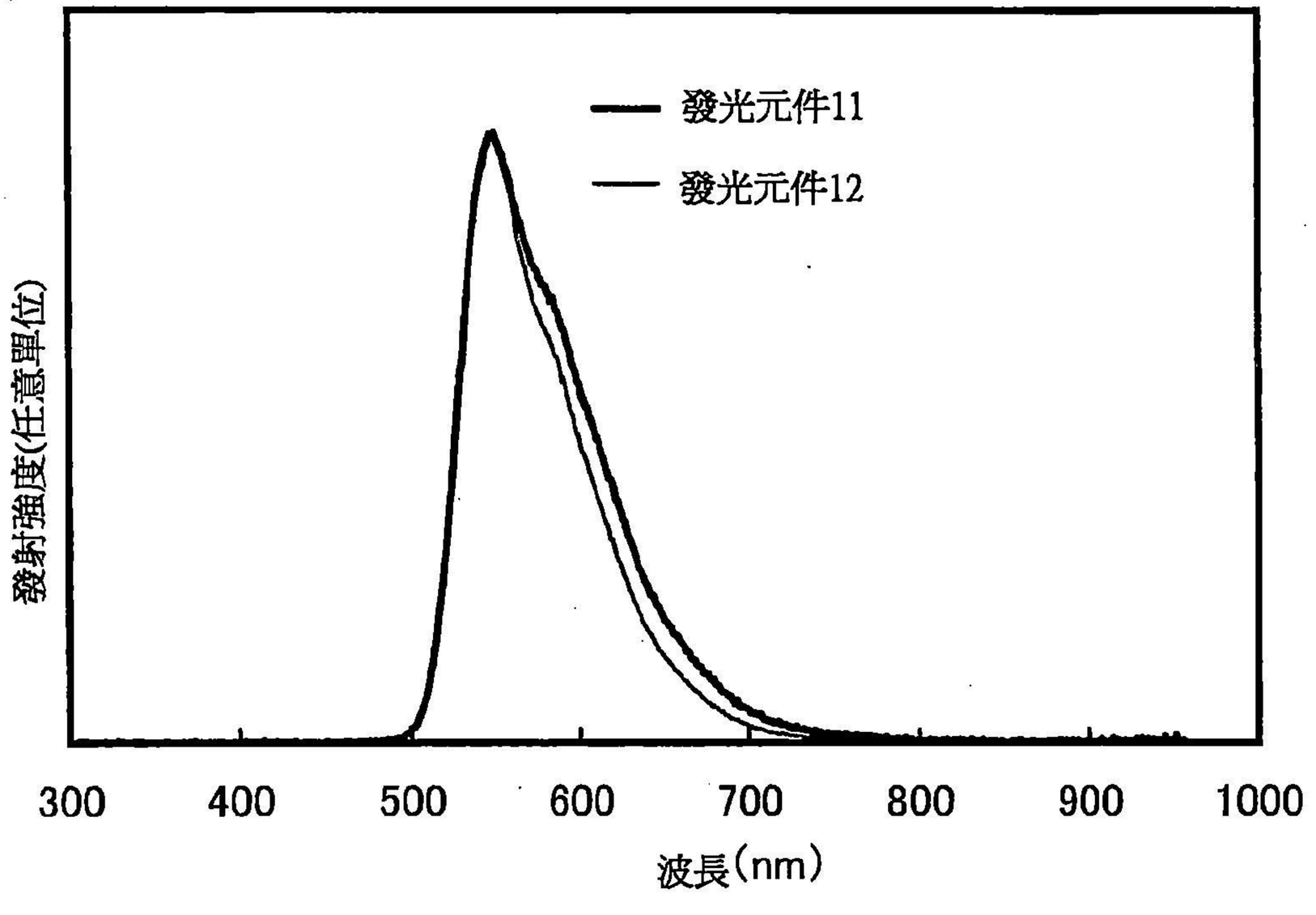


圖 52A

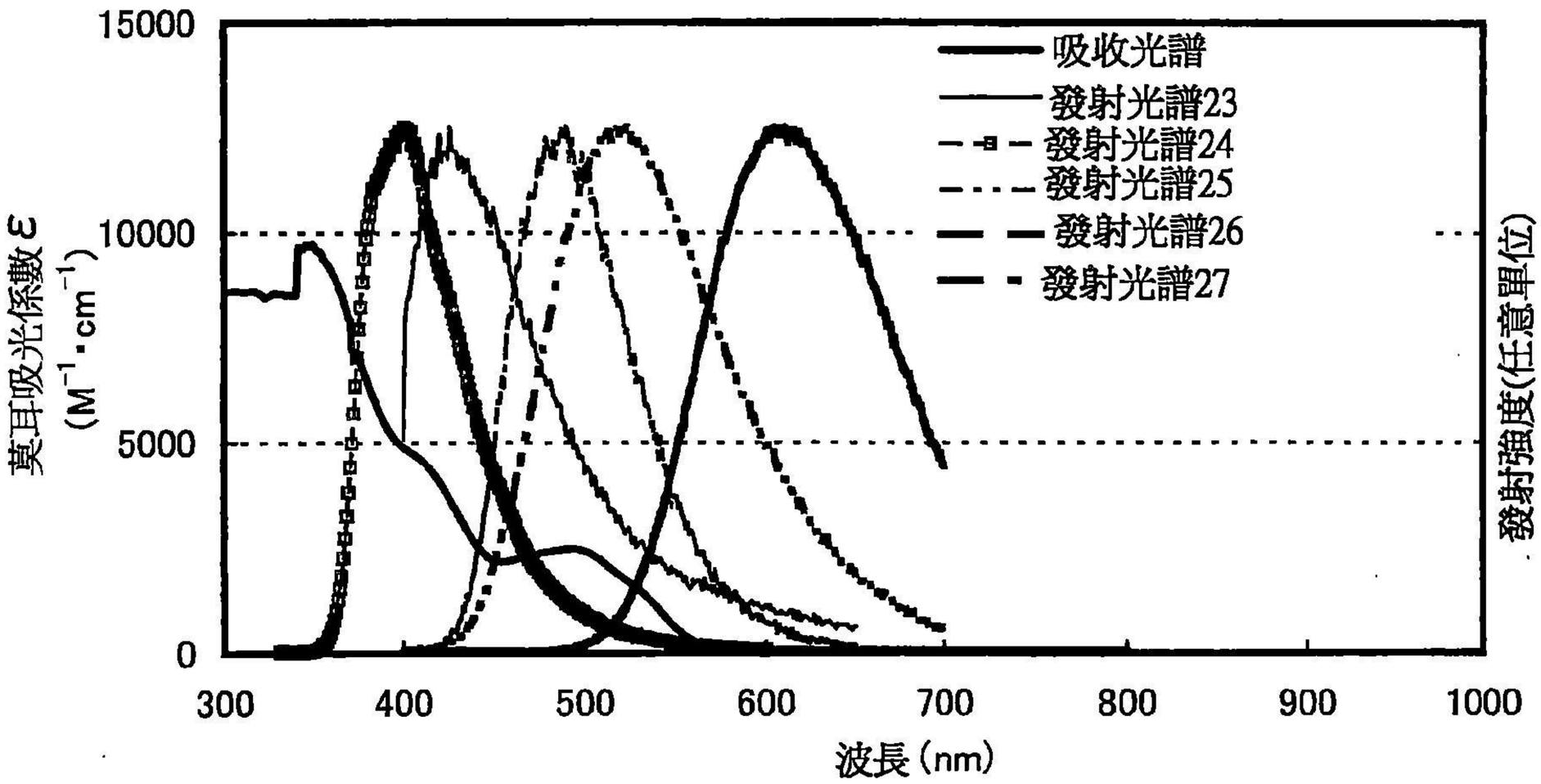

15000
10000
5000
0
莫耳吸光係數ε
(M⁻¹·cm⁻¹)
300
400
500
600
700
800
900
1000
波長(nm)
吸收光譜
發射光譜23
發射光譜24
發射光譜25
發射光譜26
發射光譜27
發射強度(任意單位)

圖 52B

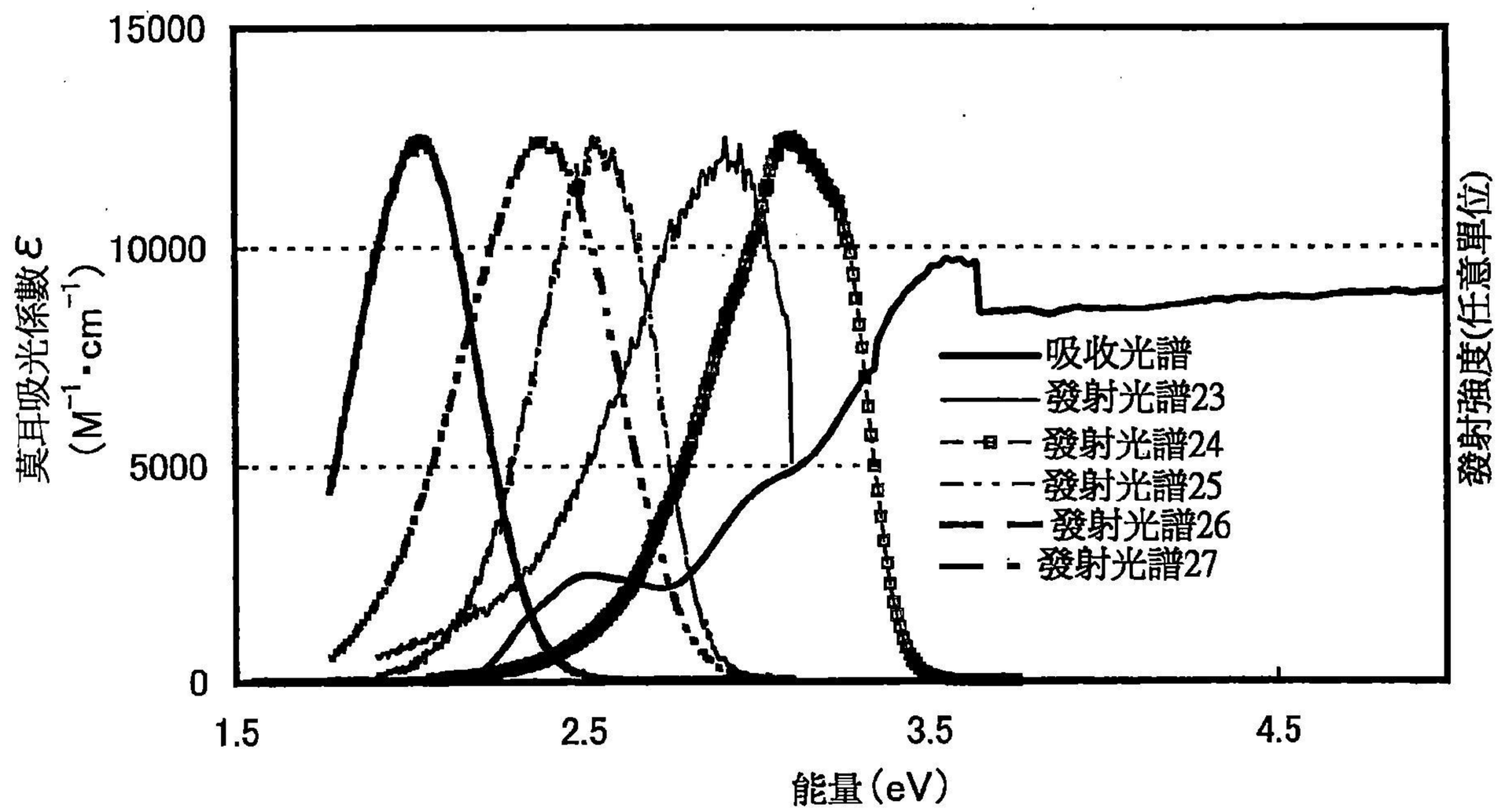

15000
10000
5000
0
莫耳吸光係數ε
(M⁻¹·cm⁻¹)
1.5
2.5
3.5
4.5
能量(eV)
吸收光譜
發射光譜23
發射光譜24
發射光譜25
發射光譜26
發射光譜27
發射強度(任意單位)

圖 53

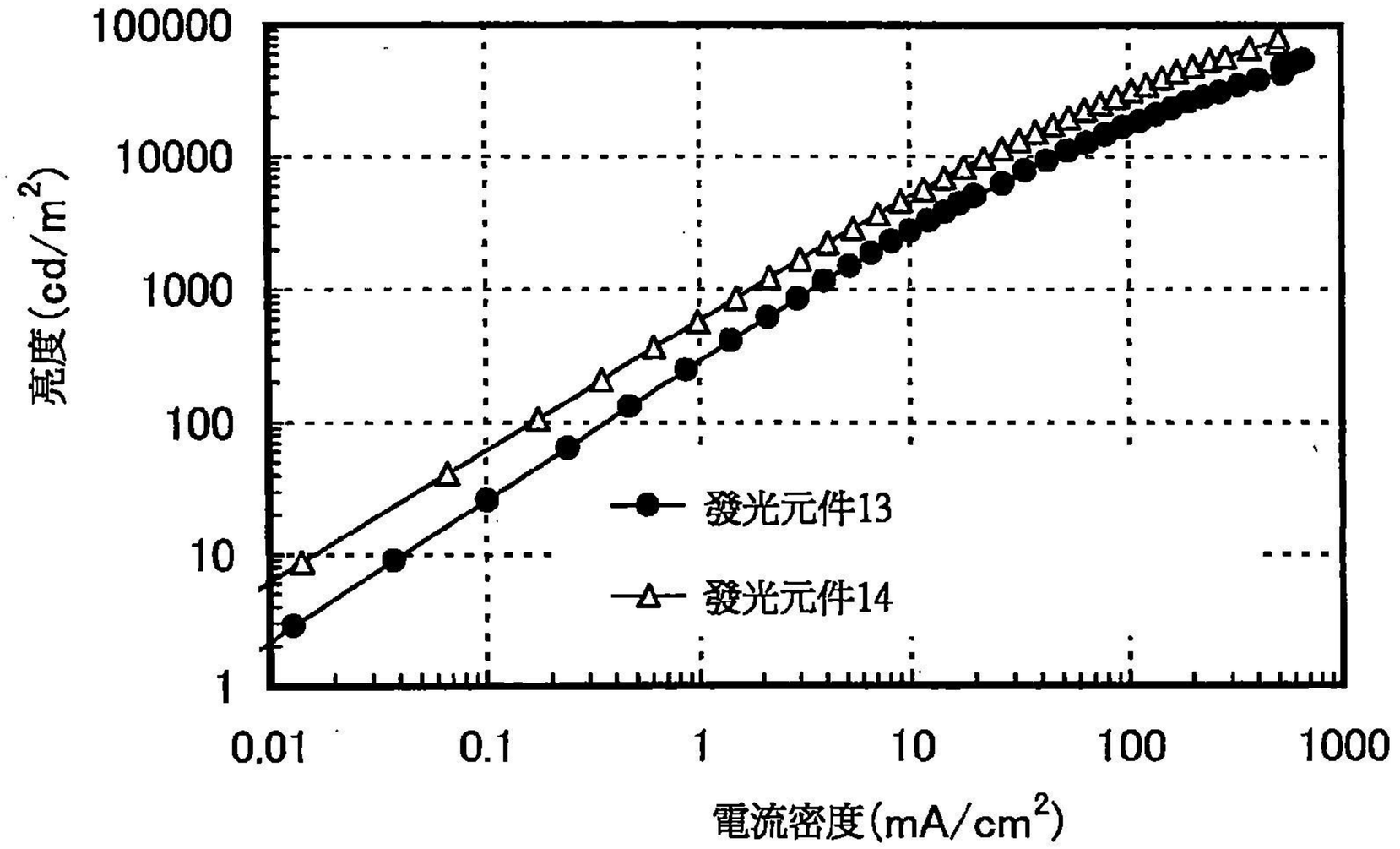

100000
10000
1000
100
10
1
亮度(cd/m2)
0.01
0.1
1
10
100
1000
電流密度(mA/cm2)
發光元件13
發光元件14

圖 54

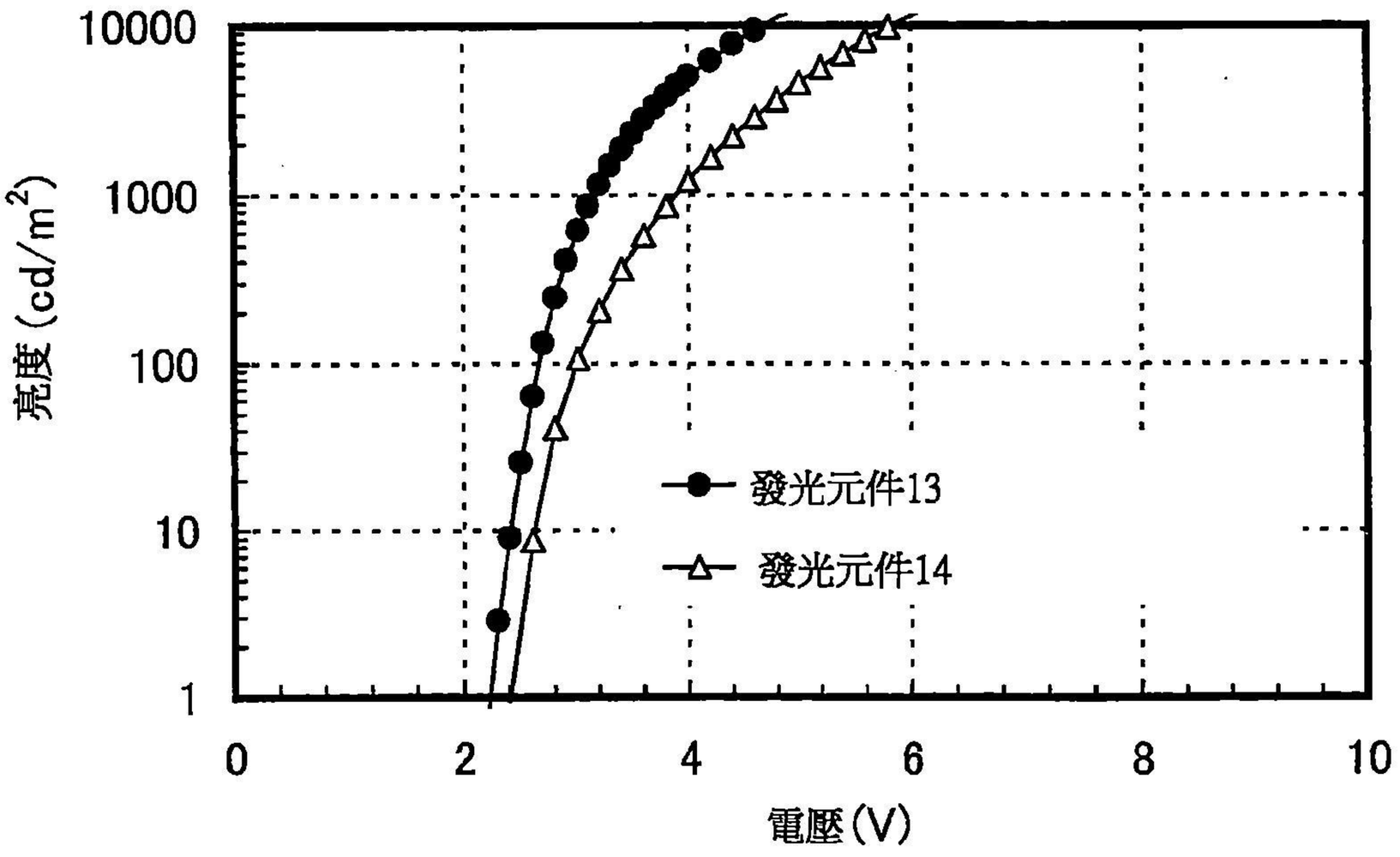

10000
1000
100
10
1
亮度 (cd/m2)
0
2
4
6
8
10
電壓(V)
發光元件13
發光元件14

圖 55

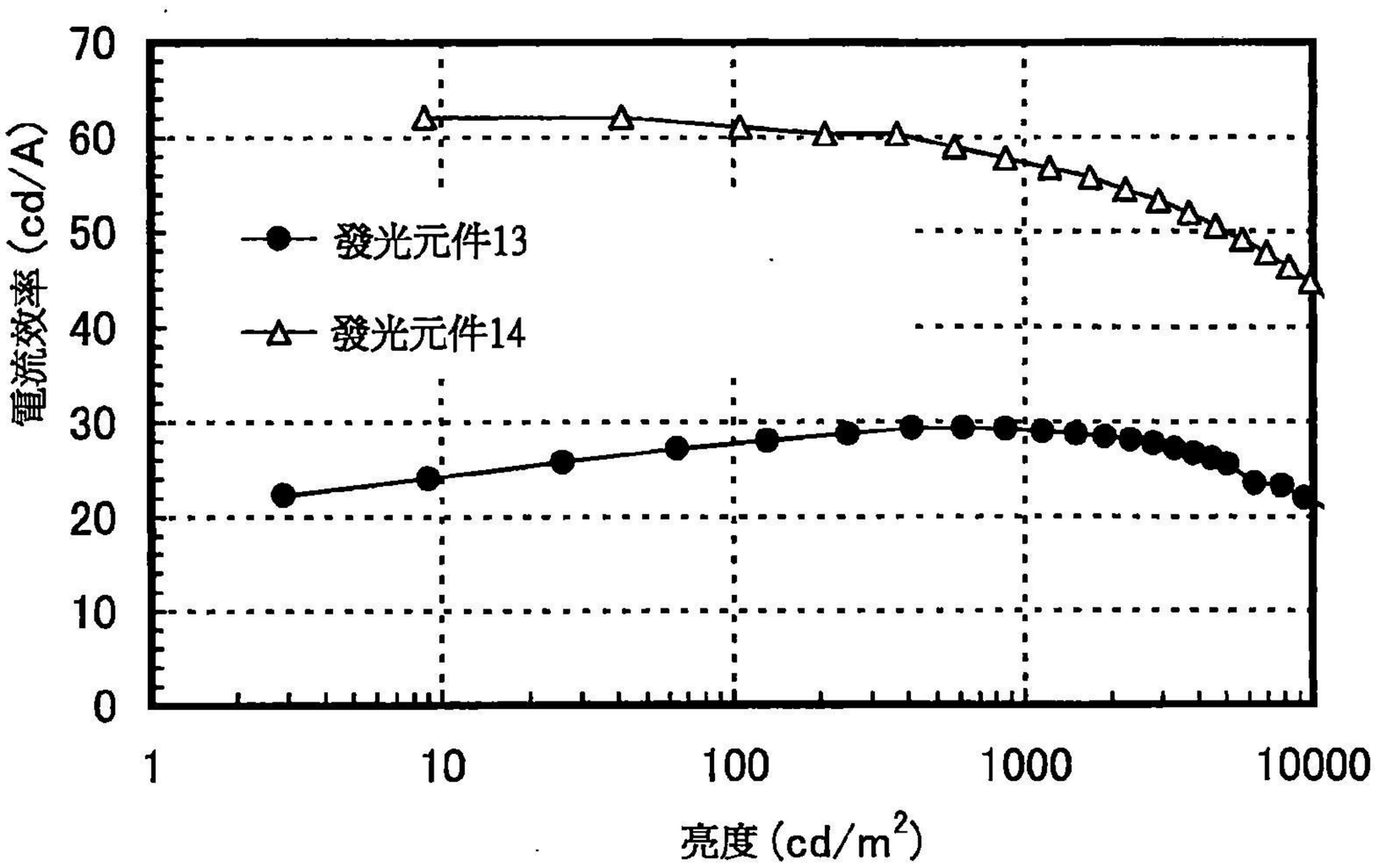

70
60
50
40
30
20
10
0
電流效率 (cd/A)
發光元件13
發光元件14
1
10
100
1000
10000
亮度 (cd/m2)

圖 56

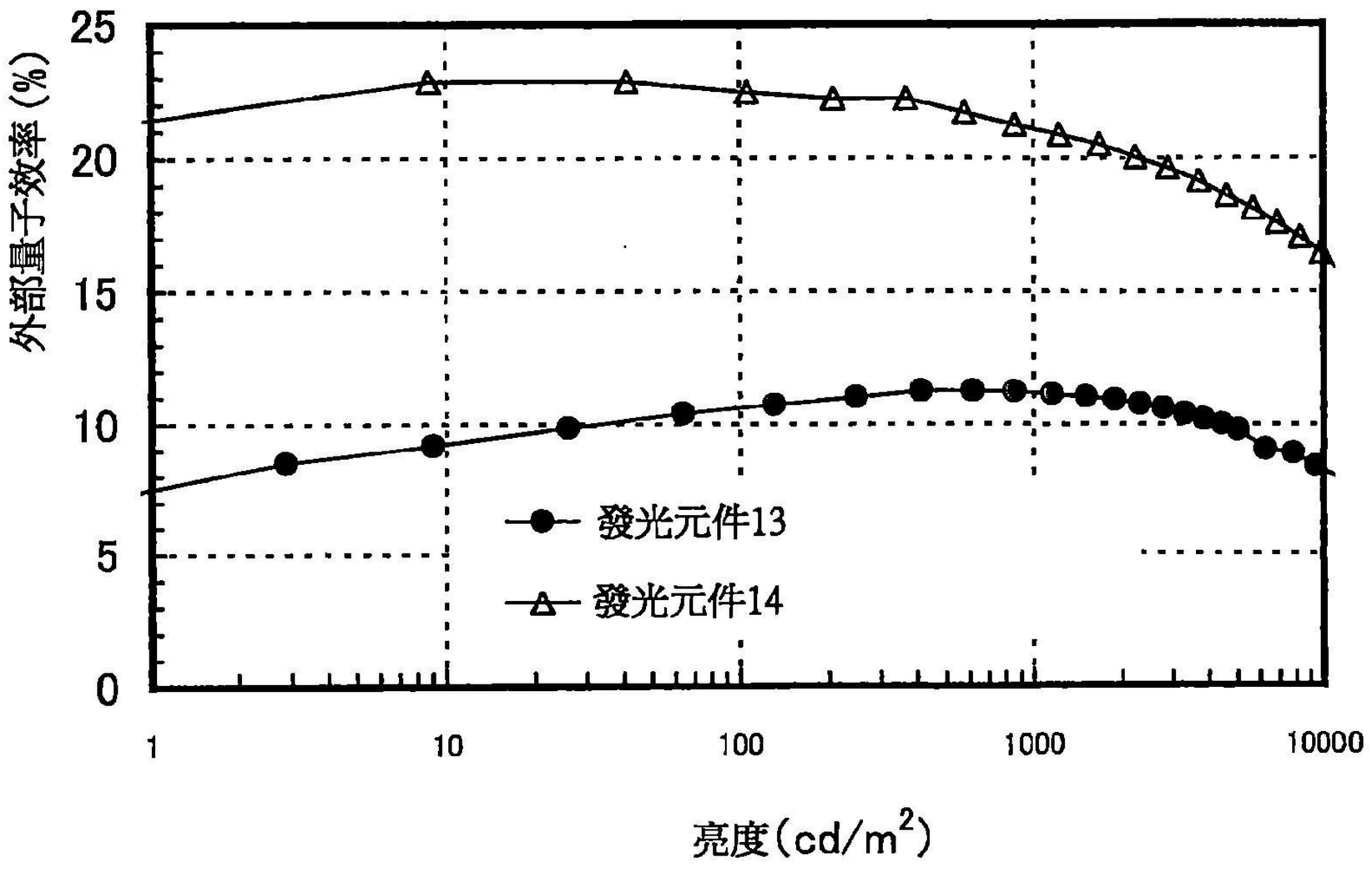

25
20
15
10
5
0
外部量子效率 (%)
發光元件13
發光元件14
1
10
100
1000
10000
亮度(cd/m2)

圖 57

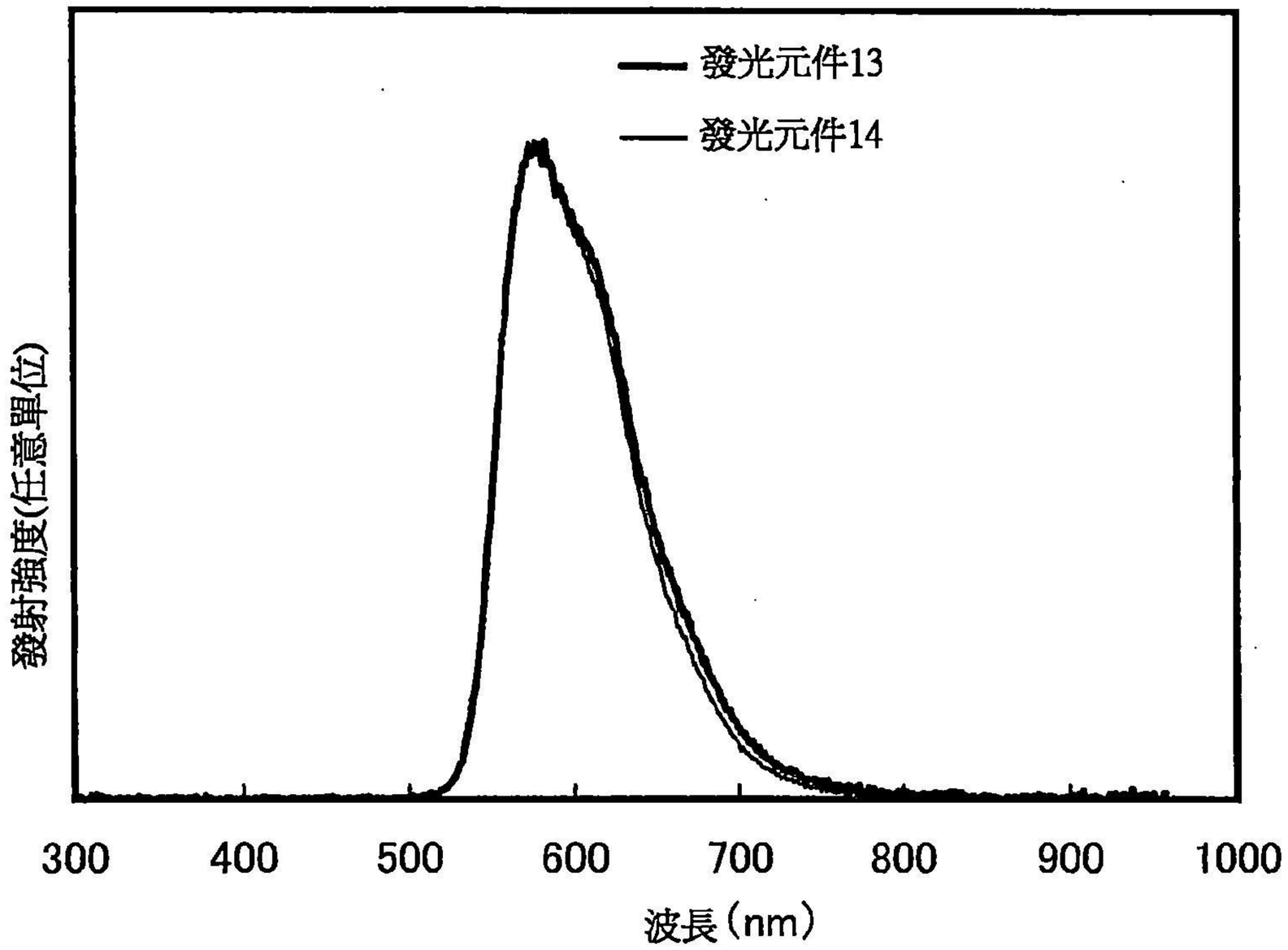


圖 58A

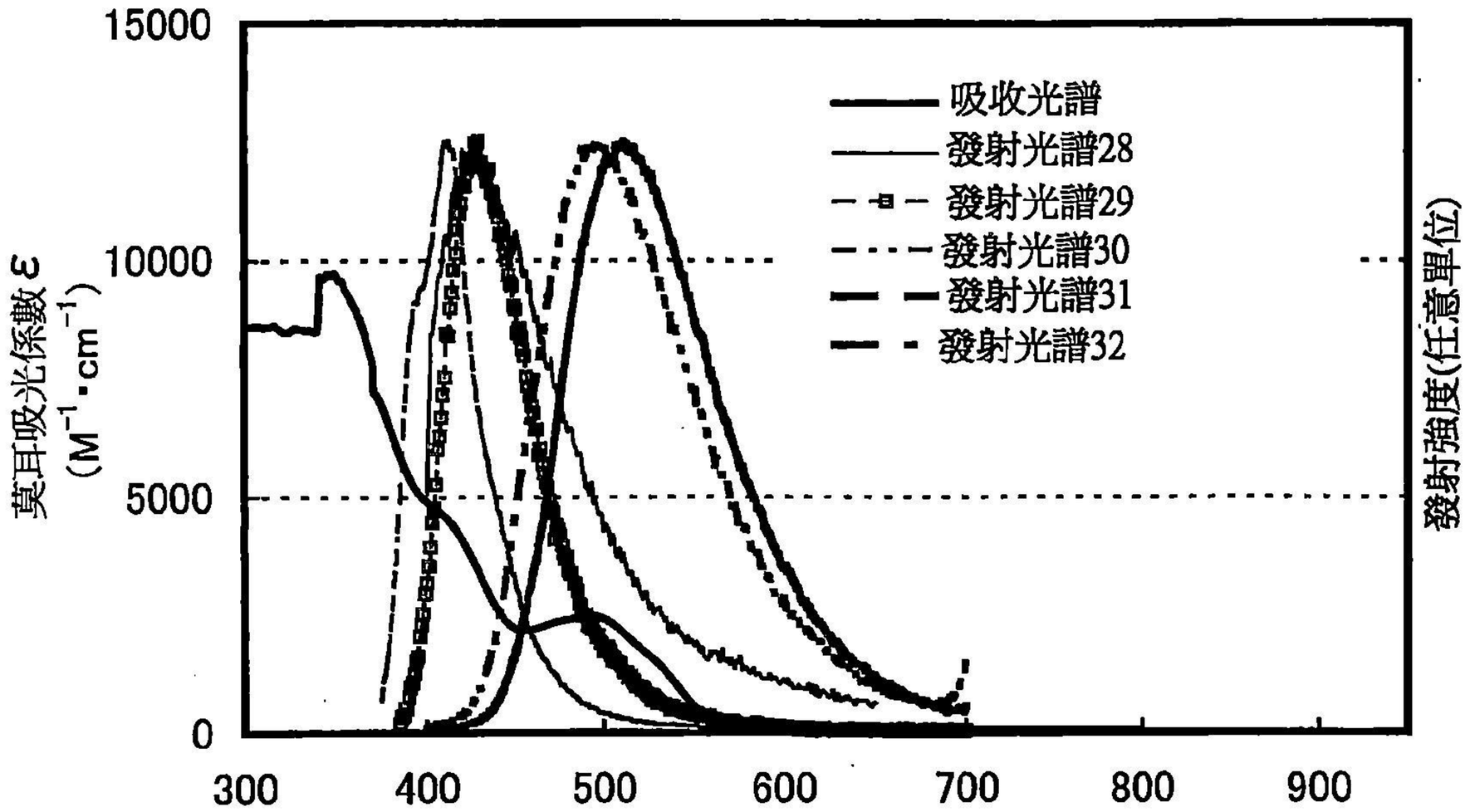

15000
10000
5000
0
莫耳吸光係數ε
($M^{-1}$·$cm^{-1}$)
300
400
500
600
700
800
900
波長(nm)
吸收光譜
發射光譜28
發射光譜29
發射光譜30
發射光譜31
發射光譜32
發射強度(任意單位)

圖 58B

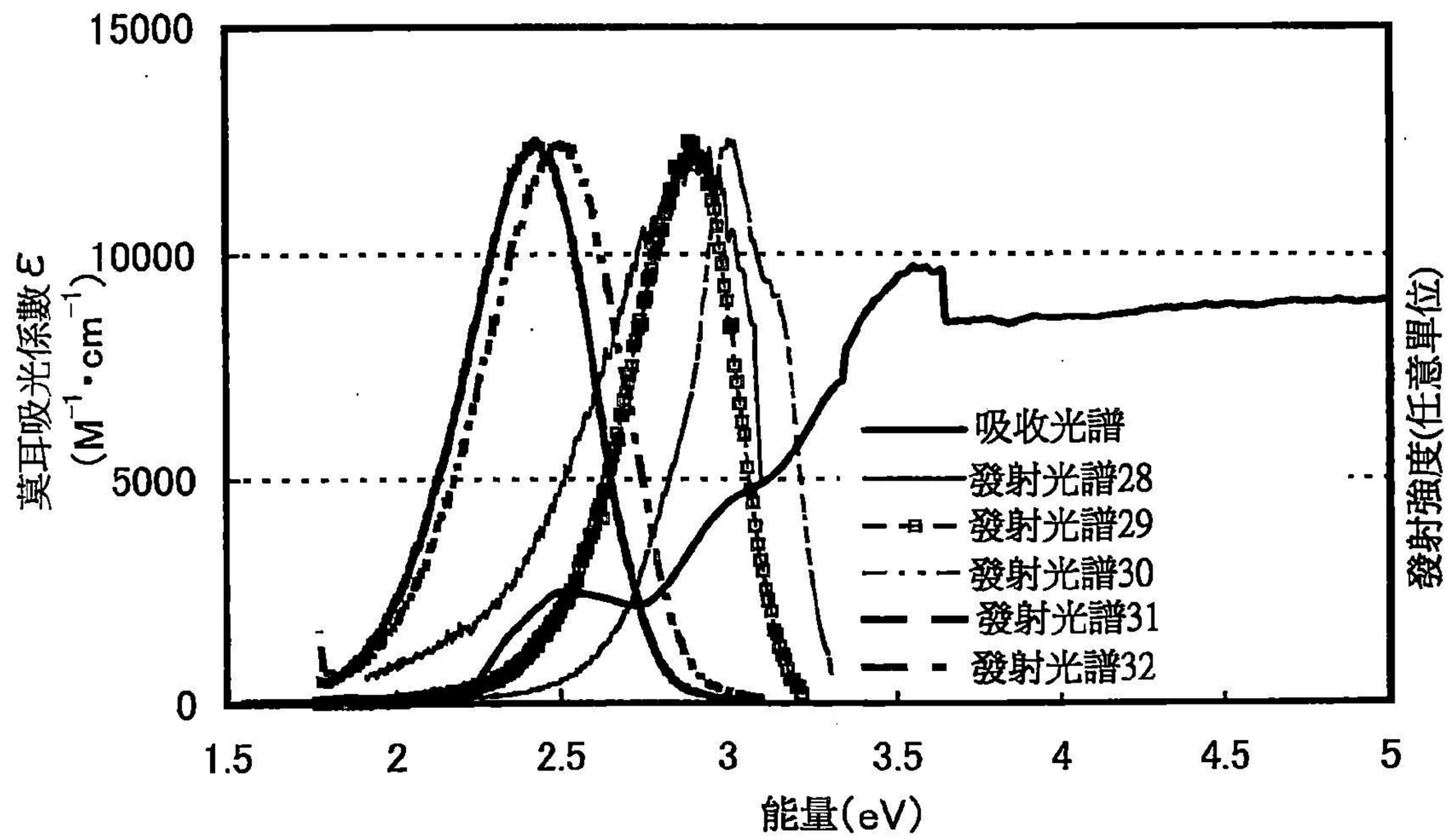

15000
10000
5000
0
莫耳吸光係數ε
($M^{-1}$·$cm^{-1}$)
1.5
2
2.5
3
3.5
4
4.5
5
能量(eV)
吸收光譜
發射光譜28
發射光譜29
發射光譜30
發射光譜31
發射光譜32
發射強度(任意單位)

圖 59

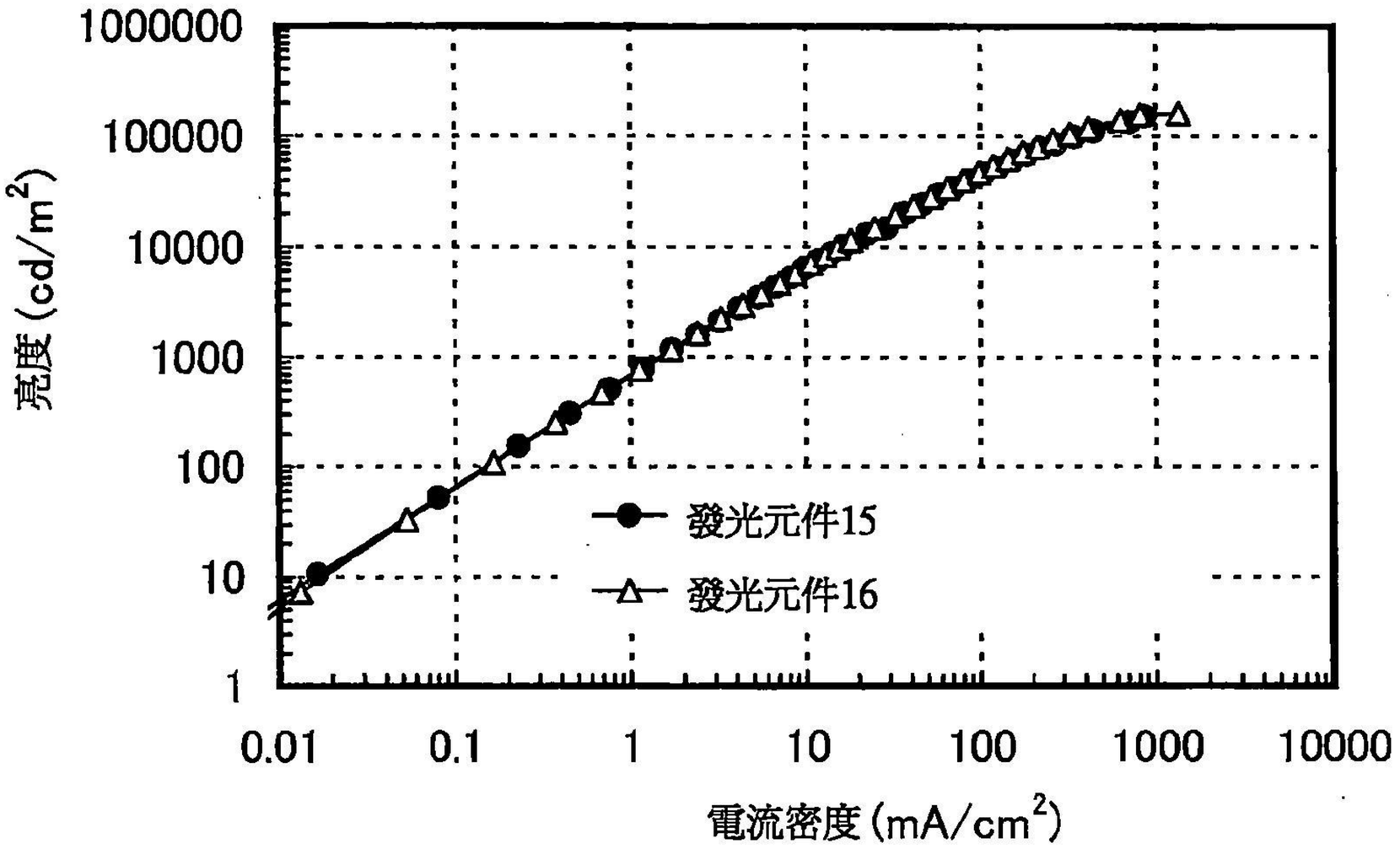

1000000
100000
10000
1000
100
10
1
亮度 (cd/m2)
發光元件15
發光元件16
0.01
0.1
1
10
100
1000
10000
電流密度 (mA/cm2)

圖 60

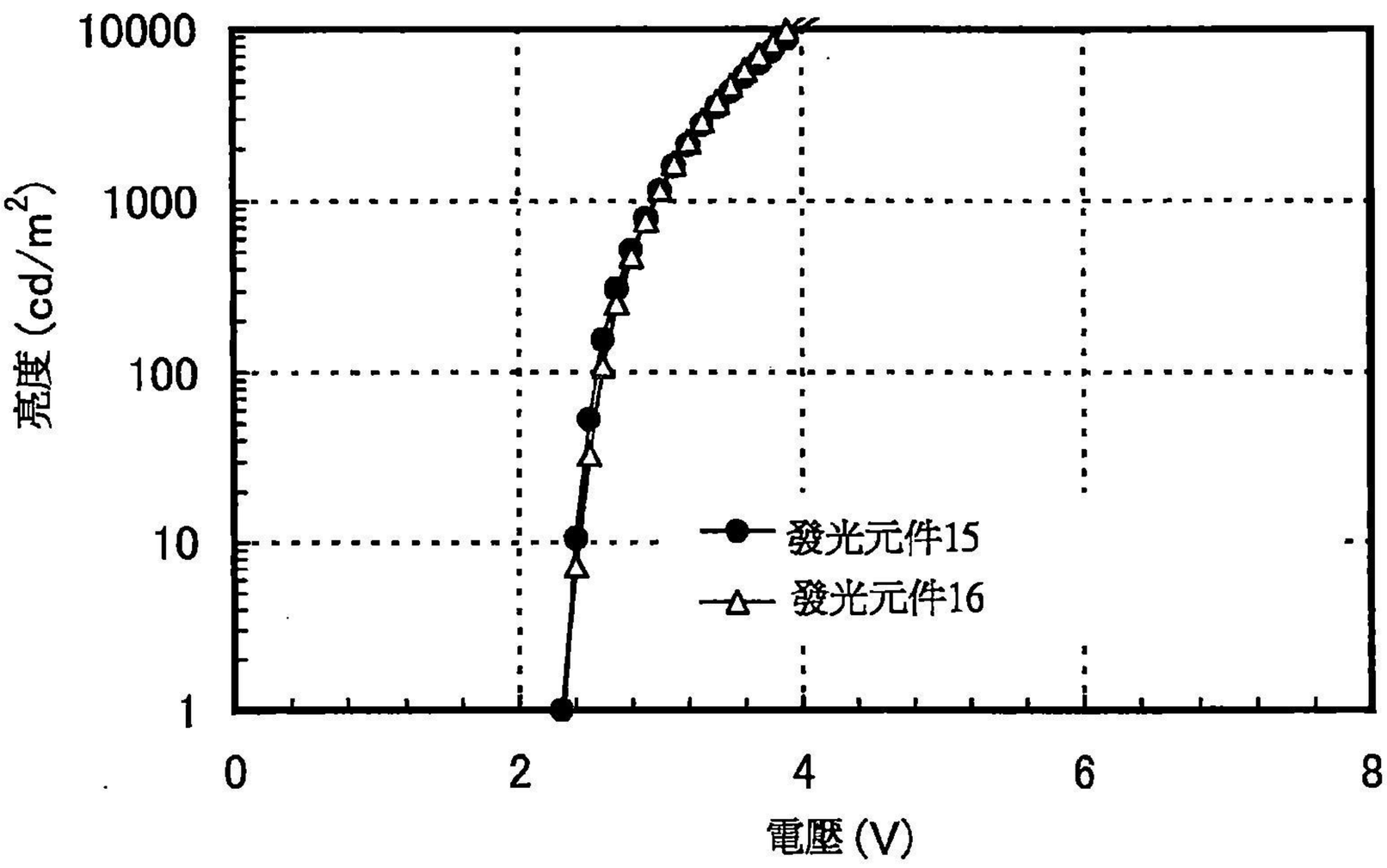

10000
1000
100
10
1
亮度 (cd/m2)
發光元件15
發光元件16
0
2
4
6
8
電壓 (V)

圖 61

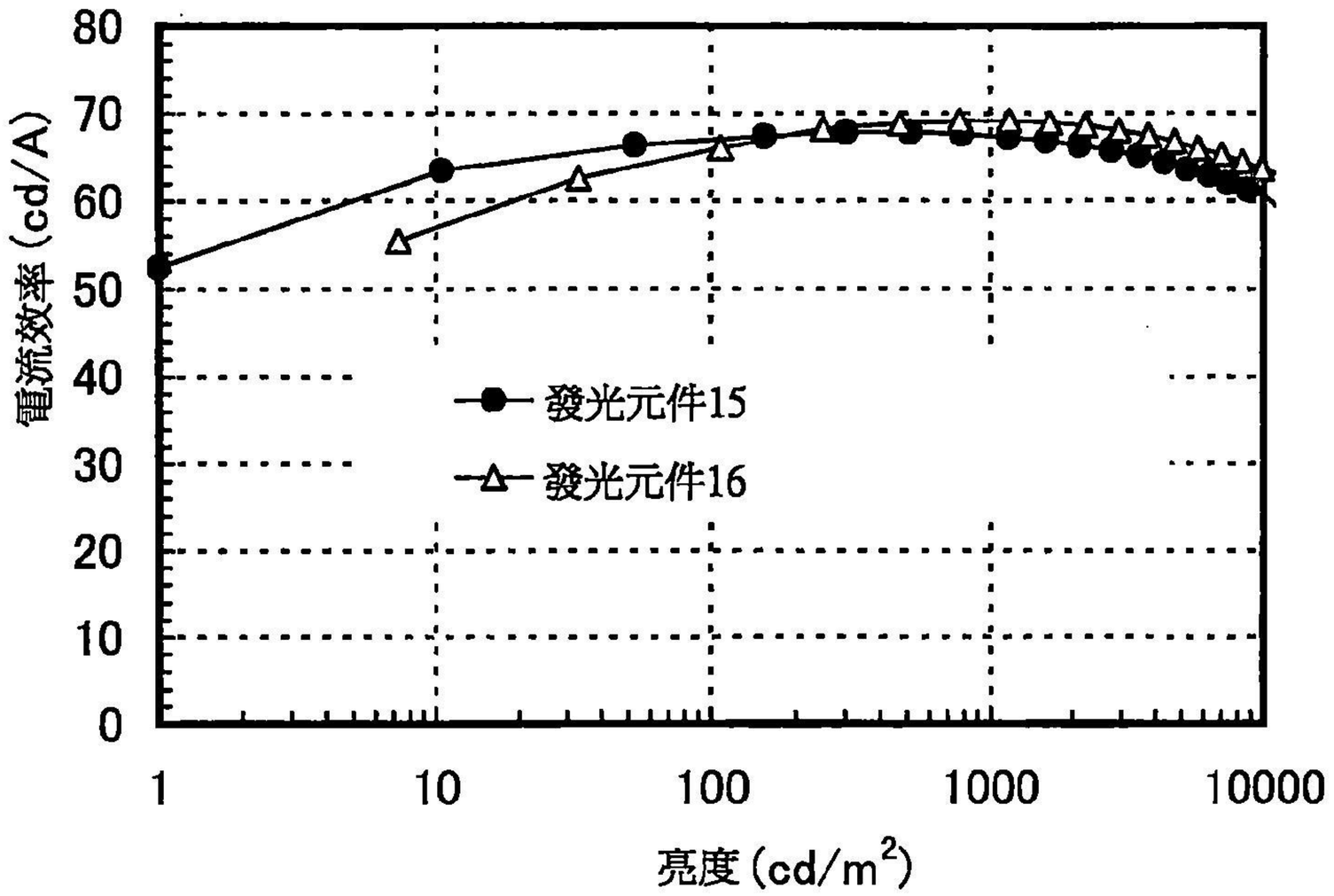

電流效率 (cd/A)
80
70
60
50
40
30
20
10
0
1
10
100
1000
10000
亮度 (cd/m2)
發光元件15
發光元件16

圖 62

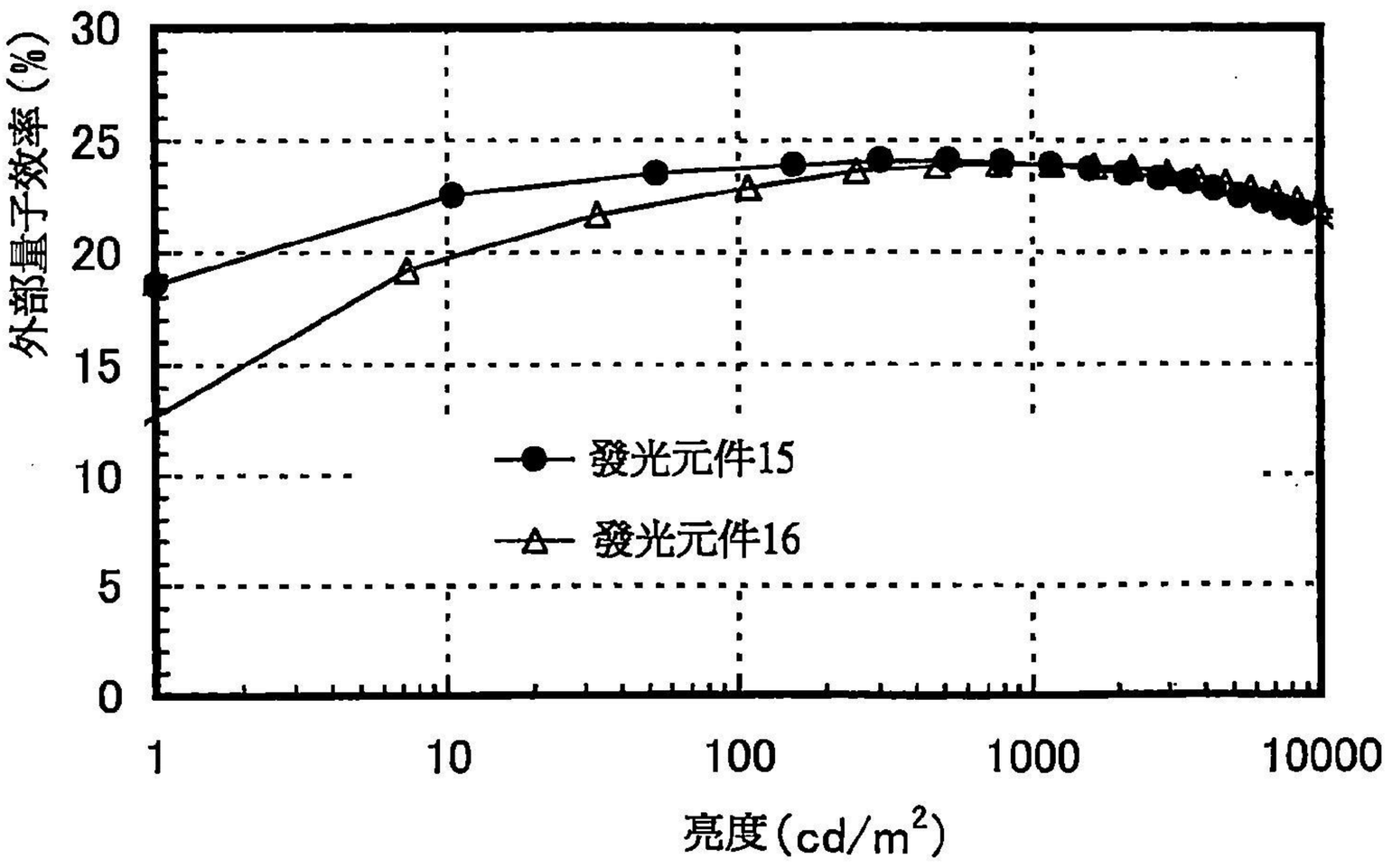

外部量子效率 (%)
30
25
20
15
10
5
0
1
10
100
1000
10000
亮度 (cd/m2)
發光元件15
發光元件16

圖 63

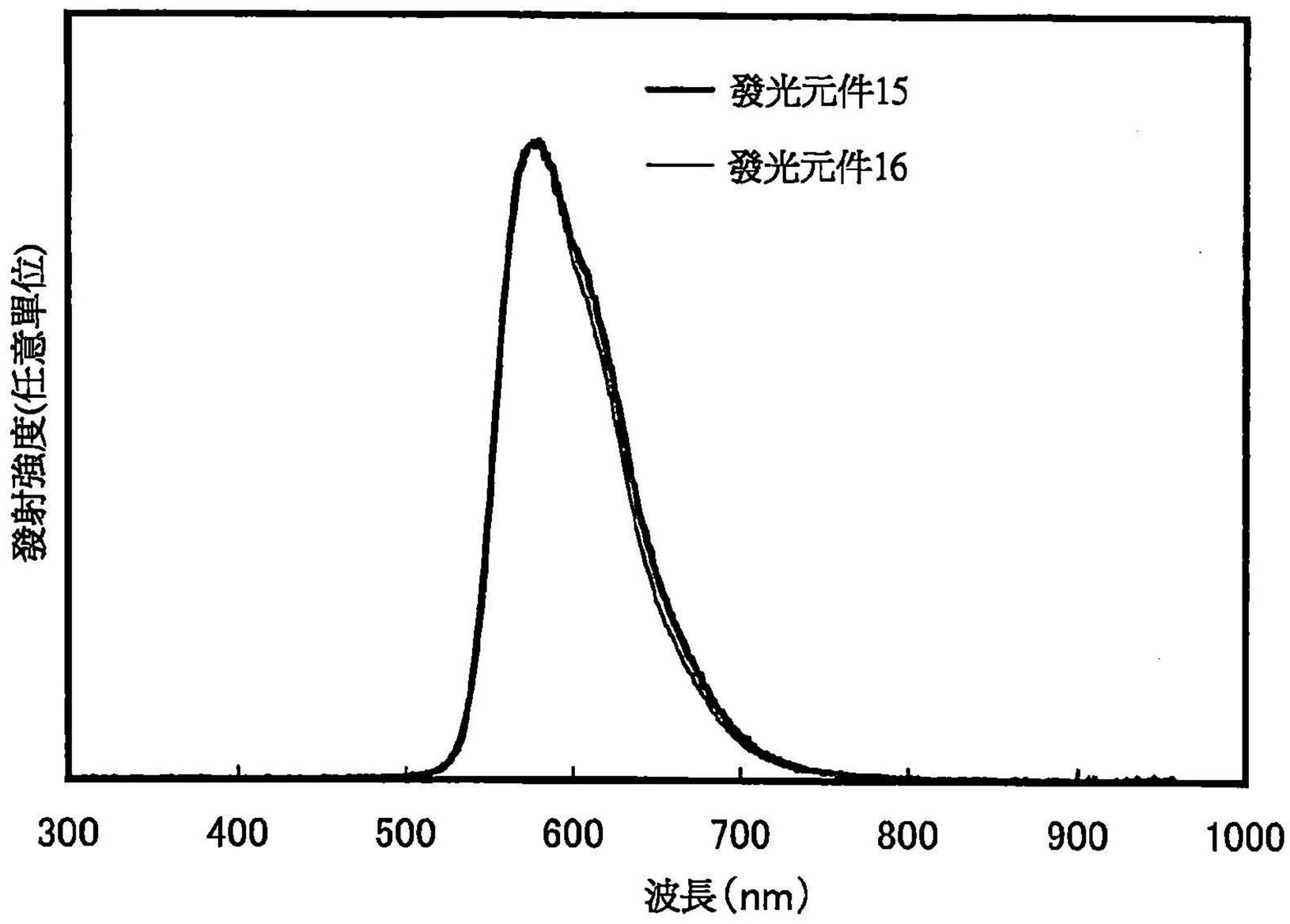


圖 64

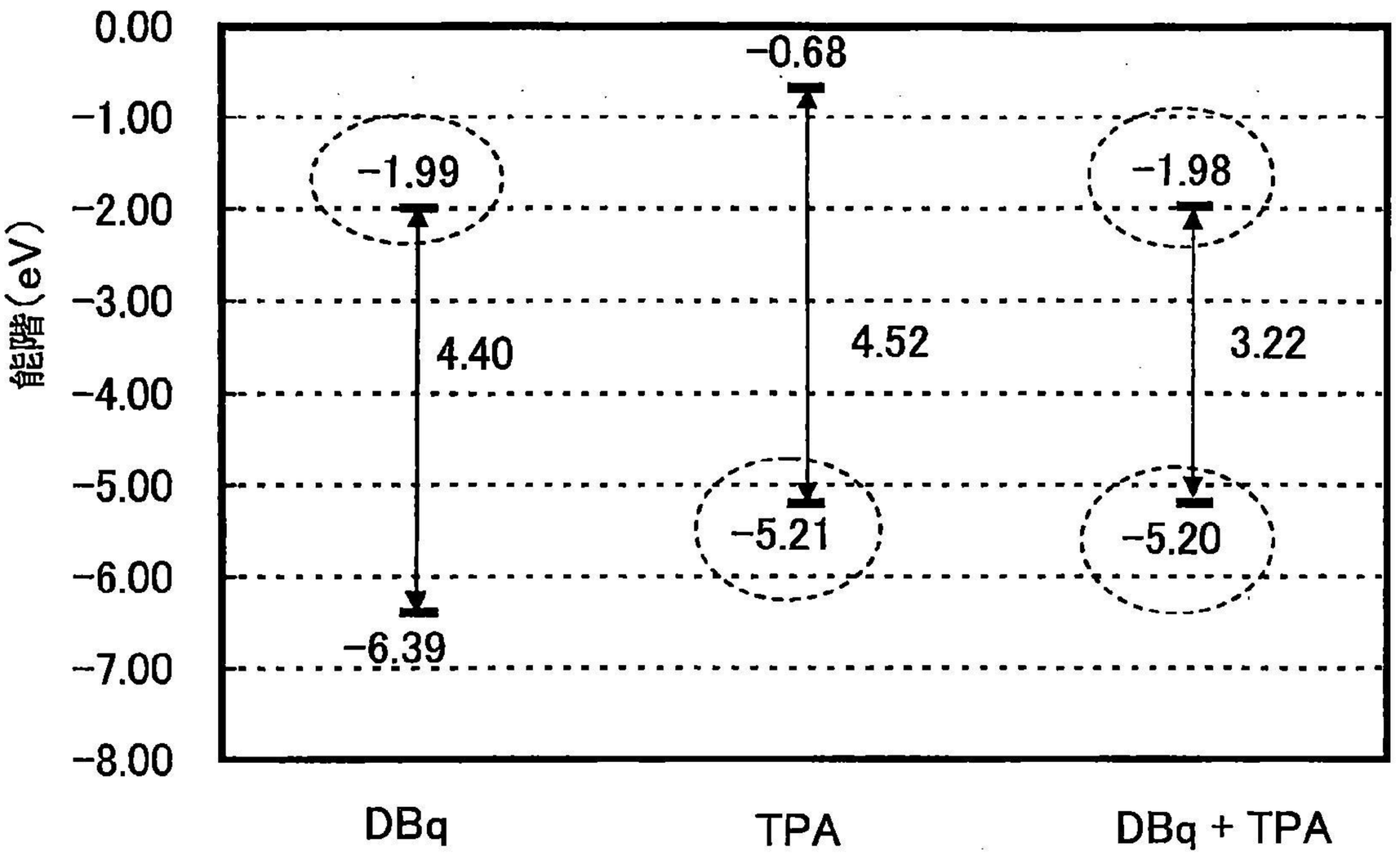

0.00
-1.00
-2.00
-3.00
-4.00
-5.00
-6.00
-7.00
-8.00
能階(eV)
-0.68
-1.99
-1.98
4.40
4.52
3.22
-5.21
-5.20
-6.39
DBq
TPA
DBq + TPA

圖 65A1

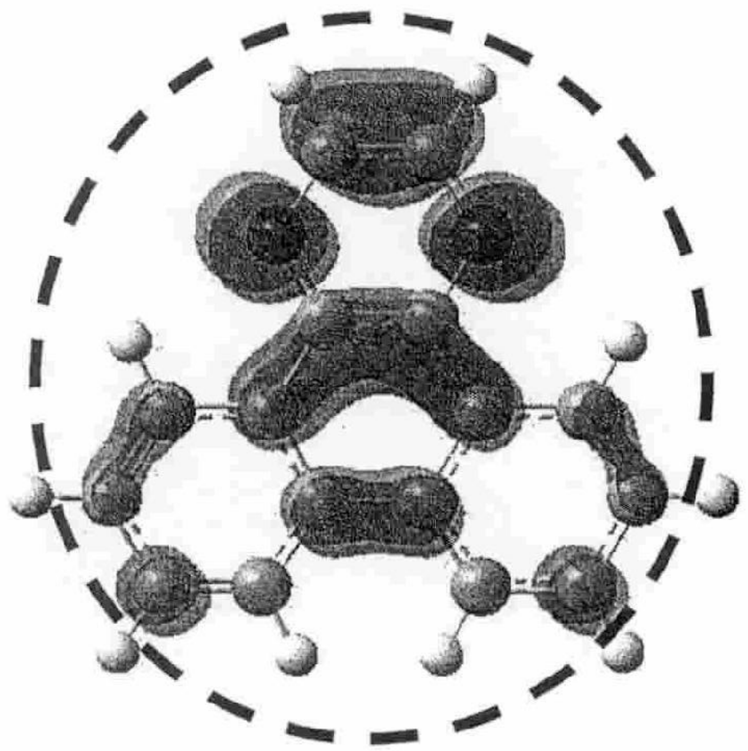


圖 65B1

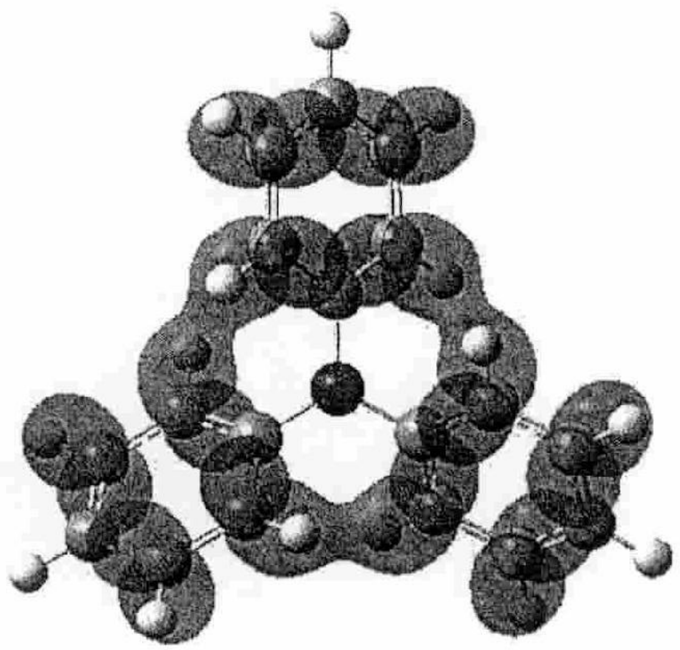


圖 65C1

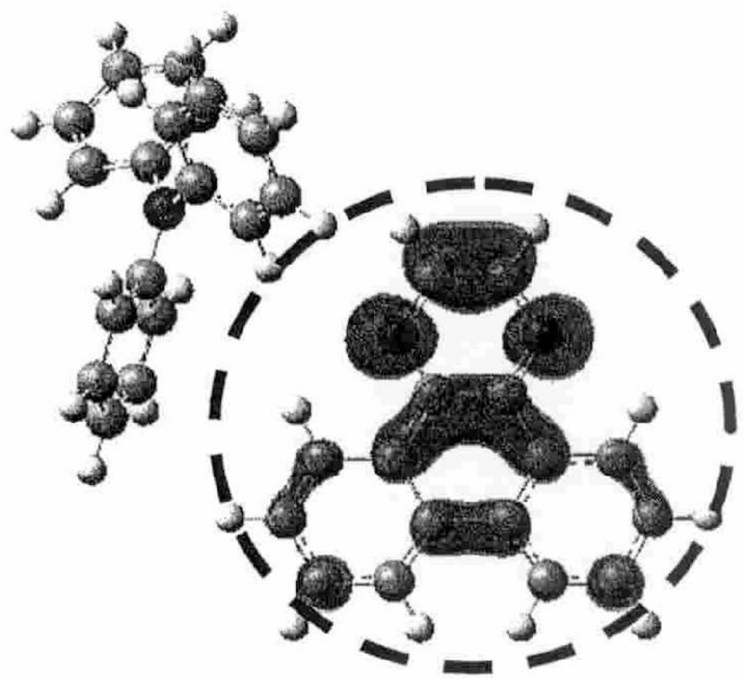


圖 65A2

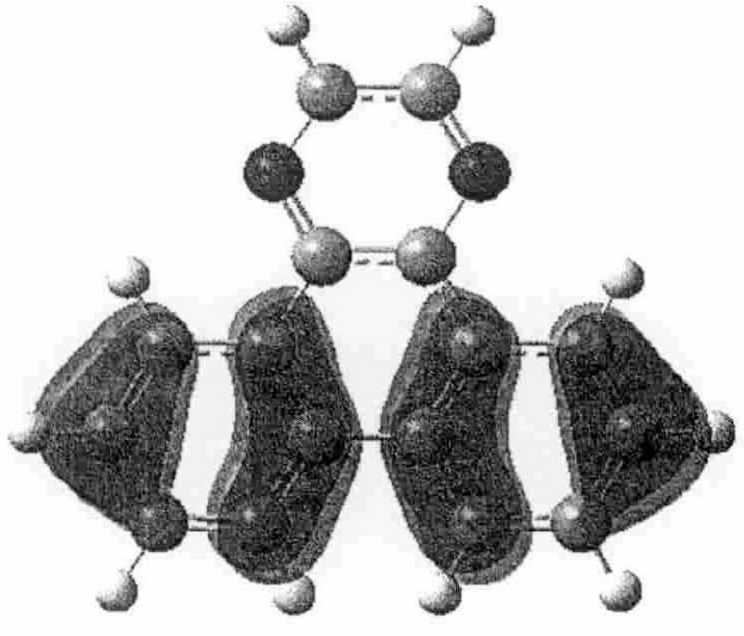


圖 65B2

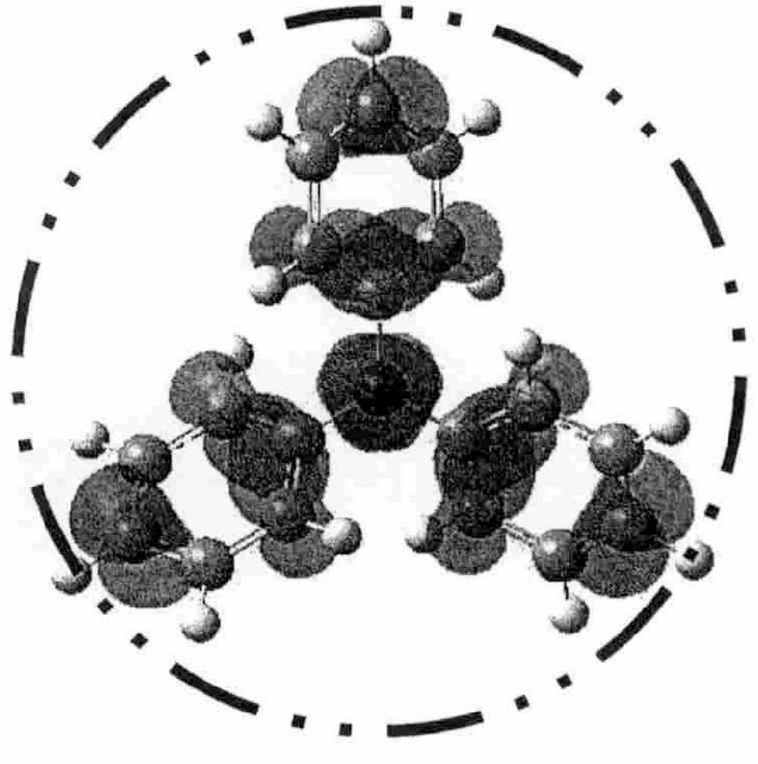


圖 65C2

