



(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 I691108 B

(45)公告日：中華民國 109 (2020) 年 04 月 11 日

(21)申請案號：108100088

(22)申請日：中華民國 101 (2012) 年 02 月 14 日

(51)Int. Cl. : *H01L51/50 (2006.01)**H01L51/00 (2006.01)*

(30)優先權：2011/02/16 日本

2011-031426

(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)；高橋正弘
TAKAHASHI, MASAHIRO (JP)；鈴木邦彥 SUZUKI, KUNIIHIKO (JP)

(74)代理人：林志剛

(56)參考文獻：

TW 201040145A

CN 101814583A

EP 1202608A2

審查人員：廖崑男

申請專利範圍項數：26 項 圖式數：54 共 150 頁

(54)名稱

發光元件

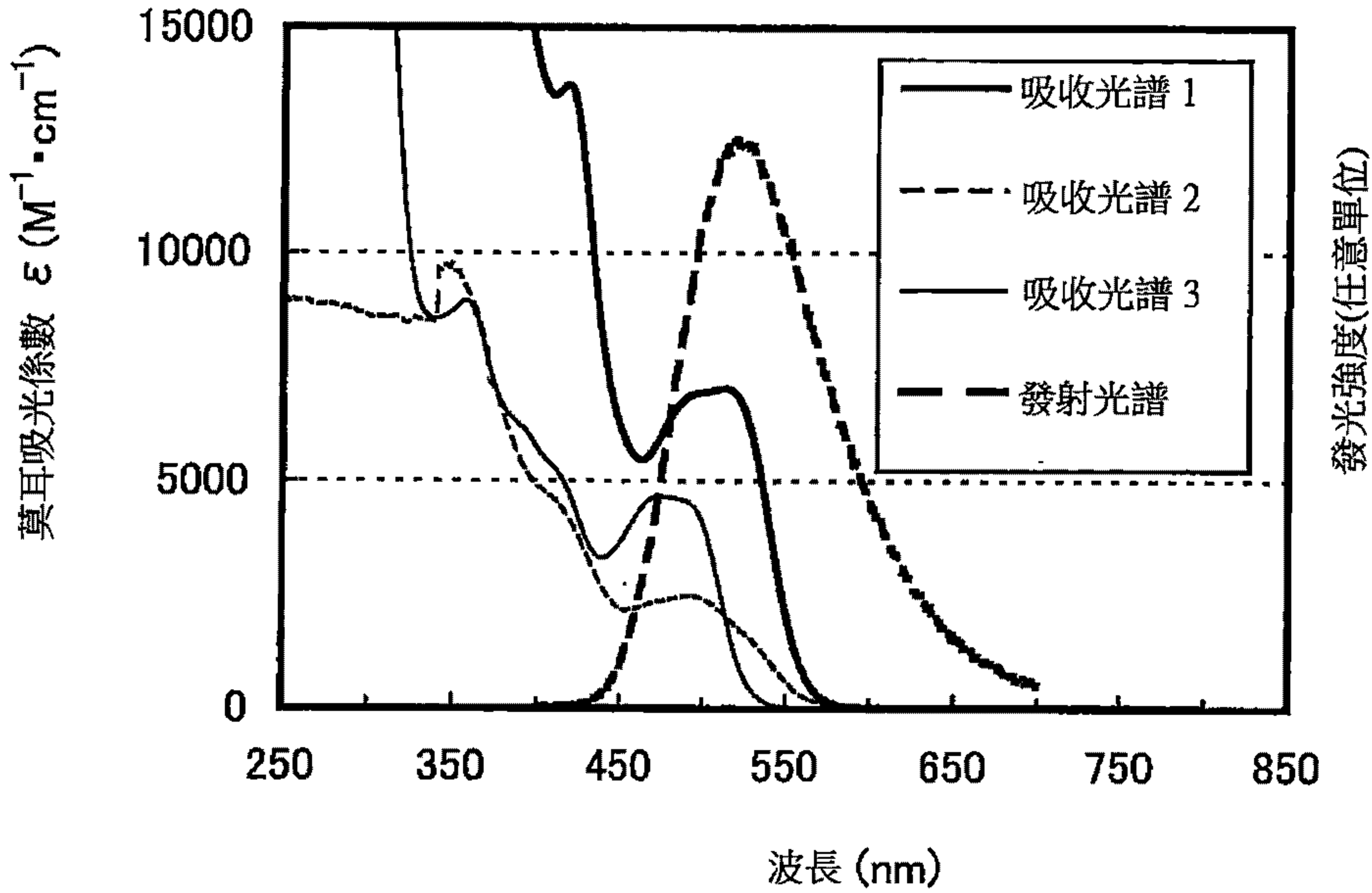
(57)摘要

本發明提供一種具有高外部量子效率的發光元件或一種壽命長的發光元件。該發光元件包括介於一對電極間的發光層，該發光層包括客體材料及主體材料，其中該主體材料的發射光譜與該客體材料的吸收光譜重疊，且藉由轉化該主體材料的激發能量為該客體材料的激發能量以發射磷光。藉由利用該主體材料的發射光譜與該客體材料的吸收光譜的重疊，能量順利地自該主體材料轉移至該客體材料，致使該發光元件的能量轉移效率高。因而，可得具有高外部量子效率的發光元件。

Provided is a light-emitting element with high external quantum efficiency, or a light-emitting element with a long lifetime. The light-emitting element includes, between a pair of electrodes, a light-emitting layer including a guest material and a host material, in which an emission spectrum of the host material overlaps with an absorption spectrum of the guest material, and phosphorescence is emitted by conversion of an excitation energy of the host material into an excitation energy of the guest material. By using the overlap between the emission spectrum of the host material and the absorption spectrum of the guest material, the energy smoothly transfers from the host material to the guest material, so that the energy transfer efficiency of the light-emitting element is high. Accordingly, a light-emitting element with high external quantum efficiency can be achieved.

指定代表圖：

圖 1A



I691108

發明摘要

【發明名稱】(中文/英文)

發光元件

LIGHT-EMITTING ELEMENT

【中文】

本發明提供一種具有高外部量子效率的發光元件或一種壽命長的發光元件。該發光元件包括介於一對電極間的發光層，該發光層包括客體材料及主體材料，其中該主體材料的發射光譜與該客體材料的吸收光譜重疊，且藉由轉化該主體材料的激發能量為該客體材料的激發能量以發射磷光。藉由利用該主體材料的發射光譜與該客體材料的吸收光譜的重疊，能量順利地自該主體材料轉移至該客體材料，致使該發光元件的能量轉移效率高。因而，可得具有高外部量子效率的發光元件。

【 英文 】

Provided is a light-emitting element with high external quantum efficiency, or a light-emitting element with a long lifetime. The light-emitting element includes, between a pair of electrodes, a light-emitting layer including a guest material and a host material, in which an emission spectrum of the host material overlaps with an absorption spectrum of the guest material, and phosphorescence is emitted by conversion of an excitation energy of the host material into an excitation energy of the guest material. By using the overlap between the emission spectrum of the host material and the absorption spectrum of the guest material, the energy smoothly transfers from the host material to the guest material, so that the energy transfer efficiency of the light-emitting element is high. Accordingly, a light-emitting element with high external quantum efficiency can be achieved.

【代表圖】

【本案指定代表圖】：第(1A)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】

本發明關於利用有機電致發光(EL)現象的發光元件(下述亦稱為有機 EL 元件)。

【先前技術】

對有機 EL 元件已積極地進行研究和開發。於有機 EL 元件的基本結構中，在一對電極之間置入包括發光性有機化合物的層(下述亦稱為發光層)。該有機 EL 元件由於具有諸如更為輕薄之可行性、對輸入信號之高速回應及能被直流低電壓驅動等的特性，而受到作為下一代平板顯示元件之關注。此外，使用此種發光元件的顯示器具有優異的對比和影像品質及廣視角的特徵。再者，作為平面光源，該有機 EL 元件已被嘗試作為諸如液晶顯示器的背光光源和照明裝置的光源。

有機 EL 元件的發光機構係屬載子注入型。換言之，藉由對置於電極之間的發光層施加電壓，自該等電極注入的電子和電洞複合以使發光物質受激發，且當該激發態回到基態時會發光。存有兩種激發態：單重激發態(S^*)和三

重激發態(T^*)。在發光元件中，激發態的統計上生成比例被認為是 $S^*:T^*=1:3$ 。

通常，發光性有機化合物的基態係單重激發態。因此，源自單重激發態(S^*)的發光被稱為螢光，因為該發光是由於相同的自旋多重態之間的電子躍遷所引起。另一方面，源自三重激發態(T^*)的發光被稱為磷光，其中在不同的自旋多重態之間發生電子躍遷。對此，在發射螢光的化合物(下述稱為螢光化合物)中，通常在室溫下並未觀察到磷光且僅觀察到螢光。因此，基於 $S^*:T^*=1:3$ ，於包括螢光化合物的發光元件中，內部量子效率(所生成的光子與所注入的載子之比例)的理論極限被認為是 25%。

另一方面，若使用發射磷光的化合物(下述稱為磷光化合物)，則內部量子效率理論上可達 100%。換言之，與使用螢光化合物相比，可得到高發光效率。根據上述理由，為得到高效率的發光元件，近年來已積極地開發包括磷光化合物的發光元件。含有作為中心金屬的銥或類似者之有機金屬錯合物作為磷光化合物因具有高磷光量子產率而已受到特別關注；例如，國際公開案 WO 00/70655 小冊子(下述稱為專利文獻 1)揭露含有作為中心金屬的銥的有機金屬錯合物作為磷光材料。

當使用上述磷光化合物以形成發光元件的發光層時，為抑制該磷光化合物的濃度猝滅或因三重態-三重態湮滅所導致的猝滅，通常形成該發光層，以使該磷光化合物分散在另一化合物的基質中。對此，作為基質的化合物被稱

為主體材料，且分散在該基質中的化合物(諸如磷光化合物)被稱為客體材料。

[專利文獻 1] 國際公開案 WO 00/70655 小冊子

然而，一般認為有機 EL 元件的光取出效率為約 20% 至 30%。因此，當考慮反射電極或透明電極之光吸收時，包括磷光化合物的發光元件的外部量子效率的極限至多為約 25%。

【發明內容】

本發明的一實施態樣的目的是提供一種具有高外部量子效率的發光元件。本發明的一實施態樣的另一目的是提供一種壽命長的發光元件。

本發明的一實施態樣是一種發光元件，該發光元件包括介於一對電極之間的包括客體材料及主體材料的發光層，其中該主體材料的發射光譜與該客體材料的吸收光譜重疊，且藉由轉化該主體材料的激發能量為該客體材料的激發能量以發射磷光。

本發明的另一實施態樣是一種發光元件，該發光元件包括介於一對電極之間的包括客體材料及主體材料的發光層，其中該主體材料的發射光譜與該客體材料的吸收光譜中最長波長側(最低能量側)的吸收帶重疊，且藉由轉化該主體材料的激發能量為該客體材料的激發能量以發射磷光。

在上述發光元件中，較佳的是該最長波長側的吸收帶

包括基於三重態 MLCT(自金屬至配體的電荷轉移)躍遷的吸收。

在上述發光元件中，該主體材料的發射光譜較佳為螢光光譜。

在上述發光元件中，該客體材料較佳為有機金屬錯合物，更較佳為銦錯合物。

在上述發光元件中，該發射光譜的峰能量值與該吸收光譜的最低能量側的吸收帶的峰能量值之間的差異較佳為 0.3 eV 或低於 0.3 eV。

在上述發光元件中，該吸收光譜的最長波長側的吸收帶的莫耳吸光係數較佳為 $5000 \text{ M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ 或高於 $5000 \text{ M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ 。

本發明的一實施態樣可提供一種具有高外部量子效率的發光元件。本發明的另一實施態樣可提供一種壽命長的發光元件。

【圖式簡單說明】

在附圖中：

圖 1A 和 1B 顯示實施例 1 的吸收光譜及發射光譜；

圖 2 說明實施例的發光元件的結構；

圖 3 顯示實施例 2 的發光元件的電流密度-亮度特性；

圖 4 顯示實施例 2 的發光元件的電壓-亮度特性；

圖 5 顯示實施例 2 的發光元件的亮度-電流效率特

性；

圖 6 顯示實施例 2 的發光元件的亮度-外部量子效率特性；

圖 7 顯示實施例 2 的發光元件的發射光譜；

圖 8 顯示實施例 2 的發光元件的可靠性測試的結果；

圖 9 顯示實施例 3 的發光元件的電流密度-亮度特性；

圖 10 顯示實施例 3 的發光元件的電壓-亮度特性；

圖 11 顯示實施例 3 的發光元件的亮度-電流效率特性；

圖 12 顯示實施例 3 的發光元件的亮度-外部量子效率特性；

圖 13 顯示實施例 3 的發光元件的發射光譜；

圖 14 顯示實施例 3 的發光元件的可靠性測試的結果；

圖 15A 至 15C 說明本發明的實施態樣的發光元件；

圖 16 顯示實施例 1 的吸收光譜及發射光譜；

圖 17A 和 17B 顯示實施例 4 的吸收光譜及發射光譜；

圖 18 顯示實施例 5 的發光元件的電流密度-亮度特性；

圖 19 顯示實施例 5 的發光元件的電壓-亮度特性；

圖 20 顯示實施例 5 的發光元件的亮度-電流效率特性；

圖 21 顯示實施例 5 的發光元件的亮度-外部量子效率特性；

圖 22 顯示實施例 5 的發光元件的發射光譜；

圖 23A 和 23B 顯示實施例 6 的吸收光譜及發射光譜；

圖 24 顯示實施例 7 的發光元件的電流密度-亮度特性；

圖 25 顯示實施例 7 的發光元件的電壓-亮度特性；

圖 26 顯示實施例 7 的發光元件的亮度-電流效率特性；

圖 27 顯示實施例 7 的發光元件的亮度-外部量子效率特性；

圖 28 顯示實施例 7 的發光元件的發射光譜；

圖 29 顯示實施例 7 的發光元件的可靠性測試的結果；

圖 30A 和 30B 顯示實施例 8 的吸收光譜及發射光譜；

圖 31 顯示實施例 9 的發光元件的電流密度-亮度特性；

圖 32 顯示實施例 9 的發光元件的電壓-亮度特性；

圖 33 顯示實施例 9 的發光元件的亮度-電流效率特性；

圖 34 顯示實施例 9 的發光元件的亮度-外部量子效率特性；

圖 35 顯示實施例 9 的發光元件的發射光譜；

圖 36 顯示實施例 9 的發光元件的可靠性測試的結果；

圖 37A 和 37B 顯示實施例 10 的吸收光譜及發射光譜；

圖 38 顯示實施例 11 的發光元件的電流密度-亮度特性；

圖 39 顯示實施例 11 的發光元件的電壓-亮度特性；

圖 40 顯示實施例 11 的發光元件的亮度-電流效率特性；

圖 41 顯示實施例 11 的發光元件的亮度-外部量子效率特性；

圖 42 顯示實施例 11 的發光元件的發射光譜；

圖 43A 和 43B 顯示實施例 12 的吸收光譜及發射光譜；

圖 44 顯示實施例 13 的發光元件的電流密度-亮度特性；

圖 45 顯示實施例 13 的發光元件的電壓-亮度特性；

圖 46 顯示實施例 13 的發光元件的亮度-電流效率特性；

圖 47 顯示實施例 13 的發光元件的亮度-外部量子效率特性；

圖 48 顯示實施例 13 的發光元件的發射光譜；

圖 49A 和 49B 顯示實施例 14 的吸收光譜及發射光

譜；

圖 50 顯示實施例 15 的發光元件的電流密度-亮度特性；

圖 51 顯示實施例 15 的發光元件的電壓-亮度特性；

圖 52 顯示實施例 15 的發光元件的亮度-電流效率特性；

圖 53 顯示實施例 15 的發光元件的亮度-外部量子效率特性；及

圖 54 顯示實施例 15 的發光元件的發射光譜。

【實施方式】

參照圖式說明實施態樣。本發明不侷限於下述說明，且所屬技術領域的普通技術人員可容易地理解：在不偏離本發明的精神及範圍下可進行各種不同之變化和修改。因此，本發明不應該被解釋為僅侷限於下述實施態樣所記載的內容。在下述說明的本發明之結構中，在不同圖式中藉由相同的元件符號以表示相同的部分或具有相似功能的部分，且省略該等部分之說明。

實施態樣 1

實施態樣 1 說明本發明的一實施態樣的發光元件。

本實施態樣的發光元件包括發光層，該發光層包括作為發光物質的客體材料及該客體材料分散於其中的主體材料。使用磷光化合物作為客體材料。可使用一或多種有機

化合物作為主體材料。

令該客體材料分散在該主體材料中的結構可防止發光層結晶。此外，可抑制因該客體材料的高濃度所導致的濃度猝滅，因而該發光元件可具有較高的發光效率。

依據本實施態樣，較佳的是作為該主體材料的有機化合物的三重激發態能階(T_1 能階)係高於該客體材料的 T_1 能階。此因若該主體材料的 T_1 能階低於該客體材料的 T_1 能階，則該主體材料使對發光貢獻的該客體材料的三重激發態能階猝滅，並因而降低發光效率。

〈發光的基本過程〉

首先，對使用磷光化合物作為客體材料的發光元件的發光的一般基本過程進行說明。

(1)當電子和電洞在客體分子中複合，該客體分子處於激發態(直接複合過程)。

(1-1)在該客體分子的激發態為三重激發態時，該客體分子發射磷光。

(1-2)在該客體分子的激發態為單重激發態時，處於單重激發態的該客體分子進行系間跨越(intersystem crossing)至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，只要該客體分子的系間跨越效率及磷光量子產率高，即可獲得高發光效率。如上所述，較佳的是該主體分子的 T_1 能階高於該客體分子的 T_1 能階。

(2)當電子和電洞在主體分子中複合，該主體分子處於激發態(能量轉移過程)。

(2-1)在該主體分子的激發態為三重激發態且該主體分子的 T_1 能階係高於該客體分子的 T_1 能階時，激發能量從該主體分子轉移至該客體分子，因而該客體分子處於三重激發態。處於三重激發態的該客體分子發射磷光。理論上能量可轉移至該客體分子的單重激發能階(S_1 能階)，然而因於許多情況下該客體分子的 S_1 能階比該主體分子的 T_1 能階具有更高之能量，轉移至該客體分子的 S_1 能階之能量轉移幾乎不可能成為主要之能量轉移過程(本文未提供彼之相關描述)。

(2-2)在該主體分子的激發態為單重激發態且該主體分子的 S_1 能階高於該客體分子的 S_1 能階及 T_1 能階時，激發能量從該主體分子轉移至該客體分子，因而該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進行系間跨越至三重激發態並發射磷光。

換言之，在上述(2)的能量轉移過程中，如何使該主體分子的三重激發能量及單重激發能量可有效率地轉移至該客體分子是重要的。

〈能量轉移過程〉

下述詳細說明分子間的能量轉移過程。

首先，提出下述兩種機構以作為分子間的能量轉移機

構。賦予激發能量的分子稱為主體分子，而接受該激發能量的分子稱為客體分子。

《福斯特(Förster)機構(偶極-偶極相互作用)》

於福斯特機構(亦稱為福斯特共振能量轉移)中，能量轉移不需要分子間的直接接觸。藉由主體分子與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，使該主體分子供給該客體分子能量，因該主體分子返回基態且該客體分子處於激發態。公式(1)表示福斯特機構的速度常數 $k_{h^* \rightarrow g}$ 。

[公式 1]

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

式(1)中， ν 表示頻率， $f'_h(\nu)$ 表示主體分子的標準化發射光譜(自單重激發態的能量轉移的螢光光譜，及自三重激發態的能量轉移的磷光光譜)， $\epsilon_g(\nu)$ 表示客體分子的莫耳吸光係數， N 表示阿伏伽德羅數， n 表示介質的折射率， R 表示該主體分子與該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(自單重激發態的能量轉移的螢光量子產率，及自三重激發態的能量轉移的磷光量子產率)， K^2 表示該主體分子和該客體分子的躍遷偶極矩的配

向係數(0 至 4)。此外，無規配向中 $K^2=2/3$ 。

《德克斯特(Dexter)機構(電子交換相互作用)》

在德克斯特機構(亦稱為德克斯特電子轉移)中，主體分子和客體分子接近於產生軌道重疊的接觸有效距離，且藉由交換處於激發態的主體分子的電子和處於基態的客體分子的電子而發生能量轉移。公式(2)表示德克斯特機構的速度常數 $k_{h^* \rightarrow g}$ 。

[公式 2]

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

式(2)中， h 表示普朗克常數， K 表示具有能量維數(energy dimension)的常數， ν 表示頻率， $f'_h(\nu)$ 表示主體分子的標準化的發射光譜(自單重激發態的能量轉移的螢光光譜，及自三重激發態的能量轉移的磷光光譜)， $\varepsilon'_g(\nu)$ 表示客體分子的標準化的吸收光譜， L 表示有效分子半徑， R 表示主體分子與客體分子的分子間距離。

在此，可認為式(3)表示自主體分子至客體分子的能量轉移效率 Φ_{ET} 。 k_r 表示主體分子的發光過程(自單重激發態的能量轉移的螢光，及自三重激發態的能量轉移的磷光)的速度常數， k_n 表示該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]

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

首先，依據式(3)，為提高能量轉移效率 Φ_{ET} ，可進一步增加能量轉移的速度常數 $k_{h^* \rightarrow g}$ (相較於其他競爭的速度常數 $k_r + k_n (=1/\tau)$)。隨後，為增加該能量轉移的速度常數 $k_{h^* \rightarrow g}$ ，基於式(1)及(2)，在福斯特機構和德克斯特機構中，較佳的是主體分子的發射光譜(自單重激發態的能量轉移的螢光光譜，及自三重激發態的能量轉移的磷光光譜)與客體分子的吸收光譜大大地重疊。

在此，本發明的一實施態樣是一種發光元件，該發光元件包括介於一對電極之間的包括客體材料及主體材料的發光層，其中該主體材料的發射光譜與該客體材料的吸收光譜重疊，且藉由轉化該主體材料的激發能量為該客體材料的激發能量以發射磷光。

依據本發明的一實施態樣，藉由利用該主體材料的發射光譜與該客體材料的吸收光譜之間的重疊，能量能順利地自該主體材料轉移至該客體材料，致使能量轉移效率高。因此，依據本發明的一實施態樣，可得具有高外部量子效率的發光元件。

鑒於上述之能量轉移過程，在激發能量從主體分子轉移至客體分子之前，在該主體分子本身藉由該激發能量

呈光或熱釋放而失活時，發光效率降低或壽命減短。依據本發明的一實施態樣，由於順利地轉移能量，故可抑制激發能量的失活。因此，可的具有壽命長的發光元件。

在此，本發明人認為：考慮該主體分子的發射光譜與該客體分子的吸收光譜的重疊，該客體分子的吸收光譜的最長波長側(最低能量側)的吸收帶是重要的。

依據本實施態樣，使用磷光化合物作為客體材料。在磷光化合物的吸收光譜中，被認為對發光貢獻最大的吸收帶係對應自單重基態直接躍遷至三重激發態的吸收波長且鄰近該吸收波長，該吸收波長係位於最長波長側。因此，可認為較佳的是：該主體材料的發射光譜(螢光光譜及磷光光譜)與該磷光化合物的吸收光譜的最長波長側的吸收帶重疊。

例如，大多數有機金屬錯合物(尤其是發光銥錯合物)在最長波長側的吸收帶於 500nm 至 600nm 附近具有寬吸收帶(事實上取決於發光波長，寬吸收帶可位於更短波長側或更長波長側)。該吸收帶主要基於三重態 MLCT(自金屬至配體的電荷轉移)躍遷。該吸收帶被認為亦包括基於三重態 $\pi-\pi^*$ 躍遷及單重態 MLCT 躍遷的吸收，且此等吸收彼此重疊以於吸收光譜的最長波長側形成寬吸收帶。因此，如上所述，較佳的是當使用有機金屬錯合物(尤其是銥錯合物)作為客體材料時，在最長波長側的寬吸收帶大大地與該主體材料的發射光譜重疊。

因而，本發明的另一實施態樣是一種發光元件，該發

光元件包括介於一對電極之間的包括客體材料及主體材料的發光層，其中該主體材料的發射光譜與該客體材料的吸收光譜中最長波長側的吸收帶重疊，且藉由轉化該主體材料的激發能量為該客體材料的激發能量以發射磷光。

在上述之發光元件中，該吸收帶較佳地包括基於三重態 MLCT 躍遷的吸收。三重 MLCT 激發態是作為客體材料的磷光化合物的最低三重激發態，因此該磷光化合物自該激發態發射磷光。換言之，自該三重 MLCT 激發態發射的磷光涉及發光以外的少數失活過程，因此認為使該激發態的存在率儘可能地高即可獲得高發光效率。根據上述理由，較佳的是存在許多能量轉移過程，其中藉由利用基於三重態 MLCT 躍遷的吸收以將能量從主體材料直接轉移至三重 MLCT 激發態。在上述之發光元件中，該客體材料較佳為有機金屬錯合物，特別是銥錯合物。

本發明人已發現：當主體分子處於單重激發態時(上述(2-2))，能量幾乎不可能轉移至客體分子(即磷光化合物)，且與該主體分子處於三重激發態時(上述(2-1))相比，發光效率容易降低。本發明人著眼上述事實而作為課題。

一般使用螢光化合物作為主體材料，但是螢光化合物之螢光壽命(τ)極短，即奈秒級(k_r+k_n 高)。此因自單重激發態至基態(單重)的躍遷為容許之躍遷。自式(3)可知，此不利於能量轉移效率 Φ_{ET} 。基於此，通常能量幾乎不可能自主體材料的單重激發態轉移至客體材料。

然而，本發明的一實施態樣可克服如上所述的有關自主體材料的單重激發態至客體材料的能量轉移效率的問題。換言之，依據本發明的一實施態樣，發光元件包括介於一對電極之間的包括客體材料及主體材料的發光層，其中較佳地該主體材料的螢光光譜與該客體材料的吸收光譜中最長波長側的吸收帶重疊，且藉由利用該重疊使該主體材料的激發能量轉換為該客體材料的激發能量以發射磷光。

換言之，在本發明的一實施態樣的發光元件中，主體材料的螢光光譜與客體材料的吸收光譜中最長波長側的吸收帶重疊，且藉由利用該重疊使該主體材料的激發能量轉換為該客體材料的激發能量以發射磷光。該結構可抑制單重激發能量的失活。因此，應用本發明的一實施態樣可抑制不僅可能影響元件的效率亦會影響元件的壽命的主體材料的單重激發能量的失活，使得可得具有壽命長的發光元件。對此，較佳的是，該主體材料的激發能量充分轉移至磷光化合物，且實質上未觀察到源自單重激發態的螢光。

為使主體材料的發射光譜與客體材料的吸收光譜充分地重疊，該發射光譜的峰能量值與該吸收光譜的最低能量側的吸收帶的峰能量值之間的差異較佳地為 0.3 eV 或低於 0.3 eV 。該差異更佳為 0.2 eV 或低於 0.2 eV ，特別更佳地為 0.1 eV 或低於 0.1 eV 。

再者，於自單重激發態的主體材料的能量轉移中，福斯特機構被認為是重要的。對此，自式(1)可知，該客體

材料的最長波長側的吸收帶的莫耳吸光係數較佳地為 $2000 \text{ M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ 或高於 $2000 \text{ M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ ，更佳地為 $5000 \text{ M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ 或高於 $5000 \text{ M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ 。

本實施態樣可與其他實施態樣適當地組合。

實施態樣 2

本實施態樣參照圖 15A 至 15C 說明本發明的一實施態樣的發光元件。

圖 15A 說明一種發光元件，其包括介於第一電極 103 與第二電極 108 之間的 EL 層 102。圖 15A 中發光元件包括：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、及設置在其上的第二電極 108。

較佳地使用具有高功功能(特定地 4.0 eV 或高於 4.0 eV)的金屬、合金、導電性化合物、彼等的混合物及類似者中任一者以形成第一電極 103。特定之實例包括氧化銦-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)及類似者。此等導電金屬氧化物膜一般係藉由濺射法形成，但是亦可經由使用溶膠-凝膠法及類似者形成。例如，藉由濺射法且使用在氧化銦中添加 1 重量(wt)%至 20wt%氧化鋅的靶材，可形成氧化銦-氧化鋅膜。此外，藉由濺射法且使用在氧化銦中添加 0.5wt%至 5wt%氧化鎢和

0.1wt%至 1wt%氧化鋅的靶材，可形成 IWZO 膜。其他實例係石墨烯、金、鉑、鎳、鎢、鉻、鋁、鐵、鈷、銅、鈮、金屬材料的氮化物(例如氮化鈦)及類似者。

當使用藉由組合有機化合物和電子受體(acceptor)所形成之後述複合材料以形成包括於 EL 層 102 且與第一電極 103 接觸所形成之層時，可使用無需考慮功功能的許多不同之金屬、合金、導電性化合物、彼等的混合物及類似者以形成該第一電極 103；例如，亦可使用鋁、銀、含鋁的合金(例如 Al-Si)或類似者。

可藉由例如濺射法、蒸鍍法(其包括真空蒸鍍法)或類似者以形成該第一電極 103。

較佳地使用具有低功功能(較佳地 3.8 eV 或低於 3.8 eV)的金屬、合金、導電性化合物、彼等的混合物及類似者中任一者以形成第二電極 108。特定實例包括屬於元素週期表第 1 和 2 族的元素，即鹼金屬(諸如鋰或鈉)、鹼土金屬(諸如鈣、鋇、鎂)、彼等的合金(例如 Mg-Ag、Al-Li)；稀土金屬(諸如鎔和鐳)、彼等的合金；鋁、銀及類似者。

當使用藉由組合有機化合物和電子施體(donor)所形成之後述複合材料以形成包括於 EL 層 102 且與第二電極 108 接觸所形成之層時，可使用無需考慮功功能的許多不同之導電材料(諸如 Al、Ag、ITO、及含有矽或氧化矽的氧化銦-氧化錫)的任一者以形成該第二電極 108。

當形成第二電極 108 時，可使用真空蒸鍍法或濺射

法。在使用銀漿或類似者時，可採用塗覆法、噴墨法或類似方法。

該 EL 層 102 包括至少發光層 703。該 EL 層 102 的一部分可使用已知物質，且可使用低分子化合物或高分子化合物。形成該 EL 層 102 的物質可由有機化合物構成或可包括作為部分之無機化合物。

再者，如示於圖 15A，該 EL 層 102 不僅包括該發光層 703，且亦包括下述層之適當組合：包括高電洞注入性的物質的電洞注入層 701、包括高電洞傳輸性的物質的電洞傳輸層 702、包括高電子傳輸性的物質的電子傳輸層 704、包括高電子注入性的物質的電子注入層 705、及類似者。

該電洞注入層 701 是包括高電洞注入性的物質的層。該高電洞注入性的物質之實例包括金屬氧化物，諸如氧化鋁、氧化鈦、氧化釩、氧化銻、氧化鈮、氧化鉻、氧化鋇、氧化鉛、氧化鋇、氧化銀、氧化鎢和氧化錳。可替代地，亦可使用以酞菁為底質之化合物，諸如酞菁(縮寫： H_2Pc)或酞菁銅(II)(縮寫： CuPc)。

其他實例包括屬低分子有機化合物的芳香族胺化合物及類似者，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)、及3-[N-(1-萘基)-N-(9-苯基咔唑-3-基)胺基]-9-苯基咔唑(縮寫：PCzPCN1)。

其他實例包括高分子化合物(例如寡聚物、樹枝狀聚合物及聚合物)，諸如聚(N-乙基基咔唑)(縮寫：PVK)、聚(4-乙基基三苯胺)(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)甲基丙稀鹽胺](縮寫：PTPDMA)及聚[N,N'-雙(4-丁基苯基)-N,N'-雙(苯基)聯苯胺](縮寫：Poly-TPD)；及添加酸的高分子化合物，諸如聚(3,4-乙基二氧噻吩)/聚(苯乙稀磺酸)(PEDOT/PSS)或聚苯胺/聚(苯乙稀磺酸)(PAni/PSS)。

使用藉由組合有機化合物與電子受體所形成的複合材料，可形成電洞注入層 701。此複合材料因藉由該電子受體在該有機化合物中產生電洞而具有高電洞注入性和電洞傳輸性。對此，該有機化合物較佳為在傳輸所產生的電洞上為性能優異的材料(即具有高電洞傳輸性的物質)。

用於該複合材料的有機化合物之實例可為各種不同之化合物，諸如芳族族胺化合物、咔唑衍生物、芳香族烴和高分子化合物(例如寡聚物、樹枝狀聚合物及聚合物)。用於該複合材料的有機化合物較佳為具有高電洞傳輸性的有機化合物，且特別較佳為具有電洞遷移率為 $10^{-6} \text{cm}^2/\text{Vs}$ 或

高於 $10^{-6} \text{cm}^2/\text{Vs}$ 的物質。可使用電洞傳輸性高於電子傳輸性的上述物質以外的任何其他物質。可用於該複合材料的有機化合物係特定地說明如下。

可用於該複合材料的有機化合物之實例係芳香族胺化合物（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）及 4-苯基-4'-(9-苯基芴-9-基)三苯胺（縮寫：BPAFLP）及咔唑衍生物（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）及 1,4-雙[4-(N-咔唑基)苯基]-2,3,5,6-四苯基苯。

其他實例係芳香族烴化合物，諸如 2-三級丁基-9,10-二(2-萘基)蒽（縮寫：t-BuDNA）、2-三級丁基-9,10-二(1-萘基)蒽、9,10-雙(3,5-二苯基苯基)蒽（縮寫：DPPA）、2-三級丁基-9,10-雙(4-苯基苯基)蒽（縮寫：t-BuDBA）、9,10-二(2-萘基)蒽（縮寫：DNA）、9,10-二苯基蒽（縮寫：DPAnth）、2-三級丁基蒽（縮寫：t-BuAnth）、9,10-雙(4-甲基-1-萘基)蒽（縮寫：DMNA）、9,10-雙[2-(1-萘基)苯基]]-2-三級丁基蒽、9,10-雙[2-(1-萘基)苯基]蒽及 2,3,6,7-四甲基-9,10-二(1-萘基)蒽。

其他實例係芳香族烴化合物，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、紅螢烯、芘、2,5,8,11-四(三級丁基)芘、稠五苯、蔻、4,4'-雙(2,2-二苯基乙烯基)聯苯(縮寫：DPVBi)及 9,10-雙[4-(2,2-二苯基乙烯基)苯基]蒽(縮寫：DPVPA)。

再者，該電子受體之實例係有機化合物(諸如 7,7,8,8-四氰基-2,3,5,6-四氰醌二甲烷(縮寫：F₄-TCNQ)和氰醌)、過渡金屬氧化物、元素週期表第 4 至 8 族的金屬的氧化物、及類似者。特定地，較佳的是氧化釩、氧化鋮、氧化鉭、氧化鉻、氧化鋁、氧化鎢、氧化錳和氧化鋇，因為此等金屬氧化物具有高電子接受性。該等金屬氧化物中，尤其較佳的是氧化鋁，因為氧化鋁在空氣中安定，呈現低吸濕性且容易處理。

可使用上述電子受體和上述高分子化合物(諸如 PVK、PVTBA、PTPDMA 或 Poly-TPD)以形成複合材料，且該複合材料可用於電洞注入層 701。

電洞傳輸層 702 是包括具有高電洞傳輸性的物質的層。具有高電洞傳輸性的物質之實例係芳香族胺化合物，諸如 NPB、TPD、BPAFLP、4,4'-雙[N-(9,9-二甲基芴-2-基)-N-苯基胺基]聯苯(縮寫：DFLDPBi)及 4,4'-雙[N-(螺環-9,9'-二芴-2-基)-N-苯基胺基]聯苯(縮寫：BSPB)。所述物質主要是電洞遷移率為 $10^{-6}\text{cm}^2/\text{Vs}$ 或高於 $10^{-6}\text{cm}^2/\text{Vs}$ 的物質。可使用電洞傳輸性高於電子傳輸性的上述物質以外的

任何其他物質。包括具有高電洞傳輸性的物質的層不限於單層且可為包括任何上述物質之 2 或多層的疊層。

可替代地，可使用諸如 CBP、CzPA 或 PczPA 之吡啶衍生物或諸如 t-BuDNA、DNA 或 DPAnth 之蒽衍生物以形成電洞傳輸層 702。

進一步，可替代地，可使用諸如 PVK、PVTPA、PTPDMA 或 Poly-TPD 之高分子化合物以形成電洞傳輸層 702。

發光層 703 是包括發光物質的層。本實施態樣的發光層 703 包括客體材料及主體材料。可使用多種材料以作為主體材料。特定之主體材料可參照實施態樣 1。

作為磷光化合物者，較佳的是有機金屬錯合物且尤其較佳的是銥錯合物。因考慮上述福斯特機構的能量轉移，位於該磷光化合物的最長波長側的吸收帶的莫耳吸光係數較佳為 $2000\text{M}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$ 或高於 $2000\text{M}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$ ，尤其較佳為 $5000\text{M}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$ 或高於 $5000\text{M}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$ 。具有該高莫耳吸光係數的化合物之特定實例包括雙(3,5-二甲基-2-苯基吡嗪根)(二新戊醯基甲烷根)銥鎘(III)(縮寫： $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$)、(乙醯丙酮根)雙(4,6-二苯基嘧啶根)銥鎘(III)(縮寫： $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$)、雙(2,3,5-三苯基吡嗪根)(二新戊醯基甲烷根)銥鎘(III)(縮寫： $[\text{Ir}(\text{tppr})_2(\text{dpm})]$)、(乙醯丙酮根)雙(6-甲基-4-苯基嘧啶根)銥鎘(III)(縮寫： $[\text{Ir}(\text{mppm})_2(\text{acac})]$)、(乙醯丙酮根)雙(6-三級丁基-4-苯基嘧啶根)銥鎘(III)(縮寫： $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$)、及類似者。

尤其是具有莫耳吸光係數為 $5000\text{M}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$ 或高於 $5000\text{M}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$ 的材料(諸如 $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$)可提供外部量子效率達約 30% 的高效率發光元件。

作為主體材料者，較佳地使用易接受電子的化合物(典型地雜環化合物)和易接受電洞的化合物(典型地芳香族胺化合物或咔唑化合物)的混合材料。藉由該結構，發光層可具有電洞傳輸與電子傳輸之間的優異載子平衡，因而提高發光效率及壽命。該主體材料的特定實例包括 2-[3-(二苯並噻吩-4-基)苯基]二苯並[f, h]喹啉(縮寫：2mDBTPDBq-II)與 4-苯基-4'-(9-苯基-9H-咔唑-3-基)三苯胺(縮寫：PCBA1BP)的混合材料；2mDBTPDBq-II 與 4,4'-二(1-萘基)-4''-(9-苯基-9H-咔唑-3-基)三苯胺(縮寫：PCBNBB)的複合材料；2-[4-(3,6-二苯基-9H-咔唑-9-基)苯基]二苯並[f,h]喹啉(縮寫：2CzPDBq-III)與 PCBNBB 的複合材料；2-[4-(二苯並噻吩-4-基)苯基]-1-苯基-1H-苯並咪唑(縮寫：DBTBIIm-II)與 4,4',4''-三[N-(1-萘基)-N-苯基胺基]三苯胺(縮寫：1'-TNATA)的複合材料、及類似者。可替代地，作為主體材料者，可使用 2mDBTPDBq-II 與任何下述材料的混合材料：4,4'-雙[N-(1-萘基)-N-苯基胺基]聯苯(縮寫：NPB)、4-(1-萘基)-4'-苯基三苯胺(縮寫： α NBA1BP)、2,7-雙[N-(二苯基胺基苯基)-N-苯基胺基]-螺環-9,9'-聯萘(縮寫：DPA2SF)、9-苯基-9H-3-(9-苯基-9H-咔唑-3-基)咔唑(縮寫：PCCP)及 1'-TNATA。不侷限於上述材料，亦可使用任何其他已知的主體材料。

另外，藉由設置多層並使該等層的發光顏色互不相同，可自發光元件整體得到所希望發光顏色。例如，對具有兩個發光層的發光元件，第一發光層的發光顏色與第二發光層的發光顏色可為互補，因而發光元件整體可發射白光。互補係指當光顏色混合時所得的無色彩光的顏色關係。換言之，藉由混合從所發射的光為互補光的物質所得的光可得到白色光。此可應用於具有三個以上的發光層的發光元件。

電子傳輸層 704 是包括高電子傳輸性的物質的層。該高電子傳輸性的物質之實例係金屬錯合物，諸如 Alq_3 、三(4-甲基-8-羥基喹啉根)鋁(縮寫： Almq_3)、雙(10-羥基苯並[h]羥基喹啉根)鉍(縮寫： BeBq_2)、 BAlq 、 $\text{Zn}(\text{BOX})_2$ 及雙[2-(2-羥基苯基)苯並噻唑根]鋅(縮寫： $\text{Zn}(\text{BTZ})_2$)。其他實例係雜芳香族化合物，諸如 2-(4-聯苯基)-5-(4-三級丁基苯基)-1,3,4-噁二唑(縮寫： PBD)、1,3-雙[5-(對三級丁基苯基)-1,3,4-噁二唑-2-基]苯(縮寫： OXD-7)、3-(4-三級丁基苯基)-4-苯基-5-(4-聯苯基)-1,2,4-三唑(縮寫： TAZ)、3-(4-三級丁基苯基)-4-(4-乙基苯基)-5-(4-聯苯基)-1,2,4-三唑(縮寫： p-EtTAZ)、紅菲繞啉(縮寫： BPhen)、浴銅靈(縮寫： BCP)及 4,4'-雙(5-甲基苯並噁唑-2-基)二苯乙烯(縮寫： BzOs)。其他實例係高分子化合物，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)及聚[(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)。所述物質主要

是具有 $10^{-6}\text{cm}^2/\text{Vs}$ 或高於 $10^{-6}\text{cm}^2/\text{Vs}$ 的電子遷移率的物質。可使用具有電子傳輸性高於電洞傳輸性之上述物質以外的任何其他物質以作為電子傳輸層。

另外，該電子傳輸層不限於單層且可為包括任何上述物質的 2 或多層的疊層。

電子注入層 705 是包括高電子注入性的物質的層。可用於該電子注入層 705 的物質之實例係鹼金屬、鹼土金屬及彼等之化合物(諸如鋰、鉍、鈣、氟化鋰、氟化鉍、氟化鈣及氧化鋰)、稀土金屬化合物(諸如氟化鉕)、及用於該電子傳輸層 704 的上述物質。

可替代地，藉由組合有機化合物與電子施體所形成的複合材料可用於該電子注入層 705。該複合材料因藉由該電子施體在該有機化合物中產生電子而具有高電子注入性和電子傳輸性。該有機化合物較佳為在傳輸所產生的電子上性能優異的材料，且特定地可使用任何上述用於該電子傳輸層 704 的物質(諸如金屬錯合物或雜芳香族化合物)。可使用對該有機化合物顯現電子給予性的物質以作為電子施體。該電子施體之較佳特定實例係鹼金屬、鹼土金屬及稀土金屬(諸如鋰、鉍、鎂、鈣、鉕及鐿)，以及鹼金屬氧化物和鹼土金屬氧化物(諸如氧化鋰、氧化鈣及氧化鉕)。進一步，可使用路易士鹼(諸如氧化鎂)或有機化合物(諸如四硫富瓦烯(縮寫：TTF))。

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 分別可藉由諸如

蒸鍍法(其包括真空蒸鍍法)、噴墨法或塗覆法之方法形成。

如圖 15B 所示，在第一電極 103 與第二電極 108 之間可層疊多個 EL 層。對此，較佳地在被層疊的第一 EL 層 800 與第二 EL 層 801 之間設置電荷發生層 803。使用上述複合材料可形成該電荷發生層 803。另外，該電荷發生層 803 可具有由包括該複合材料的層和包括其他材料的層所形成的疊層結構。對此，作為包括其他材料的層者，可使用包括電子給予性的物質和具有高電子傳輸性的物質的層、由透明導電膜所構成的層、及類似者。對於具有此結構的發光元件，不易發生能量移動或猝滅的問題，且由於材料的較為寬廣的選擇，可易於得到兼具高發光效率和壽命長的發光元件。再者，亦可易於得到發光元件，其自 EL 層之一方提供磷光且自 EL 層之另一方提供螢光。該結構可與該 EL 層的任一上述結構組合。

另外，藉由使每個 EL 層的發光顏色互不相同，可使發光元件整體發射所需顏色的光。例如，對具有兩個 EL 層的發光元件，第一 EL 層和第二 EL 層發射的光互補，因此該發光元件整體可發射白光。此進一步可應用於具有三個以上的 EL 層的發光元件。

如圖 15C 所示，EL 層 102 可在第一電極 103 與第二電極 108 之間包括電洞注入層 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、及與第二電極 108 接觸的複合材料層 708。

較佳的是提供與該第二電極 108 接觸的複合材料層 708，對此尤其當使用濺射法形成第二電極 108 時，可減輕對該 EL 層 102 的損傷。可使用上述之複合材料以形成該複合材料層 708，其中具有高電洞傳輸性的有機化合物含有受體物質。

進一步，藉由設置電子注入緩衝層 706，可削弱介於該複合材料層 708 與電子傳輸層 704 之間的注入壁壘，因而可容易地將該複合材料層 708 所產生的電子注入至該電子傳輸層 704。

可使用具有高電子注入性的物質(諸如鹼金屬；鹼土金屬；稀土金屬；上述金屬之化合物(例如鹼金屬化合物(其包括氧化物(諸如氧化鋰)、鹵化物及碳酸鹽(諸如碳酸鋰或碳酸銻))、鹼土金屬化合物(其包括氧化物、鹵化物及碳酸鹽)或稀土金屬化合物(其包括氧化物、鹵化物及碳酸鹽)))以形成電子注入緩衝層 706。

進一步，當該電子注入緩衝層 706 含有高電子傳輸性的物質和施體物質時，較佳地添加該施體物質，使得該施體物質對該高電子傳輸性的物質的質量比為 0.001:1 至 0.1:1。作為施體物質者，可使用有機化合物(諸如四硫萘並萘(tetrathianaphthacene)(縮寫：TTN)、二茂鎳或十甲基二茂鎳))；鹼金屬；鹼土金屬；稀土金屬；上述金屬之化合物(例如鹼金屬化合物(其包括氧化物(諸如氧化鋰)、鹵化物及碳酸鹽(諸如碳酸鋰或碳酸銻))、鹼土金屬化合物(其包括氧化物、鹵化物及碳酸鹽)及稀土金屬化合物(其包

括氧化物、鹵化物及碳酸鹽))。作為高電子傳輸性的物質者，可使用與上述電子傳輸層 704 類似的材料。

再者，較佳的是在該電子注入緩衝層 706 與該複合材料層 708 之間形成電子繼電層 707。該電子繼電層 707 並非必須設置者；然而，藉由設置具有高電子傳輸性的電子繼電層 707，可將電子迅速傳輸至該電子注入緩衝層 706。

在複合材料層 708 與電子注入緩衝層 706 之間夾持電子繼電層 707 的結構中，該複合材料層 708 所包括的受體物質和該電子注入緩衝層 706 所包括的施體物質彼此不容易相互作用，因此極不易互相影響各自的功能。因而，可防止驅動電壓增高。

電子繼電層 707 包括具有高電子傳輸性的物質，且使該具有高電子傳輸性的物質的 LUMO 能階設定為介於複合材料層 708 所包括的受體物質的 LUMO 能階與電子傳輸層 704 所包括的具有高電子傳輸性的 LUMO 能階之間。當電子繼電層 707 包括施體物質時，該施體物質的施體能階亦受控制以設定為介於複合材料層 708 所包括的受體物質的 LUMO 能階與電子傳輸層 704 所包括的具有高電子傳輸性的物質的 LUMO 能階之間。至於能階的具體數值，較佳地電子繼電層 707 所包括的具有高電子傳輸性的物質的 LUMO 能階設定為 -5.0 eV 或以上，更佳地設定為高於或等於 -5.0 eV 且低於或等於 -3.0 eV 。

作為電子繼電層 707 所包括的具有高電子傳輸性的物

質，較佳地使用以酞菁類為底質的材料或具有金屬-氧鍵結和芳香族配體的金屬錯合物。

作為電子繼電層 707 所包括的以酞菁類為底質的材料，明確較佳地使用下述物質中任一者：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)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)。

作為電子繼電層 707 所包括的具有金屬-氧鍵結和芳香族配體的金屬錯合物，較佳地使用具有金屬-氧雙鍵的金屬錯合物。由於金屬-氧雙鍵具有受體性(容易接受電子的性質)，因此電子移動(授受)變得更容易。再者，認為具有金屬-氧雙鍵的金屬錯合物呈安定。因此，使用具有金屬-氧雙鍵的金屬錯合物使發光元件可於低電壓下更穩定地被驅動。

作為具有金屬-氧鍵結和芳香族配體的金屬錯合物，較佳地使用以酞菁類為底質的材料。明確地，較佳地使用 VOPc (Vanadyl phthalocyanine：釩氧酞菁)、SnOPc (Phthalocyanine tin(IV) oxide complex：酞菁氧化錫(IV)錯合物)及 TiOPc (Phthalocyanine titanium oxide complex：酞菁氧化鈦錯合物)中任一者，因為在分子結構上金屬-氧雙鍵容易與其他分子相互作用且具有高受體性。

作為上述以酞菁類為底質的材料，較佳地使用具有苯氧基的以酞菁類為底質材料。明確地，較佳地使用諸如 PhO-VOPc 之具有苯氧基的酞菁衍生物。具有苯氧基的酞菁衍生物可溶於溶劑並因此具有當形成發光元件時容易處理及易於維修用於形成膜的裝置之優點。

電子繼電層 707 另可包括施體物質。作為施體物質，可使用下述物質：有機化合物（諸如四硫萘並萘 (tetrathianaphthacene)(縮寫：TTN)、二茂鎳或十甲基二茂鎳)、鹼金屬、鹼土金屬、稀土金屬及該等金屬之化合物（例如鹼金屬化合物（其包括諸如氧化鋰之氧化物、鹵化物及諸如碳酸鋰或碳酸銻之碳酸鹽）、鹼土金屬化合物（其包括氧化物、鹵化物及碳酸鹽）及稀土金屬化合物（其包括氧化物、鹵化物及碳酸鹽））。當該施體物質包括在電子繼電層 707 中，電子可容易移動且能以較低電壓驅動發光元件。

當施體物質含括在電子繼電層 707 中時，作為具有高電子傳輸性的物質，除了上述物質以外可使用具有 LUMO 能階高於含括在複合材料層 708 中的受體物質的受體能階的物質。特定地，較佳地使用具有 LUMO 能階高於或等於 -5.0eV （更佳地高於或等於 -5.0eV 且低於或等於 -3.0eV ）的物質。該物質之實例係芘衍生物、含氮稠環芳香族化合物及類似者。因為含氮稠環芳香族化合物具有高穩定性，所以較佳地用於電子繼電層 70。

芘衍生物的具體實例係 3,4,9,10-芘四羧酸二酐（縮

寫：PTCDA)、3,4,9,10-芘四羧酸雙苯並咪唑(縮寫：PTCBI)、N,N'-二辛基-3,4,9,10-芘四羧酸二醯亞胺(縮寫：PTCDI-C₈H)、N,N'-二己基-3,4,9,10-芘四羧酸二醯亞胺(縮寫：Hex PTC)及類似者。

含氮稠環芳香族化合物的具體實例係吡嗪並[2,3-f][1,10]啡啉-2,3-二甲腈(縮寫：PPDN)、2,3,6,7,10,11-六氰-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]吡嗪(縮寫：2PYPR)、2,3-雙(4-氟苯基)吡啶並[2,3-b]吡嗪(縮寫：F2PYPR)及類似者。

此外，可使用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)、十六氟酞菁銅(縮寫：F₁₆CuPc)、N,N'-雙(2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,8-十五氟辛基)-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 C₆₁ 酞酸甲酯)及類似者。

當電子繼電層 707 包括施體物質時，可藉由諸如對具有高電子傳輸性的物質和施體物質進行共蒸鍍以形成電子繼電層 707。

電洞注入層 701、電洞傳輸層 702、發光層 703 及電子傳輸層 704 可使用上述之材料分別形成。

藉由上述步驟，可形成本實施態樣的 EL 層 102。

在上述發光元件中，因在第一電極 103 與第二電極

108 之間產生的電位差而使電流流過，且在 EL 層 102 中電洞和電子複合而發光。隨後，該發光穿過第一電極 103 或第二電極 108 或該兩者而達至外部。因此，第一電極 103 或第二電極 108 或該兩者係具有可見光透光性的電極。

設置在第一電極 103 與第二電極 108 之間的層的結構不侷限於上述結構。可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 的部分中提供使電洞和電子複合的發光區，藉以防止因發光區接近金屬而發生的猝滅。

換言之，對層的疊層結構沒有特別限制。包括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)、電洞阻擋的物質或類似者的層可與發光層自由組合。

藉由使用本實施態樣所示的發光元件，可製造被動基質型發光裝置或主動基質型發光裝置，其中電晶體控制發光元件的驅動。此外，可將發光裝置應用於電子裝置、照明設備或類似者。

如上所述，可製造本發明的一實施態樣的發光元件。

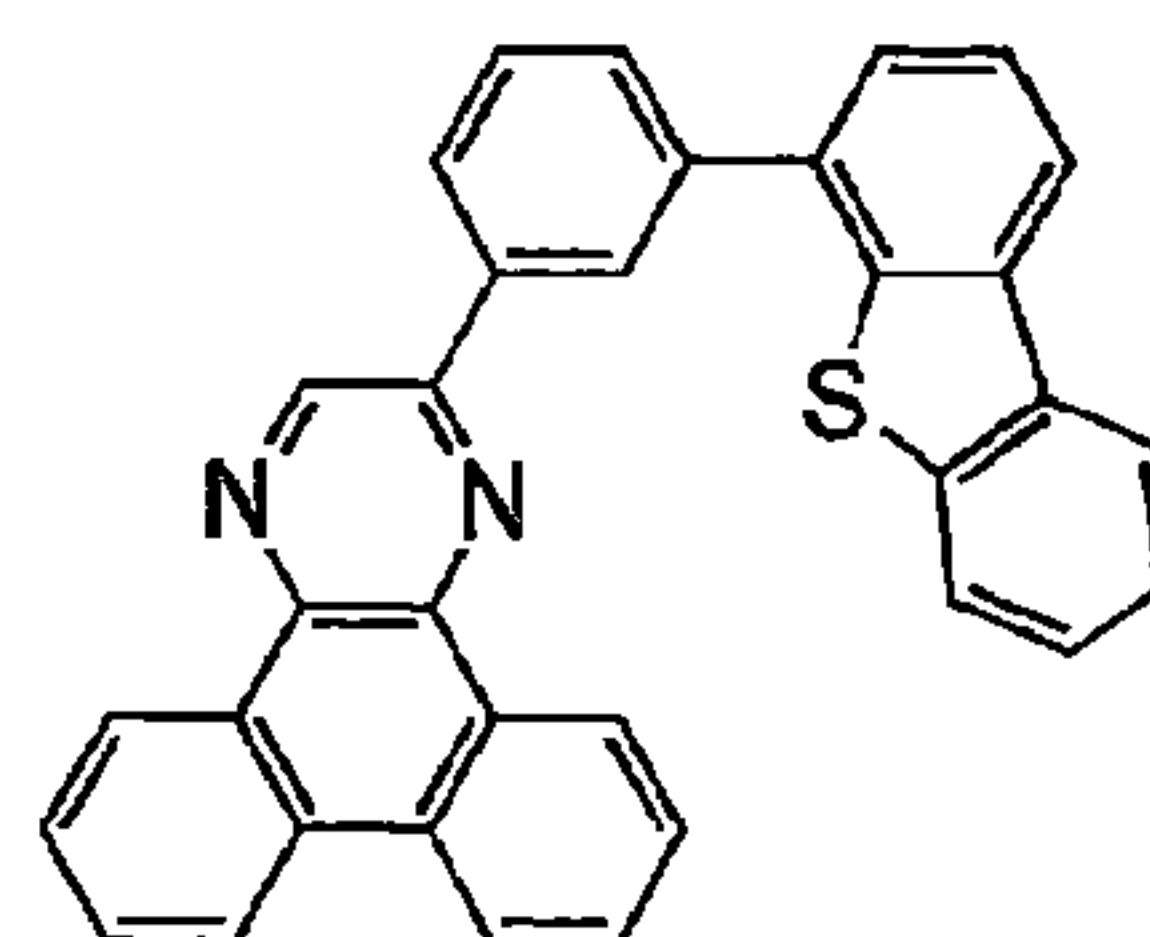
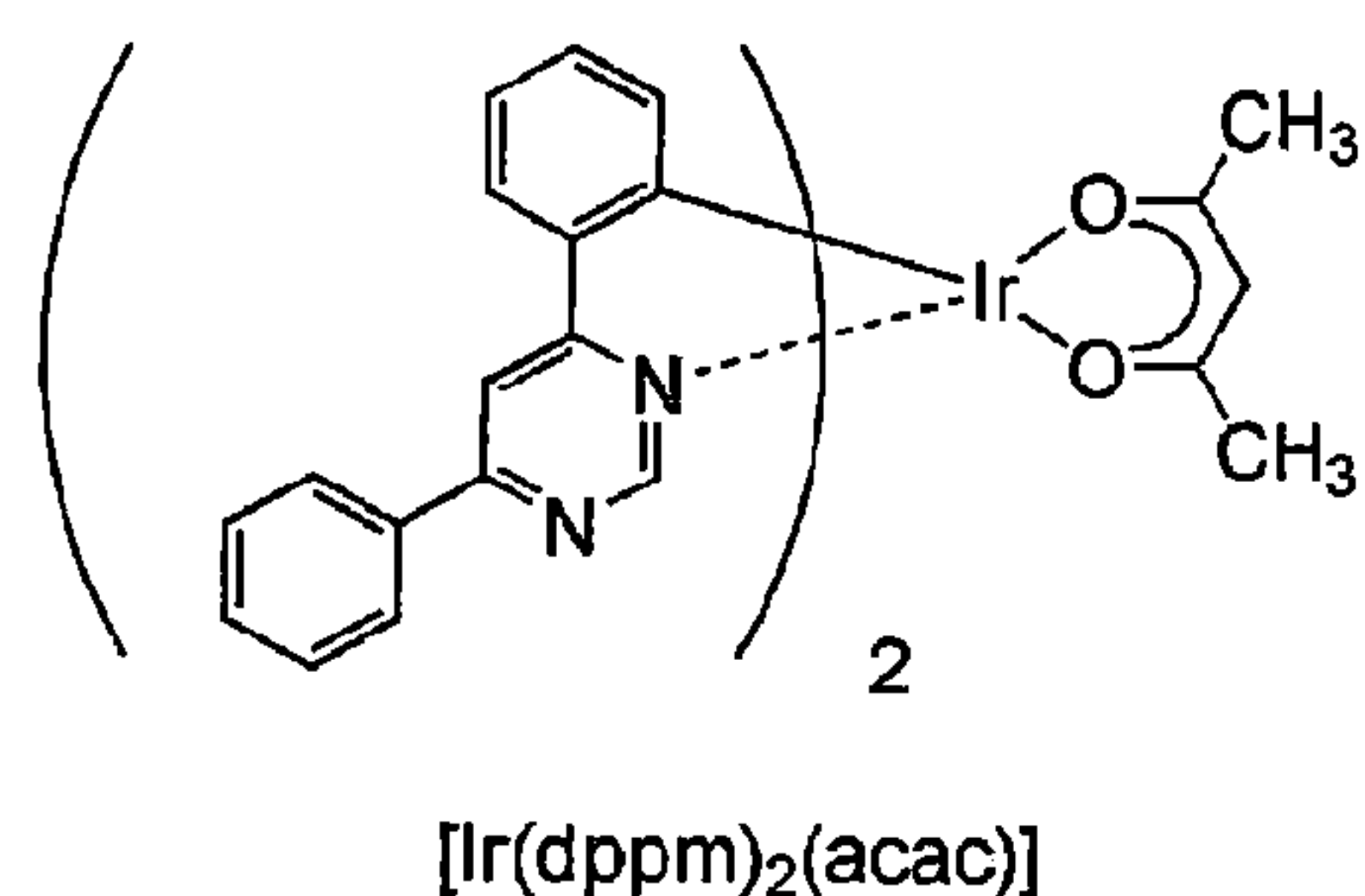
本實施態樣可與其他實施態樣適當地組合。

實施例 1

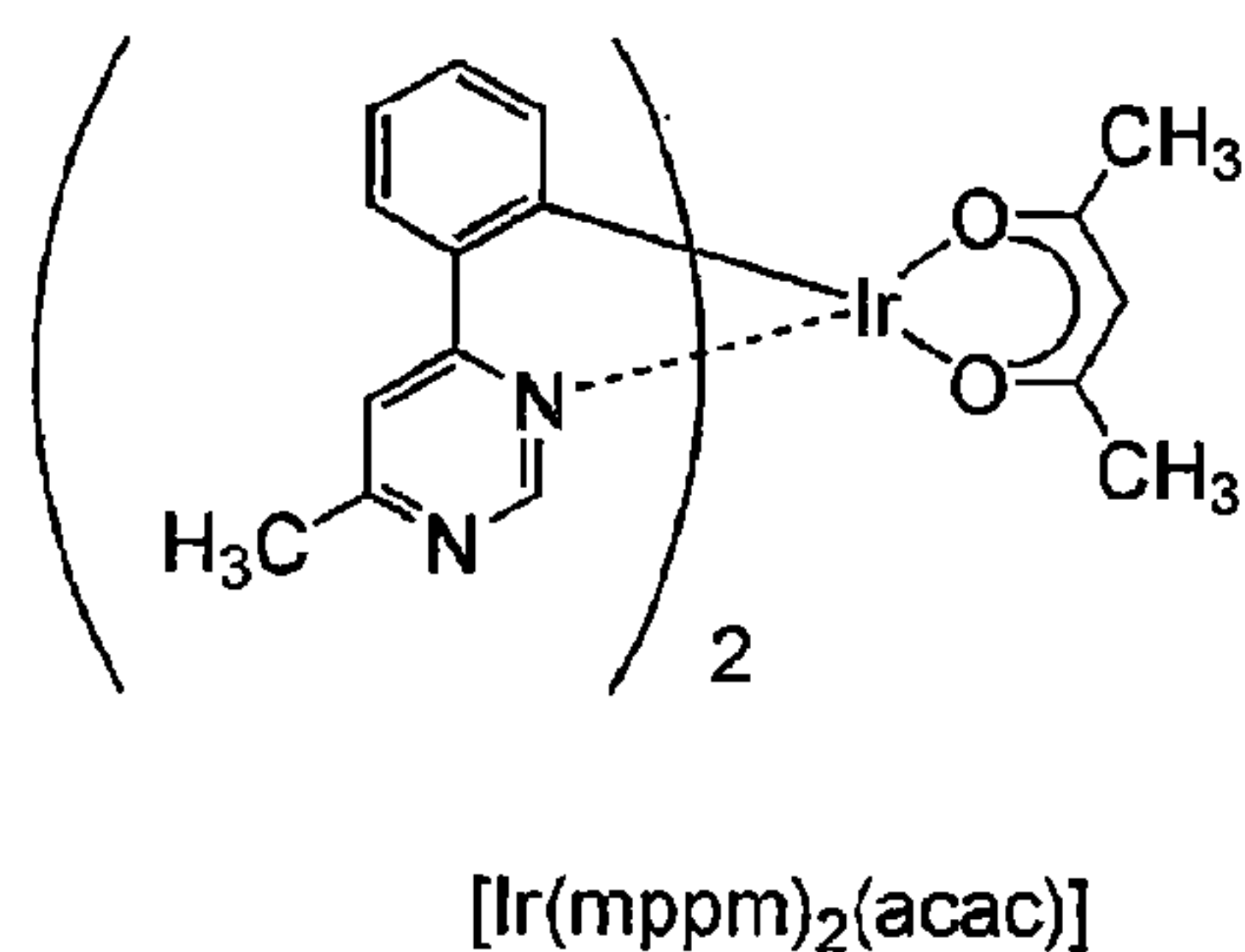
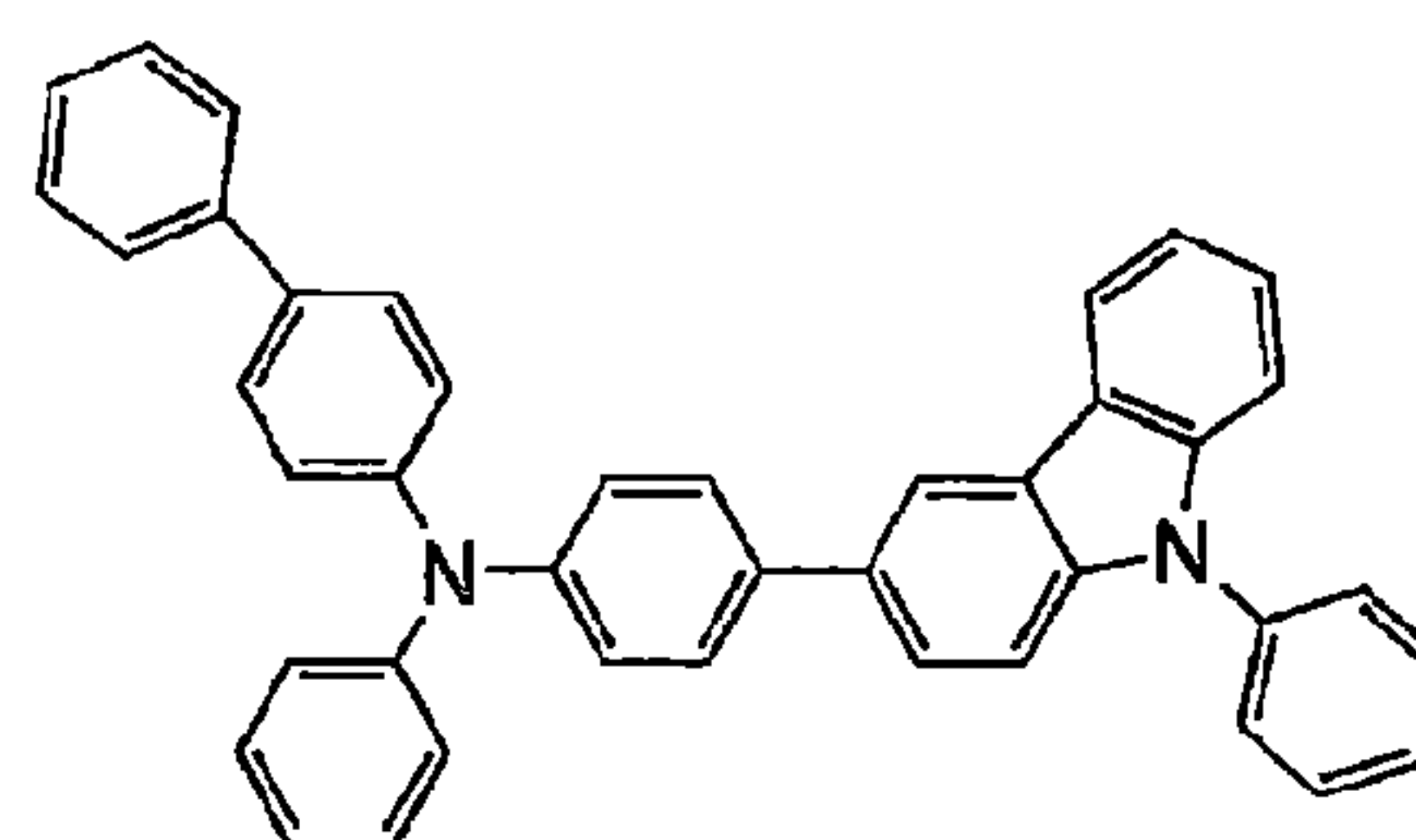
參照圖 1A 和圖 1B 及圖 16，實施例 1 說明可含括於

本發明的一實施態樣的發光元件的客體材料及主體材料。

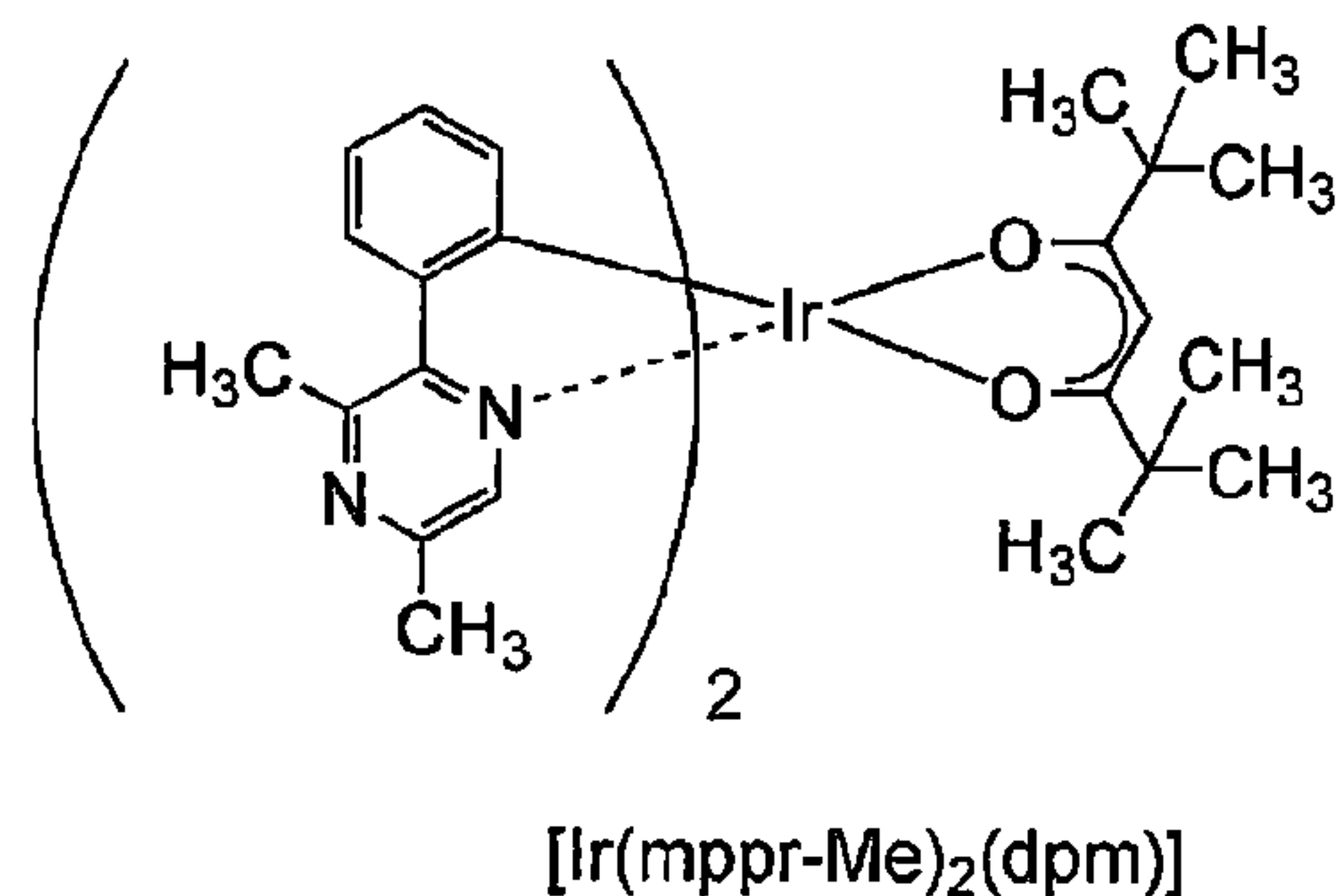
本實施例使用的客體材料是(乙醯丙酮根)雙(4,6-二苯基嘧啶根(diphenylpyrimidinato))銱(III)(縮寫： $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$)、雙(3,5-二甲基-2-苯基吡嗪根)(二新戊醯基甲烷根)銱(III)(縮寫： $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$)及(乙醯丙酮根)雙(6-甲基-4-苯基嘧啶根(phenylpyrimidinato))銱(III)(縮寫： $[\text{Ir}(\text{mppm})_2(\text{acac})]$)。本實施例使用的主體材料是2-[3-(二苯並噻吩-4-基)苯基]二苯並[f, h]喹啉(縮寫：2mDBTPDBq-II)和4-苯基-4'-(9-苯基-9H-吡啶-3-基)三苯胺(縮寫：PCBA1BP)的混合材料。本實施例使用的材料的化學式如下。



2mDBTPDBq-II

 $[\text{Ir}(\text{mppm})_2(\text{acac})]$ 

PCBA1BP

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

《客體材料的吸收光譜及主體材料的發射光譜的測量結果》

〈吸收光譜〉

圖 1A 和圖 16 示出 $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ 的二氯甲烷溶液的紫外-可見光吸收光譜(簡稱為“吸收光譜”)並稱為吸收光譜 1。同樣地示出 $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ 的吸收光譜並稱為吸收光譜 2，且示出 $[\text{Ir}(\text{mppm})_2(\text{acac})]$ 的吸收光譜並稱為吸收光譜 3。

各個吸收光譜的測量中，使用紫外可見光分光光度計

(日本分光株式會社製造的 V550 型)，將二氯甲烷溶液放在石英皿中並在室溫下進行測量。

〈發射光譜〉

圖 1A 和圖 16 示出 2mDBTPDBq-II 和 PCBA1BP 的混合材料的薄膜的發射光譜。在圖 1A 中橫軸表示波長 (nm)，縱軸表示莫耳吸光係數 $\epsilon(\text{M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1})$ 及發光強度 (任意單位)。圖 16 中，橫軸表示能量 (eV)，縱軸表示莫耳吸光係數 $\epsilon(\text{M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1})$ 及發光強度 (任意單位)。

自圖 1A 和圖 16 可知吸收光譜 1 至 3 分別與發射光譜重疊。從而，可知包括其中本實施例一起使用的客體材料的任一者與本實施例的主體材料的發光層的發光元件因利用主體材料的發射光譜與客體材料的吸收光譜的重疊進行能量轉移，而具有該能量轉移效率。

圖 1A 和圖 16 中，關注吸收光譜的最長波長(低能量)一側的吸收帶(可被認為是對發光貢獻極大的吸收帶)的峰值及發射光譜的峰值。在吸收光譜 1 至 3 的峰值中，吸收光譜 1 的峰值係位於離發射光譜的峰值最近的位置，而吸收光譜 3 的峰值係位於離發射光譜的峰值最遠的位置。

明確地，圖 16 中，吸收光譜 1 的峰值與發射光譜的峰值之間的差異為 0.02eV，吸收光譜 2 的峰值與發射光譜的峰值之間的差異為 0.12eV，吸收光譜 3 的峰值與發射光譜的峰值之間的差異為 0.23eV。

接著，圖 1A 中，關注吸收光譜的最長波長(低能量)

一側的吸收帶的峰值的莫耳吸光係數。吸收光譜 1 至 3 中，吸收光譜 1 的莫耳吸光係數最大，而吸收光譜 2 的莫耳吸光係數最小。

換言之，吸收光譜 1 至 3 中，吸收光譜 1 的最長波長(低能量)一側的吸收帶的峰值離發射光譜的峰值最近，且峰值的莫耳吸光係數最大。

從上述結果可知，吸收光譜 1 與發射光譜的重疊尤其大。因此，可知將 2mDBTPDBq-II 和 PCBA1BP 的混合材料用於主體材料且將 $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ 用於客體材料的發光元件中，由於利用該混合材料的發射光譜與 $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ 的吸收光譜的重疊進行能量轉移，所以能量轉移效率尤其高。

《客體材料的吸收光譜的計算結果》

接著，試圖利用計算而再現藉由上述測量所得的 $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ 及 $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ 的吸收光譜(圖 1A 的吸收光譜 1 及 2)。

為得到 $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ 及 $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ 的吸收光譜，藉由使用各個分子於基態下的最穩定結構而計算出激發能量及振子強度。基於計算的振子強度以得到吸收光譜。具體計算方法係說明如下。

利用密度函數理論(DFT)計算 $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ 及 $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ 於基態下的最穩定結構。再者，使用時間依賴密度函數理論(TD-DFT)求出 $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ 及

[Ir(mppr-Me)₂(dpm)]的激發能量及振子強度，基於該結果計算出吸收光譜。在 DFT 中，總能量被表示為勢能、電子之間的靜電能、電子動能、和包括電子之間的所有複雜交互作用的交換關聯能 (exchange-correlation energy) 的和。在 DFT 中，交換關聯交互作用係由按照電子密度表示的一個電子勢能的函數 (即函數的函數) 近似，以使能實現高準確度的計算。在此，使用作為混合函數的 B3PW91 以規定關於交換相關能的各參數權重。此外，將作為基底函數的 LanL2DZ 用於 Ir 原子，而將作為基底函數的 6-311 (對各原子價軌道使用三個縮短函數的三重分裂價層 (triple split valence) 基底的基底函數) 用於 Ir 原子以外的原子。上述基底函數涉及例如在氫原子的情況下考慮 1s 至 3s 的軌道，而在碳原子的情況下考慮 1s 至 4s 和 2p 至 4p 的軌道。再者，作為分極基底組，對氫原子加 p 函數，而對氫原子以外的原子加 d 函數，藉以提高計算精度。

此外，作為量子化學計算程式，使用 Gaussian09。使用高性能電腦 (Altix 4700，由 SGI Japan, Ltd. 製造) 進行計算。

圖 1B 示出藉由計算所獲得的吸收光譜。此外，作為比較，示出藉由上述測量所得的吸收光譜。明確地，示出藉由 [Ir(dppm)₂(acac)] 的測量所得的吸收光譜並將其作為吸收光譜 1，且示出藉由計算所獲得的吸收光譜並將其作為吸收光譜 1'。此外，示出藉由 [Ir(mppr-Me)₂(dpm)] 的測

量所得到的吸收光譜並將其作為吸收光譜 2，且示出藉由計算所獲得的吸收光譜並將其作為吸收光譜 2'。在圖 1B 中，橫軸示出波長 (nm)，縱軸示出莫耳吸光係數 $\epsilon(\text{M}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1})$ 及發光強度(任意單位)。

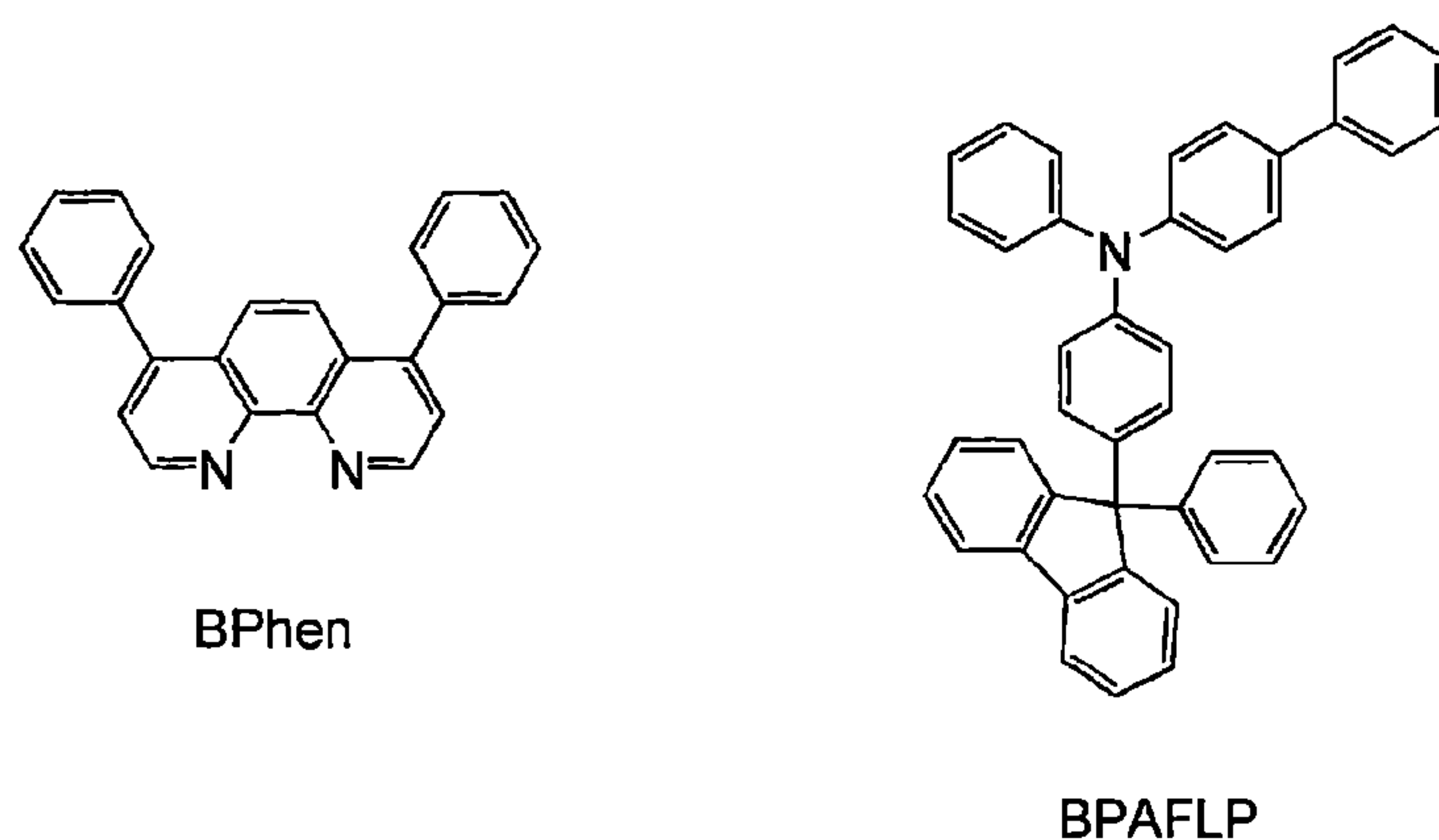
如圖 1B 所示者，藉由測量所得的吸收光譜 1、2 的形狀與藉由計算所得的吸收光譜 1'、2' 的形狀大體一致。尤其在吸收光譜 1'、2' 中亦可確認在吸收光譜 1、2 中所觀察的下述兩個傾向。

傾向 1：吸收光譜 2(2') 的峰值波長比吸收光譜 1(1') 的峰值波長更接近發射光譜的峰值波長。

傾向 2：吸收光譜 1(1') 的最長波長一側的吸收帶的峰值波長的莫耳吸光係數比吸收光譜 2(2') 者大。

實施例 2

本實施例參照圖 2 說明本發明的一實施態樣的發光元件。本實施例使用的材料的化學式如下。另外，省略上述實施例使用的材料的化學式。



下述說明本實施例的發光元件 1 至 3 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銮(ITSO)，由此形成作為陽極的第一電極 1101。另外，其厚度設定為 110 nm 且其電極面積設定為 2 mm × 2 mm。

接著，為在基板 1100 上形成發光元件進行預處理，使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 進行冷卻 30 分鐘左右。

接著，以使形成有第一電極 1101 的面成為下面的方式將形成有第一電極 1101 的基板 1100 固定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 的厚度設定為 40 nm，將 BPAFLP 與氧化鉬的重量比調節為 4:2(=BPAFLP：氧化鉬)。

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

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

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

接著，在第一電子傳輸層 1114a 上形成厚度為 20 nm
的紅菲繞啉(縮寫：BPhen)膜，藉以形成第二電子傳輸層
1114b。

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

最後，作為陰極的第二電極 1103，蒸鍍厚度為 200
nm 的鋁膜，以製造本實施例的發光元件 1。

(發光元件 2)

發光元件 2 的發光層 1113 係由共蒸鍍 2mDBTPDBq-II、PCBA1BP 及 [Ir(mppr-Me)₂(dpm)]形成。2mDBTPDBq-II、PCBA1BP 及 [Ir(mppr-Me)₂(dpm)]的重量比調節為 0.8 : 0.2:0.05(=2mDBTPDBq-II: PCBA1BP : [Ir(mppr-Me)₂(dpm)])。將發光層 1113 的厚度設定為 40 nm。除了發光層 1113 之外，採用與發光元件 1 同樣的方式製造。

(發光元件 3)

共蒸發 2mDBTPDBq-II、PCBA1BP 及 [Ir(mppm)₂(acac)] 以形成發光元件 3 的發光層 1113。2mDBTPDBq-II、PCBA1BP 及 [Ir(mppm)₂(acac)] 的重量比調節為 0.8:0.2:0.05(=2mDBTPDBq-II: PCBA1BP: [Ir(mppm)₂(acac)])。將發光層 1113 的厚度設定為 40 nm。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 示出藉由上述步驟所獲得的發光元件 1 至 3 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: PCBA1BP: [Ir(dppm) ₂ (acac)] (= 0.8:0.2:0.05) 40 nm	2mDBTP DBq-II 10 nm	BPhen 20 nm	LiF 1 nm	Al 200 nm
發光元件 2	ITSO 110 nm	BPAFLP: MoOx (= 4:2) 40 nm	BPAFLP 20 nm	2mDBTPDBq-II: PCBA1BP: [Ir(mppr-Me) ₂ (dpm)] (= 0.8:0.2:0.05) 40 nm	2mDBTP DBq-II 10 nm	BPhen 20 nm	LiF 1 nm	Al 200 nm
發光元件 3	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	2mDBTP DBq-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 至 3 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 至 3 的電流密度-亮度特性。圖 3 中，橫軸表示電流密度 (mA/cm²)，而縱軸表示亮度 (cd/m²)。另外，圖 4 示出電壓-亮度特性。圖 4 中，橫軸表示電壓 (V)，而縱軸表示亮度 (cd/m²)。另外，圖 5 示出亮度-電流效率特性。圖 5 中，橫軸表示亮度 (cd/m²)，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。圖 6 中，橫軸表示亮度 (cd/m²)，而縱軸表示外部量子效率 (%)。

此外，表 2 示出發光元件 1 至 3 在亮度大約 1000 cd/m² 下的電壓 (V)、電流密度 (mA/cm²)、CIE 色座標 (x,y)、電流效率 (cd/A)、功率效率 (lm/W)及外部量子效率 (%)。

[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	1.3	(0.56, 0.44)	840	65	68	26
發光元件 2	3.0	1.6	(0.55, 0.45)	1000	63	66	24
發光元件 3	3.0	1.3	(0.44, 0.55)	940	77	76	20

此外，圖 7 示出發光元件 1 至 3 中使 0.1 mA 的電流流過時的發射光譜。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 所示者，840 cd/m² 的亮度下的發光元件 1 的 CIE 色座標(x, y)=(0.56, 0.44)，1000 cd/m² 的亮度下的發光元件 2 的 CIE 色座標(x, y)=(0.55, 0.45)，且 940 cd/m² 的亮度下的發光元件 3 的 CIE 色座標(x, y)=(0.44, 0.55)。從上述結果可知，從發光元件 1 獲得來源於[Ir(dppm)₂(acac)]的發光，從發光元件 2 獲得來源於[Ir(mppr-Me)₂(dpm)]的發光，從發光元件 3 獲得來源於[Ir(mppm)₂(acac)]的發光。

從表 2 及圖 3 至 6 可知，發光元件 1 至 3 的電流效率、功率效率、外部量子效率分別較高。

本實施例的發光元件中，將實施例 1 所示的主體材料及客體材料用於發光層。從實施例 1 可知，用於發光元件 1 至 3 的各個客體材料的吸收光譜與主體材料的發射光譜重疊。由於本實施例的發光元件利用該重疊進行能量轉移，所以可認為具有高能量轉移效率和高外部量子效率。

此外，發光元件 1 的外部量子效率比發光元件 2 及發光元件 3 者高。實施例 1 的結果中，用於發光元件 1 的客體材料的吸收光譜的最低能量一側的吸收帶的峰值離發射光譜的峰值最近(峰值的差異為 0.02eV)，且峰值波長的莫耳吸光係數最大(>5000 M⁻¹·cm⁻¹)。從上述結果可知，發光元件 1 中由於能量轉移效率尤其高，所以外部量子效率較高。

此外，發光元件 2 的外部量子效率比發光元件 3 者高。從實施例 1 的結果可知，吸收光譜 2 的峰值波長比吸收光譜 3 的峰值波長更接近發射光譜的峰值波長。由此，可知發光元件 2 及發光元件 3 的外部量子效率特性產生差異。

從上述結果可知，藉由應用本發明的一實施態樣，可實現外部量子效率高的元件。

接著，進行發光元件 1 至 3 的可靠性測試。圖 8 示出可靠性測試的結果。圖 8 中，縱軸表示以初始亮度為 100% 的情況下的歸一化亮度(%)，而橫軸表示元件的驅動時間(h)。

在可靠性測試中，將初始亮度設定為 5000 cd/m^2 ，且在電流密度恆定的條件下，分別驅動發光元件 1 至 3。

發光元件 1 經 470 小時後的亮度為初始亮度的 85%。此外，發光元件 2 經 470 小時後的亮度為初始亮度的 72%。此外，發光元件 3 經 280 小時後的亮度為初始亮度的 72%。

從上述結果示出，藉由應用本發明的一實施態樣可實現壽命長的元件。

實施例 3

本實施例參照圖 2 說明本發明的一實施態樣的發光元件。由於本實施例使用的材料是上述實施例使用的材料，所以省略化學式。

下述說明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，由此形成作為陽極的第一電極 1101。另外，其厚度設定為 110 nm，且其電極面積設定為 2 mm × 2 mm。

接著，為在基板 1100 上形成發光元件進行預處理，使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 進行冷卻 30 分鐘左右。

接著，以形成第一電極 1101 的面成為下面的方式將形成有第一電極 1101 的基板 1100 固定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。電洞注入層 1111 的厚度設定為 40 nm，且 BPAFLP 與氧化鉬的重量比調節為 4:2(=BPAFLP：氧化鉬)。

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

再者，共蒸鍍 2mDBTPDBq-II、PCBA1BP 及 [Ir(dppm)₂(acac)] 以在電洞傳輸層 1112 上形成發光層

1113。2mDBTPDBq-II、PCBA1BP 及 [Ir(dppm)₂(acac)] 的重量比調節為 0.8:0.2:0.1(=2mDBTPDBq-II: PCBA1BP: [Ir(dppm)₂(acac)])。發光層 1113 的厚度設定為 40 nm。

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

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

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

最後，作為陰極的第二電極 1103，蒸鍍厚度為 200 nm 的鋁膜，藉以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 3 示出藉由上述步驟所獲得的發光元件 4 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	2mDBTP DBq-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 9 示出發光元件 4 的電流密度-亮度特性。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。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。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。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 4 於亮度 $1100 \text{ cd}/\text{m}^2$ 下的電壓 (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 4	3.0	1.4	(0.57, 0.43)	76	70	31

圖 13 示出發光元件 4 中使 0.1 mA 的電流流過時的發射光譜。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 所示者， $1100 \text{ cd}/\text{m}^2$ 的亮度下發光元件 4 的 CIE 色座標 (x, y)=(0.57, 0.43)。從上述結果可知，發光元件 4 顯示來源於 $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ 的

橙色光。

從表 4 及圖 9 至 12 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 的亮度下外部量子效率高，即達 31%。如上所述者，外部量子效率的限度被認為 25%左右。然而，此結果超過該限度。

本實施例的發光元件中，將實施例 1 所示的主體材料及客體材料用於發光層。從實施例 1 可知，用於發光元件 4 的客體材料的吸收光譜與主體材料的發射光譜重疊。由於本實施例的發光元件利用該重疊進行能量轉移，所以可被認為具有高能量轉移效率和高外部量子效率。

此外，實施例 1 的結果中，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的峰值波長離發射光譜的峰值波長近(峰值的差異為 0.02 eV)，且峰值波長的莫耳吸光係數最大($>5000\text{ M}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$)。從上述結果可知，發光元件 4 由於能量轉移效率尤其高，所以外部量子效率較高。

從上述結果可知，藉由應用本發明的一實施態樣，可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 14 示出可靠性測試的結果。圖 14 中，縱軸表示以初始亮度為 100% 的情況下的歸一化亮度(%)，而橫軸表示元件的驅動時間(h)。

在可靠性測試中，初始亮度設定為 5000 cd/m^2 ，且在

電流密度恆定的條件下驅動發光元件 4。

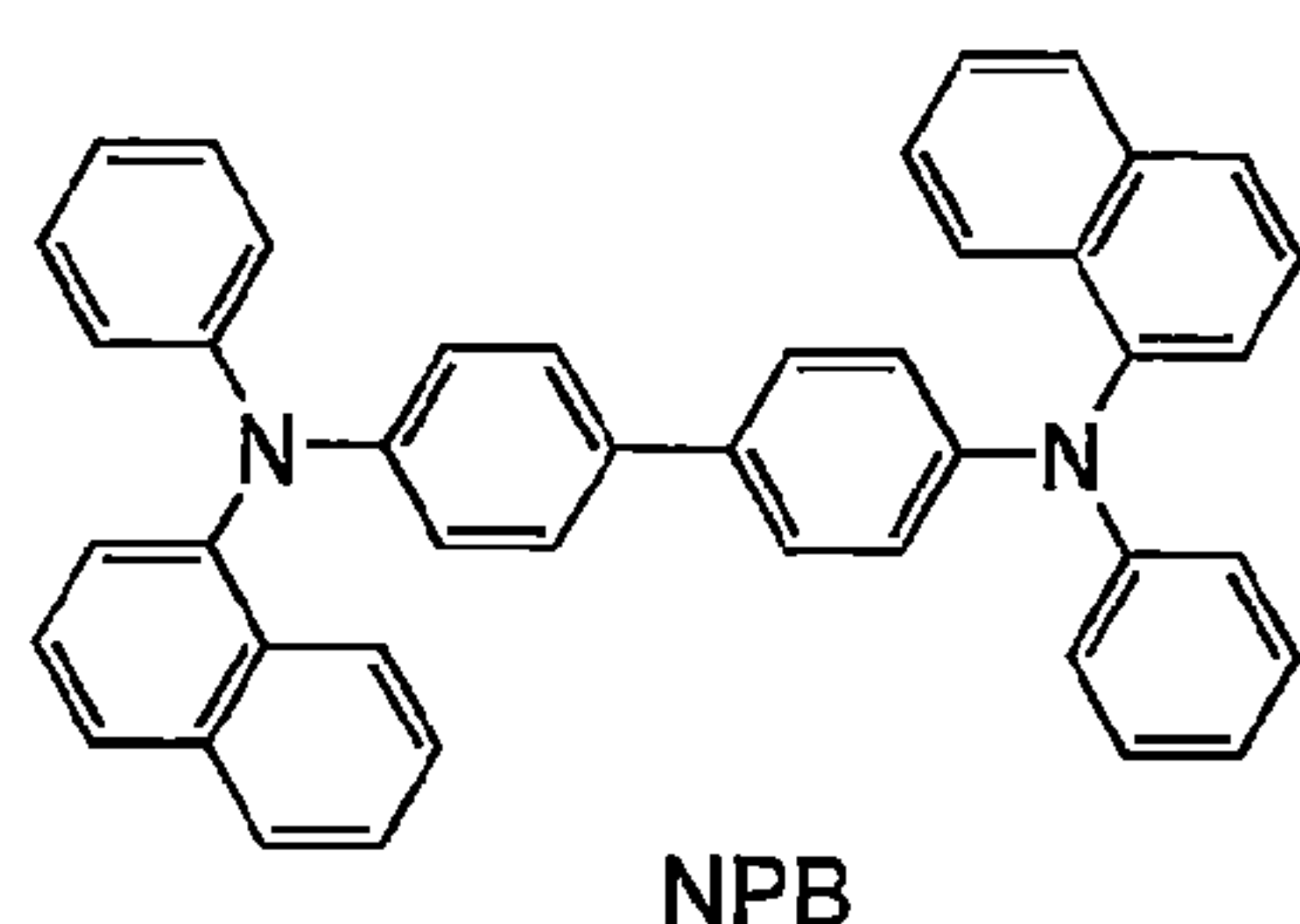
發光元件 4 在 170 小時後保持初始亮度的 95%。

從上述結果可知，藉由應用本發明的一實施態樣，可實現可靠性高的元件。

實施例 4

本實施例參照圖 17A 和 17B 說明可用於本發明的一實施態樣的發光元件的客體材料及主體材料的實例。

本實施例使用的客體材料是 $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ 。此外，本實施例使用的主體材料是 2mDBTPDBq-II 和 4,4'-雙[N-(1-萘基)-N-苯基胺基]聯苯(縮寫：NPB)的混合材料。本實施例使用的材料的化學式如下。另外，省略上述實施例使用的材料的化學式。



〈吸收光譜〉

圖 17A 和 17B 示出 $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ 的二氯甲烷溶液的紫外可見光吸收光譜(吸收光譜 a)。在吸收光譜的測量中，使用紫外可見光分光光度計(日本分光株式會社製造的 V550 型)，將二氯甲烷溶液(0.093 毫莫耳/L)放在石英皿中，並在室溫下進行測量。

〈發射光譜〉

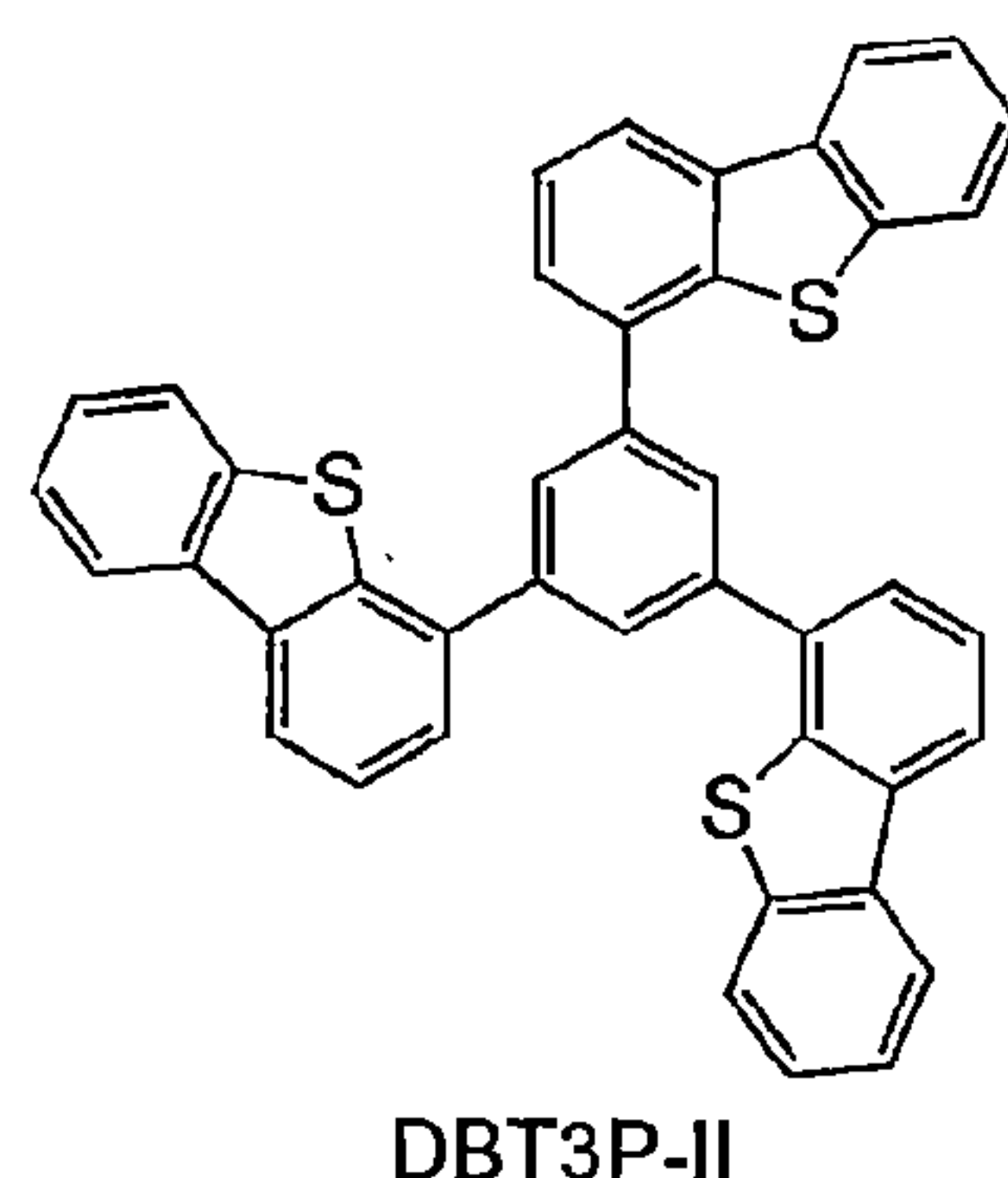
此外，圖 17A 和 17B 示出 2mDBTPDBq-II 和 NPB 的混合材料的薄膜的發射光譜(發射光譜 a)。圖 17A 中，橫軸表示波長(nm)，而縱軸表示莫耳吸光係數 $\epsilon(\text{M}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1})$ 及發光強度(任意單位)。圖 17B 中，橫軸表示能量(eV)，而縱軸表示莫耳吸光係數 $\epsilon(\text{M}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1})$ 及發光強度(任意單位)。

從圖 17A 的吸收光譜 a 可知， $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ 在 520nm 附近具有寬吸收帶。可被認為該吸收帶是對發光貢獻極大的吸收帶。

發射光譜 a 的峰值與吸收光譜 a 中可被認為是對發光貢獻極大的吸收帶重疊較大。明確地，吸收光譜 a 中的該吸收帶的峰值(515nm)與發射光譜 a 的峰值之間的差異為 0.09eV。從而，可知在本實施例使用的客體材料及主體材料皆用於發光層的發光元件中，由於利用主體材料的發射光譜與客體材料的吸收光譜的重疊進行能量轉移，所以能量轉移效率較高。因此，可得到外部量子效率高的發光元件。

實施例 5

本實施例參照圖 2 說明本發明的一實施態樣的發光元件。本實施例使用的材料的化學式如下。另外，省略上述實施例使用的材料的化學式。



下述說明本實施例的發光元件 5 的製造方法。

(發光元件 5)

首先，在玻璃基板 1100 上藉由濺射法形成含 ITSO，由此形成作為陽極的第一電極 1101。另外，其厚度設定為 110 nm，且其電極面積設定為 2 mm × 2 mm。

接著，為在基板 1100 上形成發光元件進行預處理，使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 進行冷卻 30 分鐘左右。

接著，以形成第一電極 1101 的面成為下面的方式將形成有第一電極 1101 的基板 1100 固定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。電洞注入層 1111 的厚度設定為 40 nm，且 DBT3P-II 與氧化鉬的重量比調節為 4:2(=DBT3P-II：氧化鉬)。

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

再者，共蒸鍍 2mDBTPDBq-II、NPB 及 $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ 以在電洞傳輸層 1112 上形成發光層 1113。2mDBTPDBq-II、NPB 及 $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ 的重量比調節為 0.8:0.2:0.05(=2mDBTPDBq-II:NPB:[$\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})$])。發光層 1113 的厚度設定為 40 nm。

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

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

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

最後，作為陰極的第二電極 1103，蒸鍍厚度為 200 nm 的鋁膜，以製造本實施例的發光元件 5。

注意，在上述蒸鍍過程中，均採用電阻加熱法進行蒸鍍。

表 5 示出藉由上述步驟所獲得的發光元件 5 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5	ITO 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	2mDBTP DBq-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 進行密封，然後對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 18 示出發光元件 5 的電流密度-亮度特性。圖 18 中，橫軸表示電流密度 (mA/cm²)，而縱軸表示亮度 (cd/m²)。另外，圖 19 示出電壓-亮度特性。圖 19 中，橫軸表示電壓 (V)，而縱軸表示亮度 (cd/m²)。另外，圖 20 示出亮度-電流效率特性。圖 20 中，橫軸表示亮度 (cd/m²)，而縱軸表示電流效率 (cd/A)。另外，圖 21 示出亮度-外部量子效率特性。圖 21 中，橫軸表示亮度 (cd/m²)，而縱軸表示外部量子效率 (%)。

此外，表 6 示出發光元件 5 在亮度 1100 cd/m² 下的電壓 (V)、電流密度 (mA/cm²)、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 5	2.9	1.5	(0.57, 0.43)	75	81	29

圖 22 示出發光元件 5 中使 0.1 mA 的電流流過時的發射光譜。圖 22 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 所示者，1100 cd/m² 的亮度下發光元件 5 的 CIE 色座標(x, y)=(0.57, 0.43)。從上述結果可知，發光元件 5 顯示來源於[Ir(dppm)₂(acac)]的橙色光。

從表 6 及圖 18 至 21 可知，發光元件 5 的電流效率、功率效率、外部量子效率分別較高。

發光元件 5 中，將實施例 4 所示的 2mDBTPDBq-II、NPB 及[Ir(dppm)₂(acac)]用於發光層。從實施例 4 可知，2mDBTPDBq-II 和 NPB 的混合材料的發射光譜與[Ir(dppm)₂(acac)]的吸收光譜中的對發光貢獻很大的吸收帶重疊大。發光元件 5 中，由於利用該重疊進行能量轉移，所以可被認為具有高能量轉移效率及高外部量子效率。

此外，實施例 4 的結果中，發光元件 5 的客體材料的吸收光譜的最長波長一側的吸收帶的峰值離主體材料的發射光譜的峰值近，且峰值的莫耳吸光係數較大(>5000 M⁻¹·cm⁻¹)。從上述結果可知，發光元件 5 由於能量轉移效

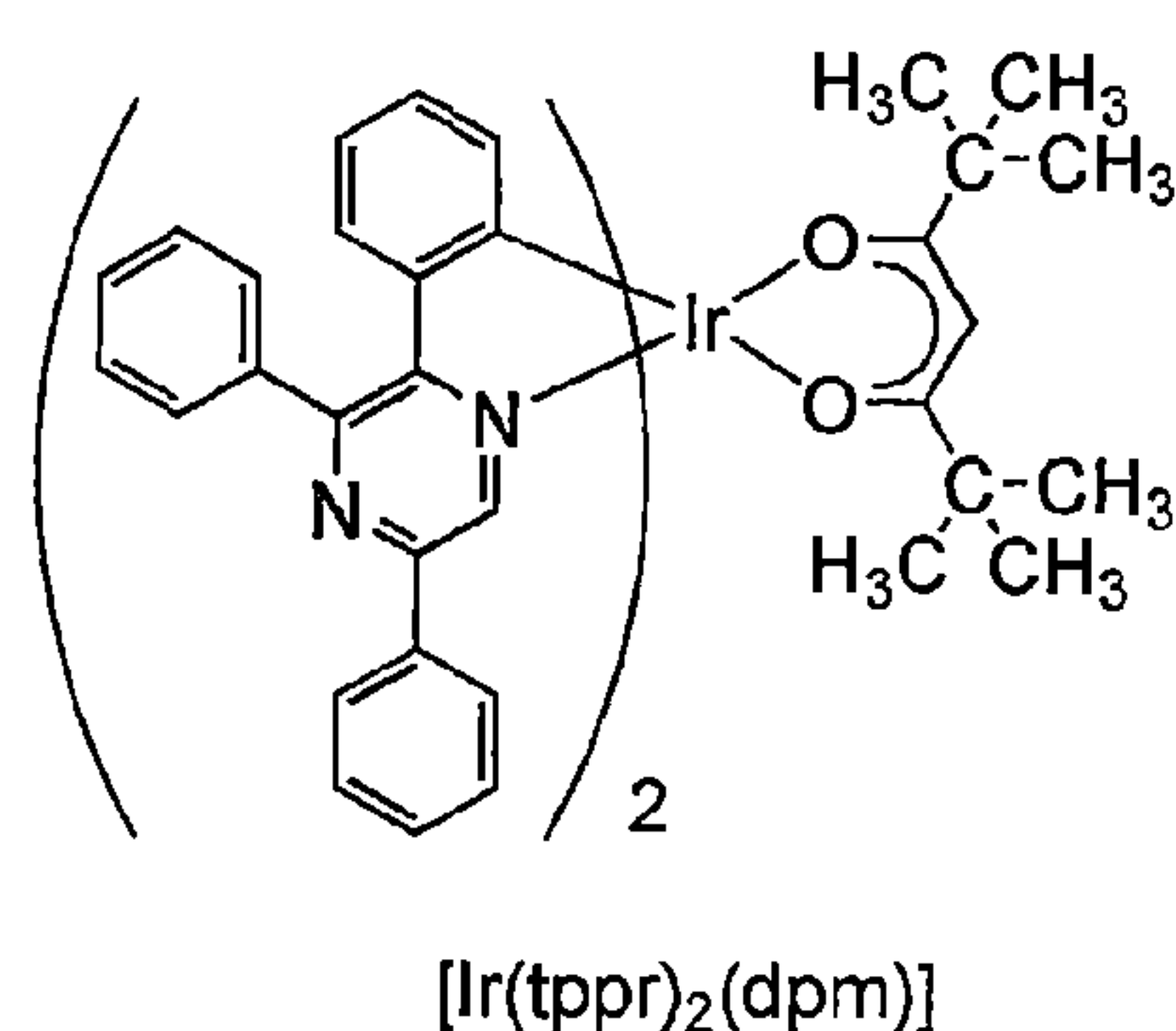
率尤其高，所以外部量子效率與習知的發光元件相比為高。

從上述結果可知，藉由應用本發明的一實施態樣，可實現外部量子效率高的元件。

實施例 6

本實施例參照圖 23A 和 23B 說明可用於本發明的一實施態樣的發光元件的客體材料及主體材料的一個實例。

本實施例使用的客體材料是雙(2,3,5-三苯基吡嗪根)(二新戊醯基甲烷根)銱(III)(縮寫:[Ir(tppr)₂(dpm)]。此外，本實施例使用的主體材料是 2mDBTPDBq-II 和 NPB 的混合材料。本實施例使用的材料的化學式如下。另外，省略上述實施例使用的材料的化學式。



〈吸收光譜〉

圖 23A 和 23B 示出 [Ir(tppr)₂(dpm)] 的二氯甲烷溶液的紫外可見光吸收光譜(吸收光譜 b)。吸收光譜的測量使用紫外可見光分光光度計(日本分光株式會社製造的 V550 型)，將二氯甲烷溶液(0.094 毫莫耳/L)放在石英皿中，並

在室溫下進行測量。

〈發射光譜〉

此外，圖 23A 和 23B 示出 2mDBTPDBq-II 和 NPB 的混合材料的薄膜的發射光譜(發射光譜 b)。圖 23A 中，橫軸表示波長(nm)，而縱軸表示莫耳吸光係數 $\epsilon(\text{M}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1})$ 及發光強度(任意單位)。圖 23B 中，橫軸表示能量(eV)，而縱軸表示莫耳吸光係數 $\epsilon(\text{M}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1})$ 及發光強度(任意單位)。

從圖 23A 的吸收光譜 b 可知， $[\text{Ir}(\text{tppr})_2(\text{dpm})]$ 在 530nm 附近具有寬吸收帶。可被認為該吸收帶是對發光貢獻極大的吸收帶。

發射光譜 b 的峰值與吸收光譜 b 中可被認為是對發光貢獻很大的吸收帶重疊較大。明確地，吸收光譜 b 中該吸收帶的峰值(530nm 附近的肩峰)與發射光譜 b 的峰值之間的差異為 0.01eV。從而，可知在本實施例使用的客體材料及主體材料皆用於發光層的發光元件中，由於利用主體材料的發射光譜與客體材料的吸收光譜的重疊進行能量轉移，所以能量轉移效率較高。因此，可得到外部量子效率高的發光元件。

實施例 7

本實施例參照圖 2 說明本發明的一實施態樣的發光元件。由於本實施例使用的材料是上述實施例使用的材料，

所以省略化學式。

下述說明本實施例的發光元件 6 的製造方法。

(發光元件 6)

共蒸鍍 2mDBTPDBq-II、NPB 及 [Ir(tppr)₂(dpm)]以形成發光元件 6 的發光層 1113。2mDBTPDBq-II、NPB 及 [Ir(tppr)₂(dpm)]的重量比調節為 0.8:0.2:0.05 (=2mDBTPDBq-II:NPB: [Ir(tppr)₂(dpm)])。發光層 1113 的厚度設定為 40 nm。除了發光層 1113 之外，採用與實施例 5 所示的發光元件 5 同樣的方式製造。

表 7 示出藉由上述步驟所獲得的發光元件 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6	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	2mDBTP DBq-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 6 進行密封，然後對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 24 示出發光元件 6 的電流密度-亮度特性。圖 24

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 25 示出電壓-亮度特性。圖 25 中，橫軸表示電壓 (V)，而縱軸表示亮度 (cd/m^2)。另外，圖 26 示出亮度-電流效率特性。圖 26 中，橫軸表示亮度 (cd/m^2)，而縱軸表示電流效率 (cd/A)。另外，圖 27 示出亮度-外部量子效率特性。圖 27 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 6 在亮度 $1100 \text{ cd}/\text{m}^2$ 下的電壓 (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)	電流 效率 (cd/A)	功率 效率 (lm/W)	外部量 子效率 (%)
發光元件 6	3.3	4.1	(0.66, 0.34)	26	25	22

圖 28 示出發光元件 6 中使 0.1 mA 的電流流過時的發射光譜。圖 28 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 所示者， $1100 \text{ cd}/\text{m}^2$ 的亮度下的發光元件 6 的 CIE 色座標 (x, y)=(0.66, 0.34)。從上述結果可知，發光元件 6 顯示來源於 $[\text{Ir}(\text{tppr})_2(\text{dpm})]$ 的紅色光。

從表 8 及圖 24 至 27 可知，發光元件 6 的電流效率、功率效率、外部量子效率較高。

發光元件 6 中，實施例 6 所示的 2mDBTPDBq-II、NPB 及 $[\text{Ir}(\text{tppr})_2(\text{dpm})]$ 用於發光層。從實施例 6 可知，2mDBTPDBq-II 和 NPB 的混合材料的發射光譜與 $[\text{Ir}(\text{tppr})_2(\text{dpm})]$ 的吸收光譜中可被認為對發光貢獻很大的吸收帶重疊大。發光元件 6 中，由於利用該重疊進行能量轉移，所以可被認為具有高能量轉移效率及高外部量子效率。

從上述結果可知，藉由應用本發明的一實施態樣，可實現外部量子效率高的元件。

接著，進行發光元件 6 的可靠性測試。圖 29 示出可靠性測試的結果。圖 29 中，縱軸表示以初始亮度為 100% 的情況下的歸一化亮度(%)，而橫軸表示元件的驅動時間(h)。

在可靠性測試中，將初始亮度設定為 5000 cd/m^2 ，且在電流密度恆定的條件下驅動發光元件 6。

發光元件 6 經 98 小時後的亮度為初始亮度的 87%。從上述結果可知，發光元件 6 的壽命較長。

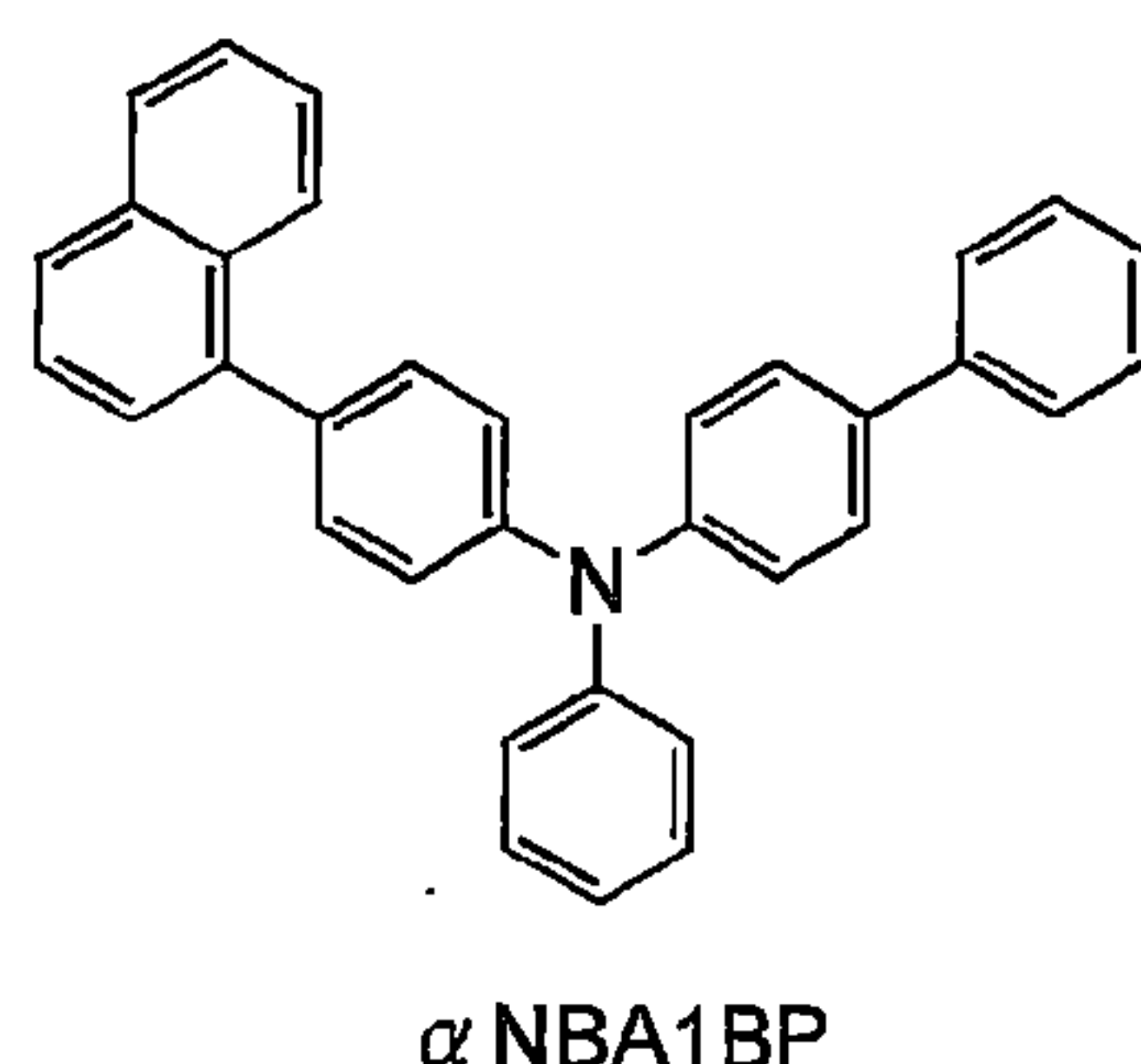
從上述結果可知，藉由應用本發明的一實施態樣，可實現可靠性高的元件。

實施例 8

本實施例參照圖 30A 和 30B 說明可用於本發明的一實施態樣的發光元件的客體材料及主體材料的一個實例。

本實施例使用的客體材料是 $[\text{Ir}(\text{mppm})_2(\text{acac})]$ 。此

外，本實施例使用的主體材料是 2mDBTPDBq-II 和 PCBA1BP 的混合材料及 2mDBTPDBq-II 和 4-(1-萘基)-4'-苯基三苯胺(縮寫： α NBA1BP)的混合材料等兩種。本實施例使用的材料的化學式如下。另外，省略上述實施例使用的材料的化學式。



〈吸收光譜〉

圖 30A 和 30B 示出 $[\text{Ir}(\text{mppm})_2(\text{acac})]$ 的二氯甲烷溶液的紫外可見光吸收光譜(吸收光譜 c)。吸收光譜的測量使用紫外可見光分光光度計(日本分光株式會社製造的 V550 型)，將二氯甲烷溶液(0.10 毫莫耳/L)放在石英皿中，並在室溫下進行測量。

〈發射光譜〉

此外，圖 30A 和 30B 示出 2mDBTPDBq-II 和 PCBA1BP 的混合材料的薄膜的發射光譜(發射光譜 c-1)及 2mDBTPDBq-II 和 α NBA1BP 的混合材料的薄膜的發射光譜(發射光譜 c-2)。圖 30A 中，橫軸表示波長(nm)，而縱軸表示莫耳吸光係數 $\epsilon(\text{M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1})$ 及發光強度(任意單位)。

圖 30B 中，橫軸表示能量(eV)，而縱軸表示莫耳吸光係數 $\epsilon(\text{M}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1})$ 及發光強度(任意單位)。

從圖 30A 的吸收光譜 c 可知， $[\text{Ir}(\text{mppm})_2(\text{acac})]$ 在 490nm 附近具有寬吸收帶。可被認為該吸收帶是對發光貢獻很大的吸收帶。

發射光譜 c-1 及發射光譜 c-2 的峰值與吸收光譜 c 中可被認為是對發光貢獻很大的吸收帶重疊較大。從而，可知在本實施例使用的客體材料及主體材料皆用於發光層的發光元件中，由於利用主體材料的發射光譜與客體材料的吸收光譜的重疊進行能量轉移，所以能量轉移效率較高。因此，可得到外部量子效率高的發光元件。

在此，與發射光譜 c-1 相比，發射光譜 c-2 的峰值係位於短波長(高能量)一側。發射光譜 c-2 的峰值與發射光譜 c-1 的峰值相比係位於離該吸收帶更近的位置。明確地，吸收光譜 c 中該吸收帶的峰值(490nm 附近的肩峰)與發射光譜 c-1 的峰值之間的差異為 0.15eV，且吸收光譜 c 中該吸收帶的峰值(490nm 附近的肩峰)與發射光譜 c-2 的峰值之間的差異為 0.01eV。

發射光譜 c-1 的峰值與發射光譜 c-2 的峰值之間的差異可被認為係 PCBA1BP 的 HOMO 能階與 αNBA1BP 的 HOMO 能階之間的差異。明確地，PCBA1BP 的 HOMO 能階為 -5.43eV，而 αNBA1BP 的 HOMO 能階為 -5.52eV(藉由迴圈伏安法(CV)測定計算這些數值)。 αNBA1BP 的 HOMO 能階比 PCBA1BP 的 HOMO 能階低(深)，由此可被

認為與發射光譜 c-1 相比，發射光譜 c-2 的峰值係位於短波長(高能量)一側。

實施例 9

本實施例參照圖 2 說明本發明的一實施態樣的發光元件。由於本實施例使用的材料是上述實施例使用的材料，所以省略化學式。

下述說明本實施例的發光元件 7 及 8 的製造方法。

(發光元件 7)

首先，在玻璃基板 1100 上藉由濺射法形成 ITSO，由此形成作為陽極的第一電極 1101。另外，其厚度設定為 110 nm，且其電極面積設定為 2 mm × 2 mm。

接著，為在基板 1100 上形成發光元件進行預處理，使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 進行冷卻 30 分鐘左右。

接著，以使第一電極 1101 的面成為下面的方式將形成有第一電極 1101 的基板 1100 固定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 和氧化鋁(VI)，從而形成電洞注入

層 1111。電洞注入層 1111 的厚度設定為 40 nm，且 BPAFLP 與氧化鋁的重量比調節為 4:2(=BPAFLP：氧化鋁)。

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

再者，共蒸鍍 2mDBTPDBq-II、PCBA1BP 及 $[\text{Ir}(\text{mppm})_2(\text{acac})]$ 以在電洞傳輸層 1112 上形成發光層 1113。2mDBTPDBq-II、PCBA1BP 及 $[\text{Ir}(\text{mppm})_2(\text{acac})]$ 的重量比調節為 0.8:0.2:0.05(=2mDBTPDBq-II: PCBA1BP: $[\text{Ir}(\text{mppm})_2(\text{acac})]$)。發光層 1113 的厚度設定為 40 nm。

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

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

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

最後，作為陰極的第二電極 1103，蒸鍍厚度為 200 nm 的鋁膜，以製造本實施例的發光元件 7。

(發光元件 8)

發光元件 8 的發光層 1113 係由共蒸鍍 2mDBTPDBq-II、 α NBA1BP 及 $[\text{Ir}(\text{mppm})_2(\text{acac})]$ 形成。2mDBTPDBq-II、 α NBA1BP 及 $[\text{Ir}(\text{mppm})_2(\text{acac})]$ 的重量比調節為 0.8 : 0.2 : 0.05(=2mDBTPDBq-II: α NBA1BP: $[\text{Ir}(\text{mppm})_2(\text{acac})]$)

)。發光層 1113 的厚度設定為 40 nm。除了發光層 1113 之外，採用與發光元件 7 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 9 示出藉由上述步驟所獲得的發光元件 7 及 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	BPAFLP: MoOx (= 4:2) 40 nm	BPAFLP 20 nm	2mDBTPDBq-II: PCBA1BP: [Ir(mppm) ₂ (acac)] (= 0.8:0.2:0.05) 40 nm	2mDBTP DBq-II 10 nm	BPhen 20 nm	LiF 1 nm	Al 200 nm
發光元件8	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	2mDBTP DBq-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 7 及 8 進行密封，然後對該等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 31 示出發光元件 7 及 8 的電流密度-亮度特性。圖 31 中，橫軸表示電流密度(mA/cm²)，而縱軸表示亮度(cd/m²)。另外，圖 32 示出電壓-亮度特性。圖 32 中，橫軸表示電壓(V)，而縱軸表示亮度(cd/m²)。另外，圖 33 示出亮度-電流效率特性。圖 33 中，橫軸表示亮度(cd/m²)，

而縱軸表示電流效率(cd/A)。另外，圖 34 示出亮度-外部量子效率特性。圖 34 中，橫軸表示亮度(cd/m²)，而縱軸表示外部量子效率(%)。

此外，表 10 示出發光元件 7 及 8 在亮度大約 1000 cd/m² 下的電壓(V)、電流密度(mA/cm²)、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	3.2	1.6	(0.43, 0.56)	1100	69	68	20
發光元件 8	3.0	1.1	(0.43, 0.56)	860	75	79	21

圖 35 示出發光元件 7 及 8 中使 0.1 mA 的電流流過時的發射光譜。圖 35 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 所示者，1100 cd/m² 的亮度下發光元件 7 的 CIE 色座標(x, y)=(0.43, 0.56)，而 860 cd/m² 的亮度下發光元件 8 的 CIE 色座標(x, y)=(0.43, 0.56)。從上述結果可知，發光元件 7 和 8 顯示來源於[Ir(mppm)₂(acac)]的黃綠色光。

從表 10 及圖 31 至 34 可知，發光元件 7 及 8 的電流效率、功率效率、外部量子效率分別較高。

發光元件 7 及 8 中，實施例 8 所示的 PCBA1BP 或 α NBA1BP、2mDBTPDBq-II、 $[\text{Ir}(\text{mppm})_2(\text{acac})]$ 係用於發光層。從實施例 8 可知，2mDBTPDBq-II 與 PCBA1BP 或 α NBA1BP 的混合材料的發射光譜與 $[\text{Ir}(\text{mppm})_2(\text{acac})]$ 的吸收光譜中可被認為對發光貢獻很大的吸收帶重疊大。發光元件 7 及 8 由於利用該重疊進行能量轉移，所以可被認為能量轉移效率高，且外部量子效率高。

從上述結果可知，藉由應用本發明的一實施態樣，可實現外部量子效率高的元件。

接著，進行發光元件 7 及 8 的可靠性測試。圖 36 示出可靠性測試的結果。圖 36 中，縱軸表示以初始亮度為 100% 的情況下的歸一化亮度(%)，而橫軸表示元件的驅動時間(h)。

在可靠性測試中，將初始亮度設定為 5000 cd/m^2 ，且在電流密度恆定的條件下驅動發光元件 7 及 8。

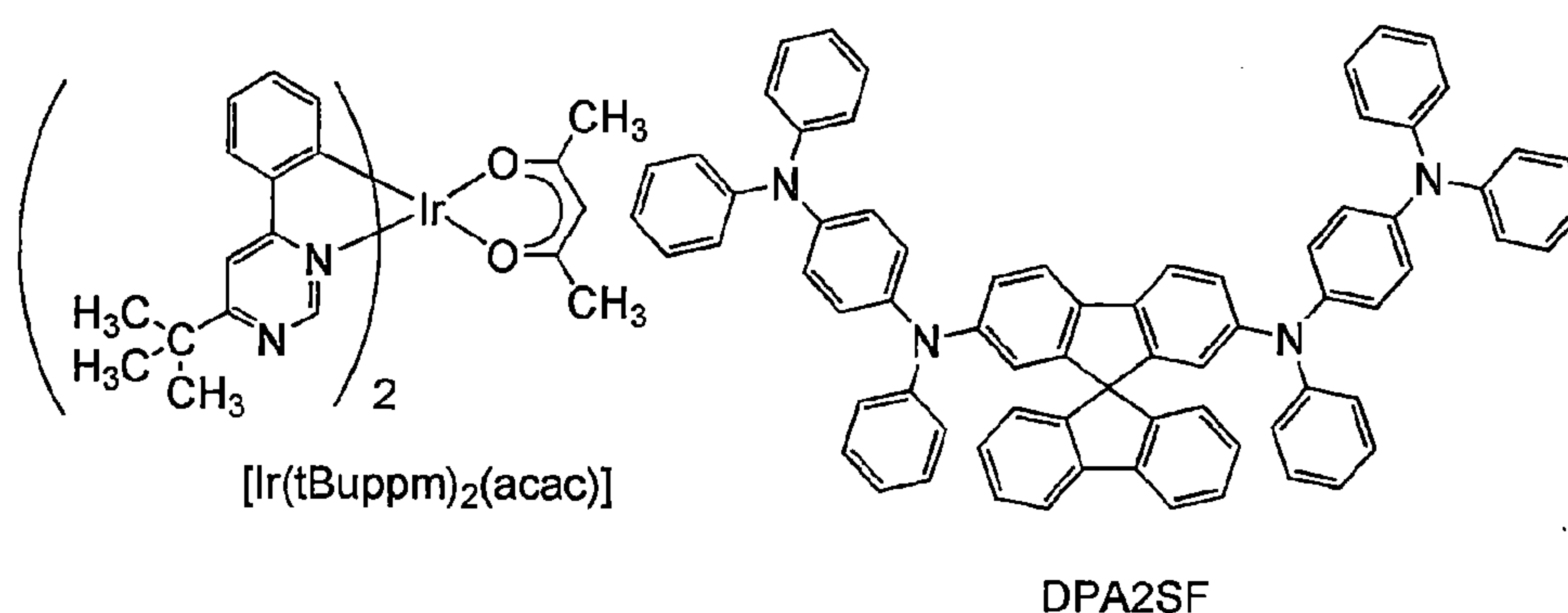
發光元件 7 經 260 小時後的亮度為初始亮度的 74%。此外，發光元件 8 經 260 小時後的亮度為初始亮度的 75%。從上述結果可知，發光元件 7 及 8 的壽命較長。

從上述結果可知，藉由應用本發明的一實施態樣，可實現可靠性高的元件。

實施例 10

本實施例參照圖 37A 和 37B 說明可用於本發明的一實施態樣的發光元件的客體材料及主體材料的一個實例。

本實施例使用的客體材料是(乙醯丙酮根)雙(6-三級丁基-4-苯基嘧啶根)銱(III)(縮寫： $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$)。此外，本實施例使用的主體材料是 2mDBTPDBq-II 和 NPB 的混合材料及 2mDBTPDBq-II 和 2,7-雙[N-(二苯基胺基苯基)-N-苯基胺基]-螺環-9,9'-聯萘(縮寫：DPA2SF)的混合材料等兩種。本實施例使用的材料的化學式如下。另外，省略上述實施例使用的材料的化學式。



〈吸收光譜〉

圖 37A 和 37B 示出 $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$ 的二氯甲烷溶液的紫外可見光吸收光譜(吸收光譜 d)。吸收光譜的測量使用紫外可見光分光光度計(日本分光株式會社製造的 V550 型)，將二氯甲烷溶液(0.093 毫莫耳/L)放在石英皿中，並在室溫下進行測量。

〈發射光譜〉

此外，圖 37A 和 37B 示出 2mDBTPDBq-II 和 DPA2SF 的混合材料的薄膜的發射光譜(發射光譜 d-1)及

2mDBTPDBq-II 和 NPB 的混合材料的薄膜的發射光譜(發射光譜 d-2)。圖 37A 中，橫軸表示波長(nm)，而縱軸表示莫耳吸光係數 $\epsilon(\text{M}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1})$ 及發光強度(任意單位)。圖 37B 中，橫軸表示能量(eV)，而縱軸表示莫耳吸光係數 $\epsilon(\text{M}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1})$ 及發光強度(任意單位)。

從圖 37A 的吸收光譜 d 可知， $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$ 在 490nm 附近具有寬吸收帶。可被認為該吸收帶是對發光貢獻很大的吸收帶。

發射光譜 d-1 及 d-2 的峰值與吸收光譜 d 中可被認為是對發光貢獻很大的吸收帶重疊較大。從而，可知在本實施例使用的客體材料及主體材料皆用於發光層的發光元件中，由於利用主體材料的發射光譜與客體材料的吸收光譜的重疊進行能量轉移，所以能量轉移效率較高。因此，可得到外部量子效率高的發光元件。

在此，與發射光譜 d-1 相比，發射光譜 d-2 的峰值係位於短波長(高能量)一側。而且，發射光譜 d-2 的峰值與發射光譜 d-1 的峰值相比係位於離該吸收帶更近的位置。如上所述，從圖 37A 和 37B 可知，與吸收光譜 d 中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 d-2。明確地，吸收光譜 d 中該吸收帶的峰值與發射光譜 d-1 的峰值之間的差異為 0.39eV，且吸收光譜 d 中的該吸收帶的峰值與發射光譜 d-2 的峰值之間的差異為 0.19eV。

發射光譜 d-1 的峰值與發射光譜 d-2 的峰值之間的差異可被認為係 DPA2SF 的 HOMO 能階與 NPB 的 HOMO 能

階之間的差異。明確地，DPA2SF 的 HOMO 能階為 -5.09eV ，而 NPB 的 HOMO 能階為 -5.38eV (藉由迴圈伏安法 (CV) 測定計算這些數值)。NPB 的 HOMO 能階比 DPA2SF 的 HOMO 能階低 (深)，由此可認為與發射光譜 d-1 相比，發射光譜 d-2 的峰值係位於短波長 (高能量) 一側。

如上所述，由於 2mDBTPDBq-II 和 NPB 的混合材料及 $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$ 用於發光層的發光元件與 2mDBTPDBq-II 和 DPA2SF 的混合材料及 $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$ 用於發光層的發光元件相比，利用主體材料的發射光譜與客體材料的吸收光譜更大的重疊而進行能量轉移，所以能量轉移效率更高。從而，可獲得外部量子效率更高的發光元件。

實施例 11

本實施例參照圖 2 說明本發明的一實施態樣的發光元件。由於本實施例使用的材料是上述實施例使用的材料，所以省略化學式。

下述說明本實施例的發光元件 9 及 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，由此形成作為陽極的第一電極 1101。另外，其厚度設定為 110 nm ，且其電極面積設定為 $2\text{ mm} \times 2\text{ mm}$ 。

接著，為在基板 1100 上形成發光元件進行預處理，使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 進行冷卻 30 分鐘左右。

接著，以使第一電極 1101 的面成為下面的方式將形成有第一電極 1101 的基板 1100 固定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 和氧化鋁(VI)，從而形成電洞注入層 1111。電洞注入層 1111 的厚度設定為 40 nm，且 DBT3P-II 與氧化鋁的重量比調節為 4:2(=DBT3P-II：氧化鋁)。

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

再者，藉由共蒸鍍 2mDBTPDBq-II、DPA2SF 及 $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$ 以在電洞傳輸層 1112 上形成發光層 1113。2mDBTPDBq-II、DPA2SF 及 $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$ 的重量比調節為 0.8:0.2:0.05(=2mDBTPDBq-II: DPA2SF: $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$)。發光層 1113 的厚度設定為 40 nm。

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

接著，在第一電子傳輸層 1114a 上形成厚度為 20 nm

的 BPhen 膜，藉以形成第二電子傳輸層 1114b。

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

最後，作為陰極的第二電極 1103，蒸鍍厚度為 200 nm 的鋁膜以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 係藉由共蒸鍍 2mDBTPDBq-II、NPB 及 $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$ 形成。2mDBTPDBq-II、NPB 及 $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$ 的重量比調節為 0.8 : 0.2 : 0.05 (=2mDBTPDBq-II: NPB: $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$)。發光層 1113 的厚度設定為 40 nm。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 示出藉由上述步驟所獲得的發光元件 9 及 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	ITO 110 nm	DBT3P-II: MoOx (= 4:2) 40 nm	BPAFLP 20 nm	2mDBTPDBq-II: DPA2SF: [Ir(tBuppm) ₂ (acac)] (= 0.8:0.2:0.05) 40 nm	2mDBTP DBq-II 10 nm	BPhen 20 nm	LiF 1 nm	Al 200 nm
發光元件10	ITO 110 nm	DBT3P-II: MoOx (= 4:2) 40 nm	BPAFLP 20 nm	2mDBTPDBq-II: NPB: [Ir(tBuppm) ₂ (acac)] (= 0.8:0.2:0.05) 40 nm	2mDBTP DBq-II 10 nm	BPhen 20 nm	LiF 1 nm	Al 200 nm

在氮氬圍的手套箱中，以不使發光元件暴露於大氣的方式對發光元件 9 及 10 進行密封，然後對該等發光元件的工作特性進行測量。此外，在室溫下(在保持於 25℃ 的氬圍中)進行測量。

圖 38 示出發光元件 9 及 10 的電流密度-亮度特性。圖 38 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 39 示出電壓-亮度特性。圖 39 中，橫軸表示電壓(V)，而縱軸表示亮度(cd/m^2)。另外，圖 40 示出亮度-電流效率特性。圖 40 中，橫軸表示亮度(cd/m^2)，而縱軸表示電流效率(cd/A)。另外，圖 41 示出亮度-外部量子效率特性。圖 41 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 10 在亮度大約 $1000 \text{ cd}/\text{m}^2$ 下的電壓(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	2.9	1.7	(0.43, 0.56)	890	52	56	15
發光元件 10	2.8	1.0	(0.42, 0.57)	820	84	95	23

圖 42 示出發光元件 9 及 10 中使 0.1 mA 的電流流過時的發射光譜。圖 42 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 所示者，890cd/m² 的亮度下發光元件 9 的 CIE 色座標(x，y)=(0.43，0.56)，而 820cd/m² 的亮度下發光元件 10 的 CIE 色座標(x，y)=(0.42，0.57)。從上述結果可知，發光元件 9 和 10 顯示來源於[Ir(tBuppm)₂(acac)]的黃綠色光。

從表 12 及圖 38 至 41 可知，發光元件 9 及 10 的電流效率、功率效率、外部量子效率分別較高。

發光元件 9 及 10 中，實施例 10 所示的 DPA2SF 或 NPB、2mDBTPDBq-II 及[Ir(tBuppm)₂(acac)]係用於發光層。從實施例 10 可知，2mDBTPDBq-II 與 DPA2SF 或 NPB 的混合材料的發射光譜與[Ir(tBuppm)₂(acac)]的吸收光譜中可被認為對發光貢獻很大的吸收帶重疊大。發光元件 9 及 10 中，由於利用該重疊進行能量轉移，所以可被認為具有高能量轉移效率及高外部量子效率。尤其是，2mDBTPDBq-II 和 NPB 的混合材料的發射光譜與

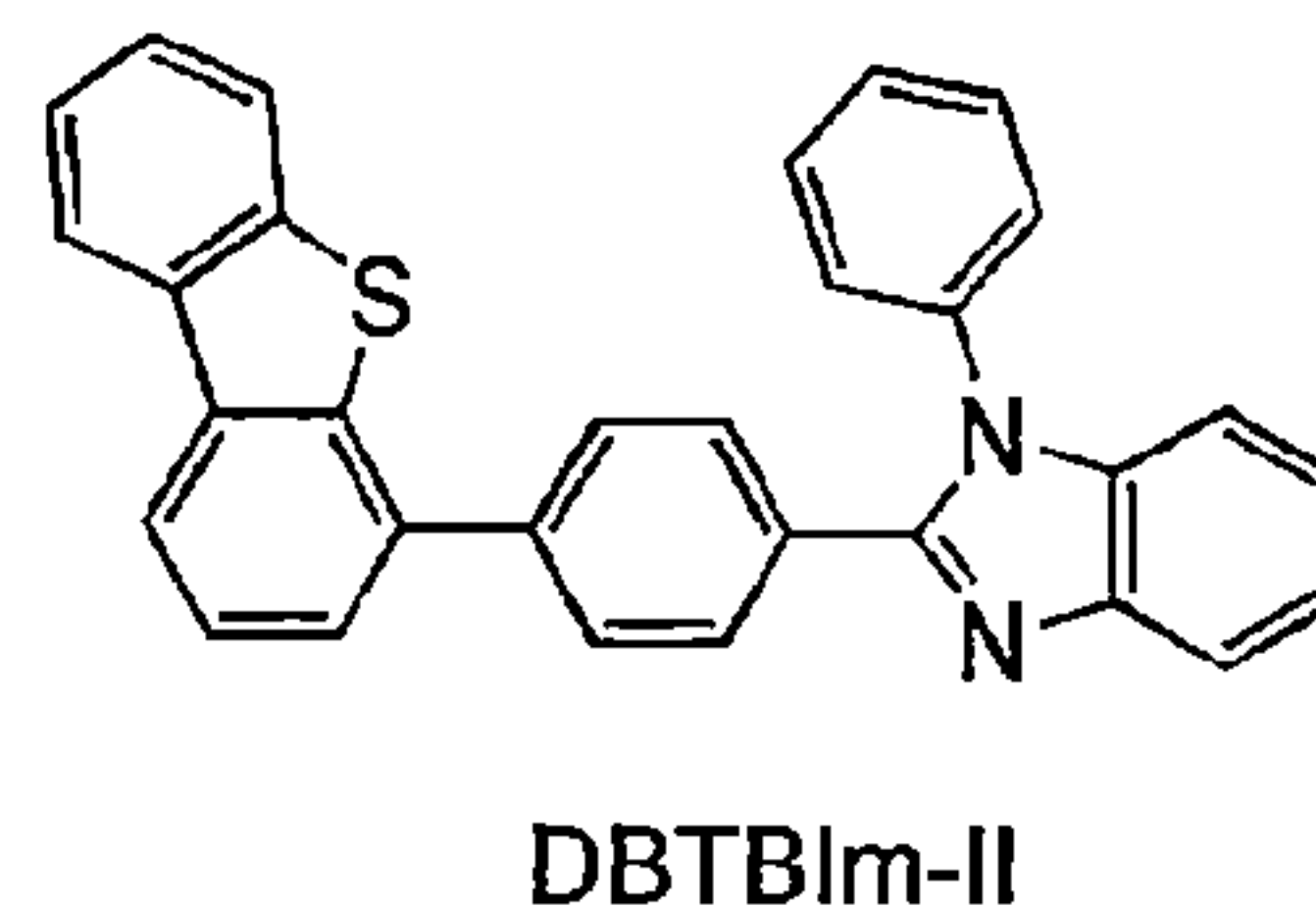
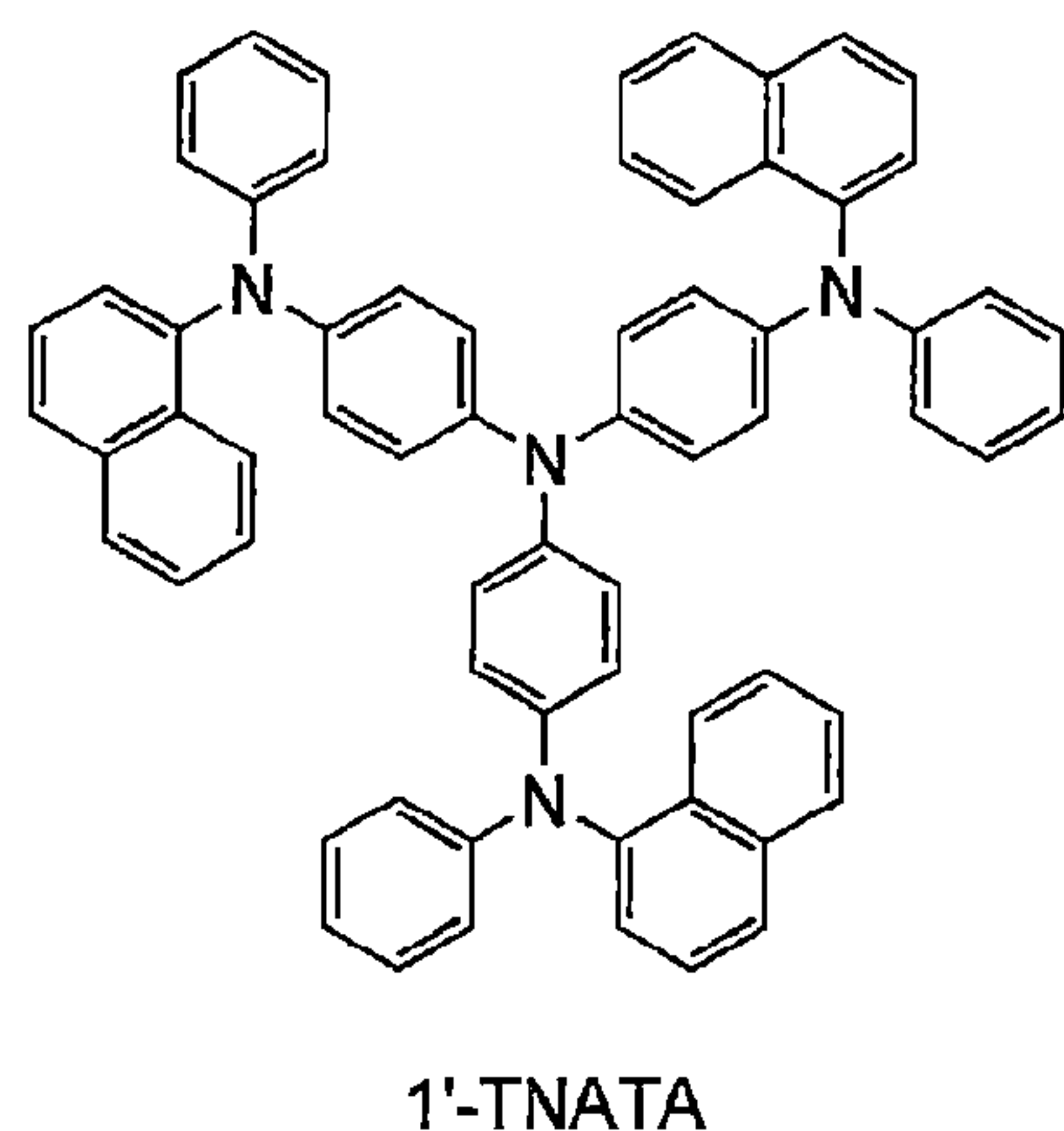
2mDBTPDBq-II 和 DPA2SF 的混合材料的發射光譜相比與該吸收帶重疊大。因此，發光元件 10 由於利用該大重疊進行能量轉移，所以可被認為與發光元件 9 相比具有高能量轉移效率及高外部量子效率。此外，從參照實施例 10 的結果可知，在發光層中，主體材料的發射光譜的峰值的能值與客體材料的吸收光譜的最低能量一側的吸收帶的峰值的能值之間的差異較佳為 0.3eV 以內。

從上述結果可知，藉由應用本發明的一實施態樣，可實現外部量子效率高的元件。

實施例 12

本實施例參照圖 43A 和 43B 說明可用於本發明的一實施態樣的發光元件的客體材料及主體材料的一個實例。

本實施例使用的客體材料是 $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ 。此外，本實施例使用的主體材料是 2mDBTPDBq-II 和 4,4',4''-三[N-(1-萘基)-N-苯基胺基]三苯胺(縮寫：1'-TNATA)的混合材料及 2-[4-(二苯並噻吩-4-基)苯基]-1-苯基-1H-苯並咪唑(縮寫：DBTBIIm-II)和 1'-TNATA 的混合材料等兩種。本實施例使用的材料的化學式如下。另外，省略上述實施例使用的材料的化學式。



〈吸收光譜〉

圖 43A 和 43B 示出 $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ 的二氯甲烷溶液的紫外可見光吸收光譜(吸收光譜 e)。吸收光譜的測量使用紫外可見光分光光度計(日本分光株式會社製造的 V550 型)，將二氯甲烷溶液(0.093 毫莫耳/L)放在石英皿中，並在室溫下進行測量。

〈發射光譜〉

此外，圖 43A 和 43B 示出 2mDBTPDBq-II 和 1'-TNATA 的混合材料的薄膜的發射光譜(發射光譜 e-1)及 DBTBIm-II 和 1'-TNATA 的混合材料的薄膜的發射光譜(發射光譜 e-2)。圖 43A 中，橫軸表示波長(nm)，而縱軸表示莫耳吸光係數 $\epsilon(\text{M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1})$ 及發光強度(任意單位)。圖 43B 中，橫軸表示能量(eV)，而縱軸表示莫耳吸光係數 $\epsilon(\text{M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1})$ 及發光強度(任意單位)。

從圖 43A 的吸收光譜 e 可知， $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ 在 520nm 附近具有寬吸收帶。可認為該吸收帶是對發光貢獻很大的吸收帶。

發射光譜 e-1 及發射光譜 e-2 的峰值與吸收光譜 e 中可被認為是對發光貢獻很大的吸收帶重疊較大。從而，可知在本實施例使用的客體材料及主體材料皆用於發光層的發光元件中，由於利用主體材料的發射光譜與客體材料的吸收光譜重疊進行能量轉移，所以能量轉移效率較高。因此，可得到外部量子效率高的發光元件。

在此，與發射光譜 e-1 相比，發射光譜 e-2 的峰值係位於短波長(高能量)一側。而且，發射光譜 e-2 的峰值與發射光譜 e-1 的峰值相比係位於離該吸收帶更近的位置。如上所述，從圖 43A 和 43B 可知，與吸收光譜 e 中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 e-2。明確地，吸收光譜 e 中該吸收帶的峰值(520nm 附近的肩峰)與發射光譜 e-1 的峰值之間的差異為 0.35eV，且吸收光譜 e 中該吸收帶的峰值(520nm 附近的肩峰)與發射光譜 e-2 的峰值之間的差異為 0.01eV。

發射光譜 e-1 的峰值與發射光譜 e-2 的峰值之間的差異可被認為係 2mDBTPDBq-II 的 LUMO 能階與 DBTBIm-II 的 LUMO 能階之間的差異。明確地，2mDBTPDBq-II 的 LUMO 能階為 -2.95eV，而 DBTBIm-II 的 LUMO 能階為 -2.52eV(藉由迴圈伏安法(CV)測定計算這些數值)。DBTBIm-II 的 LUMO 能階比 2mDBTPDBq-II 的 LUMO 能階高(淺)，由此即使與 HOMO 能階高的 1'-TNATA 混合，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 e-1 相比，發射光譜 e-2 的峰值位於短波長一

側)。

如上所述，由於使用 DBTBI_m-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更大的重疊而進行能量轉移，所以能量轉移效率更高。從而，可獲得外部量子效率更高的發光元件。

實施例 13

本實施例參照圖 2 說明本發明的一實施態樣的發光元件。由於本實施例使用的材料是上述實施例使用的材料，所以省略化學式。

下述說明本實施例的發光元件 11 及 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，由此形成作為陽極的第一電極 1101。另外，其厚度設定為 110 nm，且其電極面積設定為 2 mm × 2 mm。

接著，為在基板 1100 上形成發光元件進行預處理，使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，將基板放入內部被減壓到 10⁻⁴Pa 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 進行冷卻 30 分鐘左右。

接著，以使第一電極 1101 的面成為下面的方式將形成有第一電極 1101 的基板 1100 固定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 和氧化鋁(VI)，從而形成電洞注入層 1111。電洞注入層 1111 的厚度設定為 40 nm，且 BPAFLP 與氧化鋁的重量比調節為 4:2(=BPAFLP：氧化鋁)。

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

再者，共蒸鍍 2mDBTPDBq-II、1'-TNATA 及 $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ 以在電洞傳輸層 1112 上形成發光層 1113。2mDBTPDBq-II、1'-TNATA 及 $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ 的重量比調節為 0.8:0.2:0.05(=2mDBTPDBq-II: 1'-TNATA: $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$)。發光層 1113 的厚度設定為 20 nm。

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

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

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

最後，作為陰極的第二電極 1103，蒸鍍厚度為 200

nm 的鋁膜以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 係藉由共蒸鍍 DBTBI_m-II、1'-TNATA 及 [Ir(mppr-Me)₂(dpm)]形成。DBTBI_m-II、1'-TNATA 及 [Ir(mppr-Me)₂(dpm)]的重量比調節為 0.8 : 0.2 : 0.05(=DBTBI_m-II: 1'-TNATA:Ir(mppr-Me)₂(dpm))]。發光層 1113 的厚度設定為 20 nm。

發光元件 12 的第一電子傳輸層 1114a 係由厚度為 30 nm 的 DBTBI_m-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 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 示出藉由上述步驟所獲得的發光元件 11 及 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 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	2mDBTP DBq-II 30 nm	BPhen 20 nm	LiF 1 nm	Al 200 nm
發光元件12	ITSO 110 nm	BPAFLP: MoOx (= 4:2) 40 nm	BPAFLP 20 nm	DBTBI _m -II: 1'-TNATA: [Ir(mppr-Me) ₂ (dpm)] (= 0.8:0.2:0.05) 20 nm	DBTBI _m -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 11 及 12 進行密封，然後對該等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 44 示出發光元件 11 及 12 的電流密度-亮度特性。圖 44 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 45 示出電壓-亮度特性。圖 45 中，橫軸表示電壓(V)，而縱軸表示亮度(cd/m^2)。另外，圖 46 示出亮度-電流效率特性。圖 46 中，橫軸表示亮度(cd/m^2)，而縱軸表示電流效率(cd/A)。另外，圖 47 示出亮度-外部量子效率特性。圖 47 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 12 在亮度 $860 \text{ cd}/\text{m}^2$ 下的電壓(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	3.1	2.9	(0.53, 0.46)	860	29	30	11
發光元件 12	3.8	1.5	(0.53, 0.46)	860	58	48	21

圖 48 示出發光元件 11 及 12 中使 0.1 mA 的電流流過

時的發射光譜。圖 48 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 所示者，860cd/m²的亮度下發光元件 11 及 12 的 CIE 色座標(x, y)=(0.53, 0.46)。從上述結果可知，發光元件 11 和 12 顯示來源於 [Ir(mppr-Me)₂(dpm)] 的橙色光。

從表 14 及圖 44 至 47 可知，發光元件 11 及 12 的電流效率、功率效率、外部量子效率分別較高。

發光元件 11 及 12 中，實施例 12 所示的 2mDBTPDBq-II 或 DBTBIm-II、1'-TNATA 及 [Ir(mppr-Me)₂(dpm)] 係用於發光層。從實施例 12 可知，2mDBTPDBq-II 或 DBTBIm-II 與 1'-TNATA 的混合材料的發射光譜與 [Ir(mppr-Me)₂(dpm)] 的吸收光譜中可被認為對發光貢獻很大的吸收帶重疊大。發光元件 11 及 12 由於利用該重疊進行能量轉移，所以可被認為具有高能量轉移效率及高外部量子效率。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重疊大。因此，發光元件 12 由於利用該大重疊進行能量轉移，所以可被認為與發光元件 11 相比具有高能量轉移效率及高外部量子效率。此外，從參照實施例 12 的結果可知，在發光層中，主體材料的發射光譜的峰值的能值與客體材料的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為 0.3eV 以內。

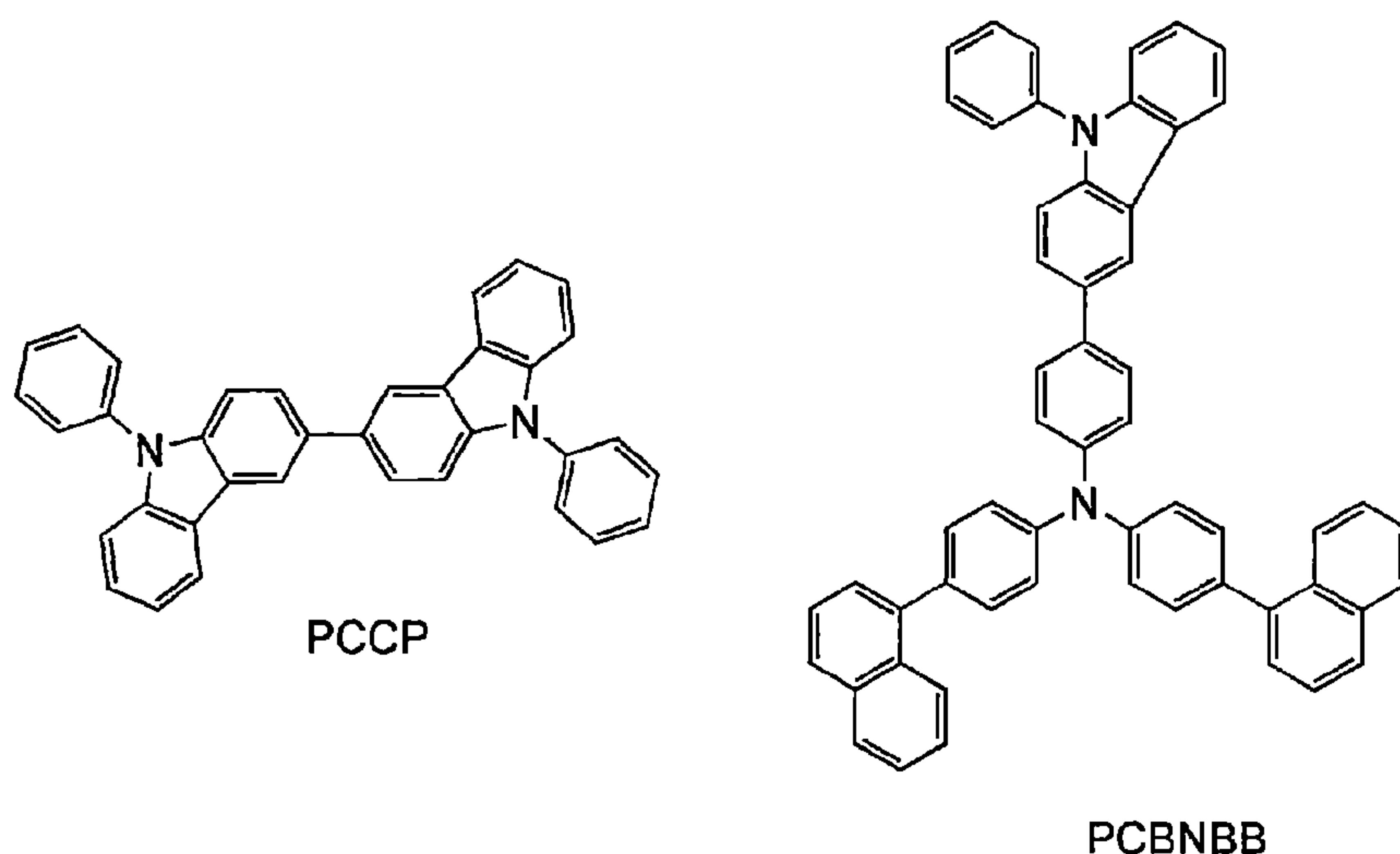
從上述結果可知，藉由應用本發明的一實施態樣，可

實現外部量子效率高的元件。

實施例 14

本實施例參照圖 49A 和 49B 說明可用於本發明的一實施態樣的發光元件的客體材料及主體材料的一個實例。

本實施例使用的客體材料是 $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ 。此外，本實施例使用的主體材料是 2mDBTPDBq-II 和 PCBNBB 的混合材料及 2mDBTPDBq-II 和 9-苯基-9H-3-(9-苯基-9H-咔唑-3-基)咔唑(縮寫:PCCP)的混合材料等兩種。本實施例使用的材料的化學式如下。另外，省略上述實施例使用的材料的化學式。



〈吸收光譜〉

圖 49A 和 49B 示出 $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ 的二氯甲烷溶液的紫外可見光吸收光譜(吸收光譜 f)。吸收光譜的測量使用紫外可見光分光光度計(日本分光株式會社製造的

V550 型)，將二氯甲烷溶液(0.093 毫莫耳/L)放在石英皿中，並在室溫下進行測量。

〈發射光譜〉

此外，圖 49A 和 49B 示出 2mDBTPDBq-II 和 PCBNBB 的混合材料的薄膜的發射光譜(發射光譜 f-1)、及 2mDBTPDBq-II 和 PCCP 的混合材料的薄膜的發射光譜(發射光譜 f-2)。圖 49A 中，橫軸表示波長(nm)，而縱軸表示莫耳吸光係數 $\epsilon(\text{M}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1})$ 及發光強度(任意單位)。圖 49B 中，橫軸表示能量(eV)，而縱軸表示莫耳吸光係數 $\epsilon(\text{M}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1})$ 及發光強度(任意單位)。

從圖 49A 的吸收光譜 f 可知， $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ 在 500nm 附近具有寬吸收帶。可認為該吸收帶是對發光貢獻很大的吸收帶。

發射光譜 f-1 及發射光譜 f-2 的峰值與吸收光譜 f 中可被認為是對發光貢獻很大的吸收帶重疊較大。從而，可知在本實施例使用的客體材料及主體材料皆用於發光層的發光元件中，由於利用主體材料的發射光譜與客體材料的吸收光譜的重疊進行能量轉移，所以能量轉移效率較高。因此，可得到外部量子效率高的發光元件。

此外，從本實施例可知作為主體材料，除了含芳香族胺化合物的混合材料以外，亦可使用含咪唑化合物的混合材料。

實施例 15

本實施例參照圖 2 說明本發明的一實施態樣的發光元件。由於本實施例使用的材料是上述實施例使用的材料，所以省略化學式。

下述說明本實施例的發光元件 13 及 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，由此形成作為陽極的第一電極 1101。另外，其厚度設定為 110 nm，且其電極面積設定為 2 mm × 2 mm。

接著，為在基板 1100 上形成發光元件進行預處理，使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，將基板放入內部被減壓到 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 進行冷卻 30 分鐘左右。

接著，以使第一電極 1101 的面成為下面的方式將形成有第一電極 1101 的基板 1100 固定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 和氧化鋁(VI)，從而形成電洞注入層 1111。電洞注入層 1111 的厚度設定為 40 nm，且 BPAFLP 與氧化鋁的重量比調節為 4:2(=BPAFLP：氧化鋁)。

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

再者，共蒸鍍 2mDBTPDBq-II、PCBNBB 及 $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ 以在電洞傳輸層 1112 上形成發光層 1113。2mDBTPDBq-II、PCBNBB 及 $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ 的重量比調節為 0.8:0.2:0.05(=2mDBTPDBq-II: PCBNBB: $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$)。發光層 1113 的厚度設定為 20 nm。

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

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

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

最後，作為陰極的第二電極 1103，蒸鍍厚度為 200 nm 的鋁膜以製造本實施例的發光元件 13。

(發光元件 14)

共蒸發 2mDBTPDBq-II、9-苯基-9H-3-(9-苯基-9H-咪唑-3-基)咪唑(縮寫:PCCP)及 $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ 以形成發

光元件 14 的發光層 1113。2mDBTPDBq-II、PCCP 及 [Ir(mppr-Me)₂(dpm)]的重量比調節為 0.8:0.2:0.05 (=2mDBTPDBq-II: PCCP: [Ir(mppr-Me)₂(dpm)])。發光層 1113 的厚度設定為 20 nm。除了發光層 1113 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 示出藉由上述步驟所獲得的發光元件 13 及 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: 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14	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 13 及 14 進行密封，然後對該等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 50 示出發光元件 13 及 14 的電流密度-亮度特性。

圖 50 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 51 示出電壓-亮度特性。圖 51 中，橫軸表示電壓(V)，而縱軸表示亮度(cd/m^2)。另外，圖 52 示出亮度-電流效率特性。圖 52 中，橫軸表示亮度(cd/m^2)，而縱軸表示電流效率(cd/A)。另外，圖 53 示出亮度-外部量子效率特性。圖 53 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 14 在亮度 $1200\text{cd}/\text{m}^2$ 下的電壓(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	3.0	1.7	(0.54, 0.45)	1200	67	70	24
發光元件 14	3.0	1.7	(0.54, 0.46)	1200	69	72	24

圖 54 示出發光元件 13 及 14 中使 0.1 mA 的電流流過時的發射光譜。圖 54 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 所示者， $1200\text{cd}/\text{m}^2$ 的亮度下發光元件 13 的 CIE 色座標(x, y)=(0.54, 0.45)，且 $1200\text{cd}/\text{m}^2$ 的亮度下發光元件 14 的 CIE 色座標(x, y)=(0.54, 0.46)。從上述結果可知，發光

元件 13 和 14 顯示來源於 $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ 的橙色光。

從表 16 及圖 50 至 53 可知，發光元件 13 及 14 的電流效率、功率效率、外部量子效率分別較高。

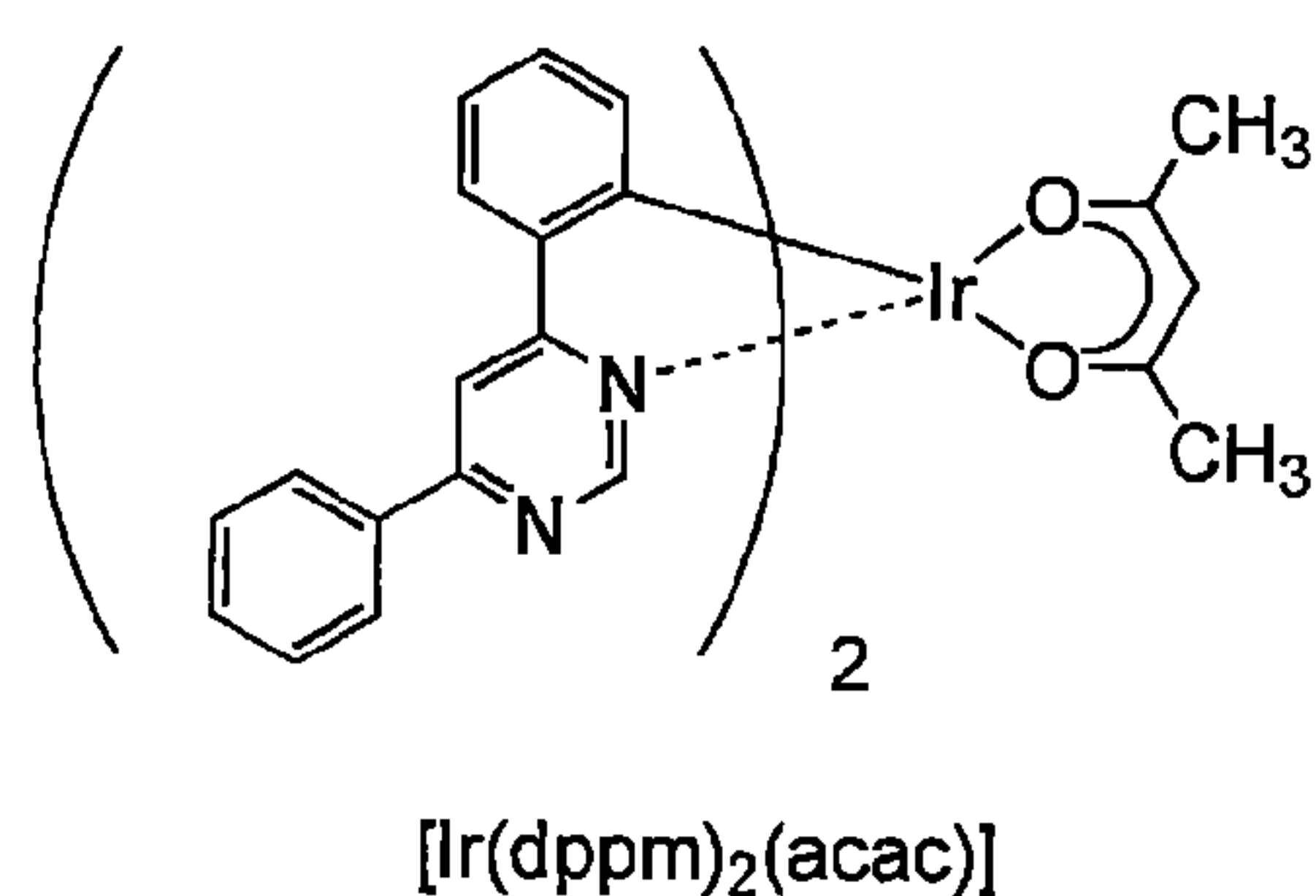
發光元件 13 及 14 中，實施例 14 所示的 2mDBTPDBq-II、PCBNBB 或 PCCP 及 $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ 係用於發光層。從實施例 14 可知，2mDBTPDBq-II、PCBNBB 或 PCCP 的混合材料的發射光譜(激基複合物的發射光譜)與 $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ 的吸收光譜中可被認為對發光貢獻很大的吸收帶重疊大。發光元件 13 及 14 由於利用該重疊進行能量轉移，所以可被認為具有高能量轉移效率及高外部量子效率。

此外，從本實施例可知，在作為發光層的主體材料使用含吡啶化合物(PCCP)的混合材料而不使用含芳香族胺化合物(PCBNBB)的混合材料時，也可得到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實施態樣，可實現外部量子效率高的元件。

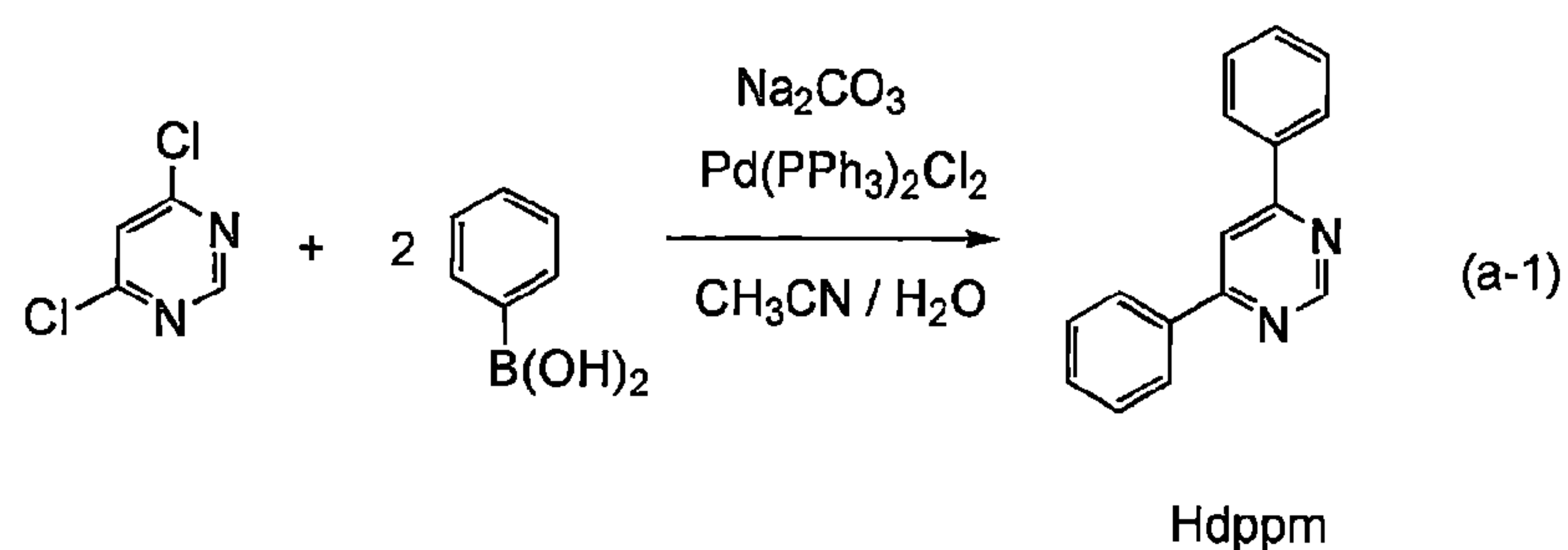
(參考例 1)

以下，示出上述實施例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)銱(III)(別稱：雙[2-(6-苯基-4-嘧啶基- $\kappa\text{N}3$)苯基- κC](2,4-戊二酮- $\kappa^2\text{O},\text{O}'$)銱(III))(縮寫： $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$)的合成例。下式示出 $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ 的結構。



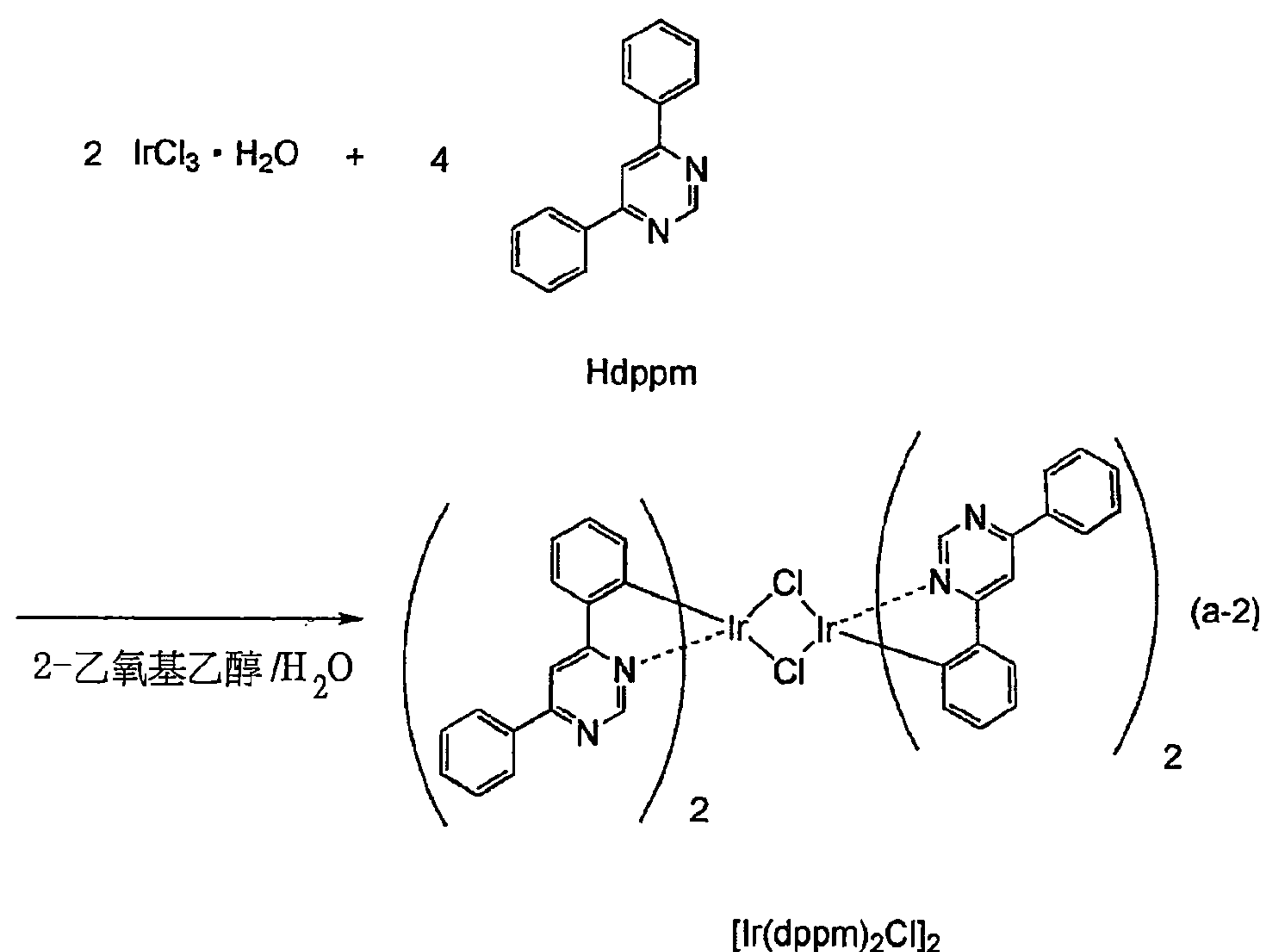
〈步驟 1：4,6-二苯基嘧啶(縮寫：Hdppm)的合成〉

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： $\text{Pd}(\text{PPh}_3)_2\text{Cl}_2$)、20mL 水和 20mL 乙腈，且將燒瓶中的空氣替換為氫氣。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 $\text{Pd}(\text{PPh}_3)_2\text{Cl}_2$ 、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層析法使用二氯甲烷作為展開溶劑來純化。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)銱(III)](縮寫： $[\text{Ir}(\text{dppm})_2\text{Cl}]_2$)的合成〉

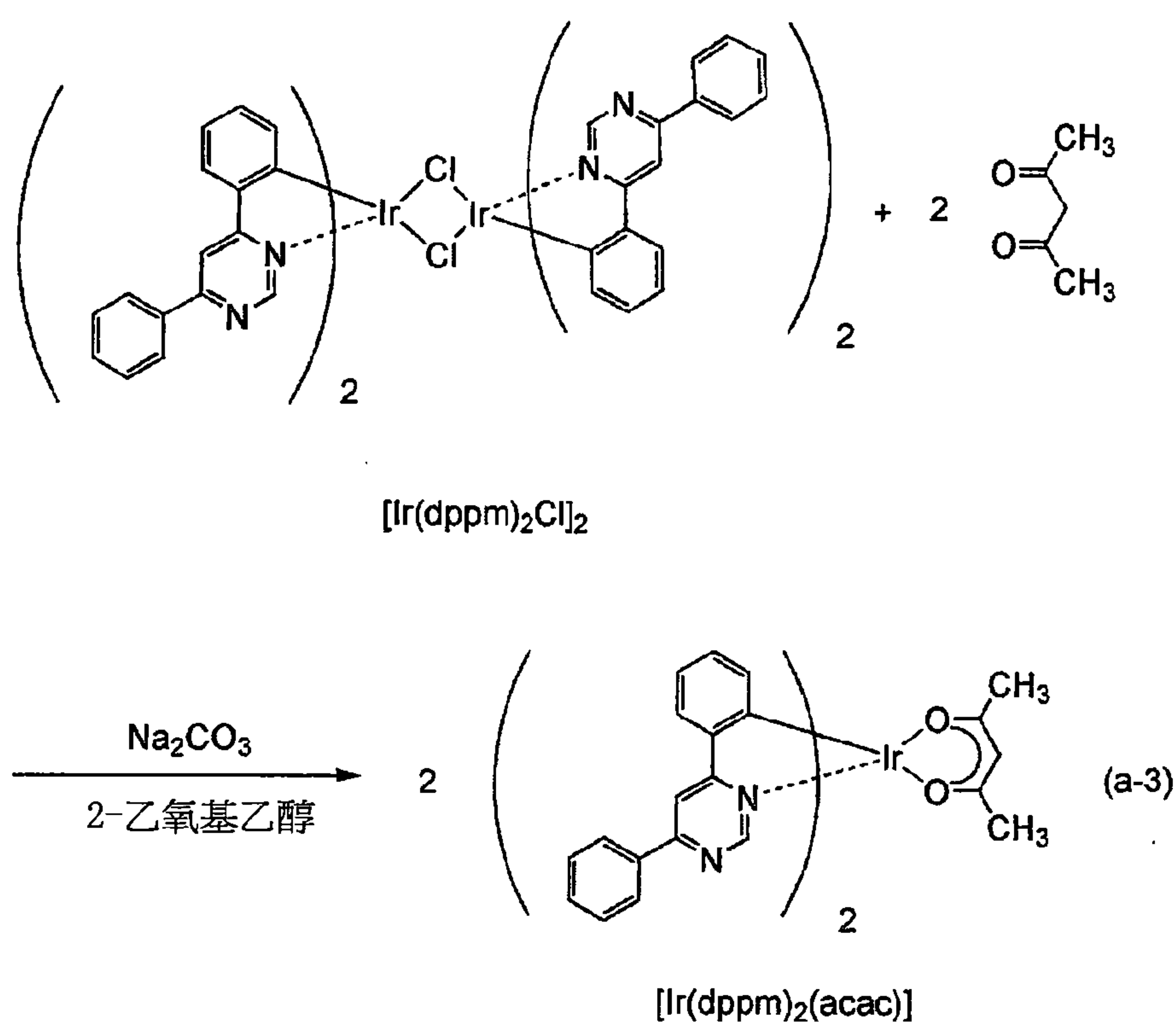
接著，在裝有回流管的回收燒瓶中放入 15mL 2-乙氧基乙醇、5mL 水、1.10g 在上述步驟 1 中得到的 Hdppm 和 0.69g 氯化銱水合物 ($\text{IrCl}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$)，且將燒瓶中的空氣替換為氬氣。然後，進行使用微波 (2.45GHz，100 W) 的照射 1 小時以引起反應。在將溶劑蒸餾出且將所得到的殘餘物用乙醇過濾並洗滌以得到雙核錯合物 $[\text{Ir}(\text{dppm})_2\text{Cl}]_2$ (紅棕色粉末，產率 88%)。步驟 2 的合成方案 (a-2) 顯示如下。



〈步驟 3：(乙醯丙酮根)雙(4,6-二苯基嘧啶根)銱(III)(縮寫： $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$)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 $[\text{Ir}(\text{dppm})_2\text{Cl}]_2$ 、0.30g 乙醯丙酮和 1.07g 碳酸鈉，且將燒瓶中的空氣替換為氬氣。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層析法使用二氯甲烷：乙酸乙酯=50:1(體積比)作為展開溶劑來純化。然後，用二氯甲烷和己烷的混合溶劑進行重結晶以得到作為目的物的橙色粉

末(產率 32%)。步驟 3 的合成方案(a-3)顯示如下。



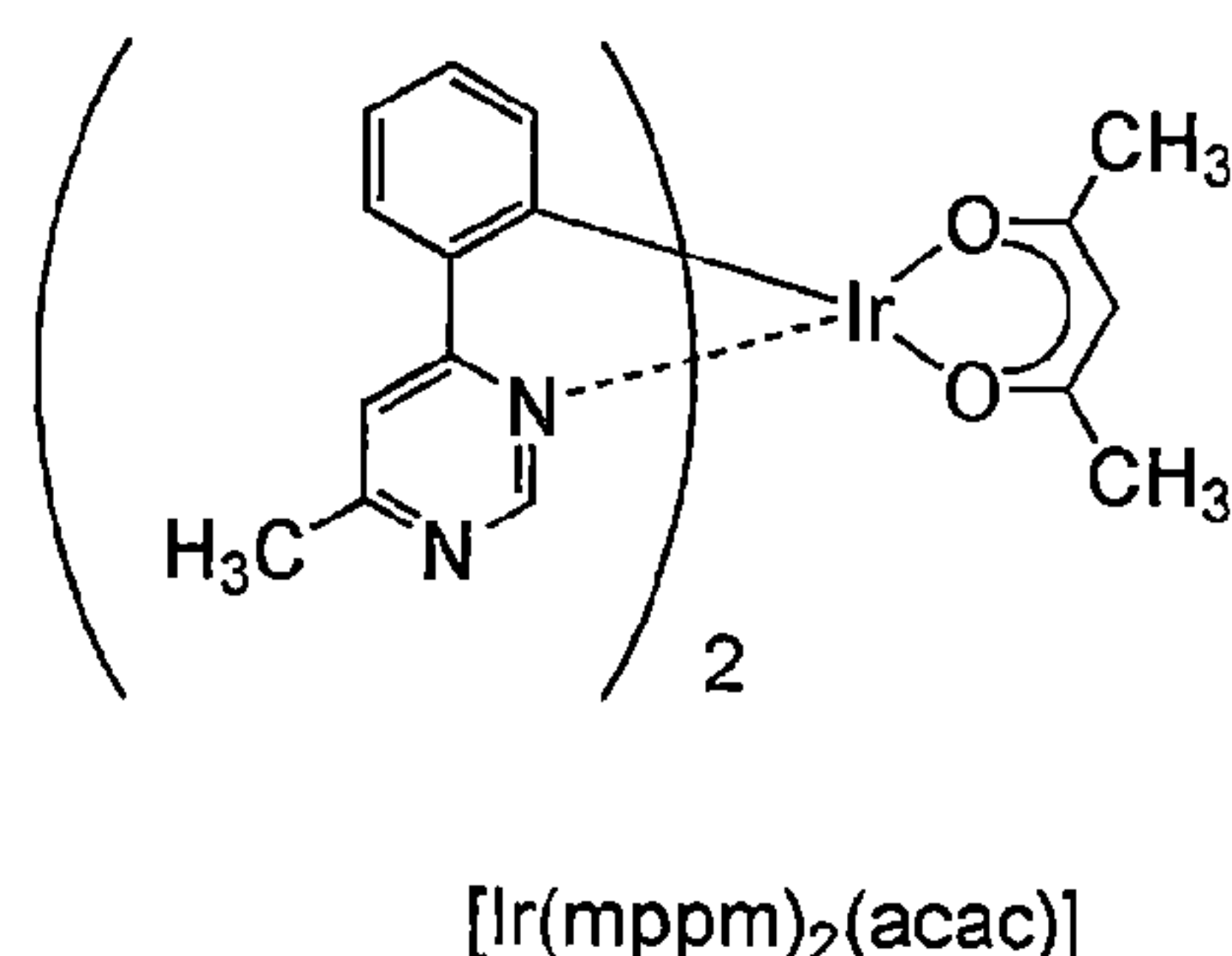
上述步驟 3 得到的橙色粉末的核磁共振譜(^1H NMR)的分析結果顯示如下。從上述結果可知得到有機金屬錯合物 $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ 。

^1H NMR. $\delta(\text{CDCl}_3)$: 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，示出上述實施例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)銱(III) (別稱：雙

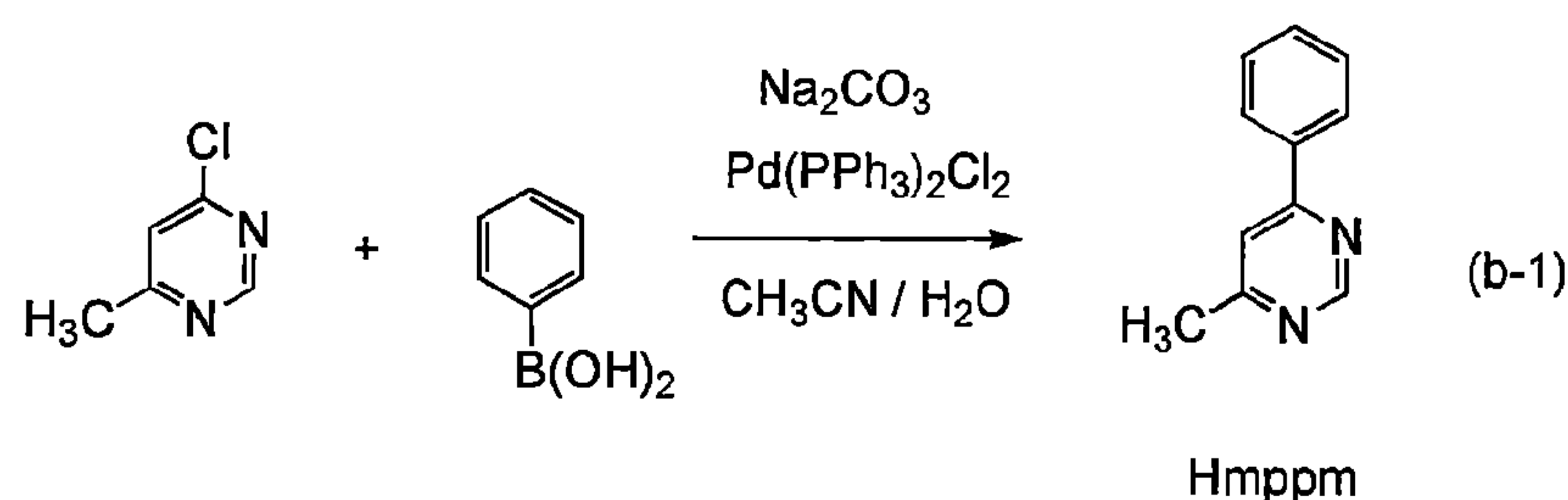
[2-(6-甲基-4-嘧啶基- κ N3)苯基- κ C](2,4-戊二酮根- κ^2 O,O')
 銱(III)) (縮寫： $[\text{Ir}(\text{mppm})_2(\text{acac})]$)的合成例。下式示出
 $[\text{Ir}(\text{mppm})_2(\text{acac})]$ 的結構。



〈步驟 1：4-甲基-6-苯基嘧啶(縮寫：Hmppm)的合成〉

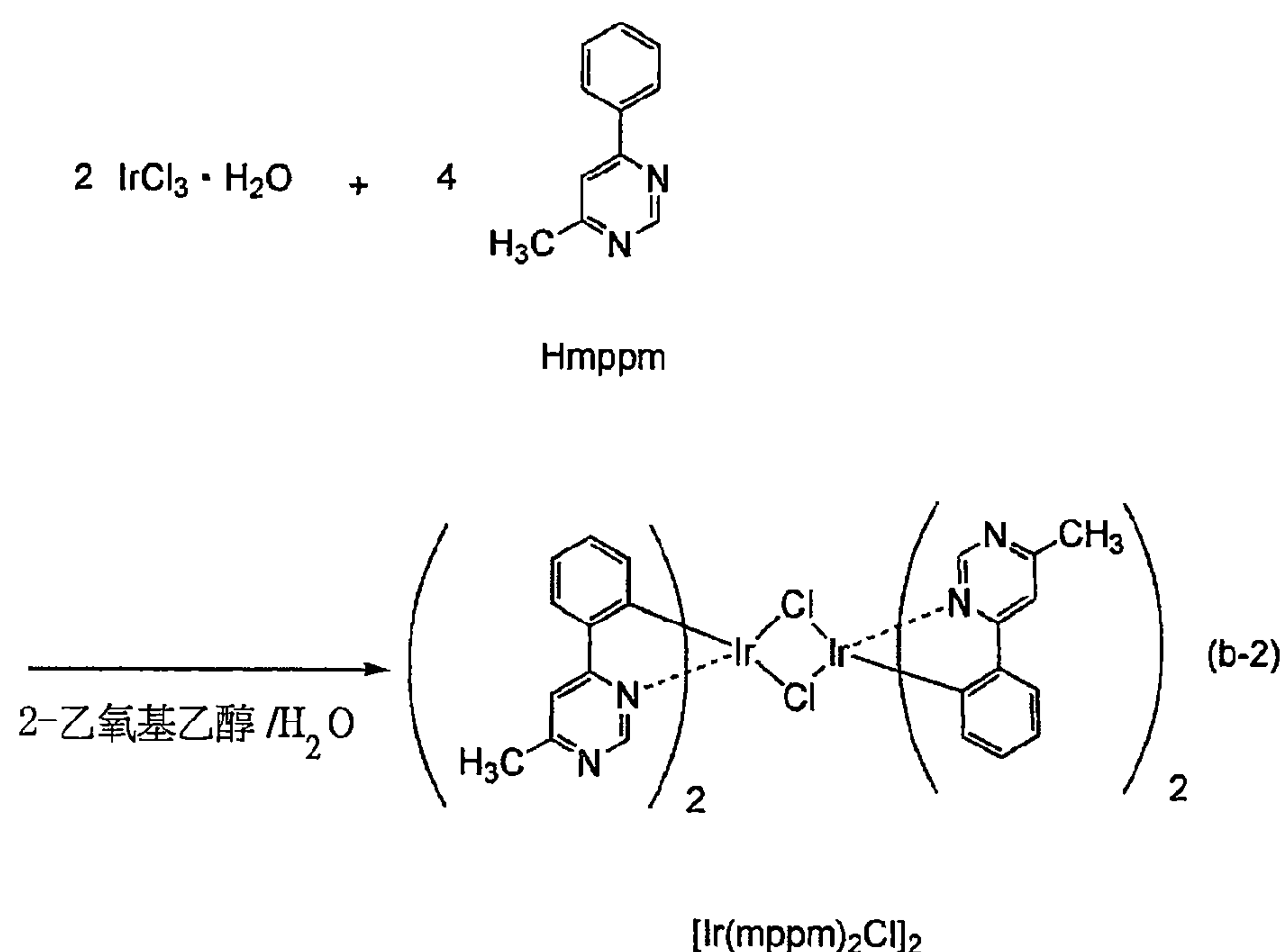
首先，在裝有回流管的回收燒瓶中放入 4.90g 4-氯-6-甲基嘧啶、4.80g 苯基硼酸、4.03g 碳酸鈉、0.16g 雙(三苯基膦)合鈹(II)二氯化物(縮寫： $\text{Pd}(\text{PPh}_3)_2\text{Cl}_2$)、20mL 水和 10mL 乙腈，且將燒瓶中的空氣替換為氬氣。藉由對該反應容器照射微波(2.45GHz，100W)60 分鐘來進行加熱。在此，在燒瓶中進一步放入 2.28g 苯基硼酸、2.02g 碳酸鈉、0.082g $\text{Pd}(\text{PPh}_3)_2\text{Cl}_2$ 、5mL 水和 10mL 乙腈，且藉由對混合溶液再次使用微波(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層析法使用二氯甲烷：乙酸乙酯=9：1(體積比)作為展開溶劑來純化。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。



〈步驟 2：二- μ -氯-雙[雙(6-甲基-4-苯基嘓啖根)銦(III)](縮寫：[Ir(mppm)₂Cl]₂)的合成〉

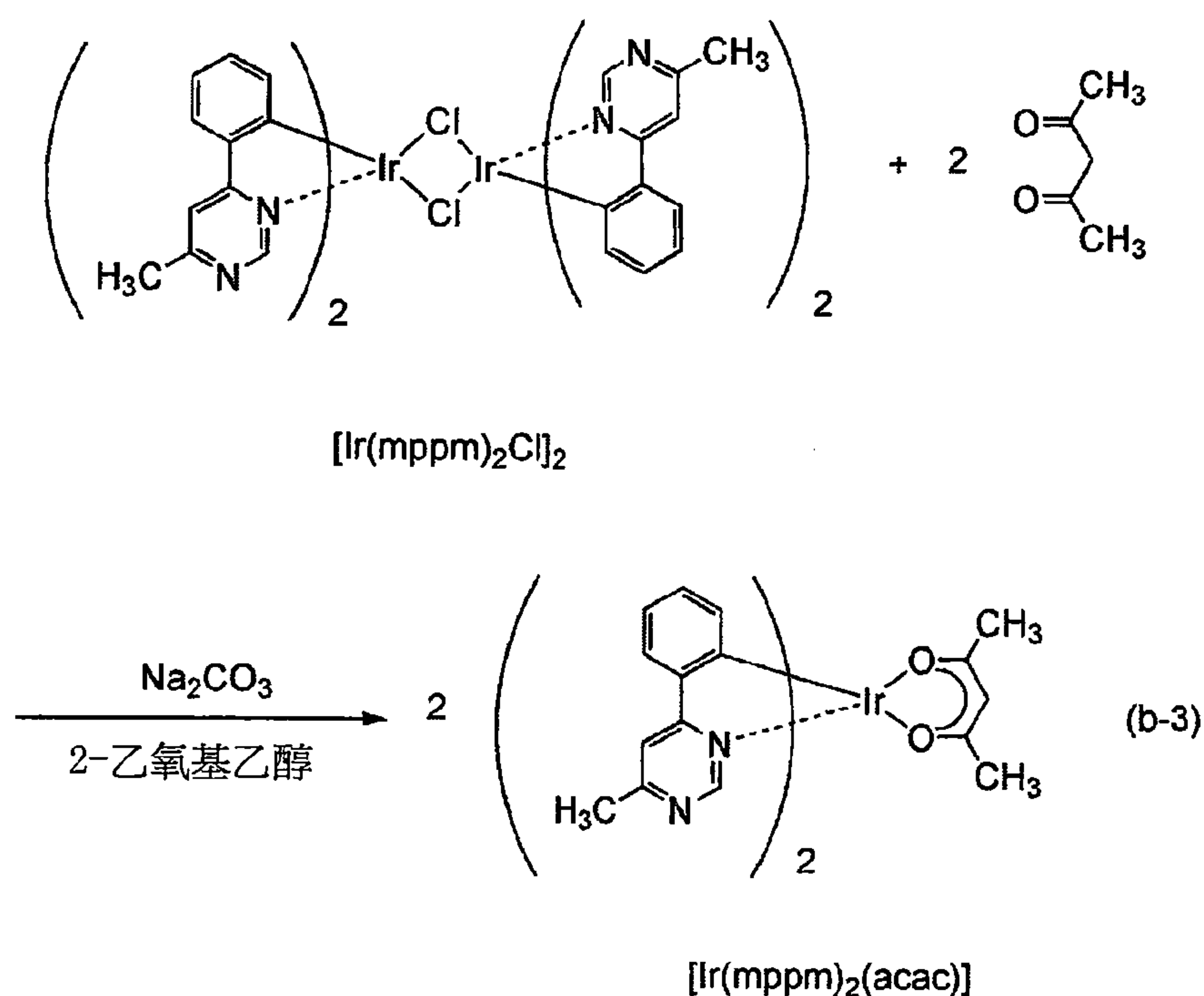
接著，在裝有回流管的回收燒瓶中放入 15mL 2-乙氧基乙醇、5mL 水、1.51g 在上述步驟 1 中得到的 Hmppm 和 1.26g 氯化銦水合物(IrCl₃·H₂O)，且將燒瓶中的空氣替換為氬氣。然後，進行使用微波(2.45GHz，100 W)的照射 1 小時以引起反應。在將溶劑蒸餾出且將所得到的殘餘物用乙醇洗滌並過濾以得到雙核錯合物 [Ir(mppm)₂Cl]₂ (深綠色粉末，產率 77%)。步驟 2 的合成方案(b-2)顯示如下。



〈步驟 3：(乙醯丙酮根)雙(6-甲基-4-苯基嘧啶根)銦(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為氬氣。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層析法使用二氯甲烷：乙酸乙酯=4:1(體積比)作為展開溶劑來純化。然後，用二氯甲烷和己烷的混合溶劑進行重結晶以得到作為目的物的黃色粉末(產率 22%)。步驟 3 的合成方案(b-3)

顯示如下。



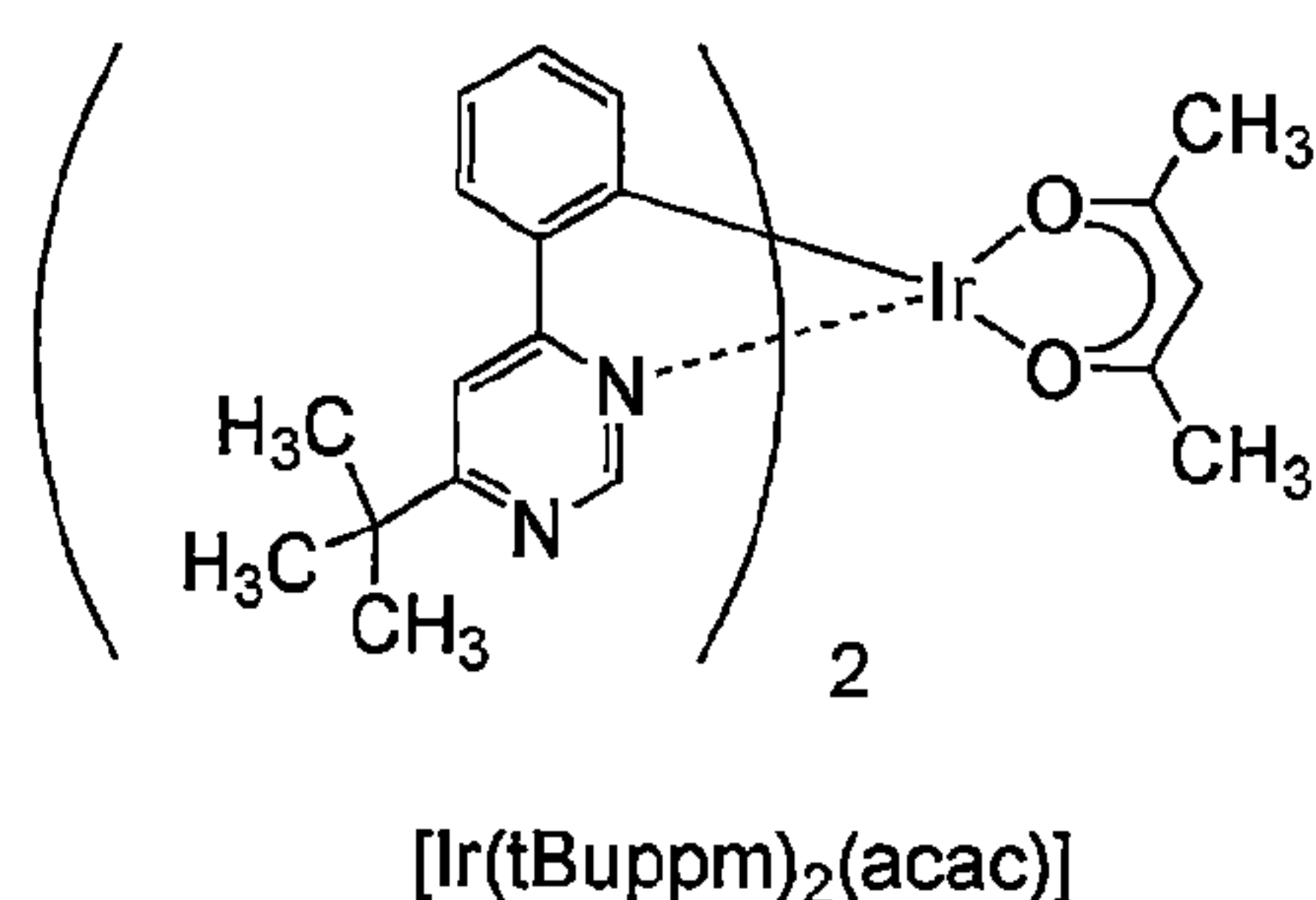
上述步驟 3 得到的黃色粉末的核磁共振譜 (^1H NMR) 的分析結果顯示如下。從上述結果可知得到有機金屬錯合物 $[\text{Ir}(\text{mppm})_2(\text{acac})]$ 。

^1H NMR. $\delta(\text{CDCl}_3)$: 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)

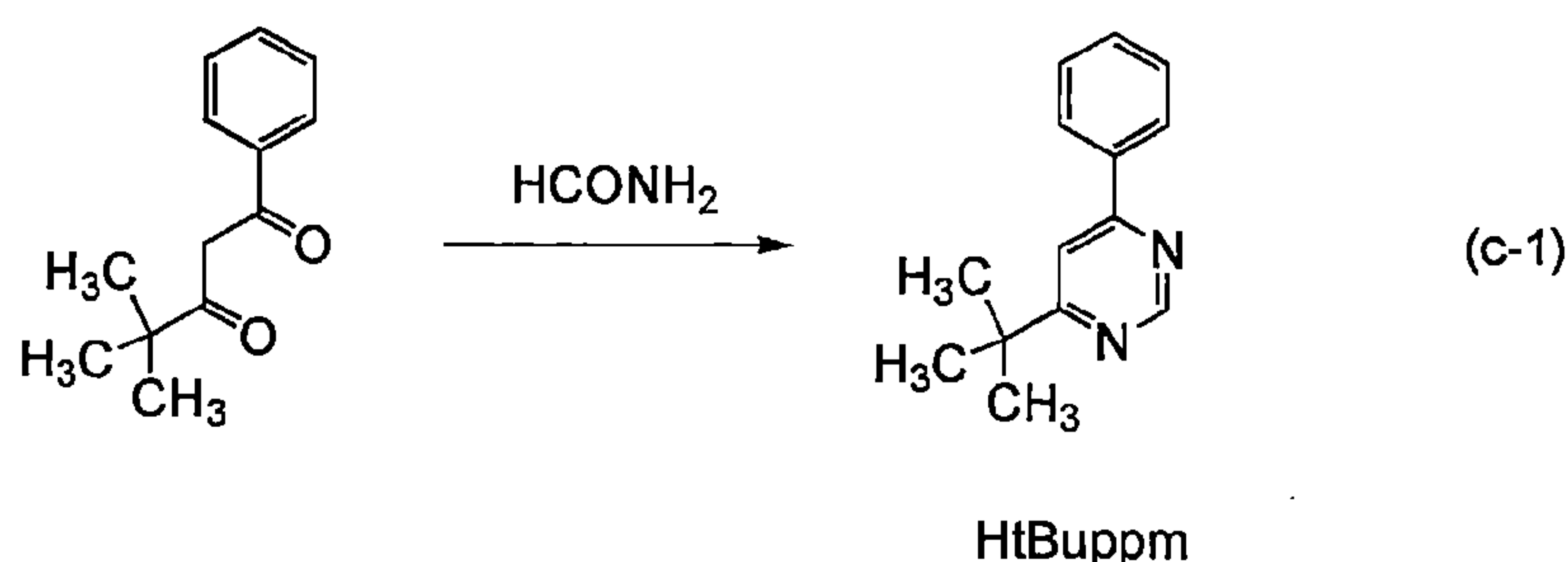
以下，示出上述實施例使用的有機金屬錯合物，即 (乙醯丙酮根)雙(6-三級丁基-4-苯基嘓啶根)銱(III) (別稱：雙[2-(6-三級丁基-4-嘓啶基- $\kappa\text{N}3$)苯基- κC](2,4-戊二酮根-

$\kappa^2\text{O},\text{O}'$) 銱(III)) (縮寫： $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$)的合成例。下式示出 $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$ 的結構。



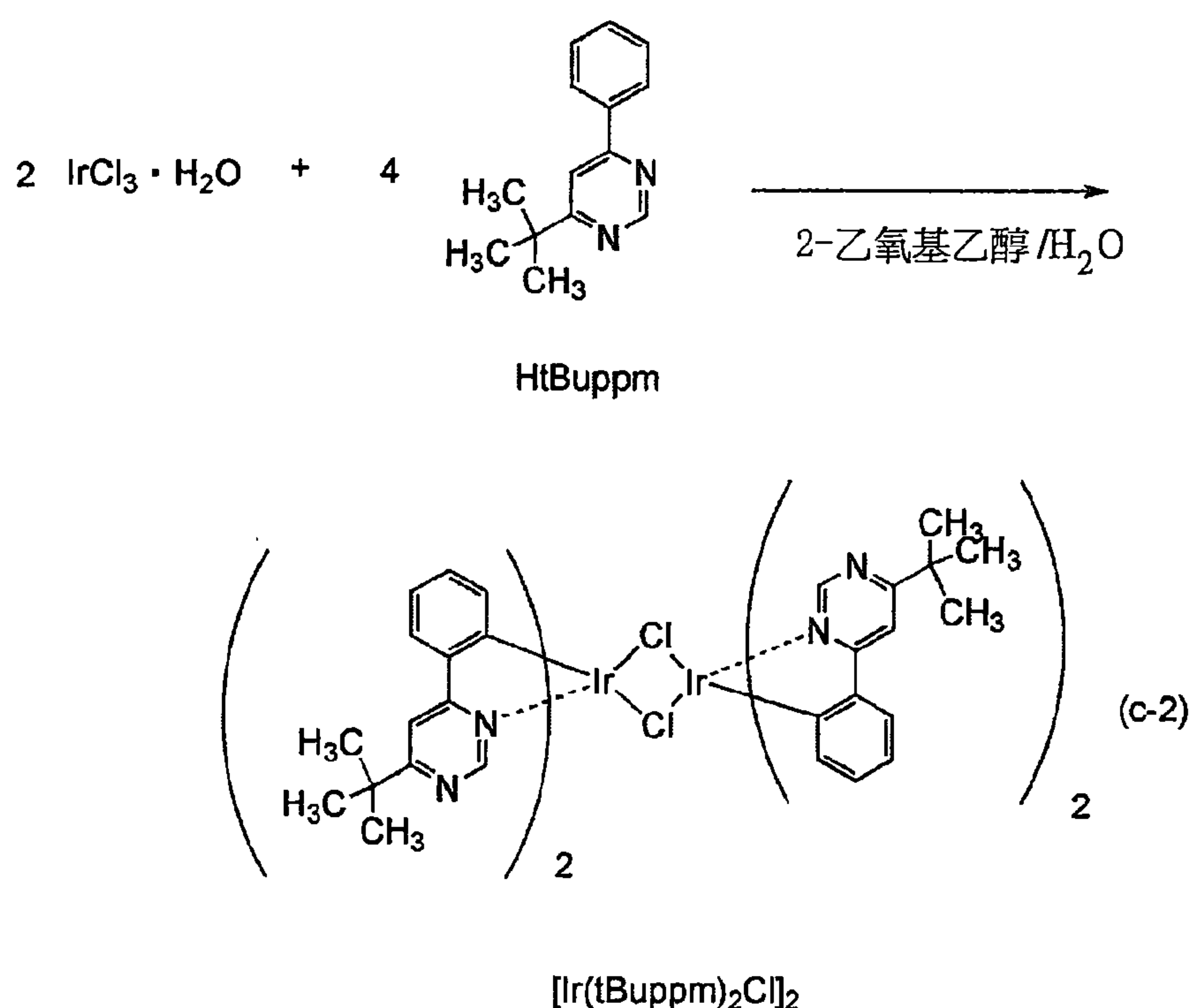
〈步驟 1：4-三級丁基-6-苯基嘓啖(縮寫：HtBuppm)的合成〉

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為氮氣。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層析法使用己烷：乙酸乙酯=10:1(體積比)作為展開溶劑來純化。結果，得到嘓啖衍生物 HtBuppm (無色油狀物質，產率 14%)。步驟 1 的合成方案(c-1)顯示如下。



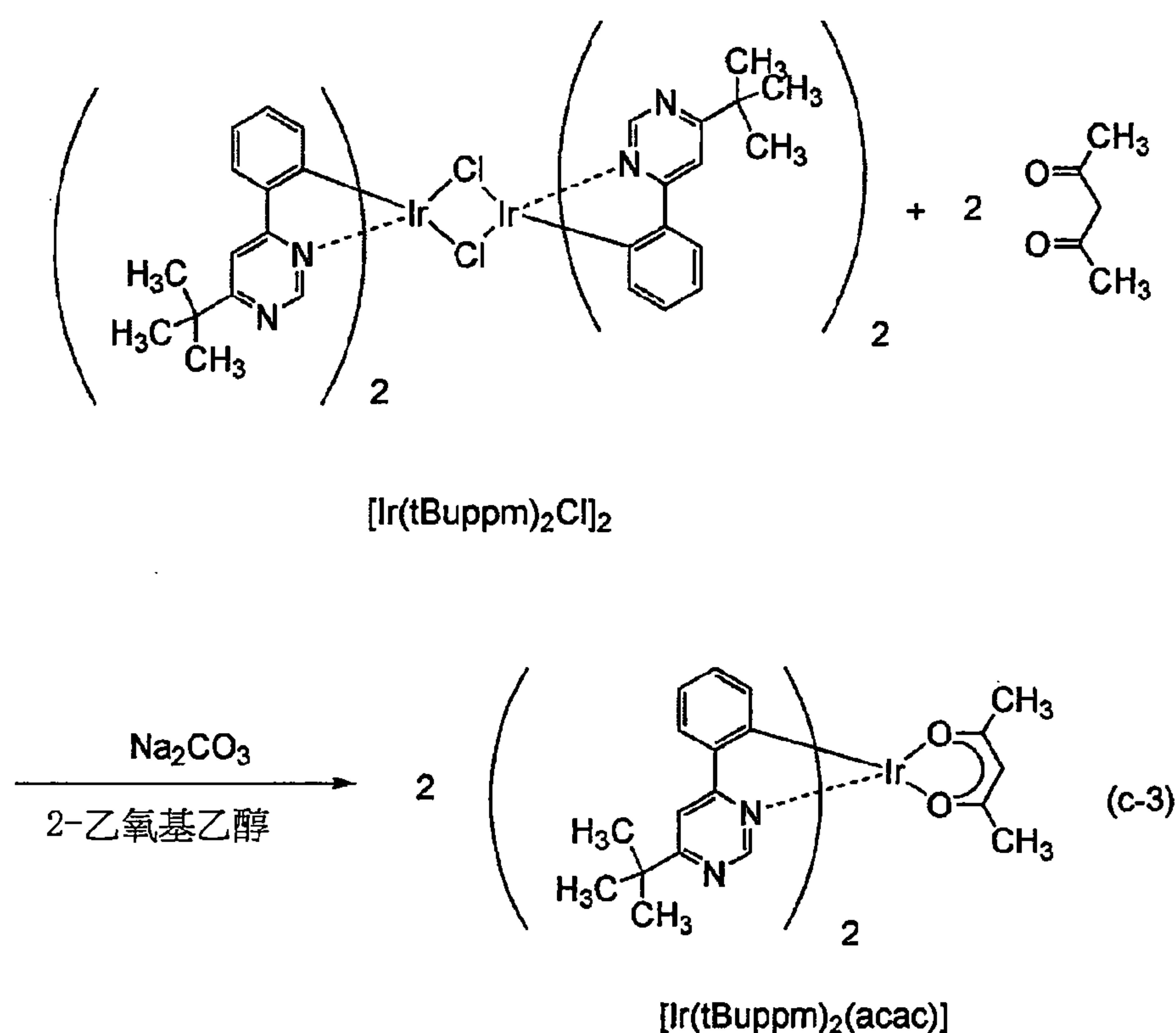
〈步驟 2：二- μ -氯-雙[雙(6-三級丁基-4-苯基嘓啖根)銱(III)](縮寫： $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2\text{Cl}]_2$)的合成〉

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 氯化銱水合物($\text{IrCl}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$)，且將燒瓶中的空氣替換為氬氣。然後，進行使用微波(2.45GHz，100 W)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 $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2\text{Cl}]_2$ (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(6-三級丁基-4-苯基嘓啖根)銱(III) (縮寫： $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$)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 $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2\text{Cl}]_2$ 、0.36g 乙醯丙酮和 1.27g 碳酸鈉，且將燒瓶中的空氣替換為氫氣。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為目的物的黃色粉末(產率 68%)。步驟 3 的合成方案(c-3)顯示如下。

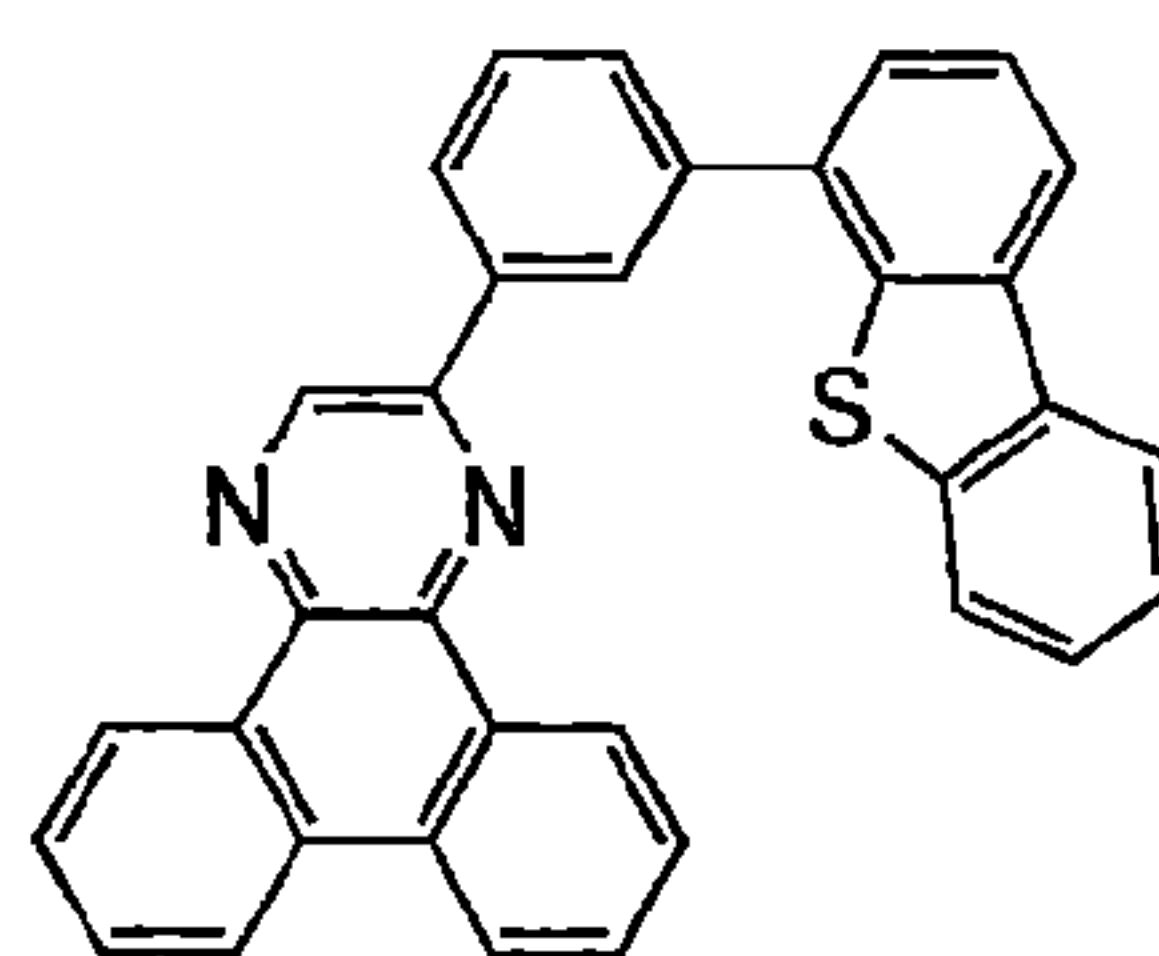


上述步驟 3 得到的黃色粉末的核磁共振譜(^1H NMR)的分析結果顯示如下。從上述結果可知得到有機金屬錯合物 $[\text{Ir}(\text{tBuppm})_2(\text{acac})]$ 。

^1H NMR. $\delta(\text{CDCl}_3)$: 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)

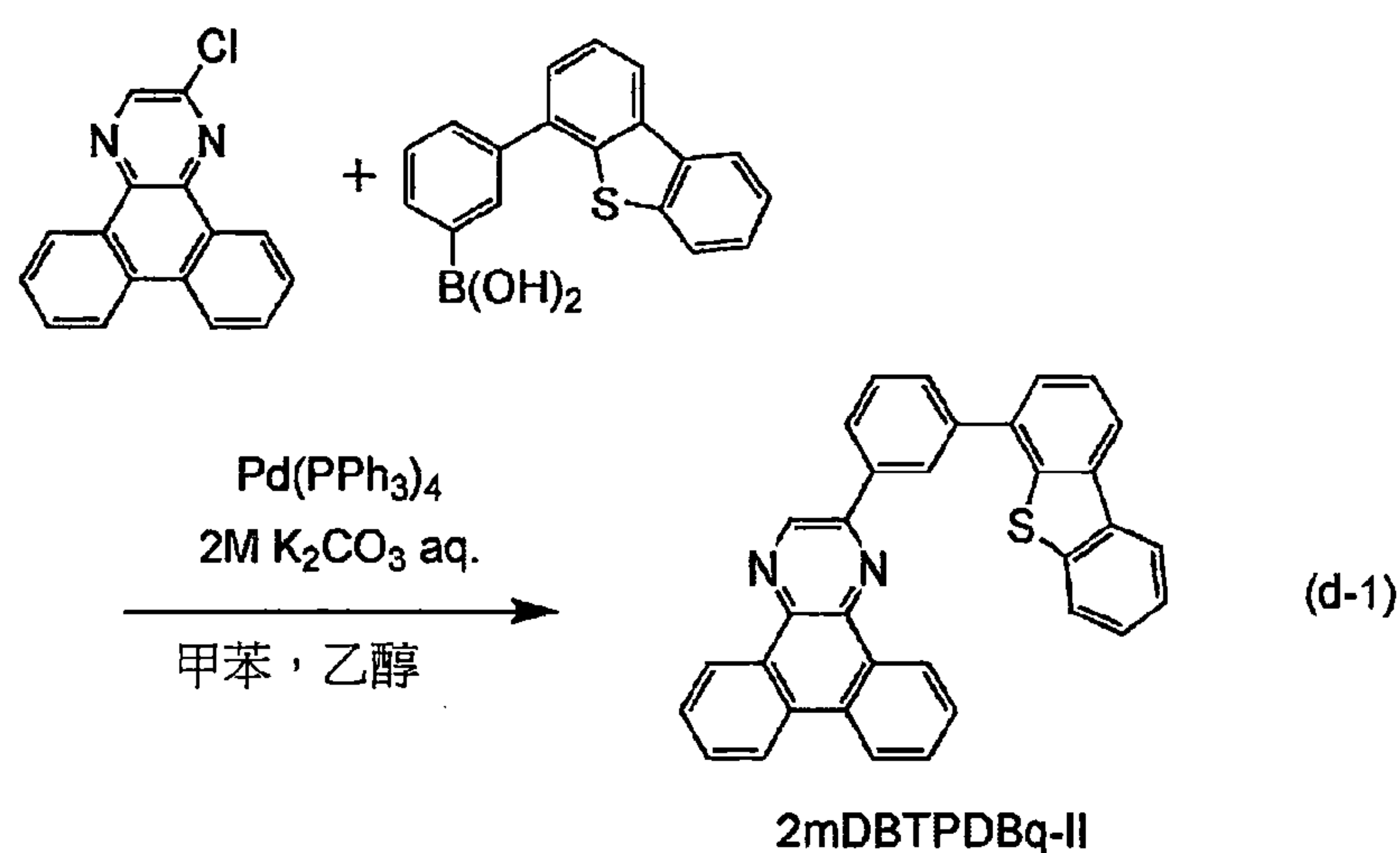
下述說明上述實施例使用的 2-[3-(二苯並噻吩-4-基)苯基]二苯並[f,h]喹啉(縮寫：2mDBTPDBq-II)的合成方法。



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]喹啉(縮寫：2mDBTPDBq-II)的合成方案(d-1)顯示如下。



在 2L 三頸燒瓶中放入 5.3g (20 毫莫耳) 2-氯二苯並 [f,h] 喹啉、6.1g (20 毫莫耳) 3-(二苯並噻吩-4-基) 苯基硼酸、460mg (0.4 毫莫耳) 四(三苯基膦)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為氮氣。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 矽膠的柱層析法純化。該層析法使用熱甲苯作為展開溶劑進行。將丙酮和乙醇加到在此得到的固體中，接著用超音波照射。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，可以藉由上述簡單方法高收率地合成。明確地，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，由此可容易去除大部分雜質。此外，藉由將熱甲苯作為展開溶劑的柱層析法，能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。在壓力為 5.0Pa，且氬流量為 5 mL/分鐘的條件下，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 作為目的物的白色粉末，產率 88%。

使用核磁共振譜(^1H NMR)確認該化合物為目的物 2-[3-(二苯並噻吩-4-基)苯基]二苯並[f,h]喹啉(縮寫：2mDBTPDBq-II)。

下述示出所得到的物質的 ^1H NMR 資料。

^1H 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, $J=7.8\text{Hz}$, 1H), 8.65(d, $J=7.5\text{Hz}$, 2H), 8.77-8.78(m, 1H), 9.23(dd, $J=7.2\text{Hz}$, 1.5Hz, 1H), 9.42(dd, $J=7.8\text{Hz}$, 1.5Hz, 1H), 9.48(s, 1H)。

本申請案係基於 2011 年 2 月 16 日向日本特許廳提出申請之日本專利申請案號 2011-031426，該專利申請案之全部內容係併入本文作為參考。

【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，其包含：

一對電極；及

介於該對電極間包含客體材料及主體材料的發光層，

其中該主體材料的發射光譜與該客體材料的吸收光譜中最長波長側吸收帶重疊，

其中該主體材料為包含呋唑化合物的混合材料，且

其中該呋唑化合物包含呋唑-3-基基團。

2. 一種發光元件，其包含：

一對電極；及

介於該對電極間包含客體材料及主體材料的發光層，

其中該主體材料的發射光譜與該客體材料的吸收光譜中最長波長側吸收帶重疊，

其中該主體材料為包含呋唑化合物的混合材料，該呋唑化合物包括第一呋唑環和第二呋唑環，且

其中該第一呋唑環於第3位置與該第二呋唑環於第3位置鍵結。

3. 一種發光元件，其包含：

一對電極；及

介於該對電極間包含客體材料及主體材料的發光層，

其中該主體材料的發射光譜與該客體材料的吸收光譜中最長波長側吸收帶重疊，

其中該主體材料為包含呋唑化合物的混合材料，且

其中該呋唑化合物包含2個呋唑環。

4. 一種發光元件，其包含：

一對電極；及

介於該對電極間包含客體材料及主體材料的發光層，

其中該主體材料的發射光譜與該客體材料的吸收光譜中最長波長側吸收帶重疊，且

其中該最長波長側吸收帶的峰波長係介於 490nm 至 530nm。

5. 一種發光元件，其包含：

一對電極；及

介於該對電極間包含客體材料及主體材料的發光層，

其中該客體材料的吸收光譜包含第一吸收峰和第二吸收峰，

其中該第一吸收峰位於該客體材料的吸收光譜中最長波長側吸收帶，

其中該第二吸收峰位於該吸收光譜中比該第一吸收峰的較短波長側，

其中該第二吸收峰鄰接該第一吸收峰，且

其中該主體材料的發射光譜的峰位於比該第二吸收峰的較長波長側。

6. 一種發光元件，其包含：

一對電極；及

介於該對電極間包含客體材料及主體材料的發光層，

其中該客體材料的吸收光譜包含第一吸收峰和第二吸收峰，

其中該第一吸收峰位於該客體材料的吸收光譜中最長波長側吸收帶，

其中該第二吸收峰位於該吸收光譜中比該第一吸收峰的較短波長側，

其中該第二吸收峰鄰接該第一吸收峰，且

其中該主體材料的發射光譜的峰比該第二吸收峰較接近該第一吸收峰。

7. 如申請專利範圍第1至3項中任一項之發光元件，其中該混合材料包含雜環化合物。

8. 如申請專利範圍第1至6項中任一項之發光元件，其另包含電洞注入層，其中該電洞注入層包含芳香族胺化合物和電子受體。

9. 如申請專利範圍第1至6項中任一項之發光元件，其另包含電洞傳輸層，其中該電洞傳輸層包含芳香族胺化合物，且其中該芳香族胺化合物包含萸基基團。

10. 如申請專利範圍第1至6項中任一項之發光元件，其中該等電極之一包含鏡。

11. 如申請專利範圍第1或2項之發光元件，其另包含電子注入層，其中該電子注入層包含鏡。

12. 如申請專利範圍第1至6項中任一項之發光元件，其中該最長波長側吸收帶係對應於自單重基態至三重激發態之直接轉移的吸收波長。

13. 如申請專利範圍第1至6項中任一項之發光元件，其中該主體材料的三重態激發能階高於該客體材料的三重

態激發能階。

14. 如申請專利範圍第 1 至 4 項中任一項之發光元件，其中該主體材料的螢光光譜和該主體材料的磷光光譜皆與該客體材料的吸收光譜中最長波長側吸收帶重疊。

15. 如申請專利範圍第 1 至 4 及 6 項中任一項之發光元件，其中該主體材料之發射光譜的峰能量值與該客體材料之吸收光譜中最長波長側吸收帶的峰能量值之間的差異為 0.2eV 或低於 0.2eV 。

16. 如申請專利範圍第 15 項之發光元件，其中該主體材料之發射光譜的峰能量值與該客體材料之吸收光譜中最長波長側吸收帶的峰能量值之間的差異為 0.1eV 或低於 0.1eV 。

17. 如申請專利範圍第 3 項之發光元件，其中該 2 個呋唑環彼此直接鍵結。

18. 如申請專利範圍第 5 或 6 項之發光元件，其中該主體材料的螢光光譜和該主體材料的磷光光譜皆與該客體材料的吸收光譜中最長波長側吸收帶重疊。

19. 如申請專利範圍第 5 項之發光元件，其中該主體材料之發射光譜的峰能量值與該客體材料之吸收光譜中最長波長側吸收帶的峰能量值之間的差異為 0.2eV 或低於 0.2eV 。

20. 如申請專利範圍第 19 項之發光元件，其中該主體材料之發射光譜的峰能量值與該客體材料之吸收光譜中最長波長側吸收帶的峰能量值之間的差異為 0.1eV 或低於

0.1 eV。

21. 一種發光元件，其包含：

一對電極；及

發光層，

其中該發光層包含客體材料及主體材料，且

其中該主體材料的螢光光譜和該主體材料的磷光光譜皆與該客體材料的吸收光譜中最長波長側吸收帶重疊。

22. 如申請專利範圍第21項之發光元件，其中該主體材料係一種類材料。

23. 如申請專利範圍第21項之發光元件，其中該主體材料係多種類材料。

24. 如申請專利範圍第21項之發光元件，其中該客體材料分散於該主體材料中。

25. 如申請專利範圍第21項之發光元件，其中該主體材料的三重態激發能階高於該客體材料的三重態激發能階。

26. 如申請專利範圍第21項之發光元件，其中實質上未觀察到源自該主體材料的螢光。

圖式

圖 1A

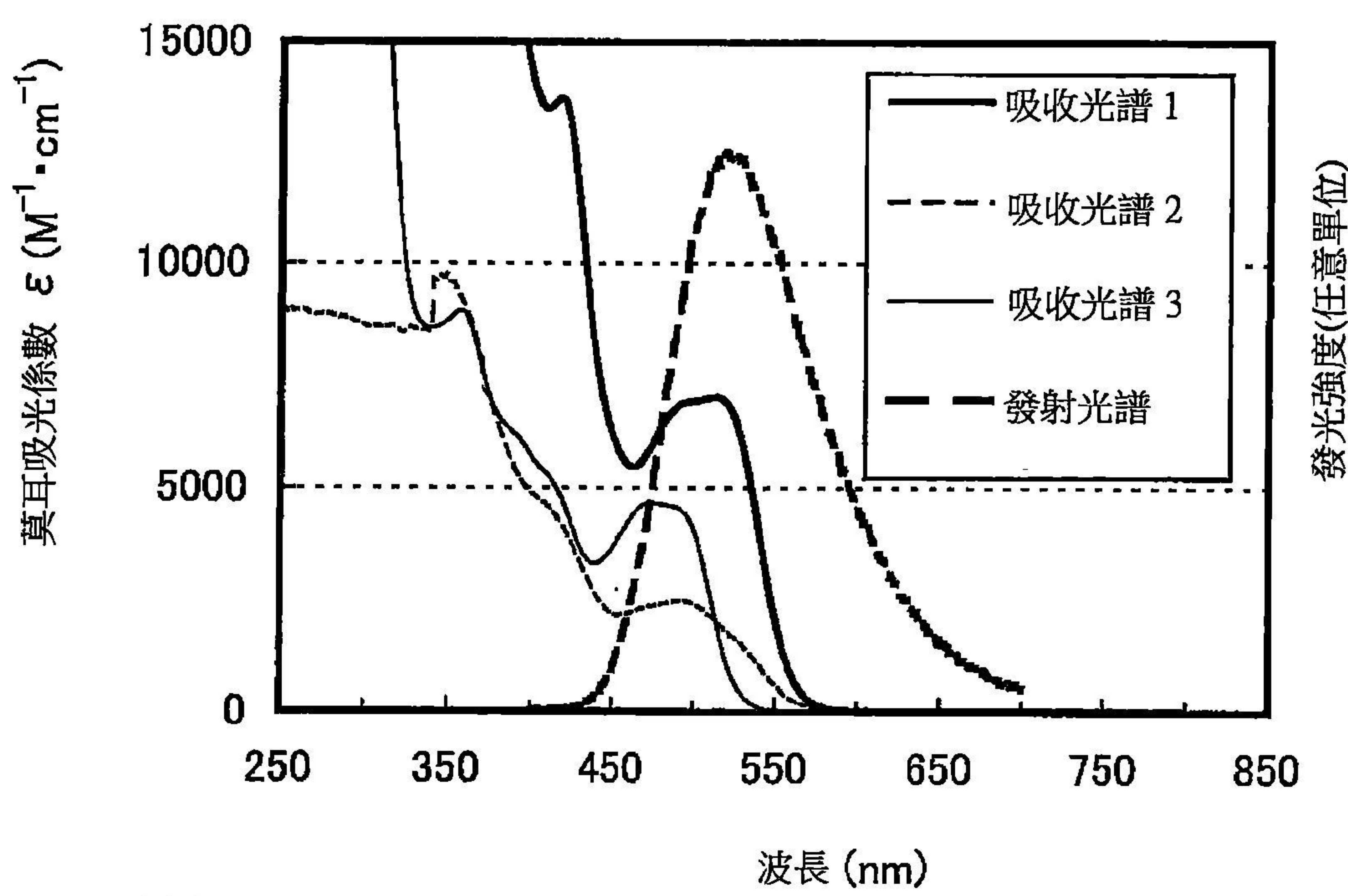


圖 1B

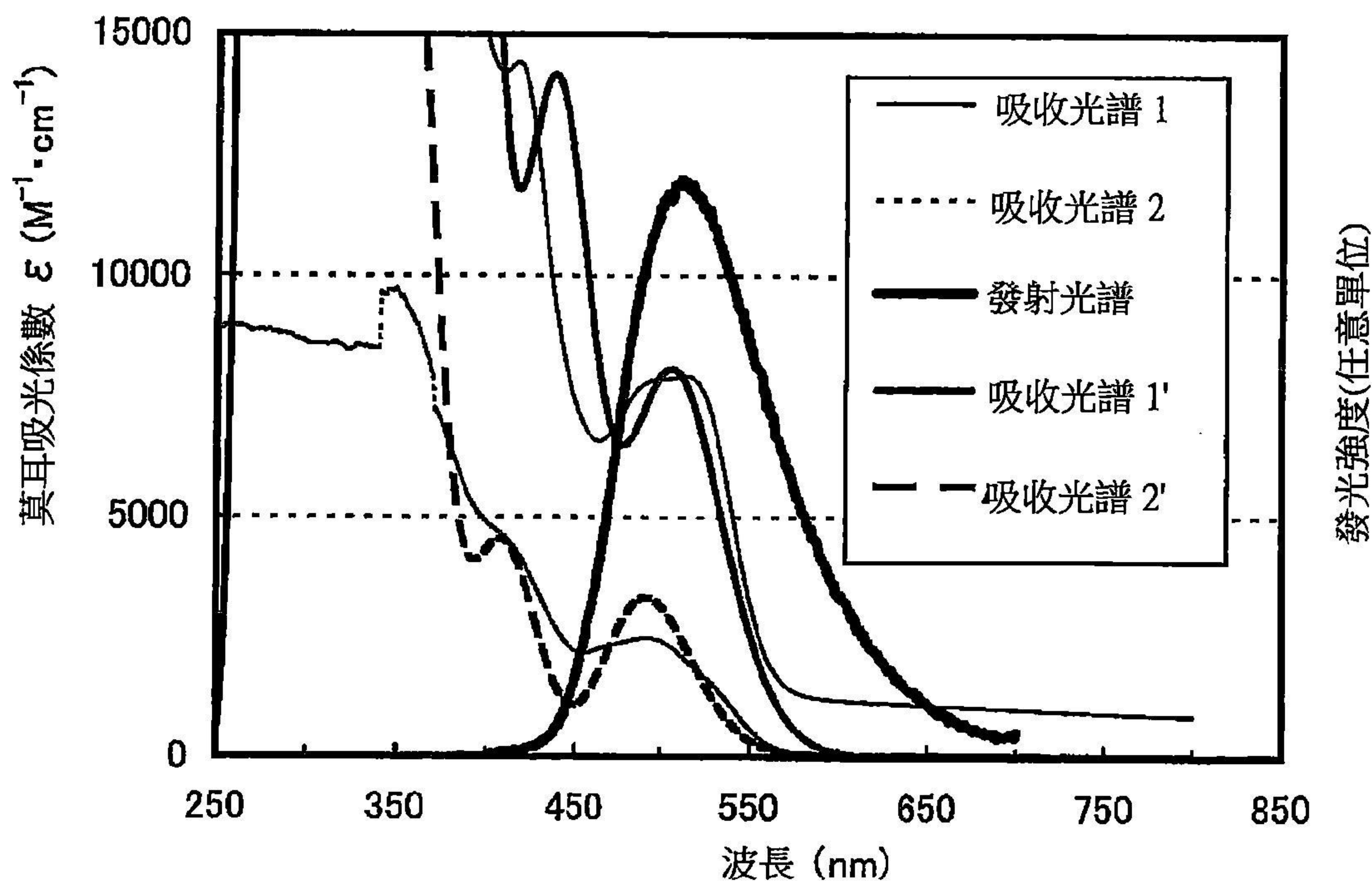


圖2

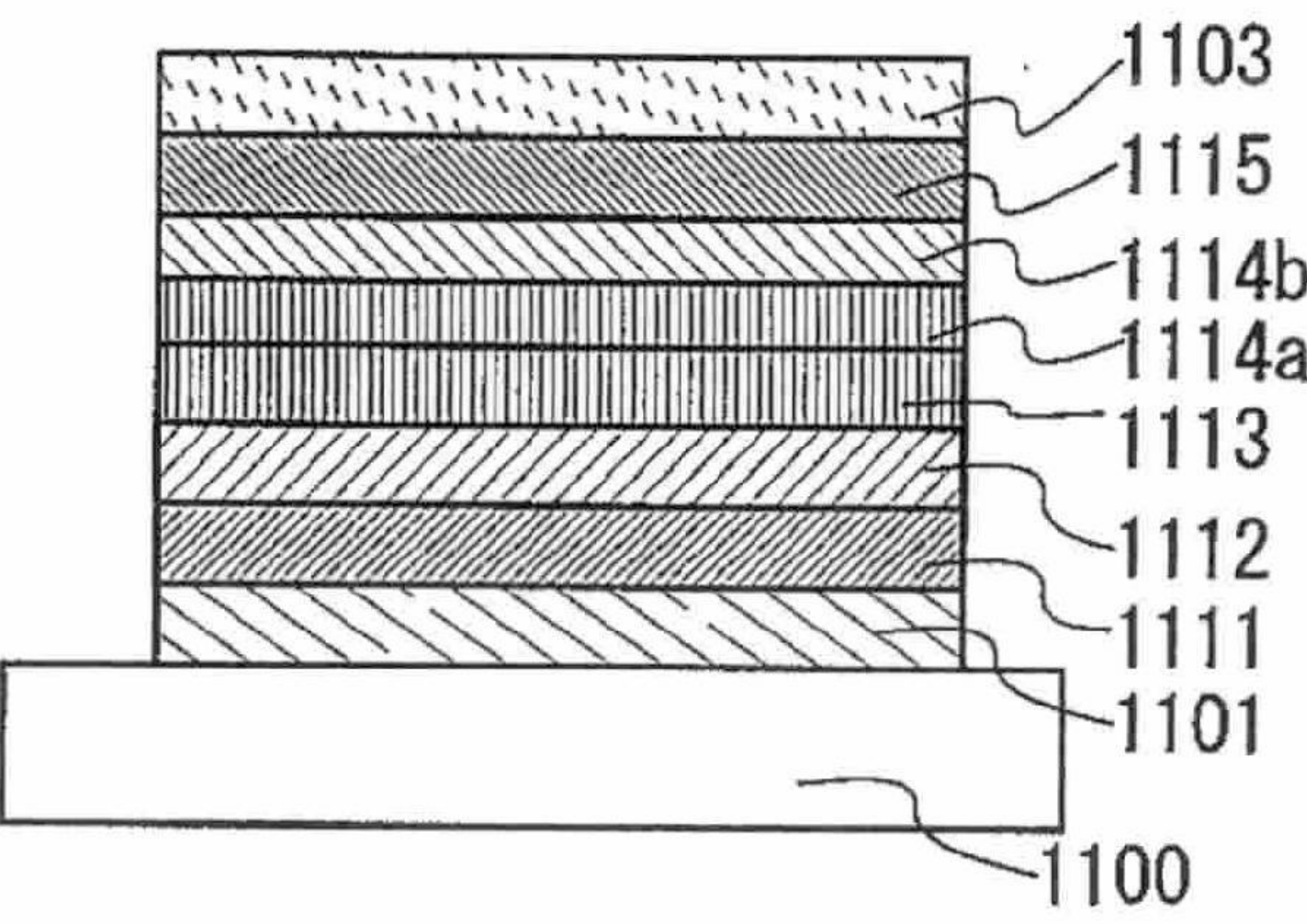


圖3

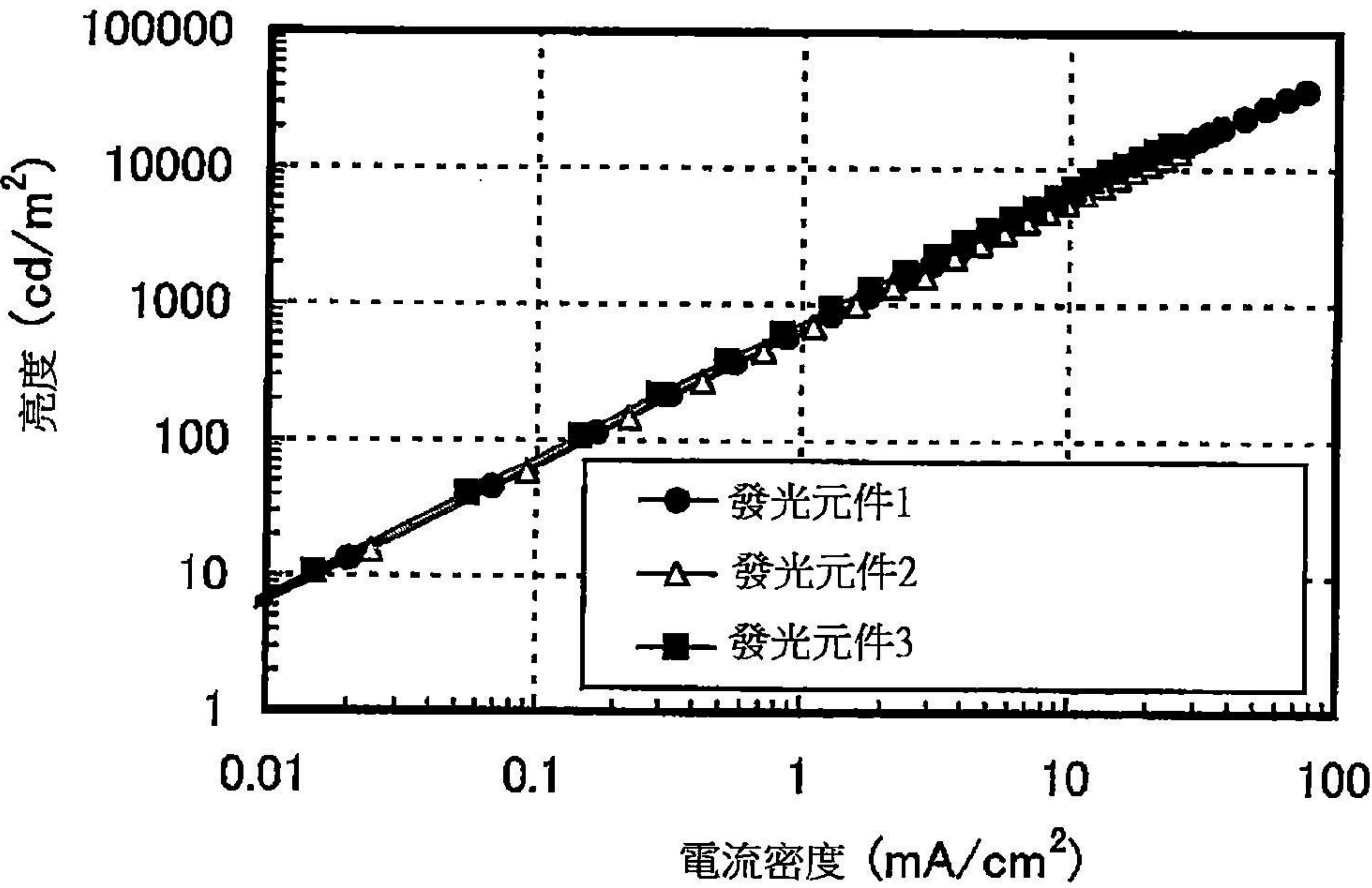


圖4

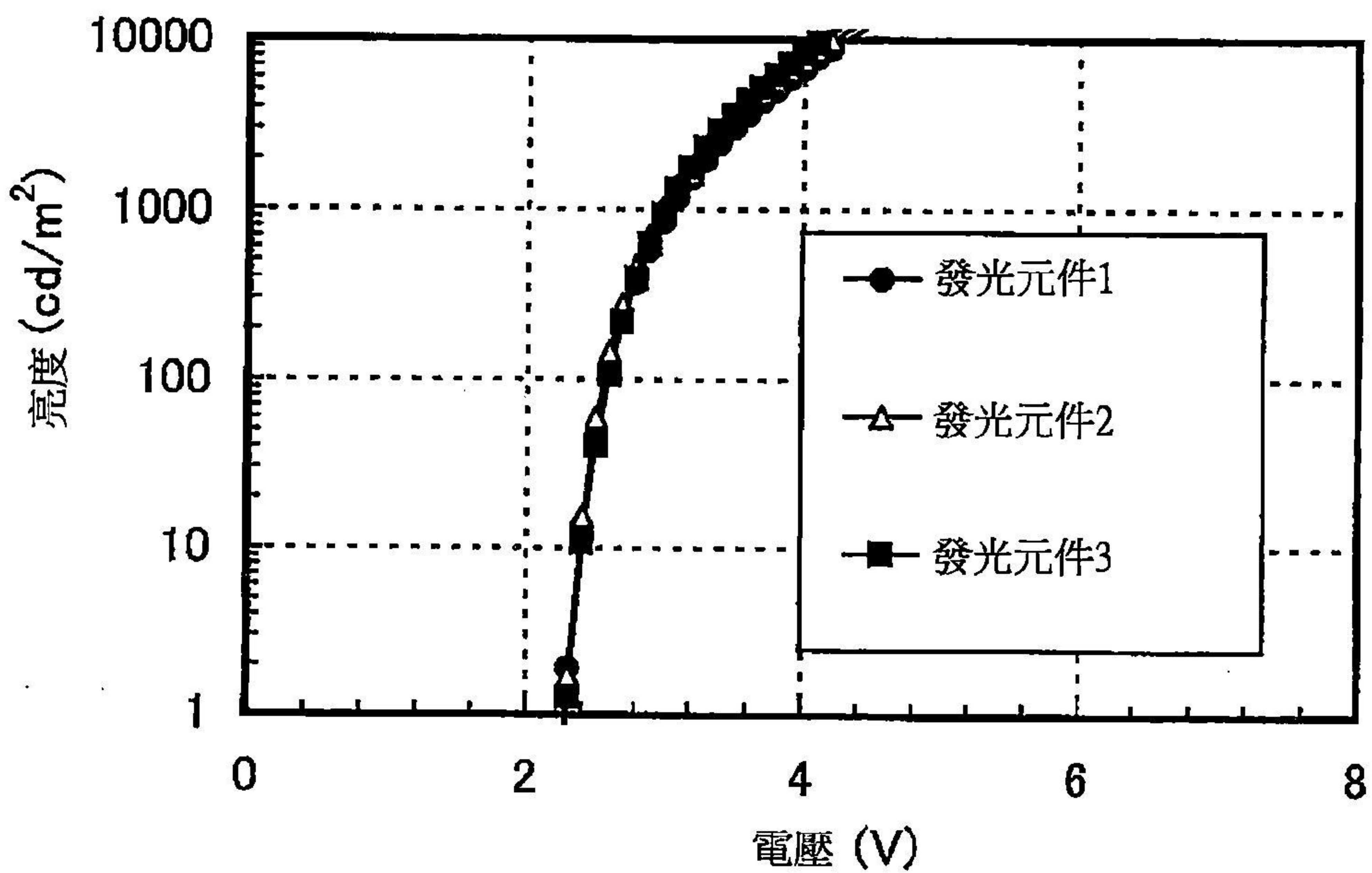


圖5

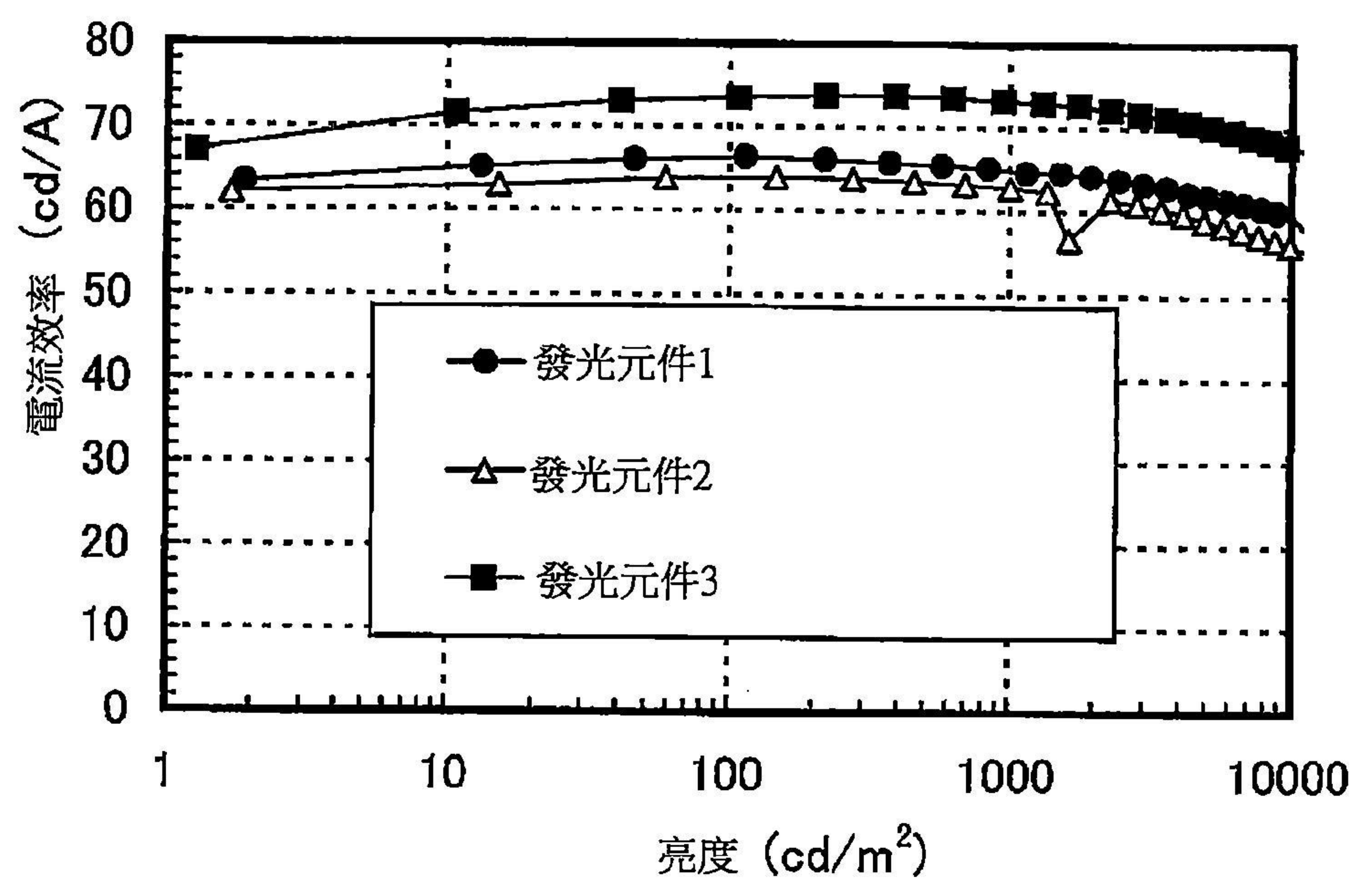


圖6

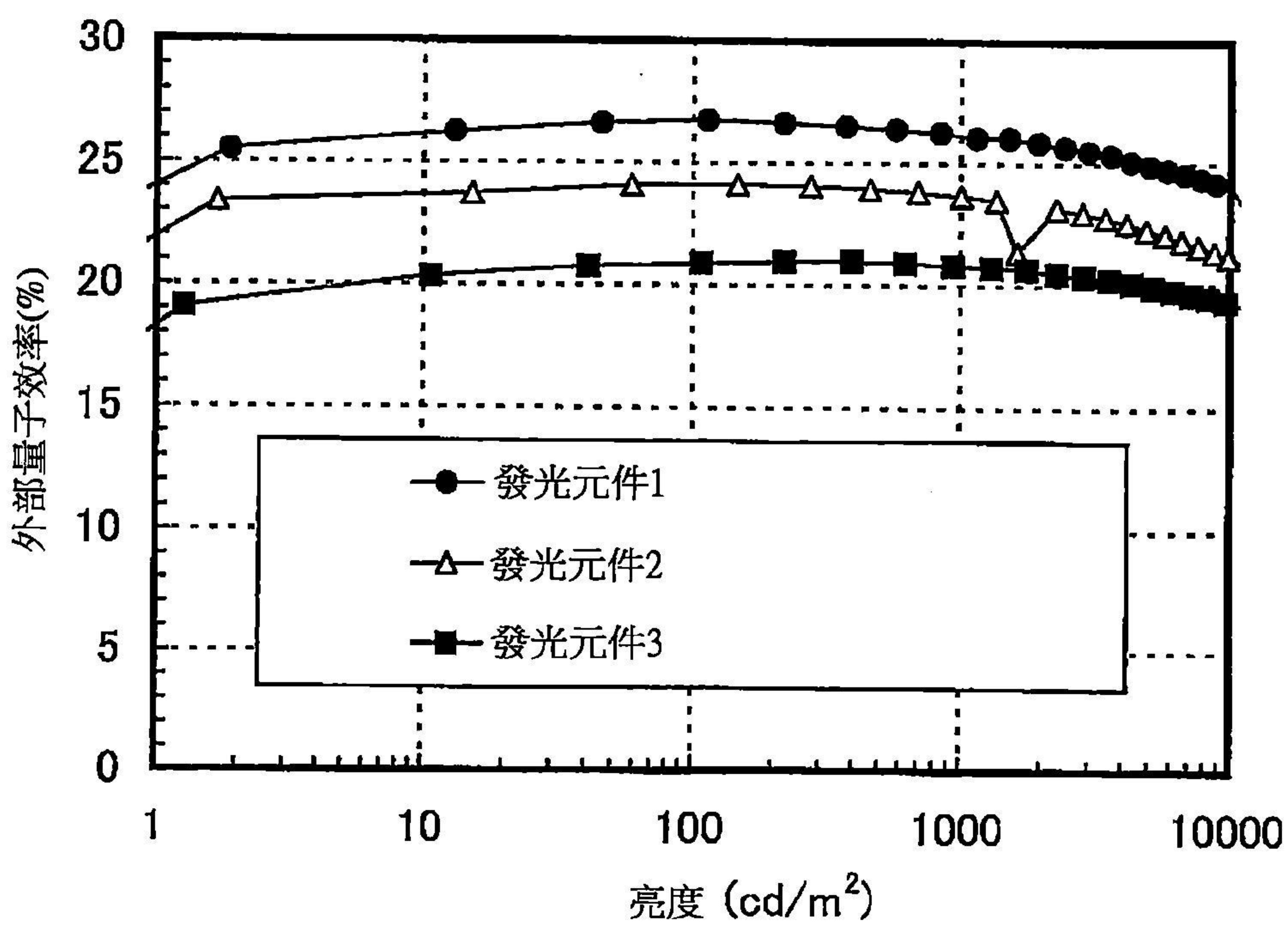


圖7

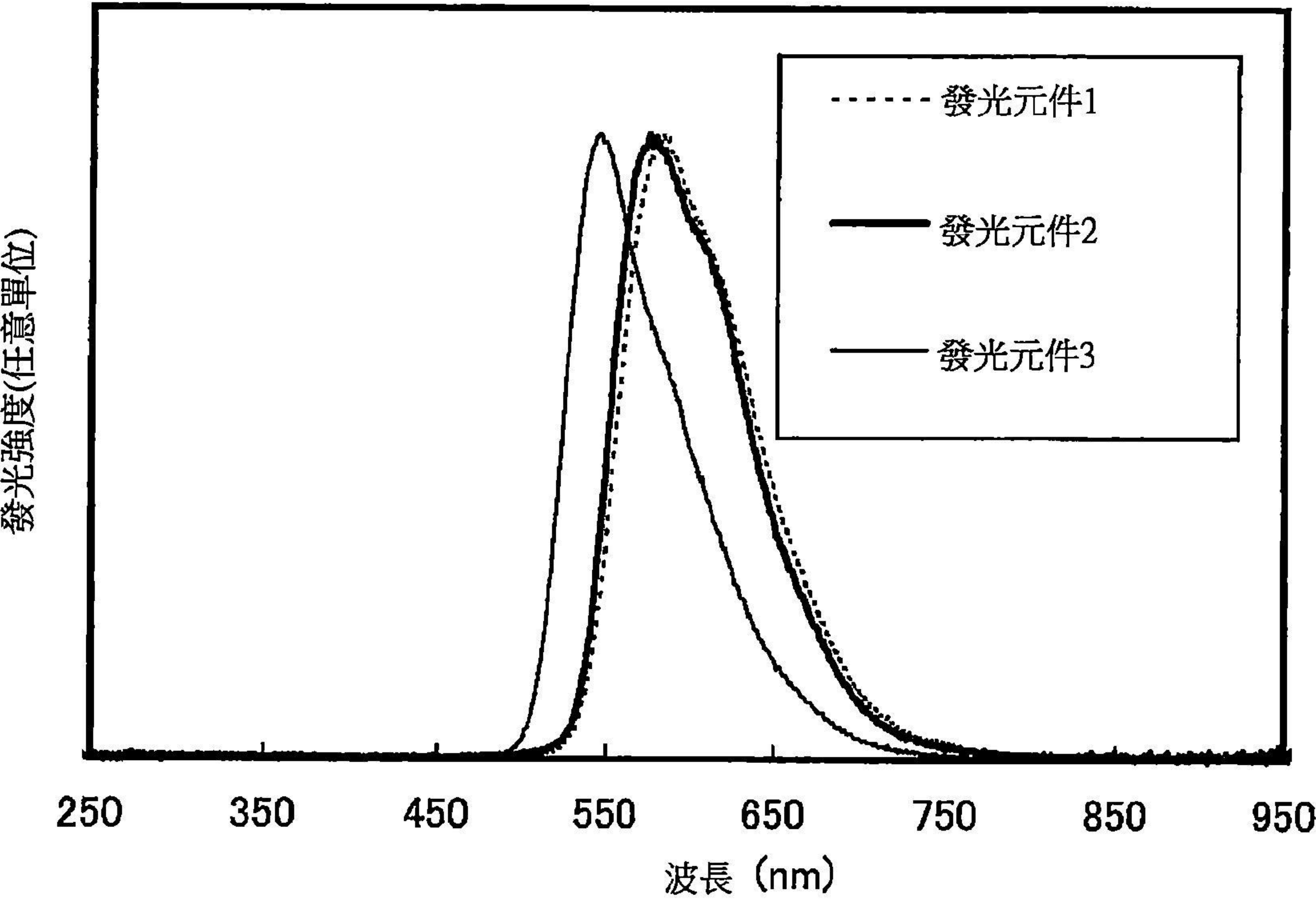


圖 8

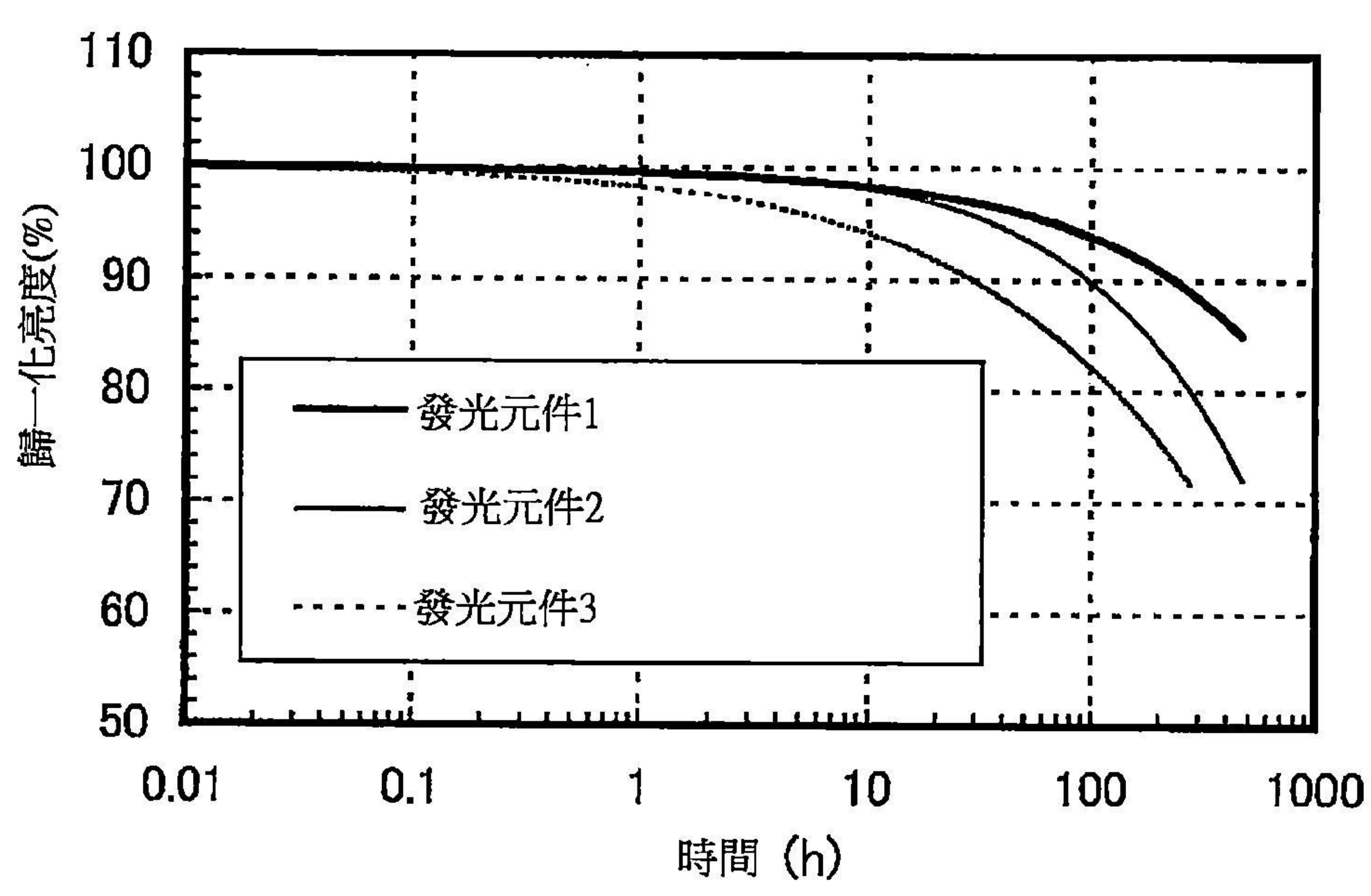


圖 9

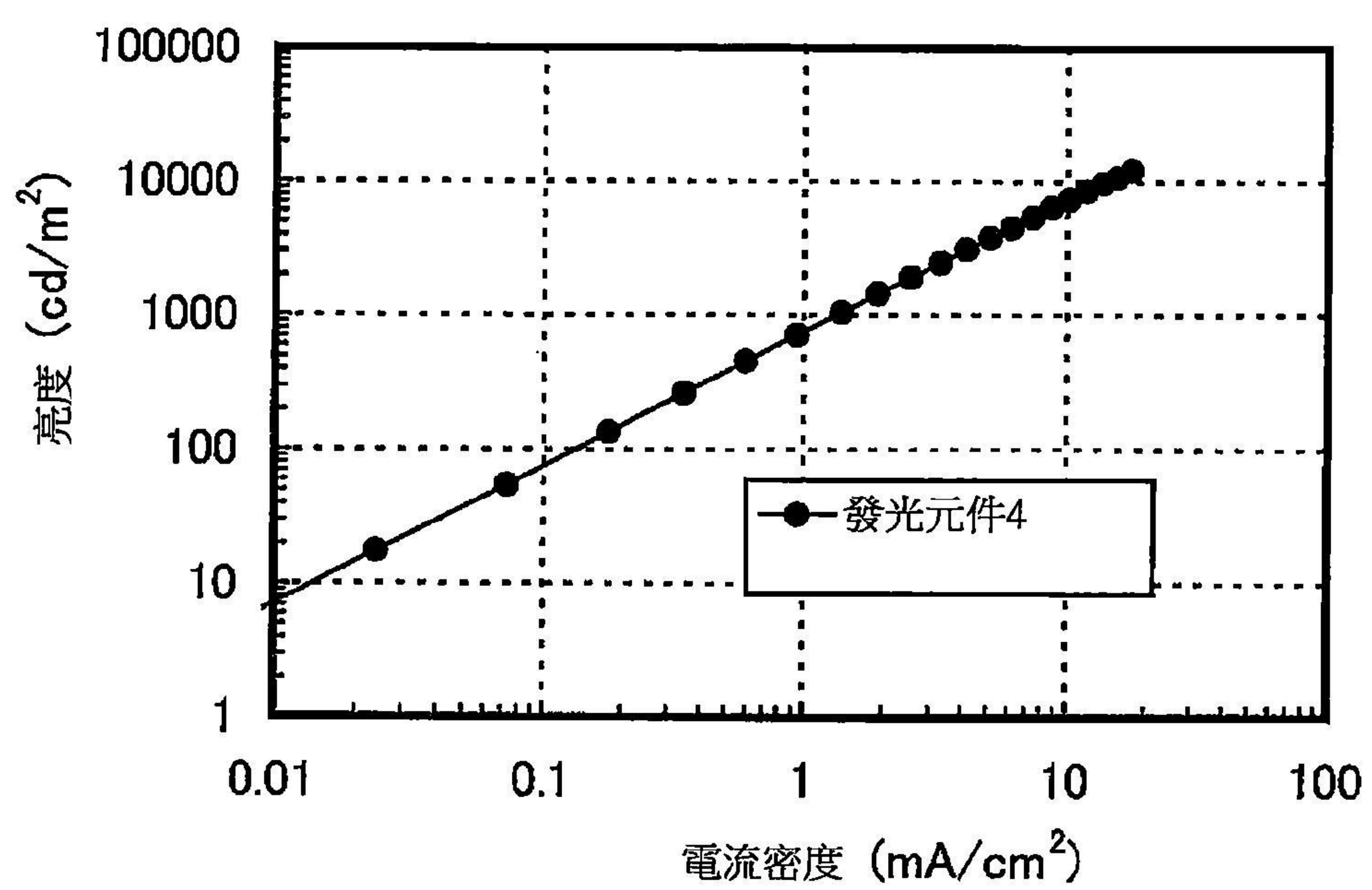


圖 10

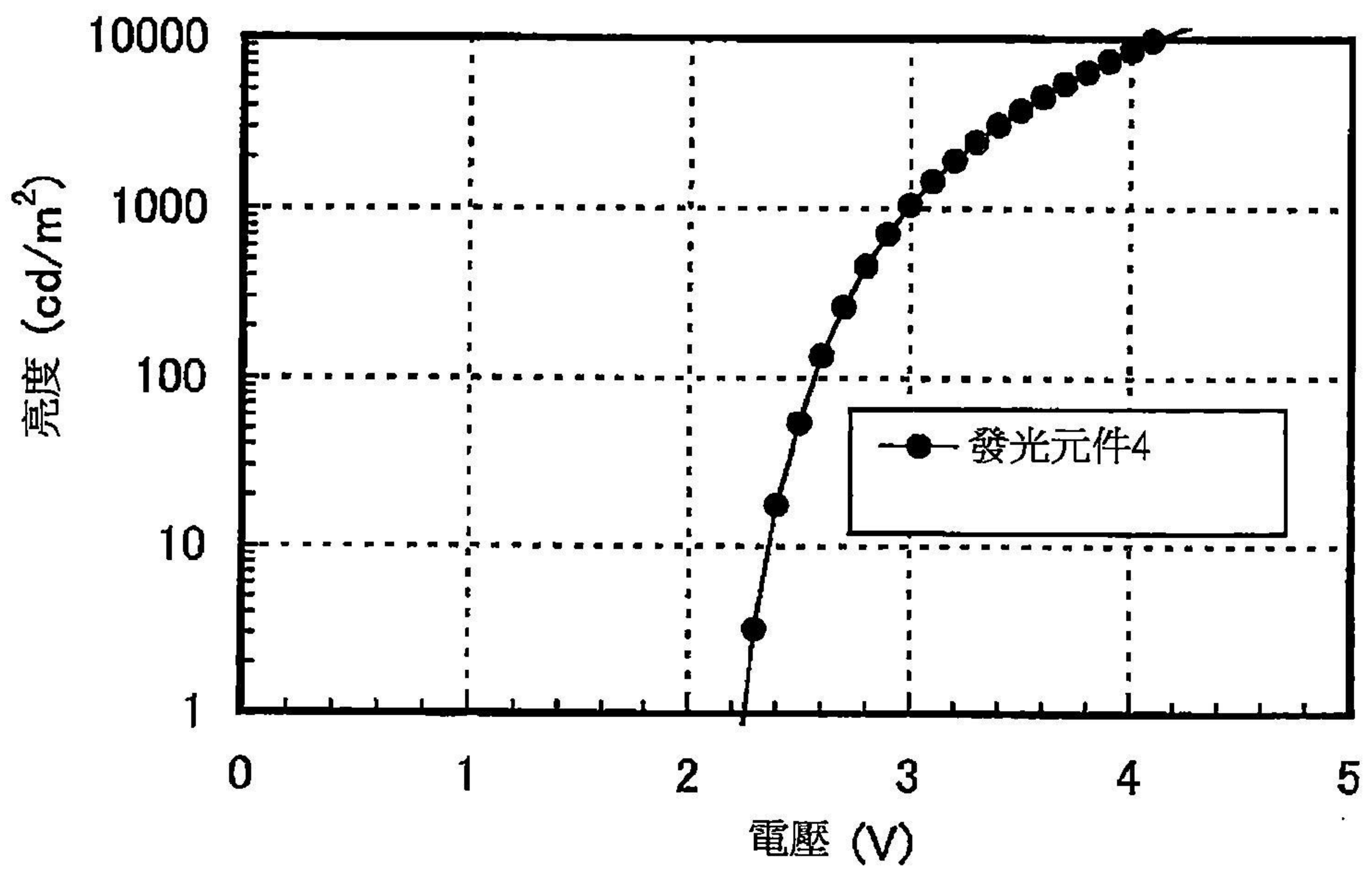


圖 11

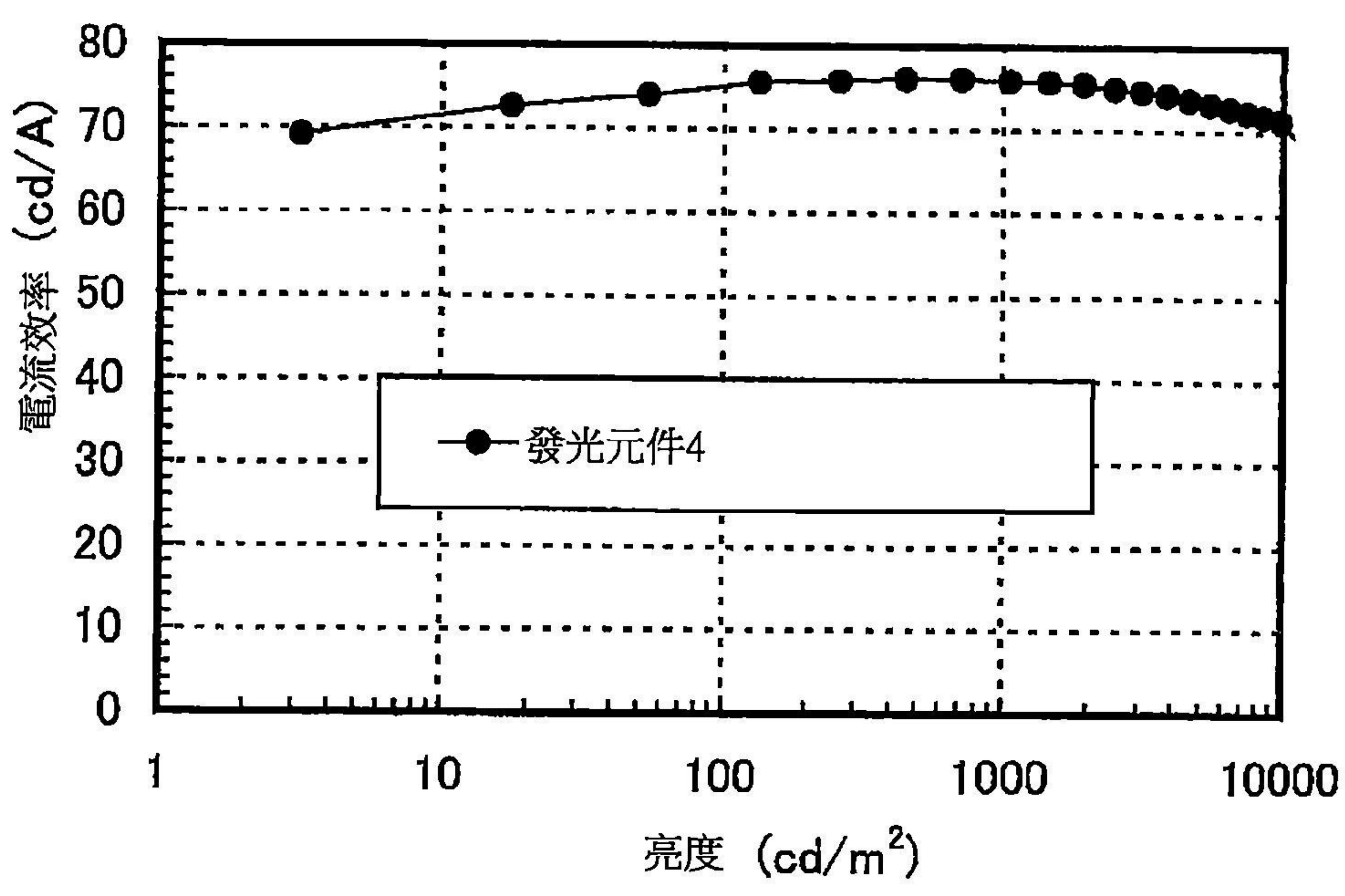


圖 12

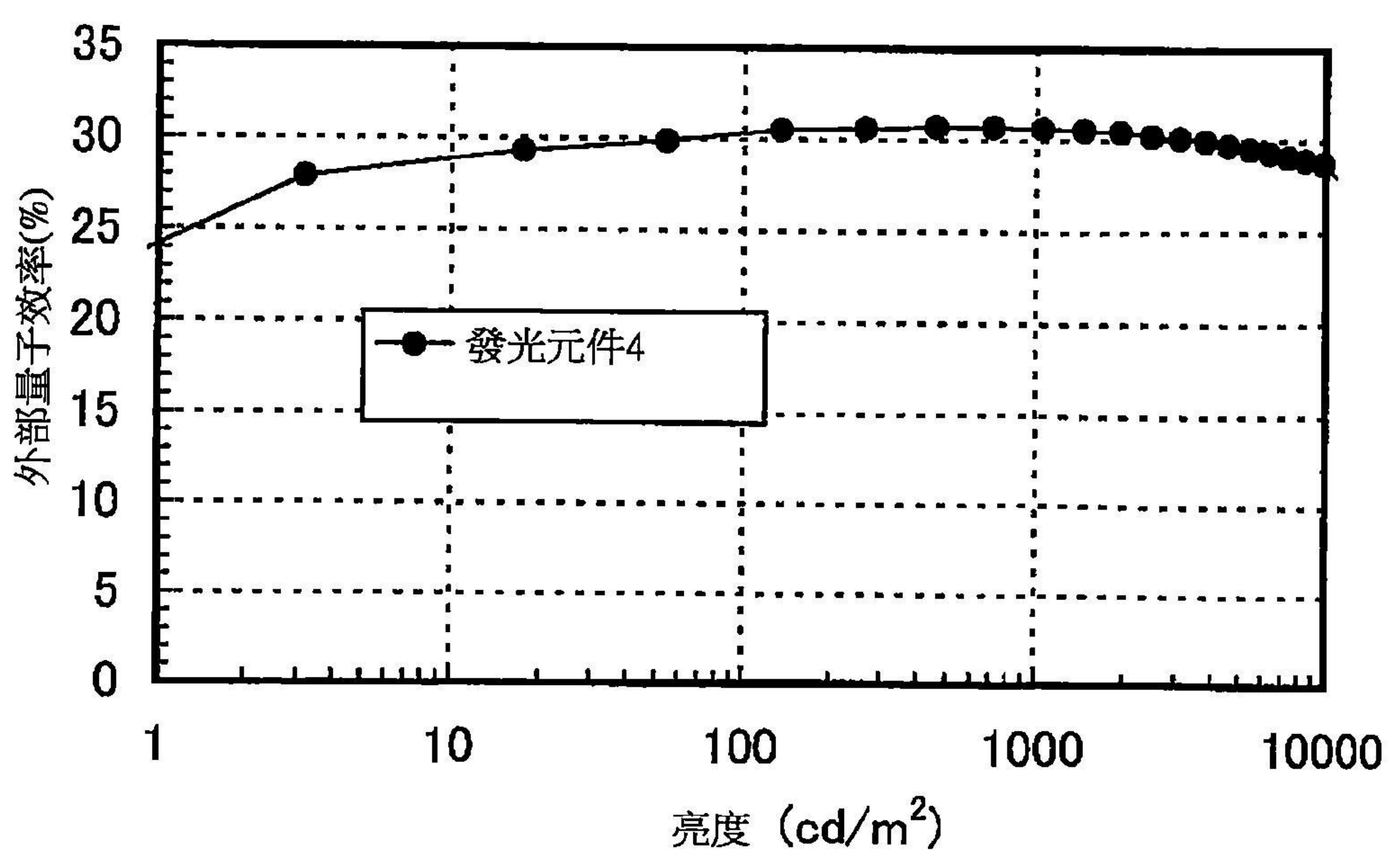


圖 13

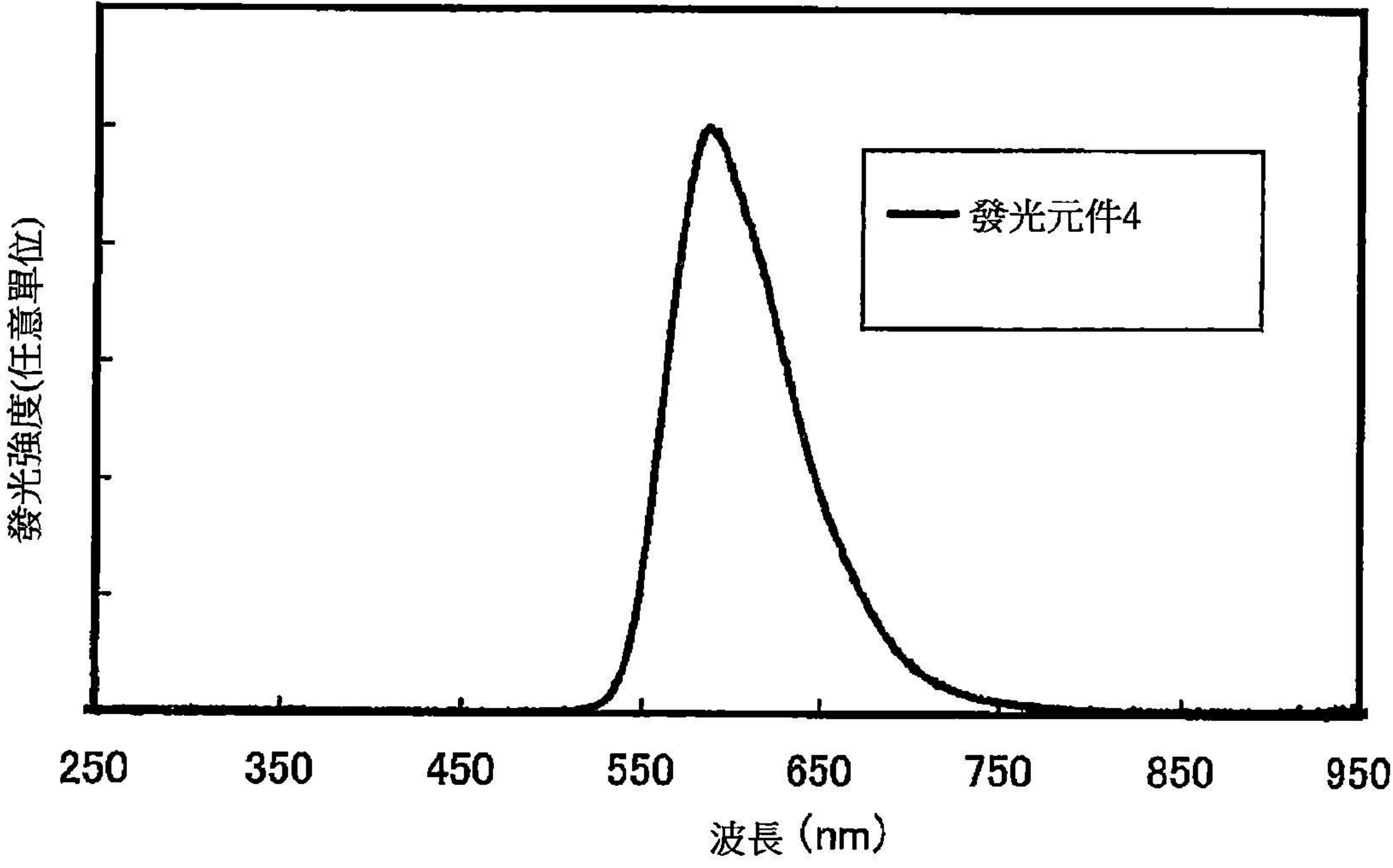


圖 14

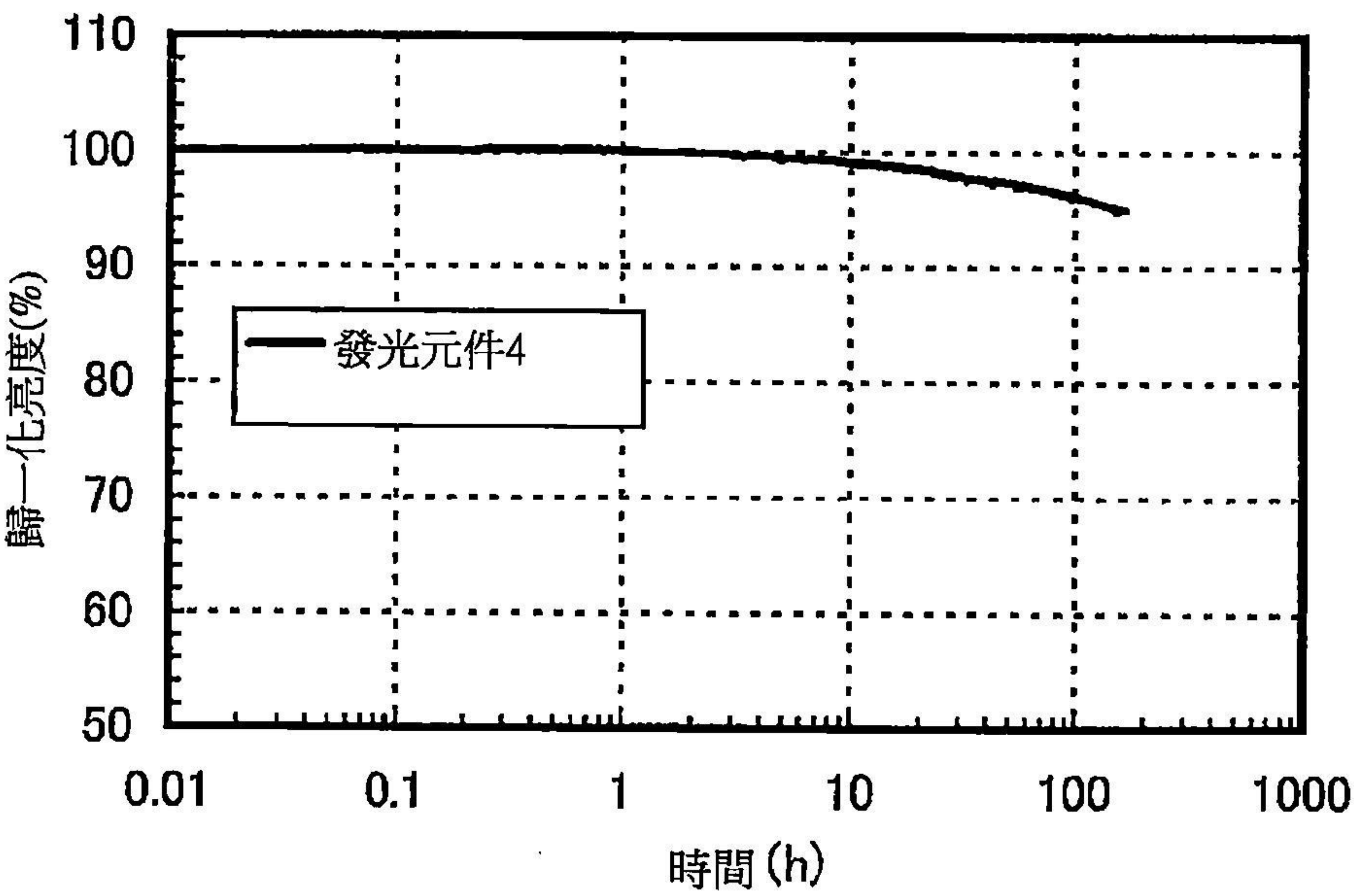


圖 15A

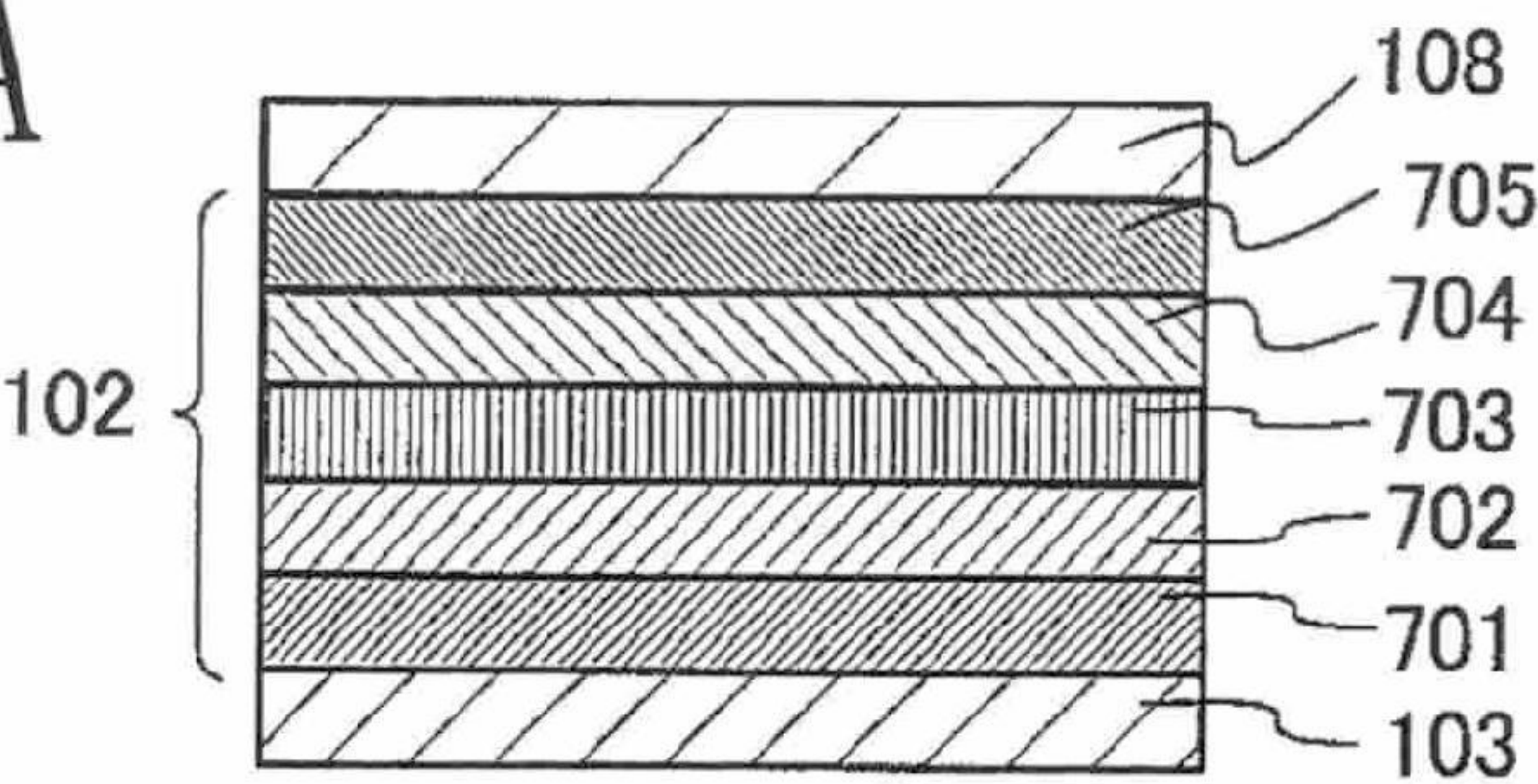


圖 15B

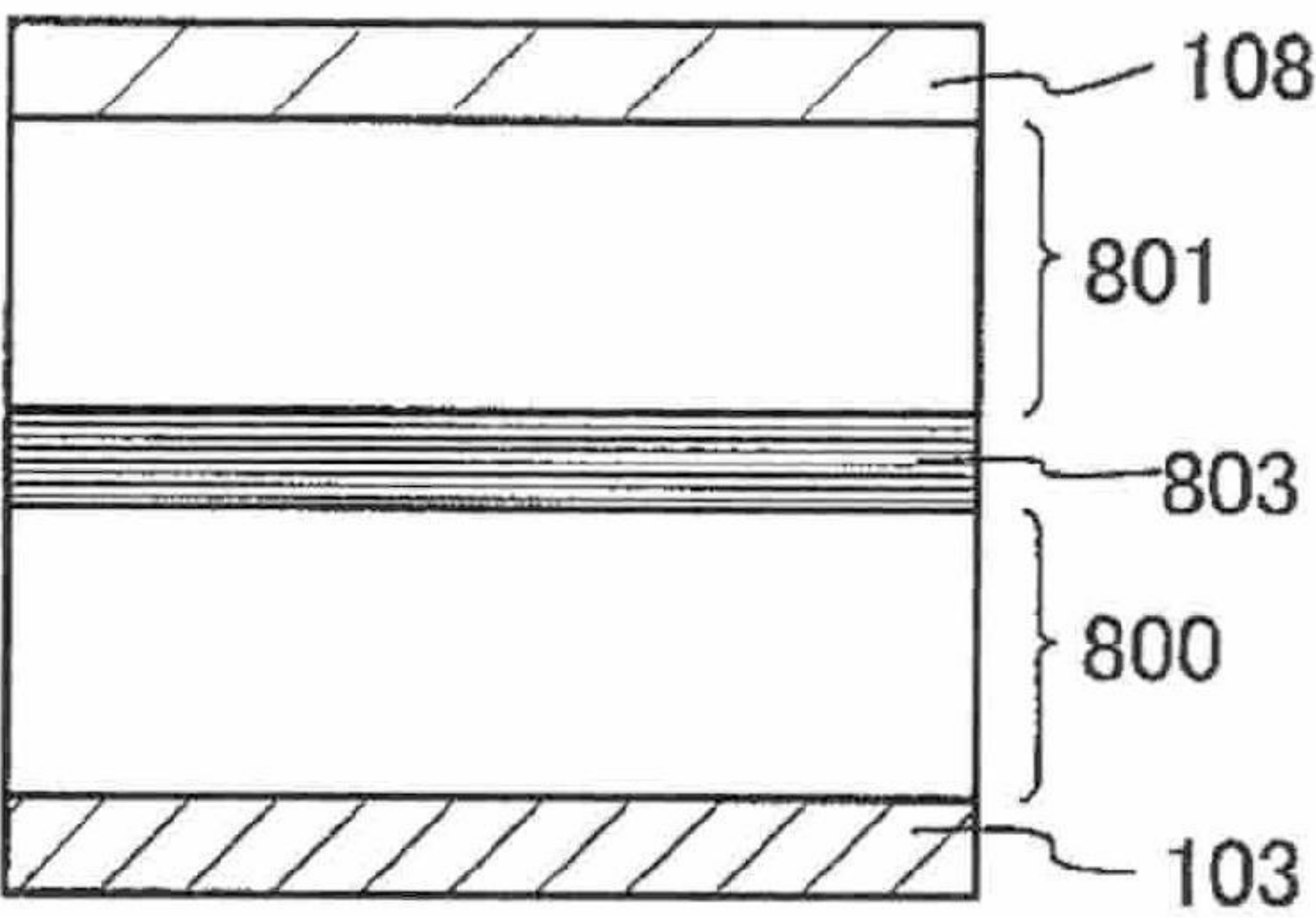


圖 15C

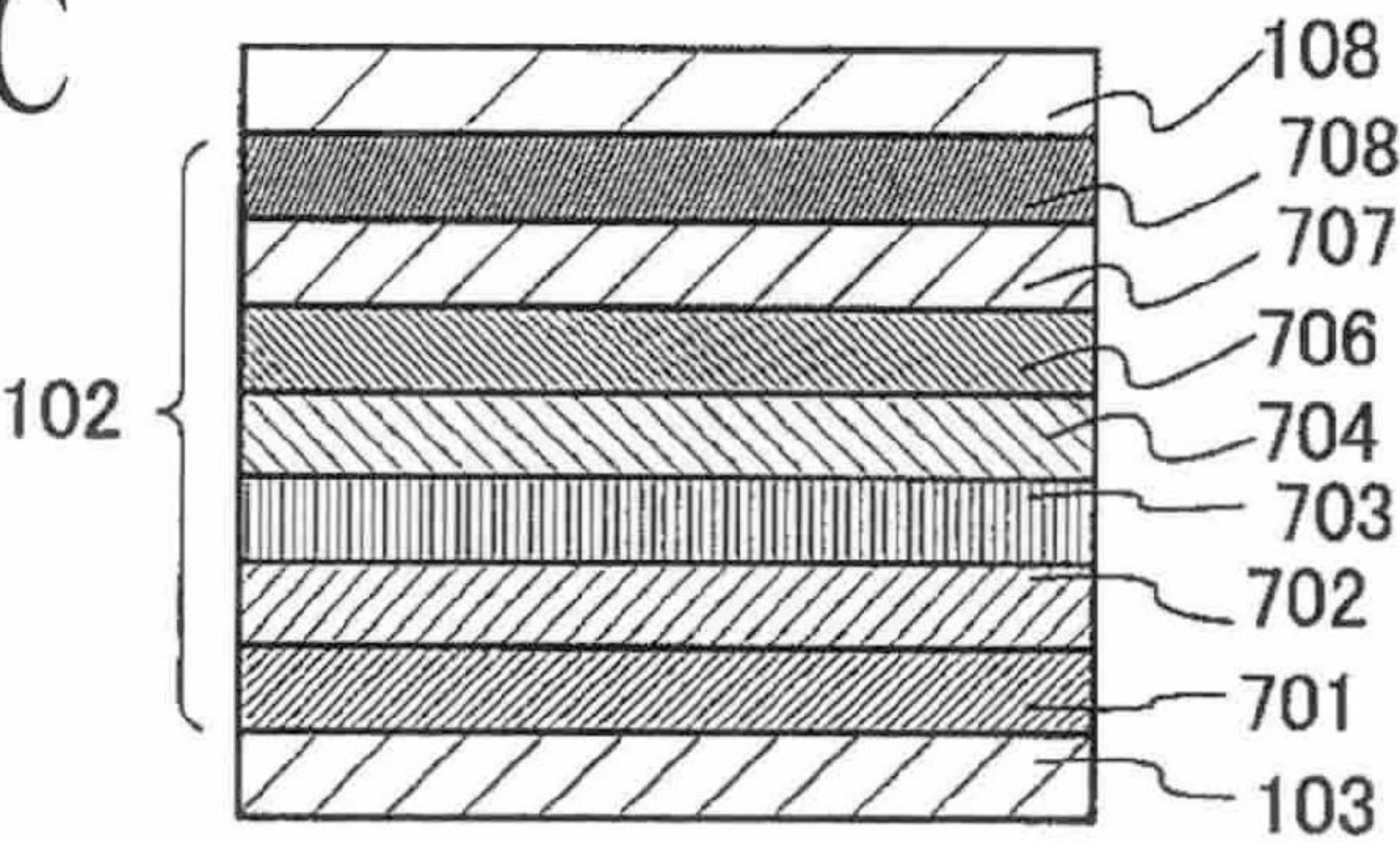


圖 16

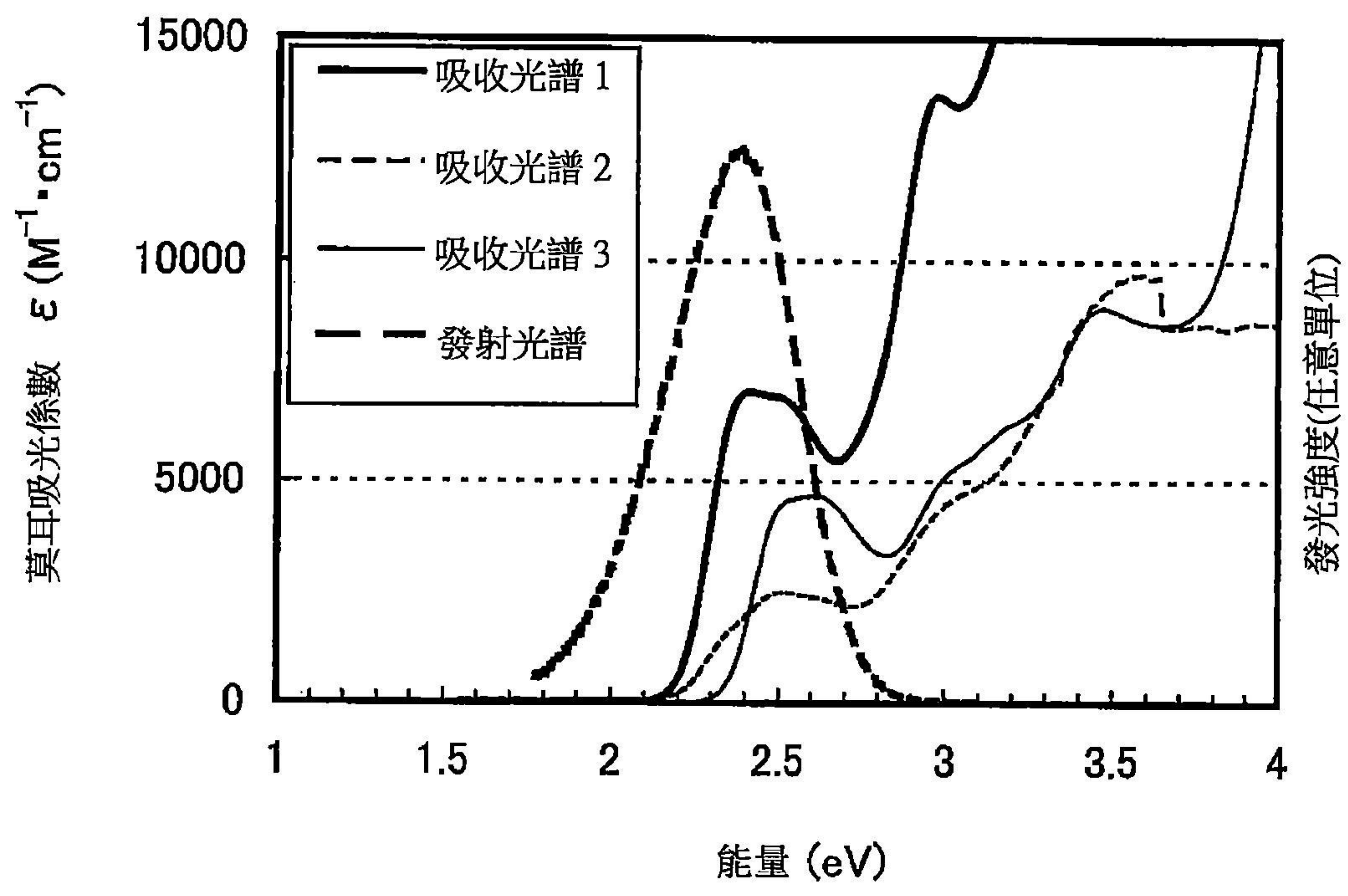


圖 17A

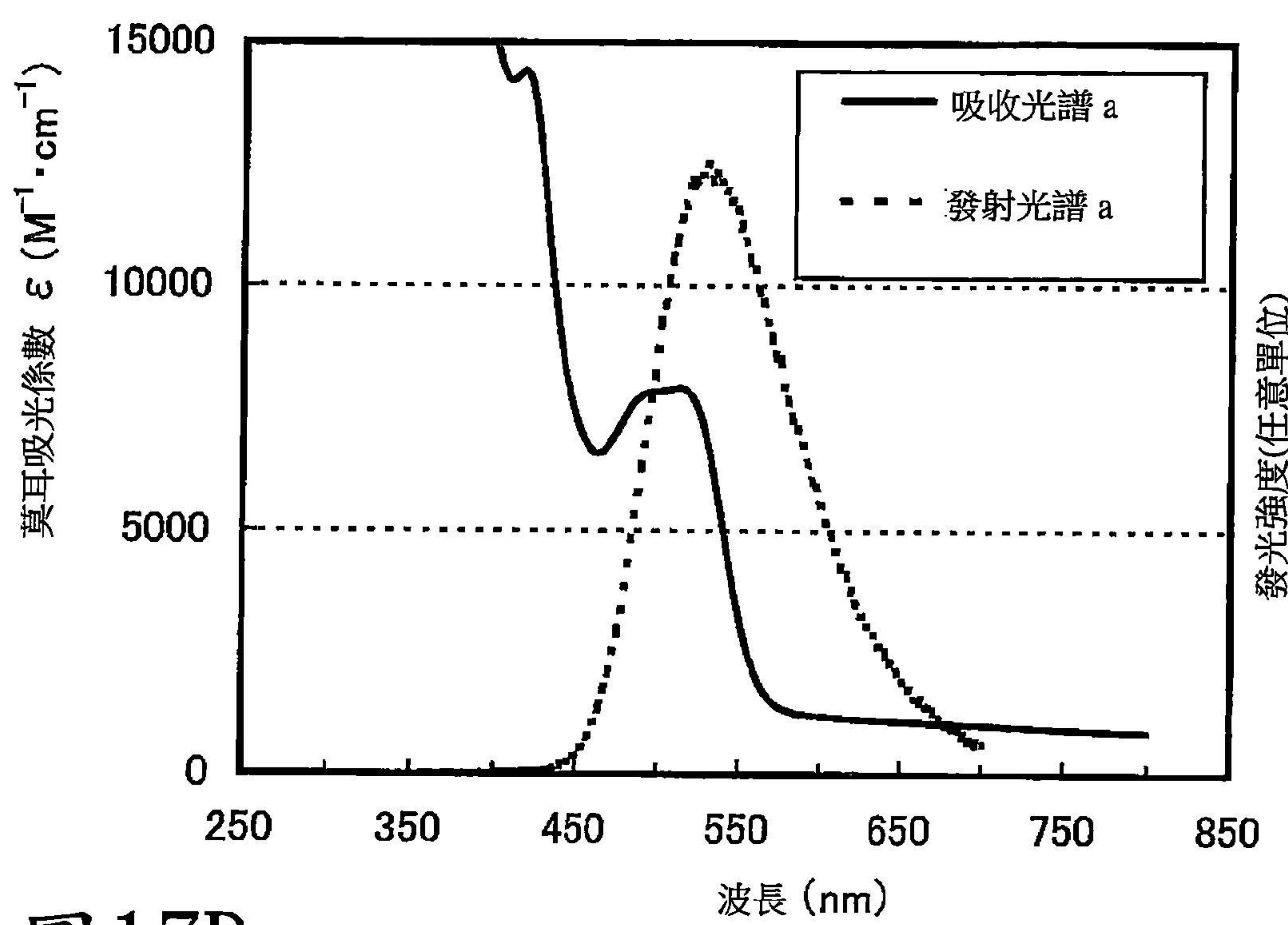


圖 17B

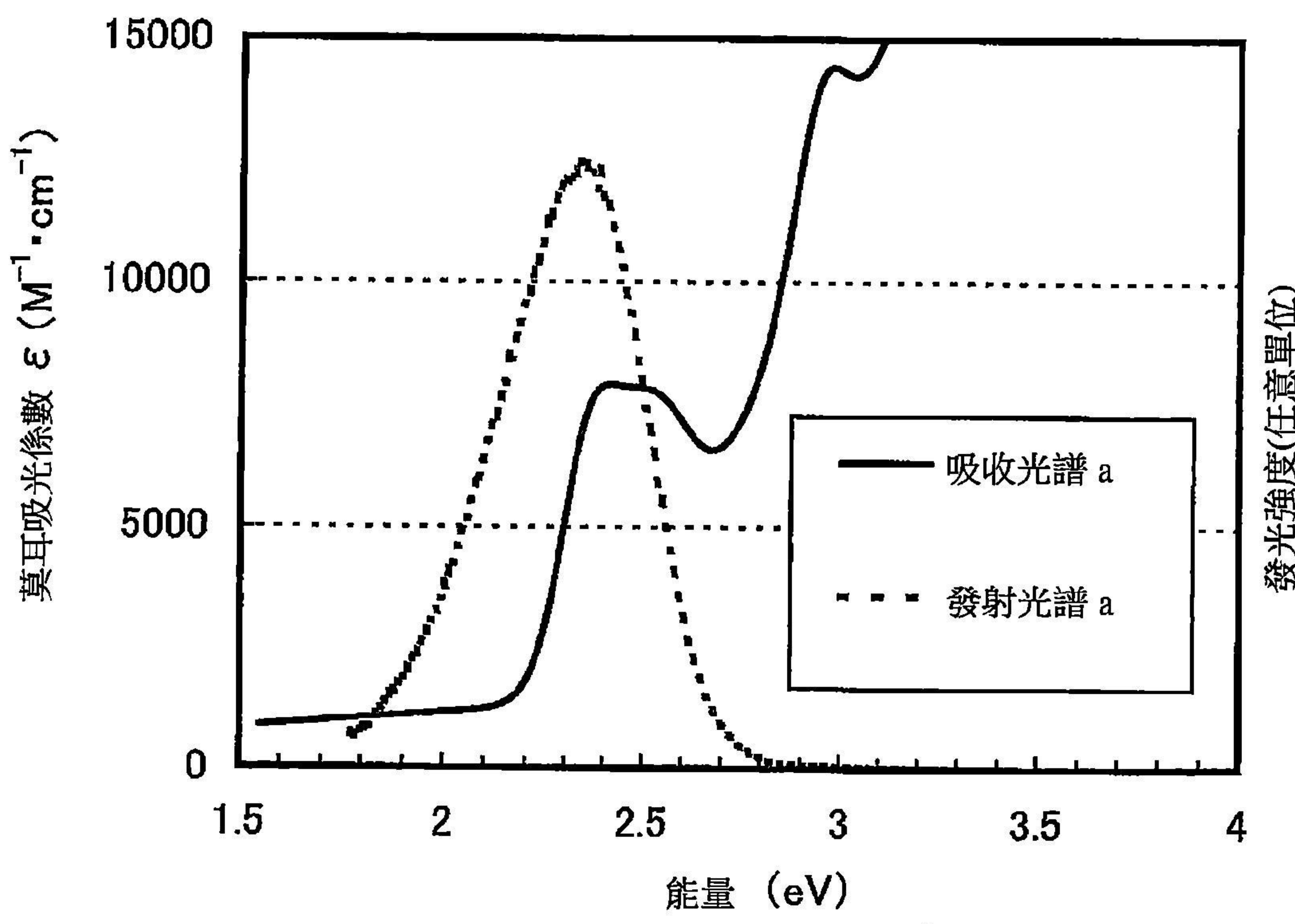


圖 18

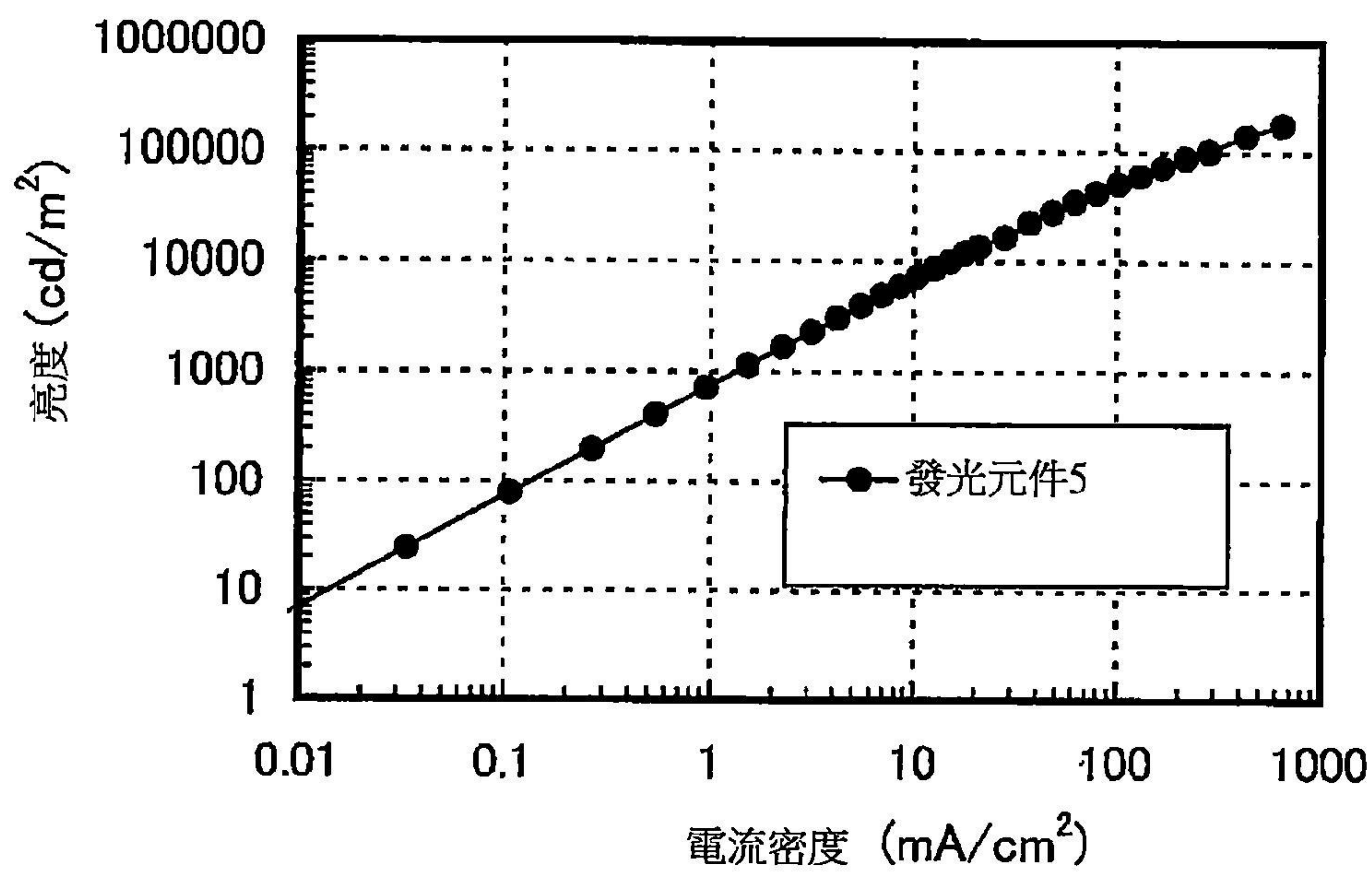


圖 19

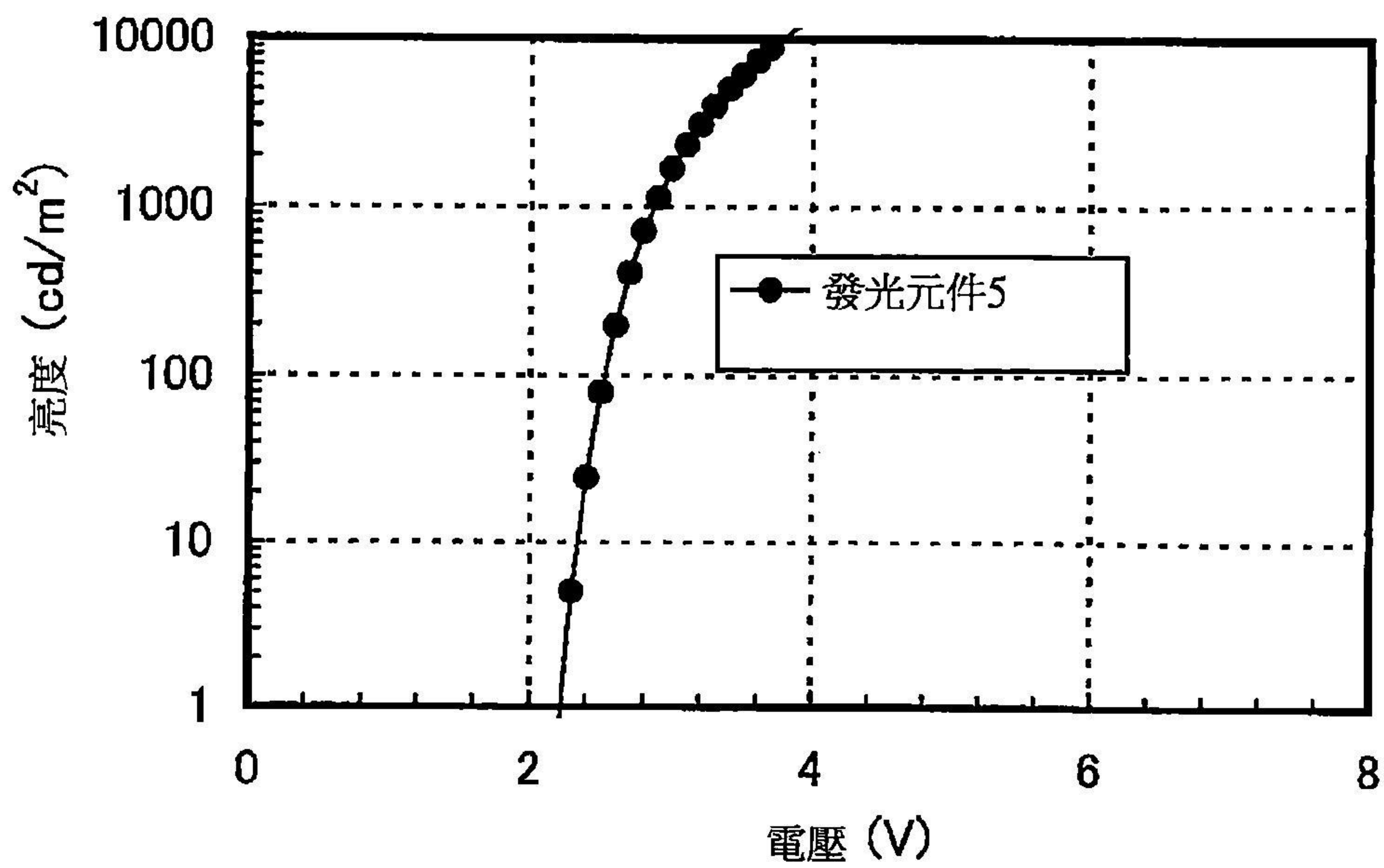


圖 20

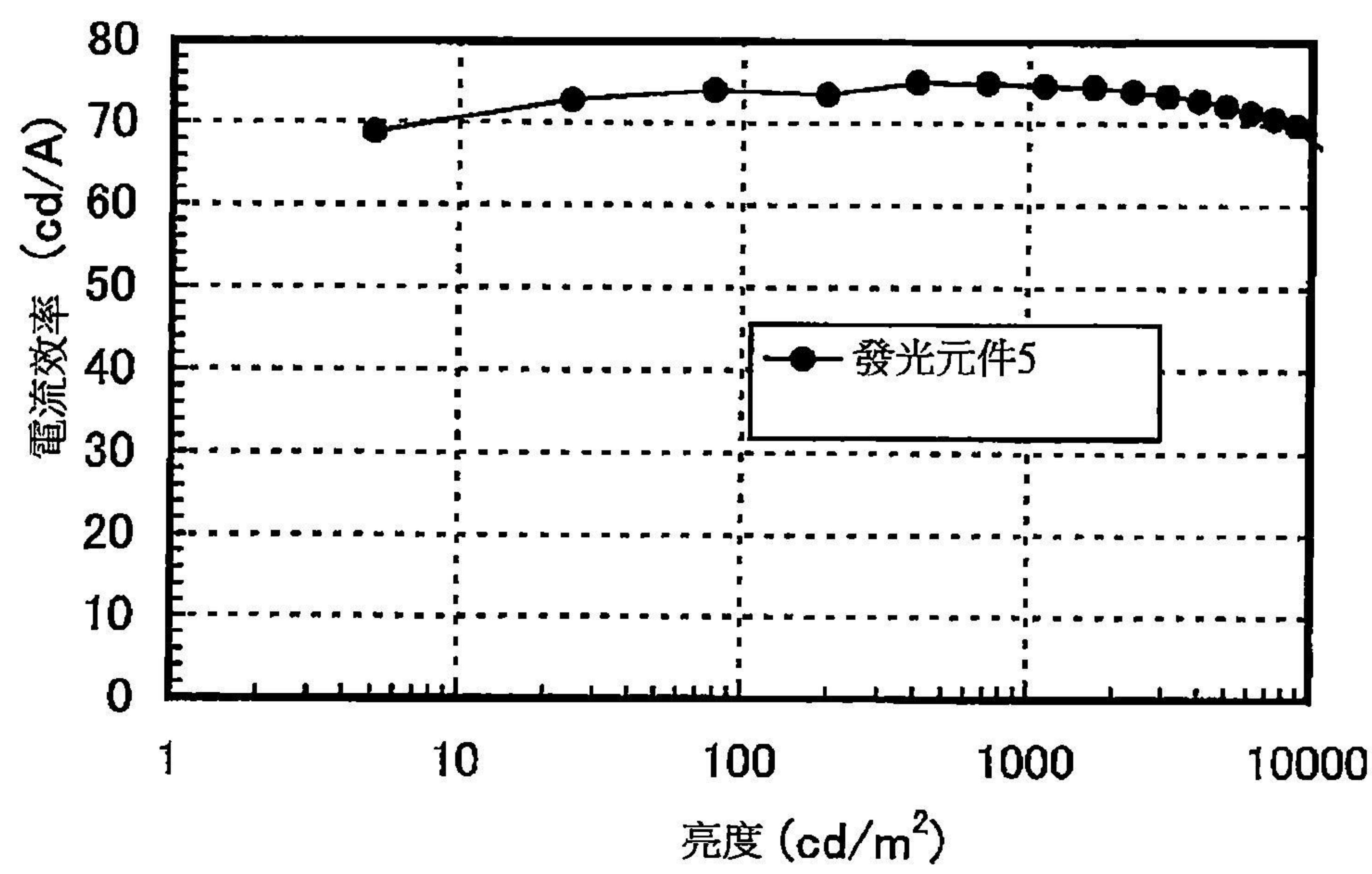


圖 21

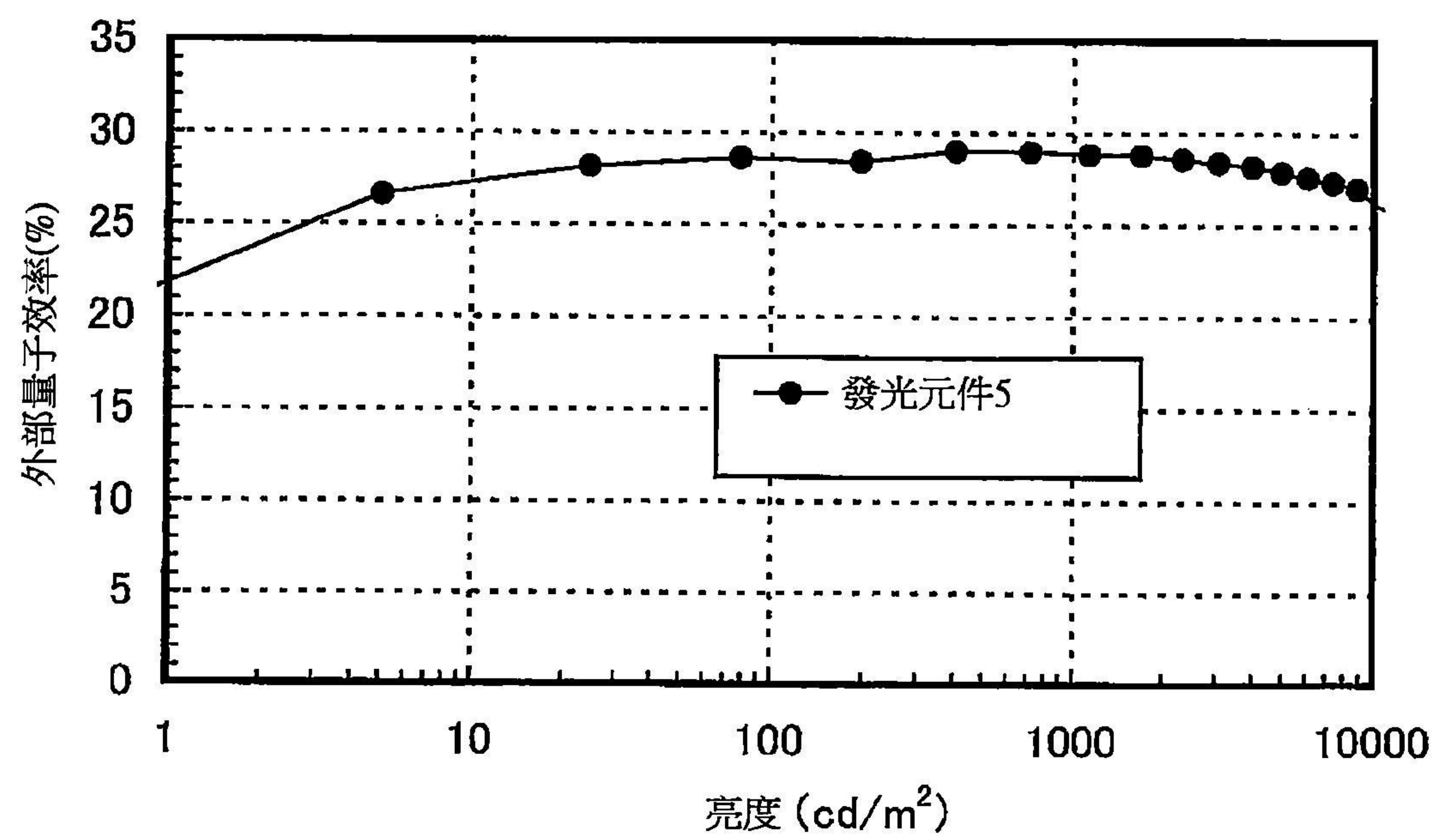


圖 22

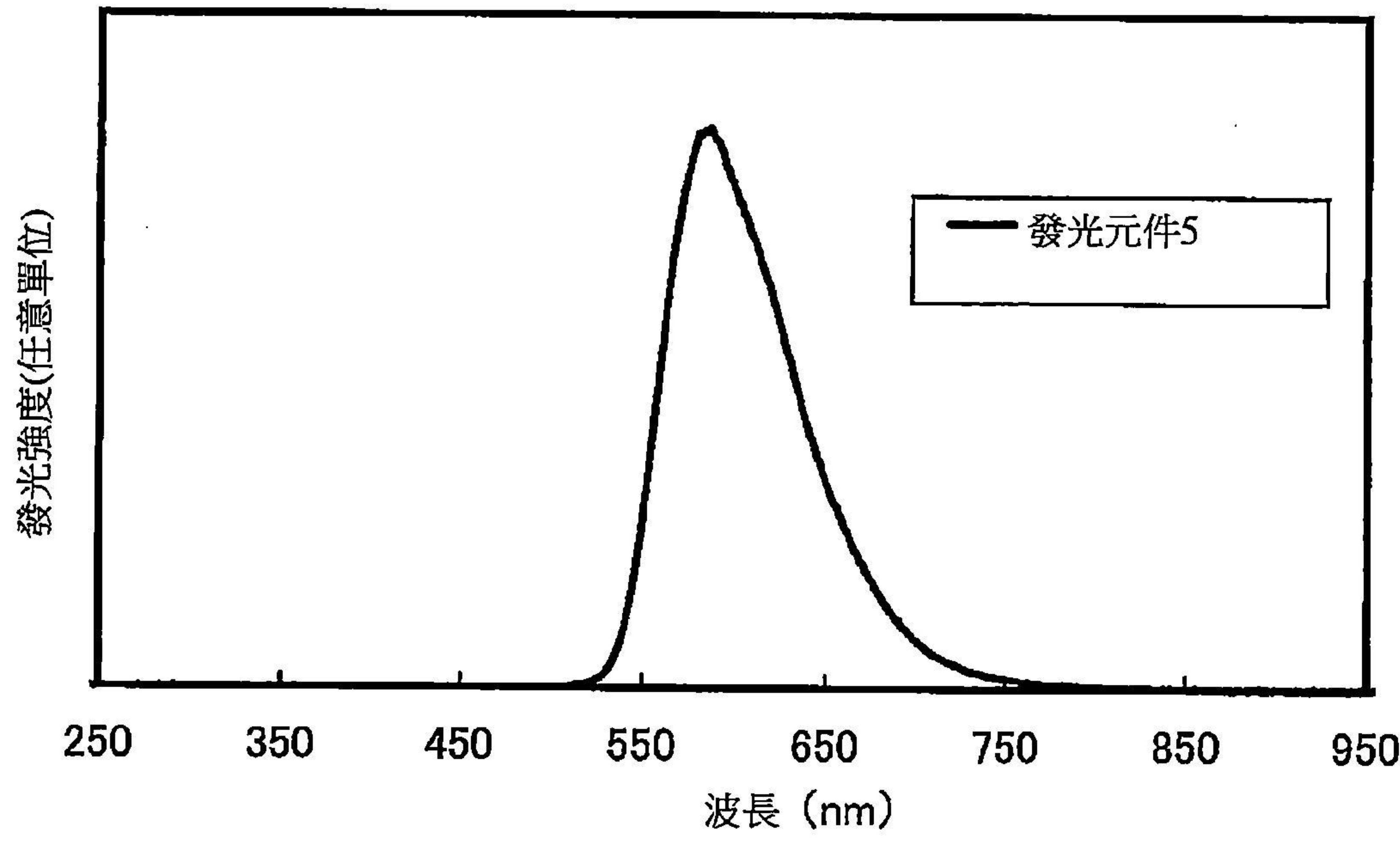


圖 23A

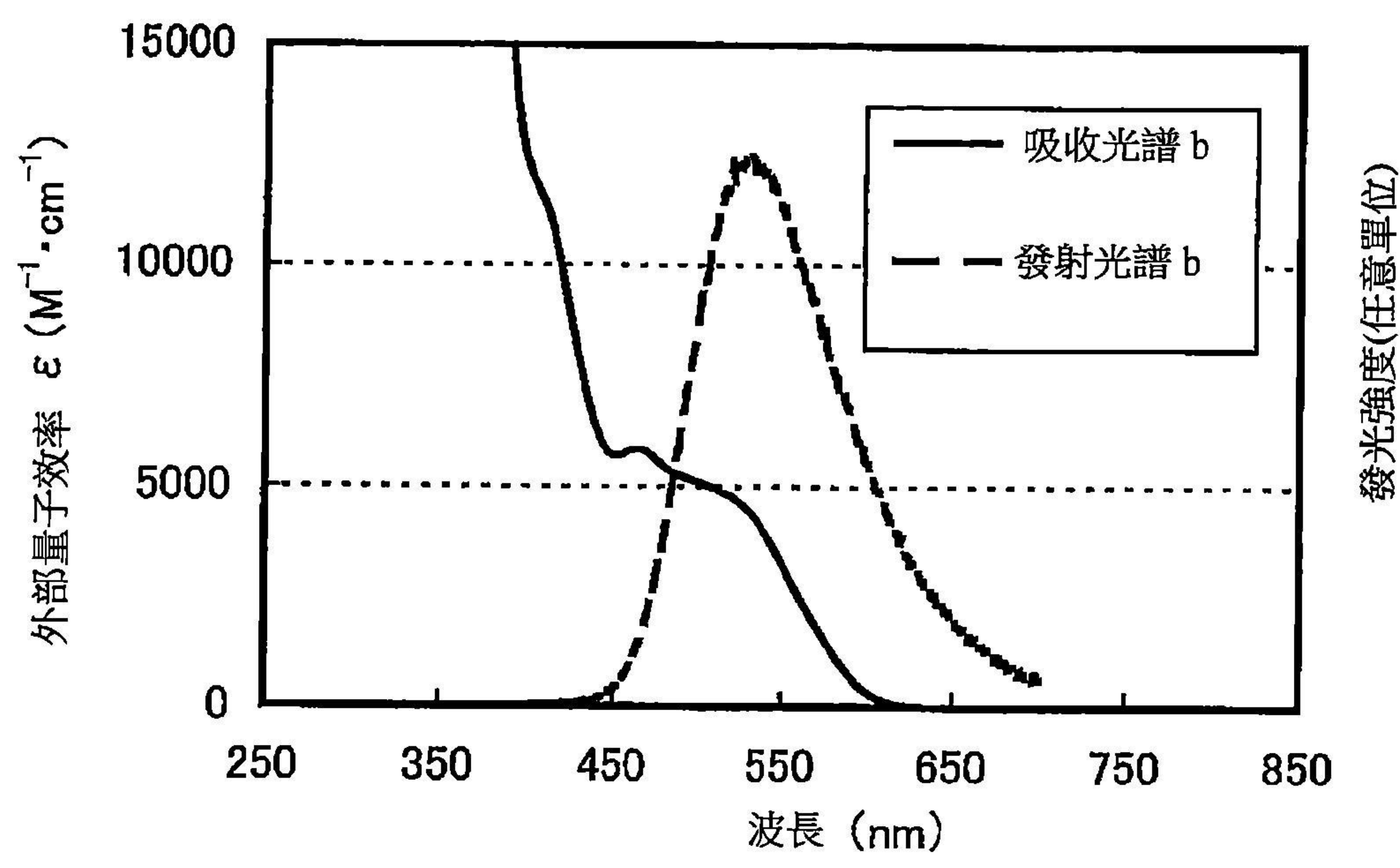


圖 23B

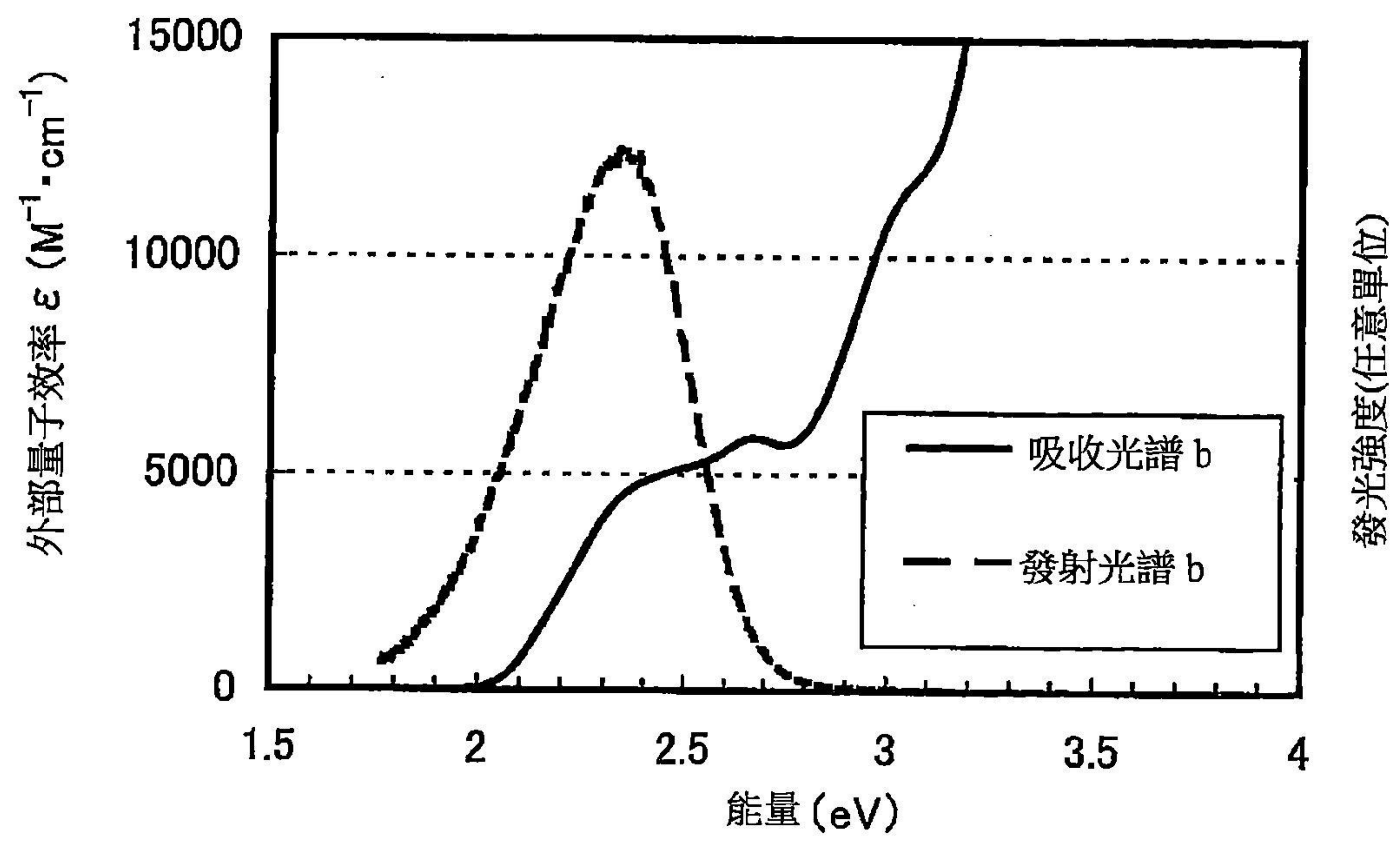


圖 24

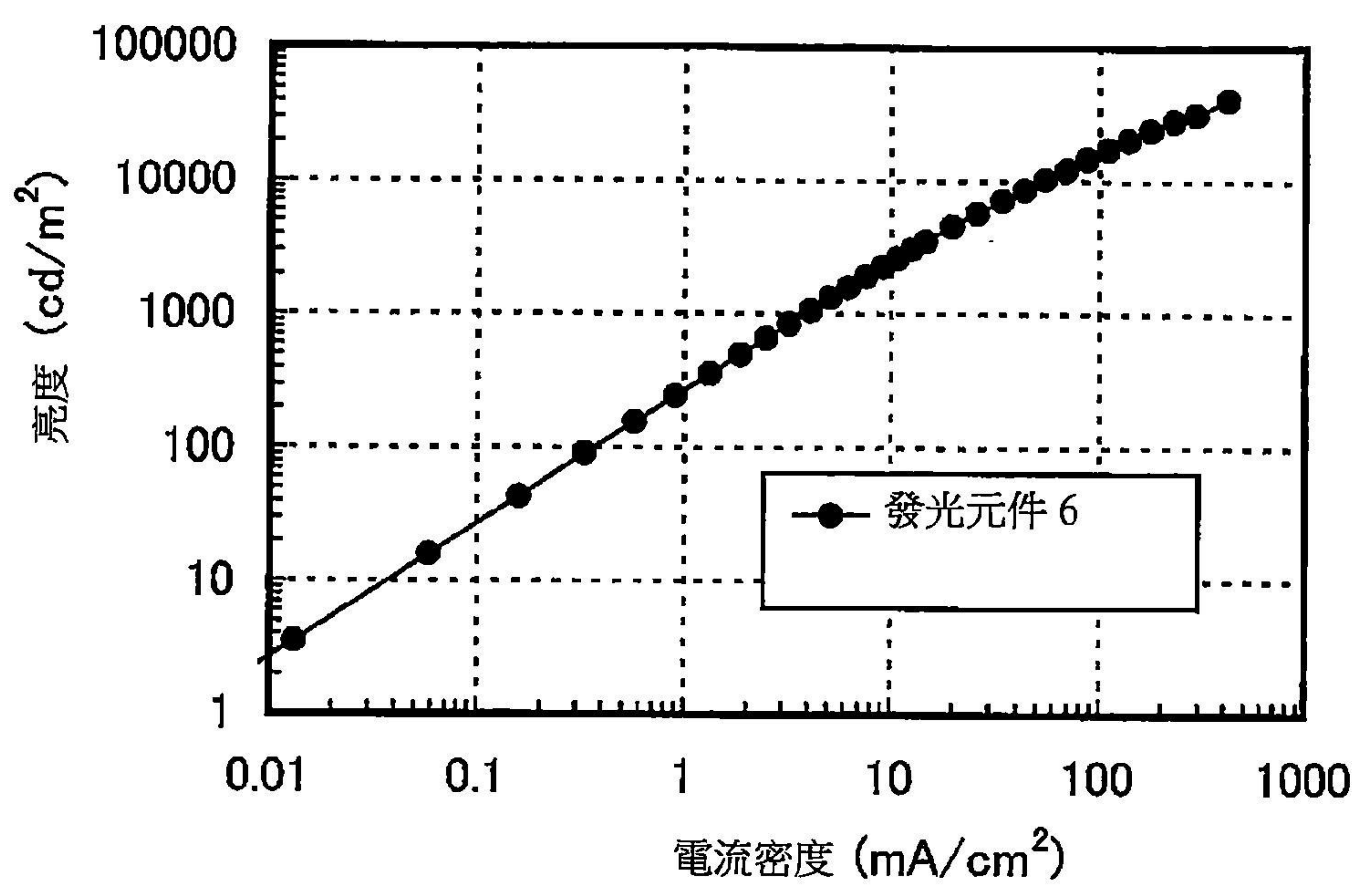


圖 25

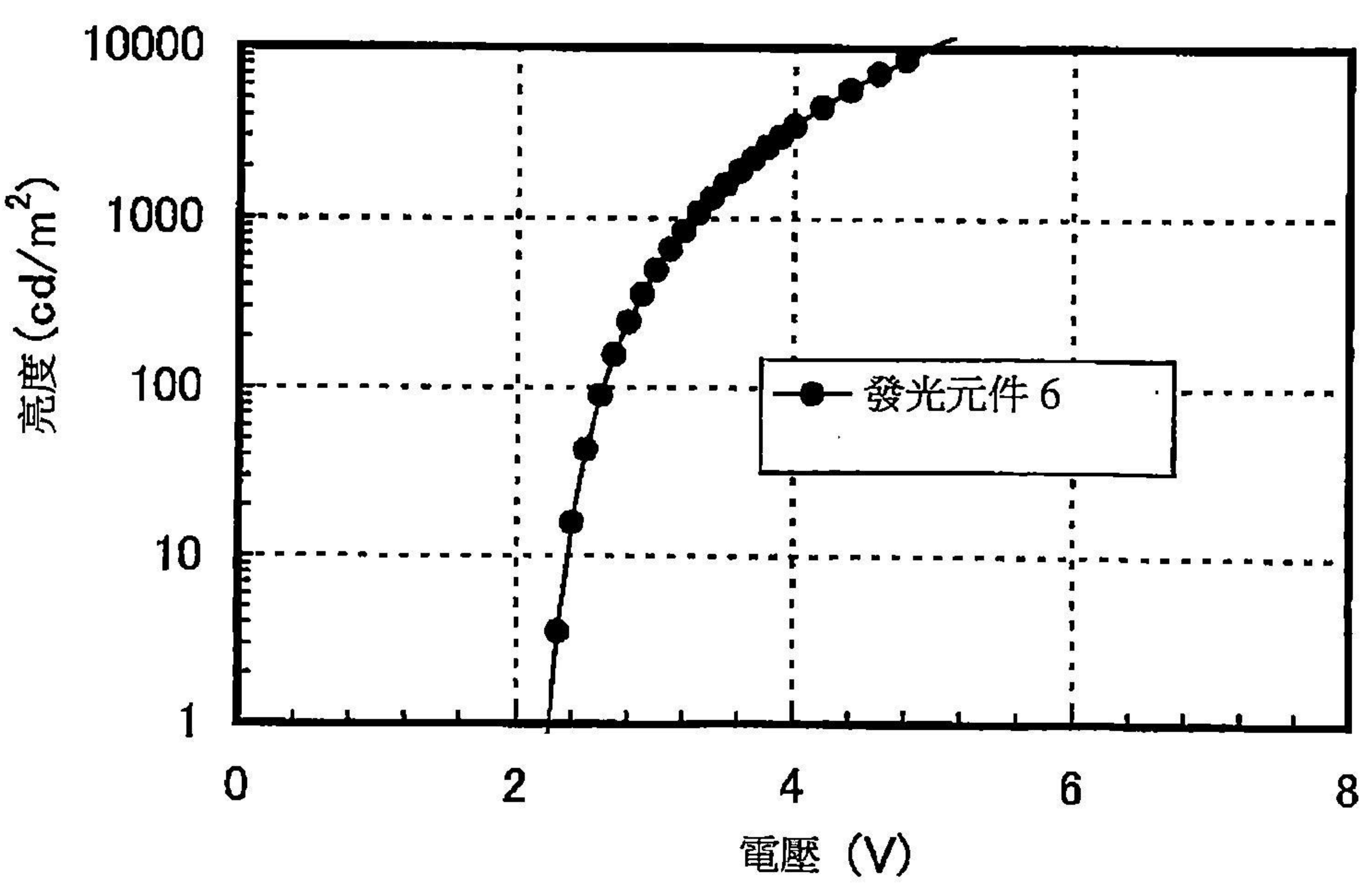


圖 26

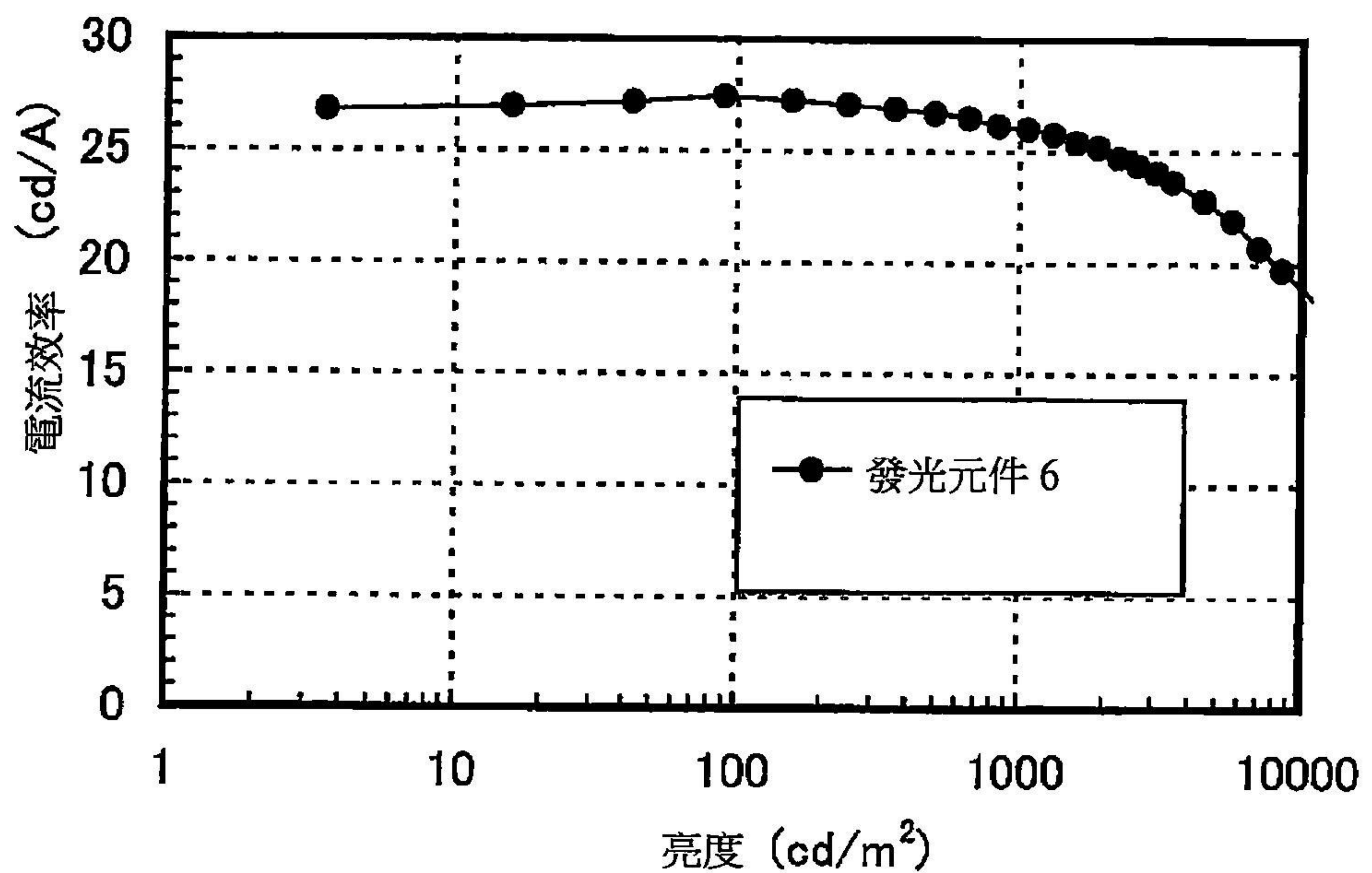


圖 27

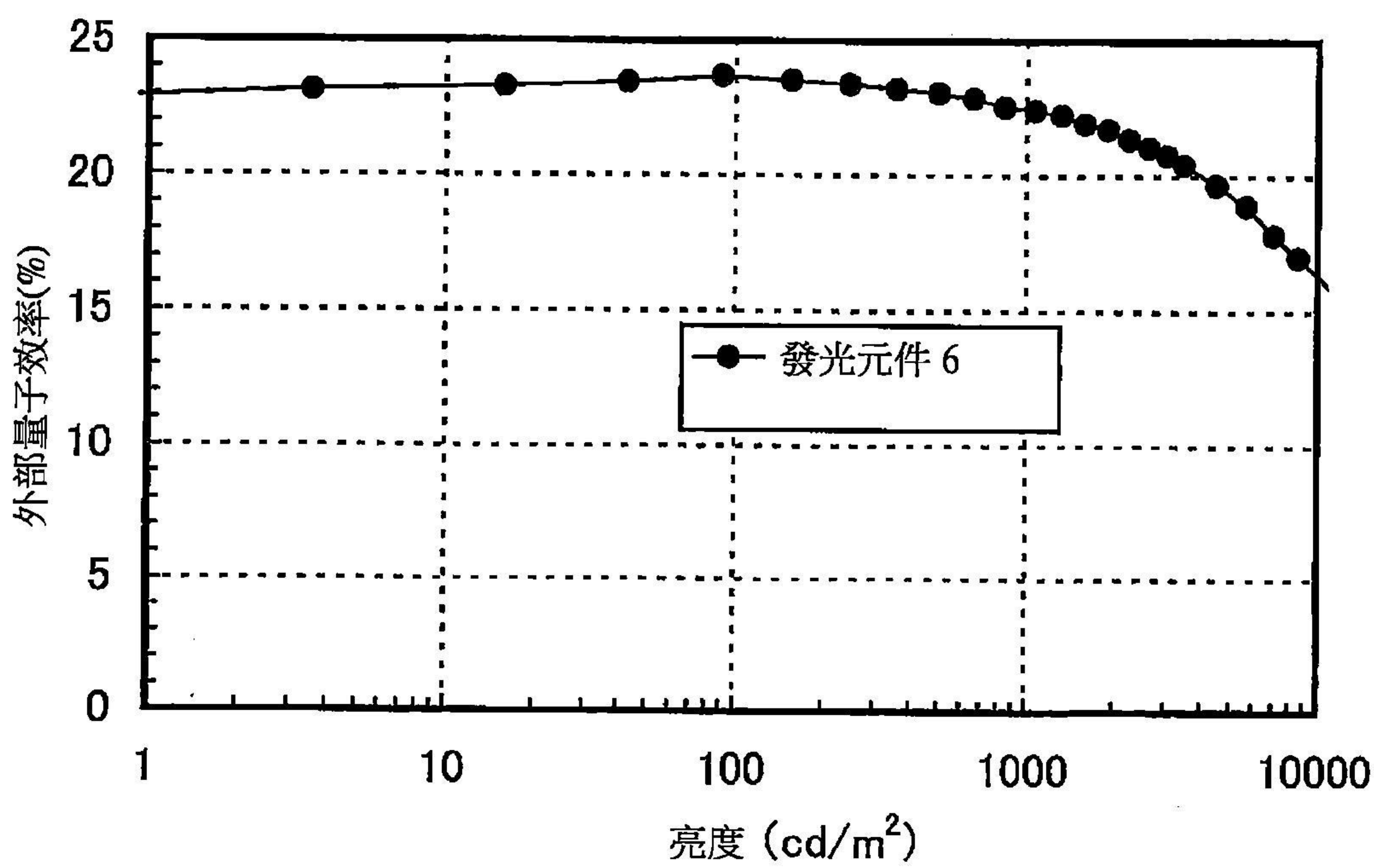


圖 28

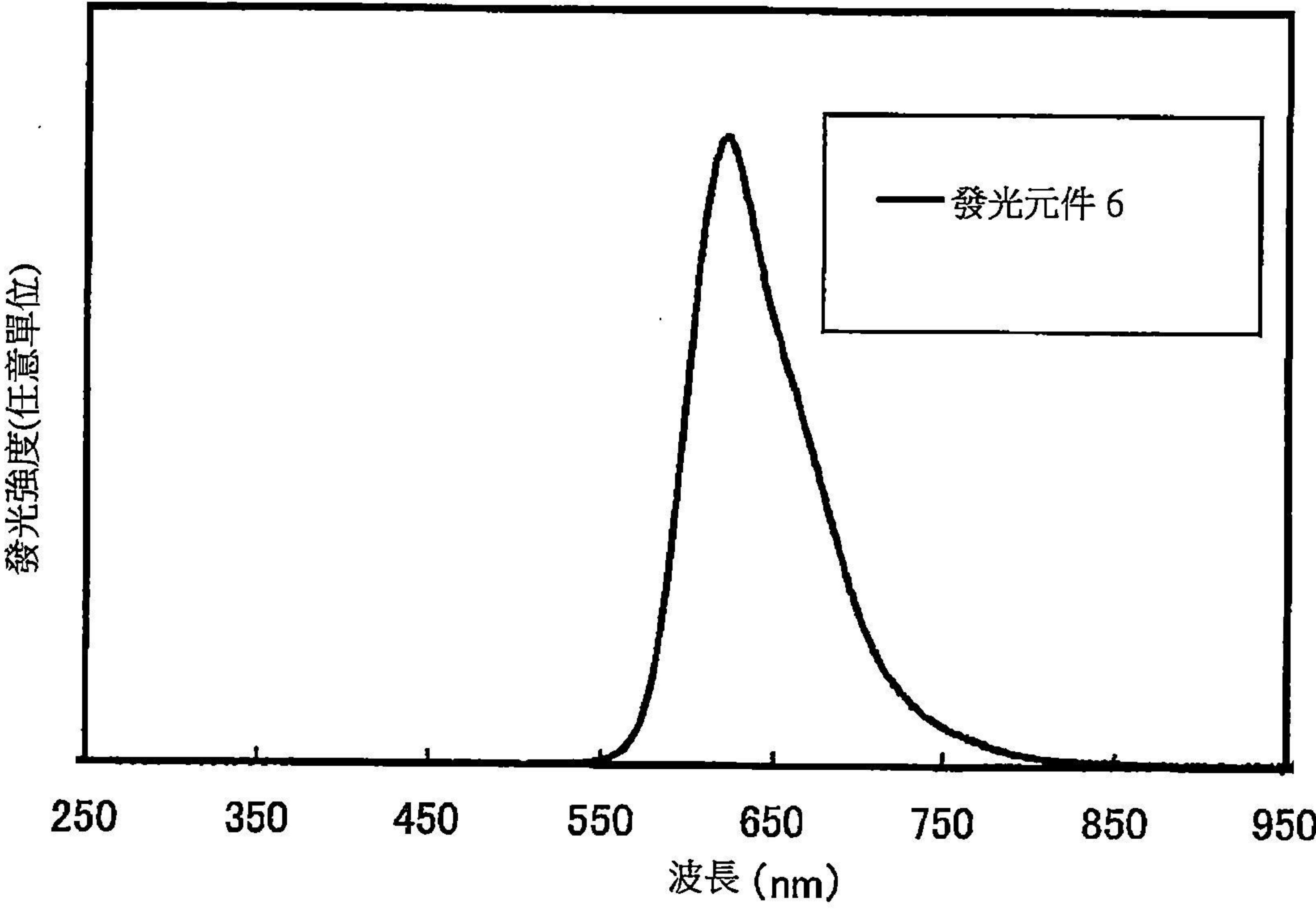


圖 29

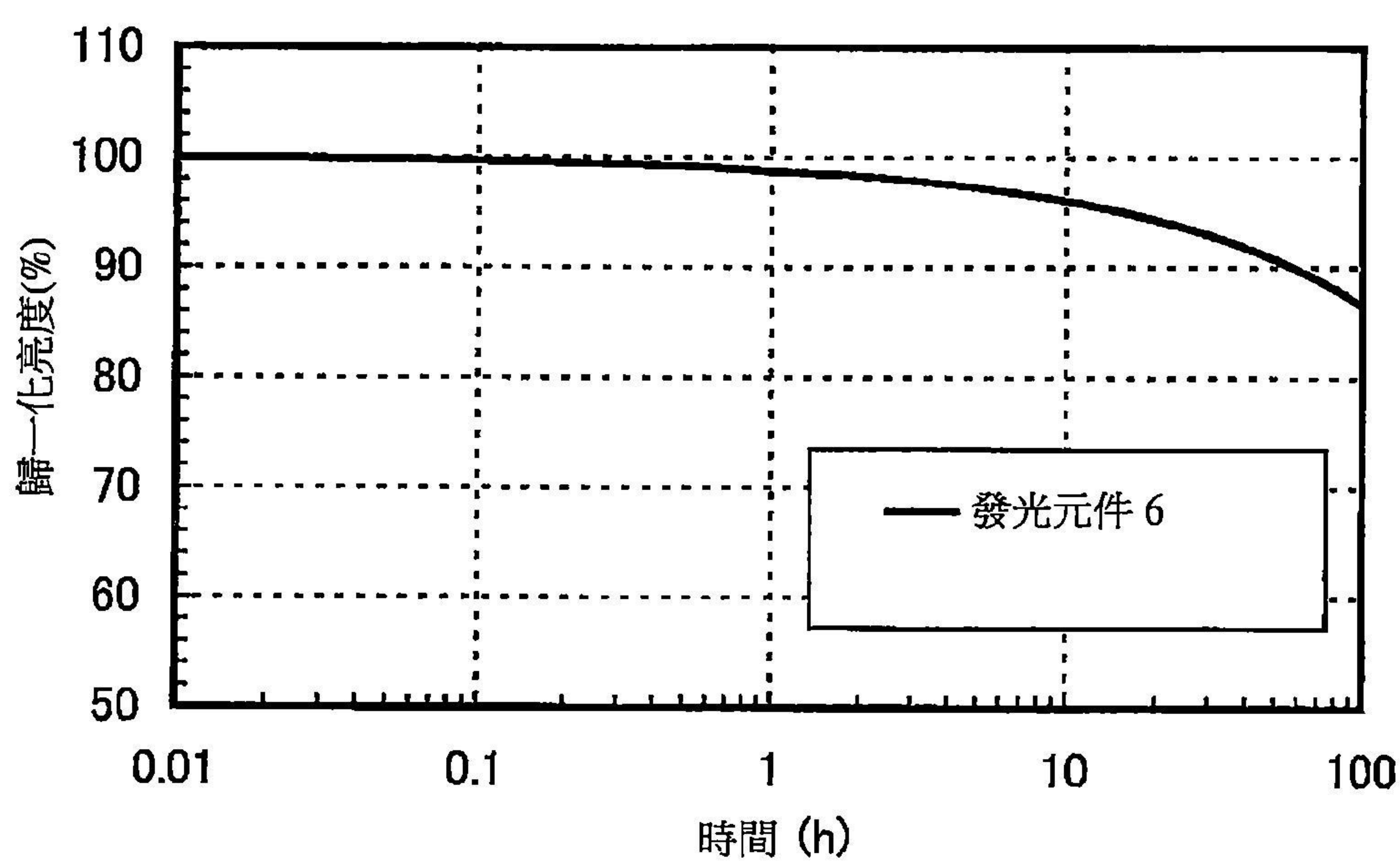


圖 30A

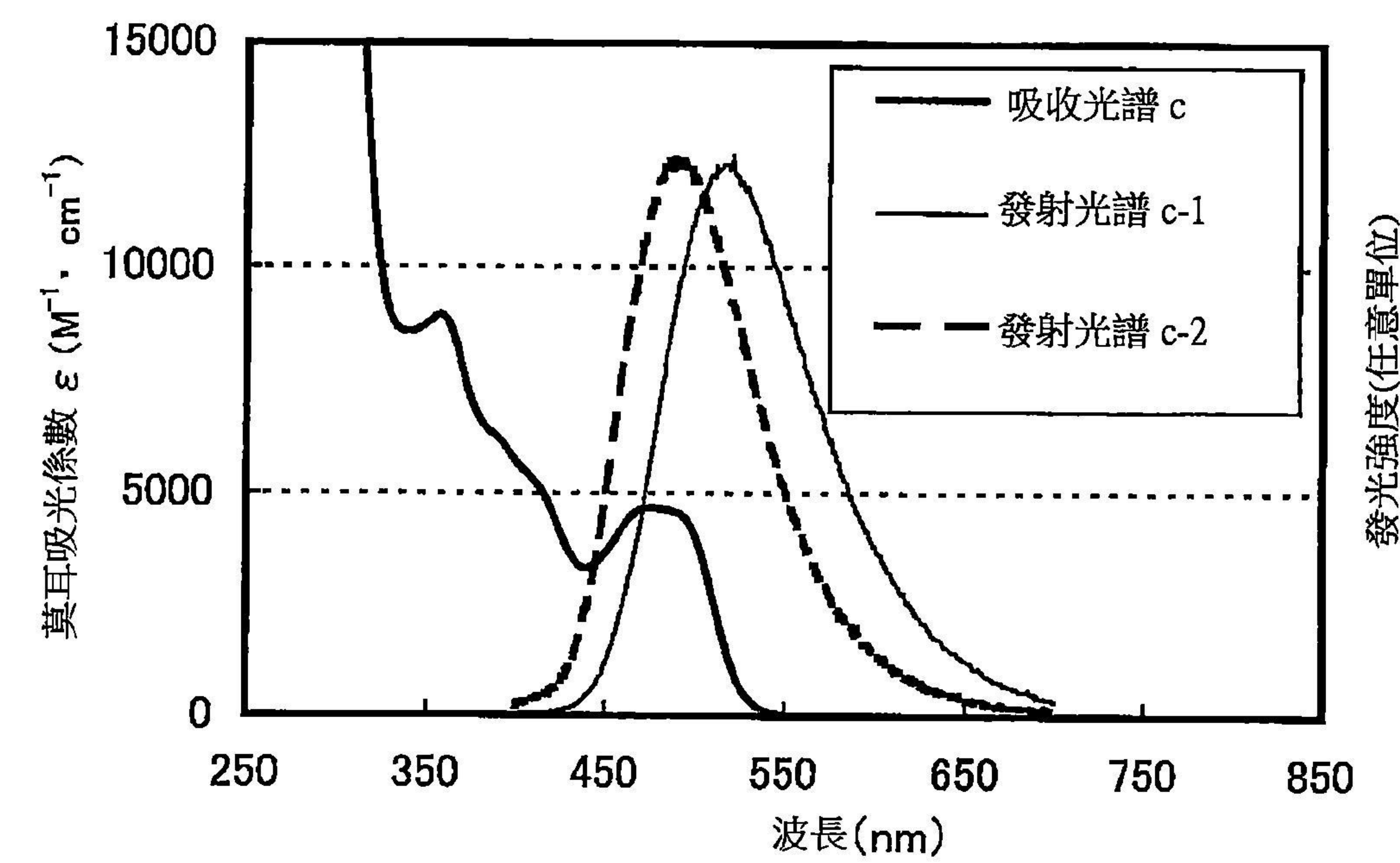


圖 30B

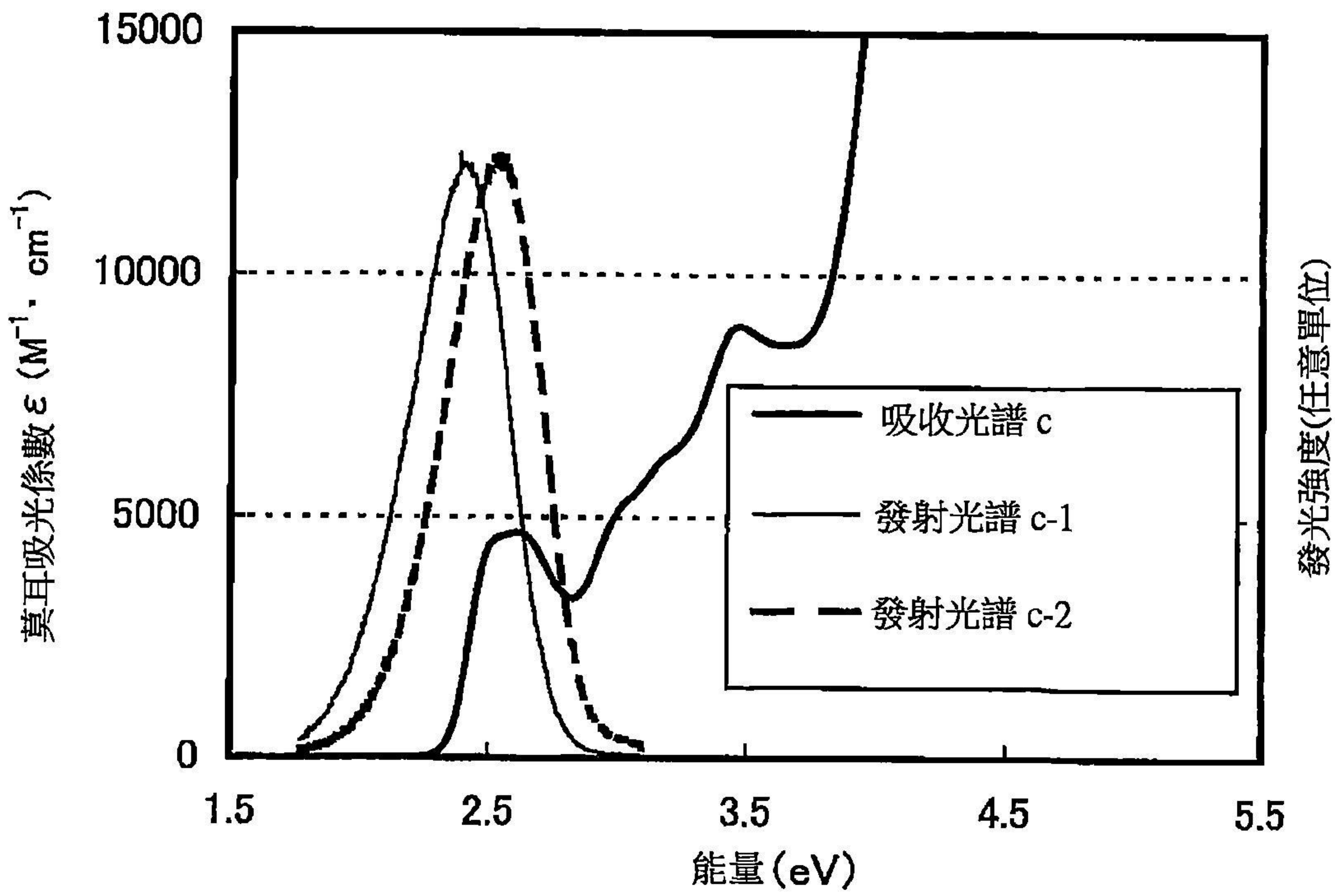


圖 31

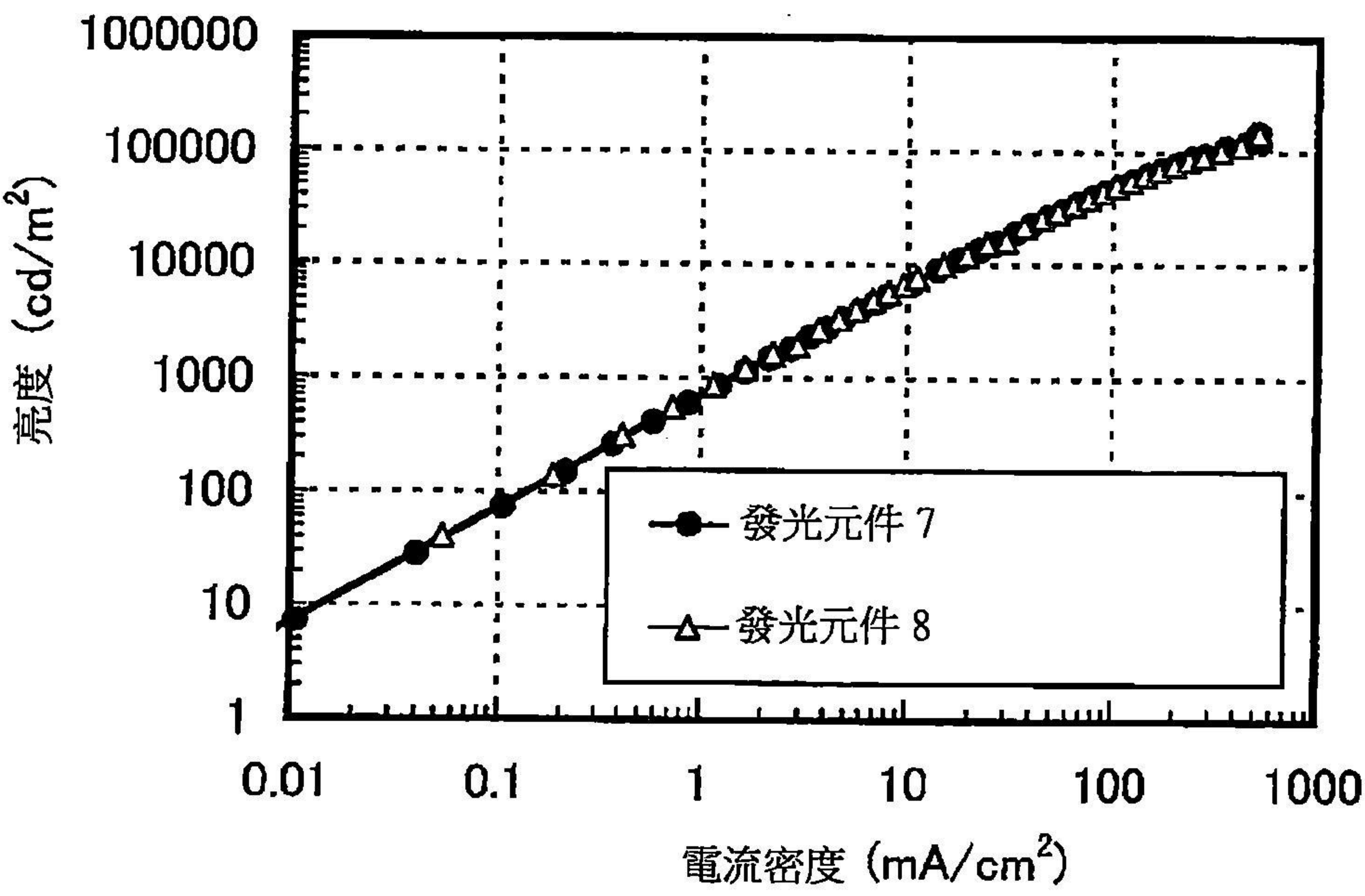


圖 32

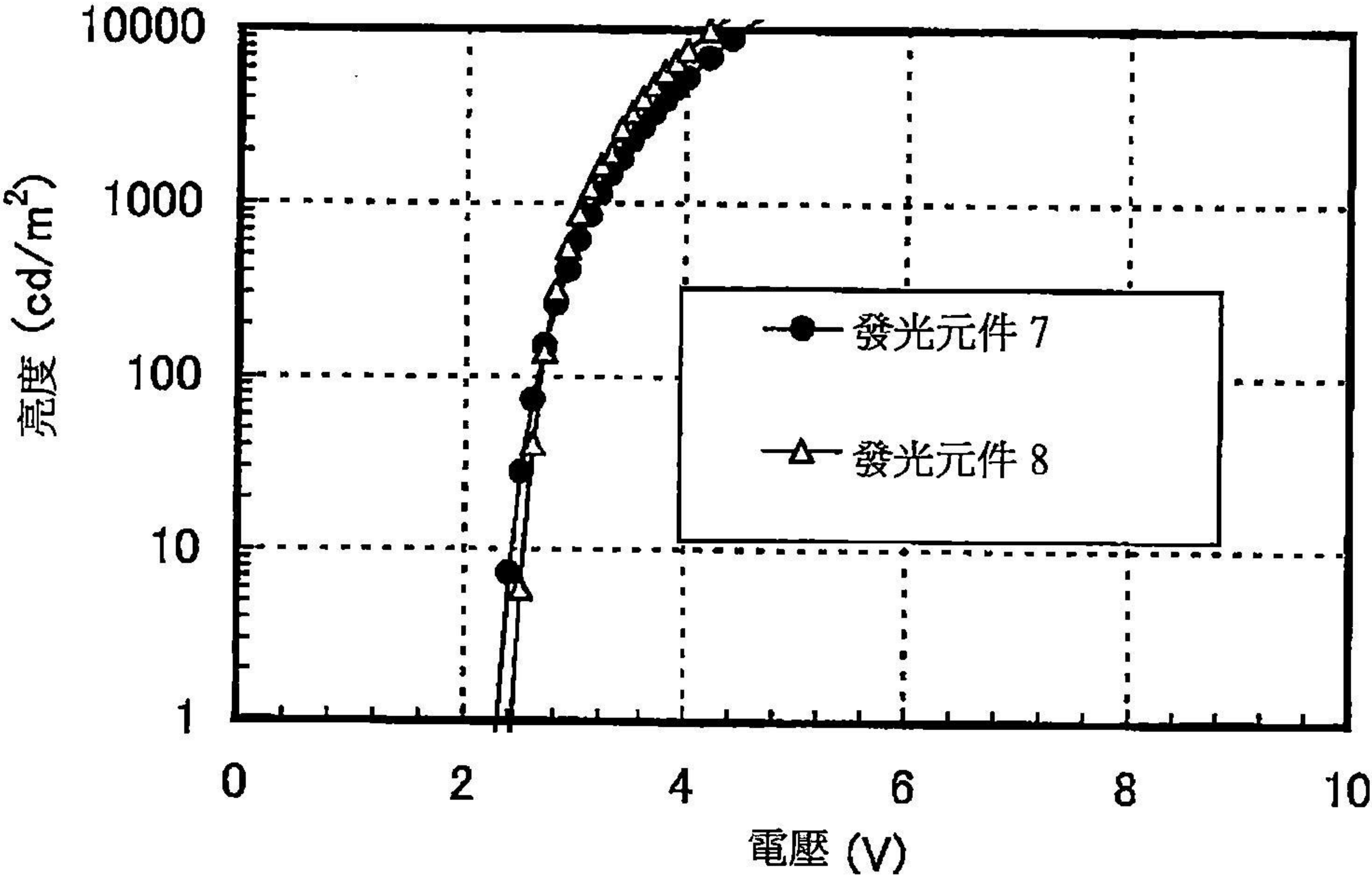


圖 33

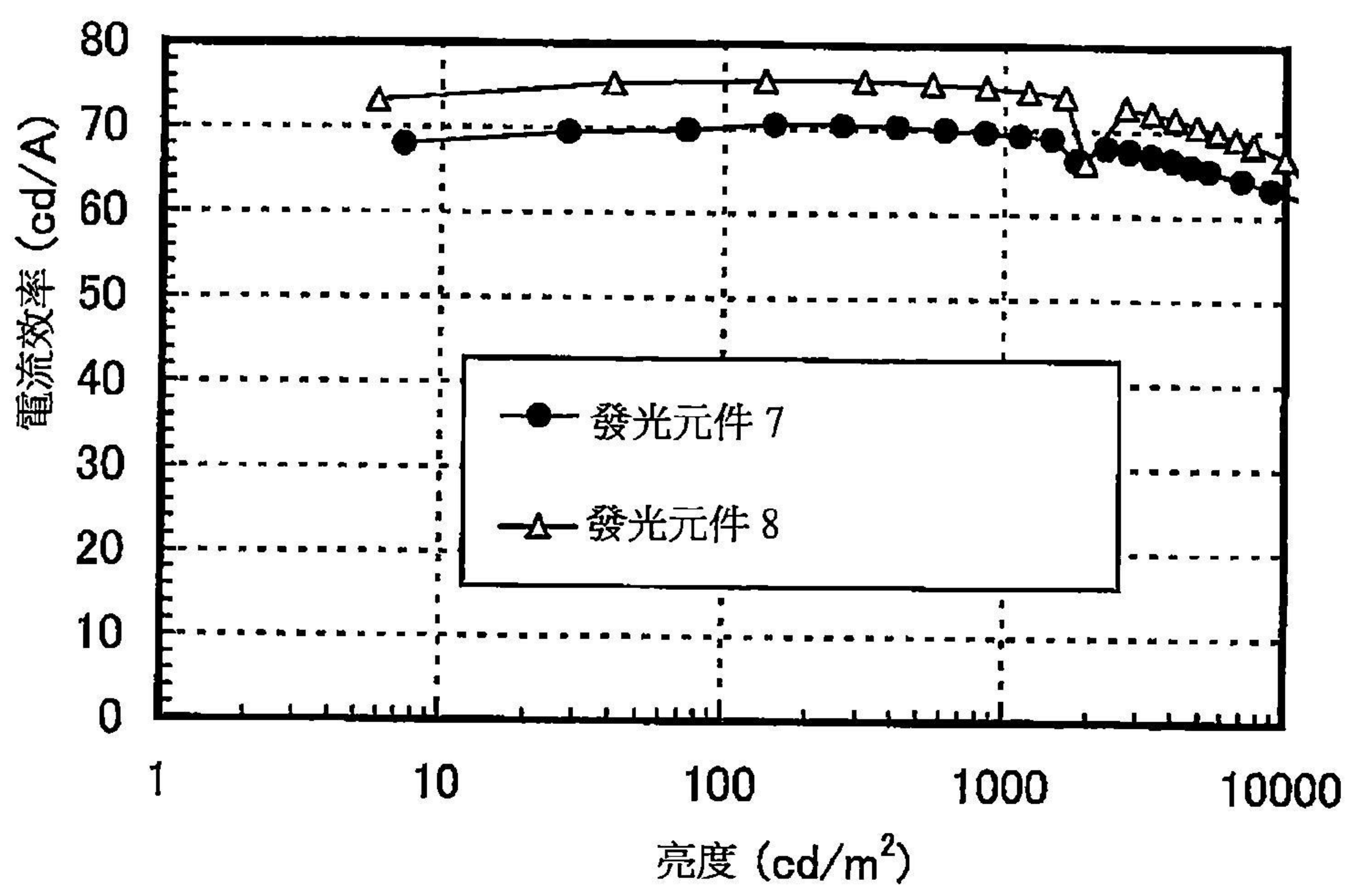


圖 34

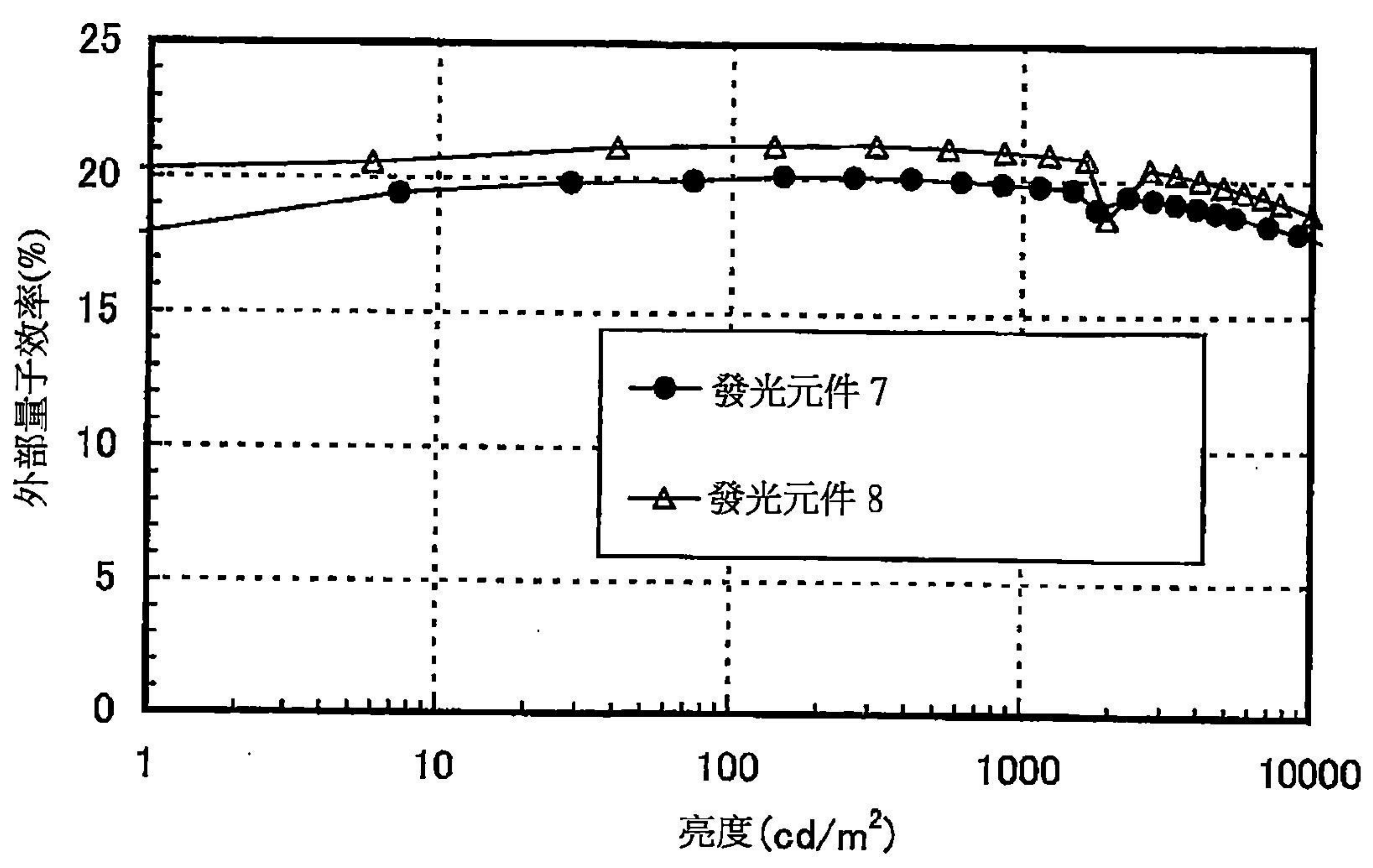


圖 35

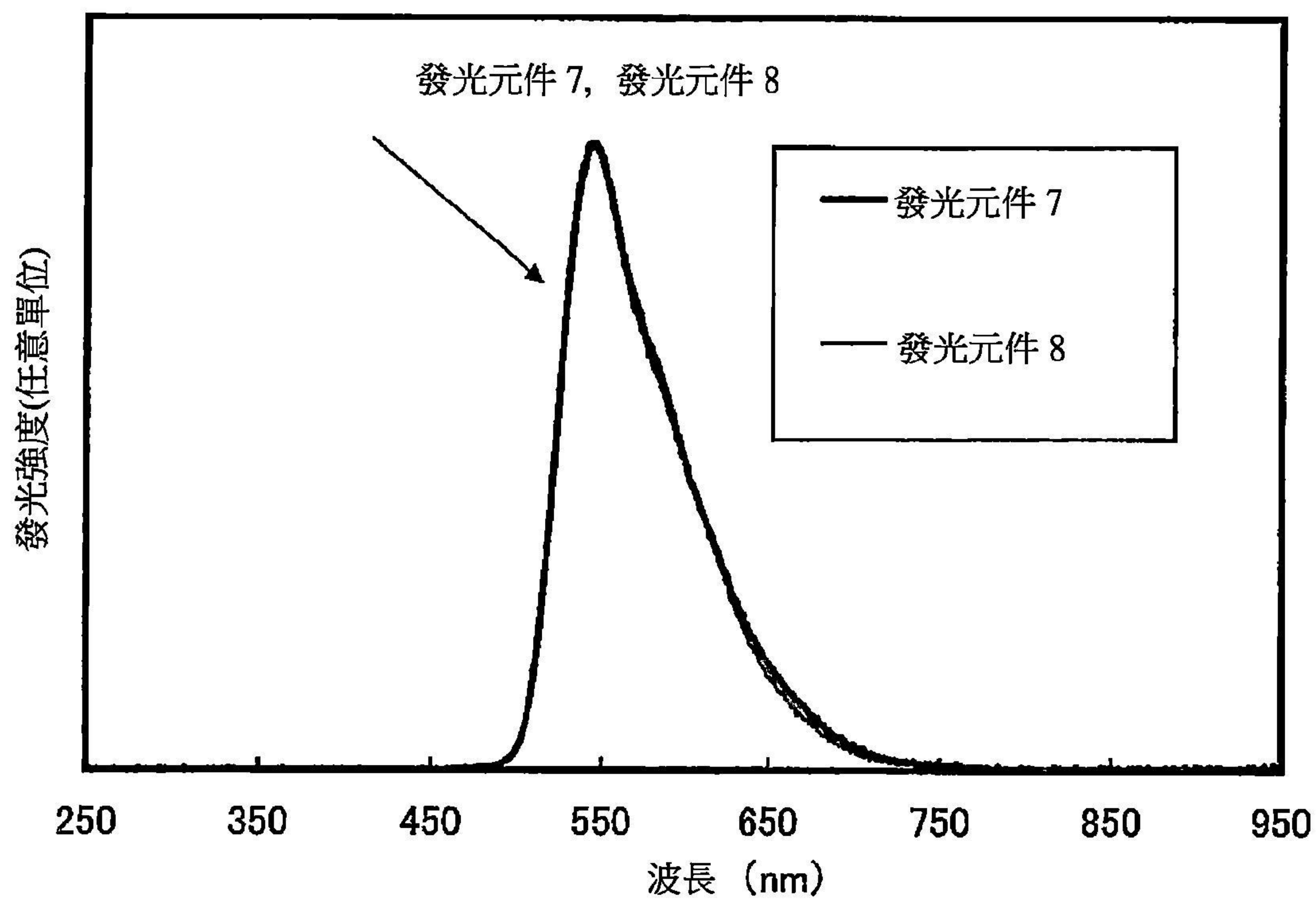


圖 36

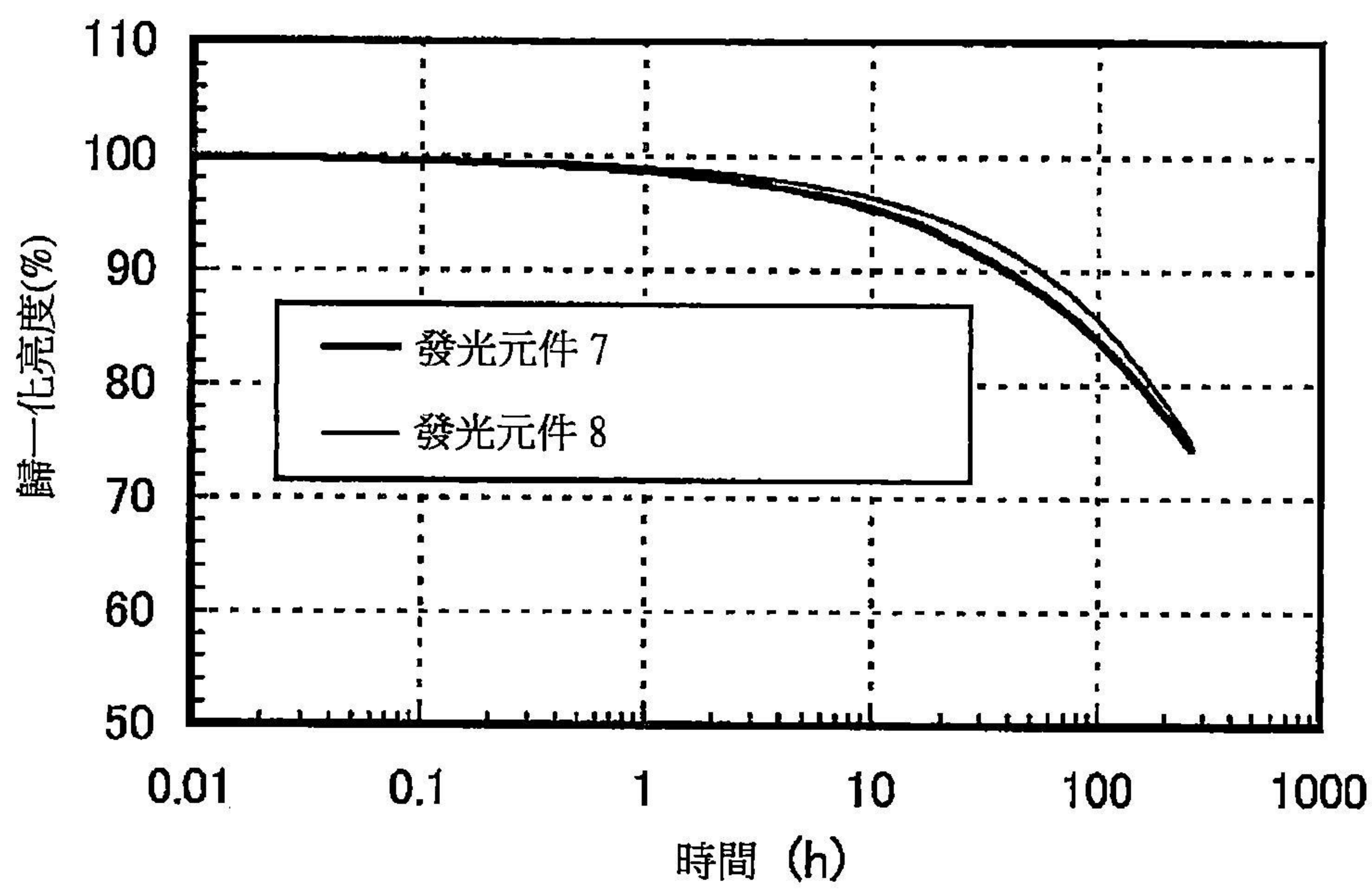


圖 37A

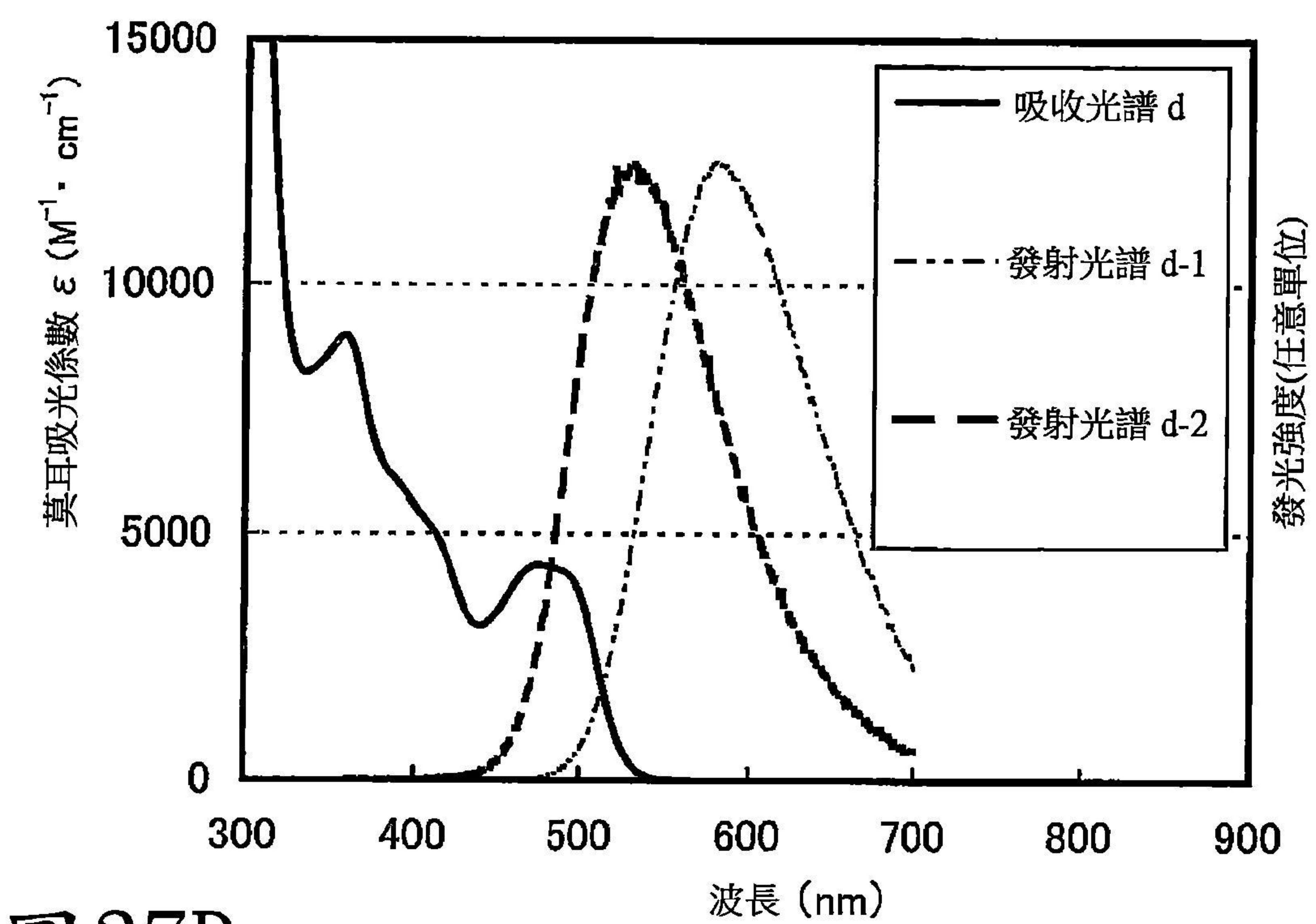


圖 37B

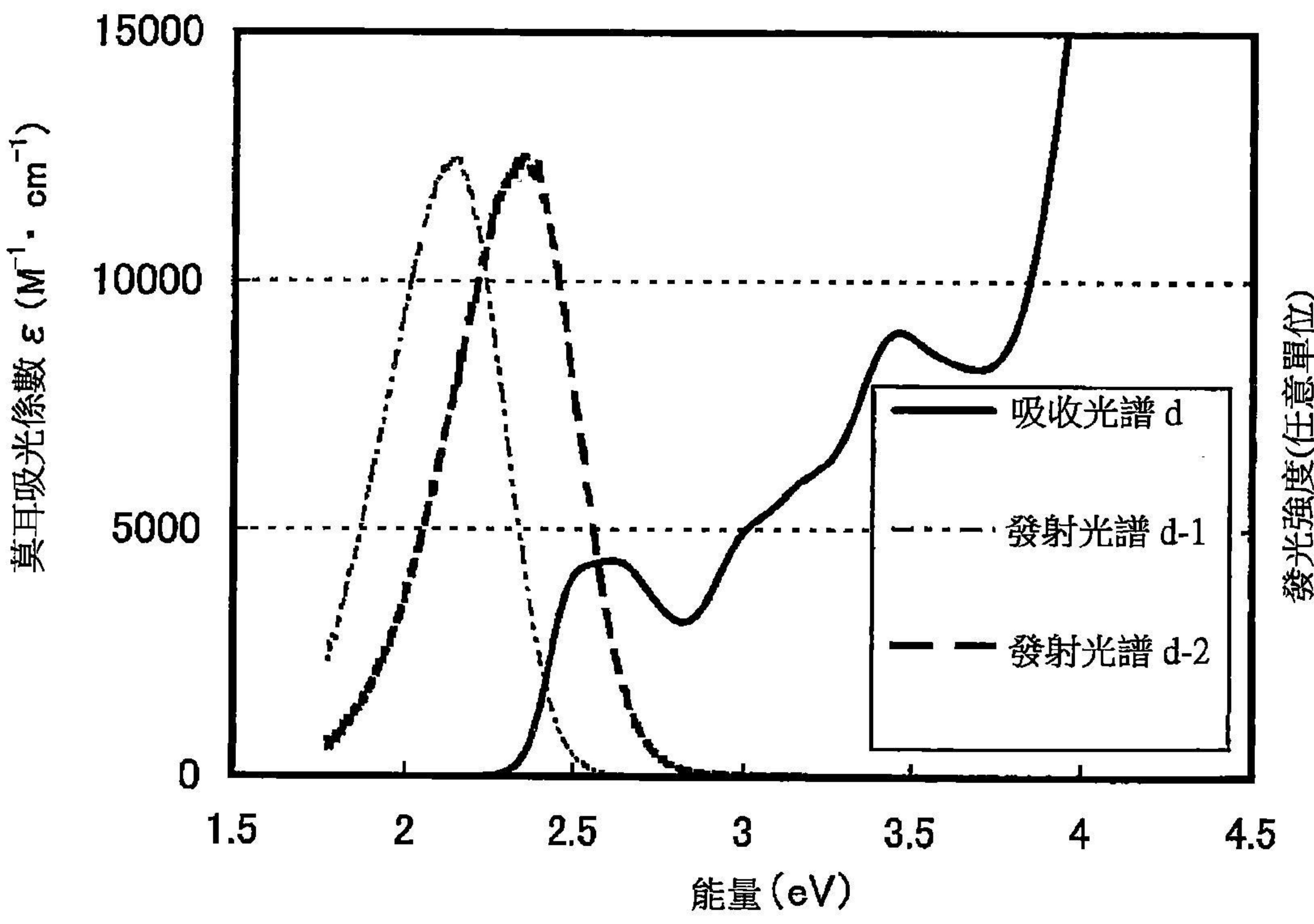


圖 38

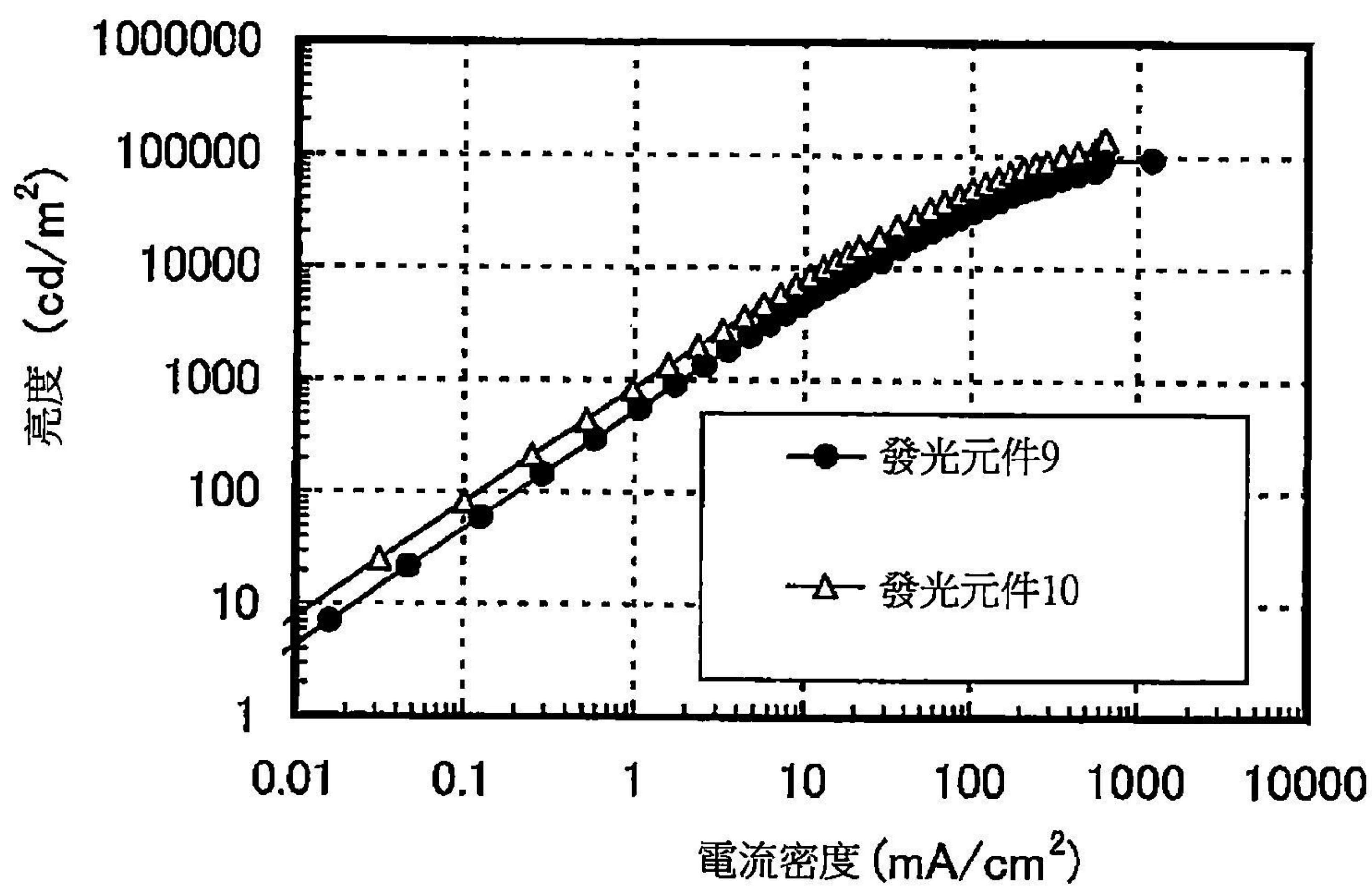


圖 39

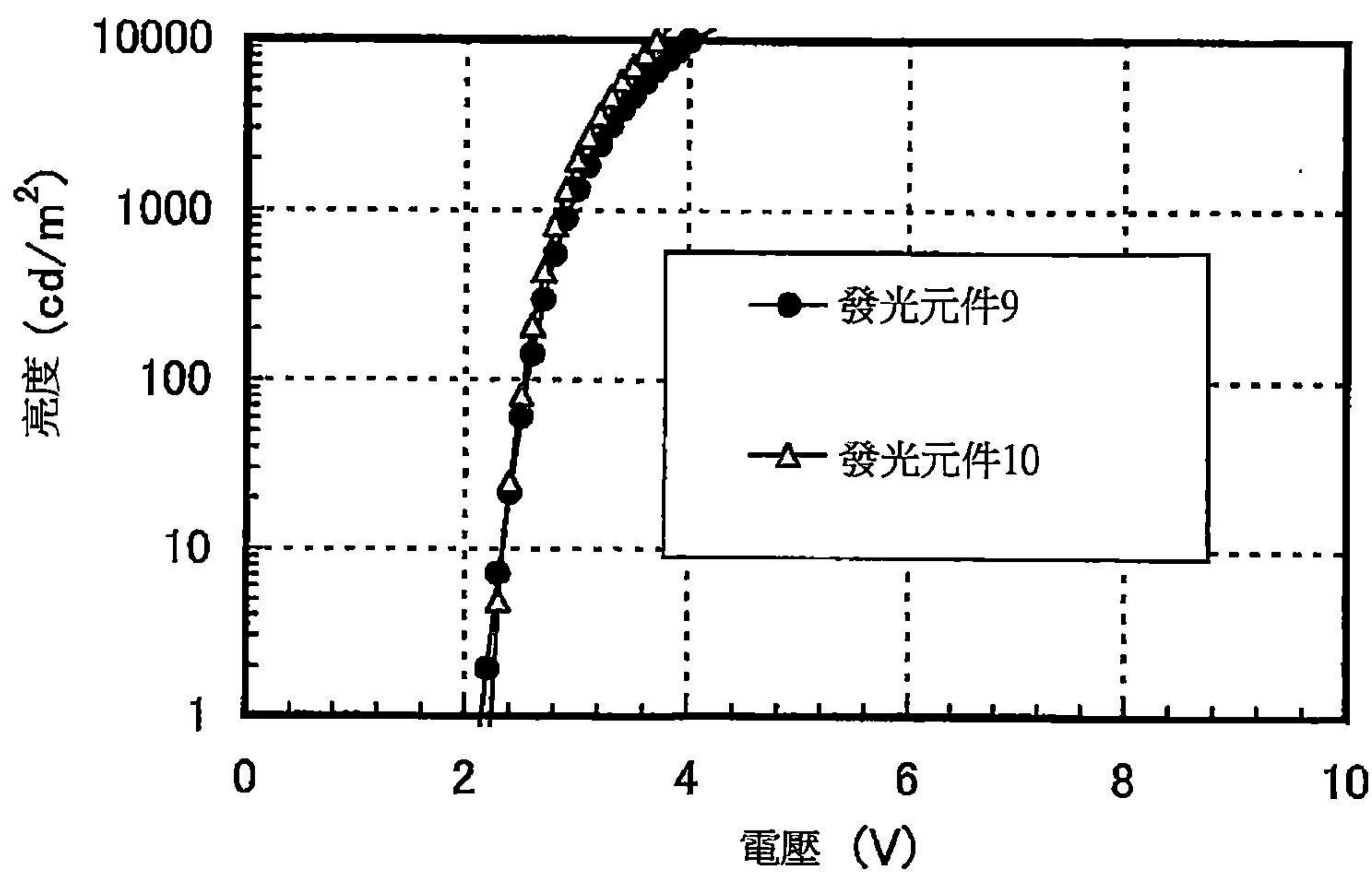


圖40

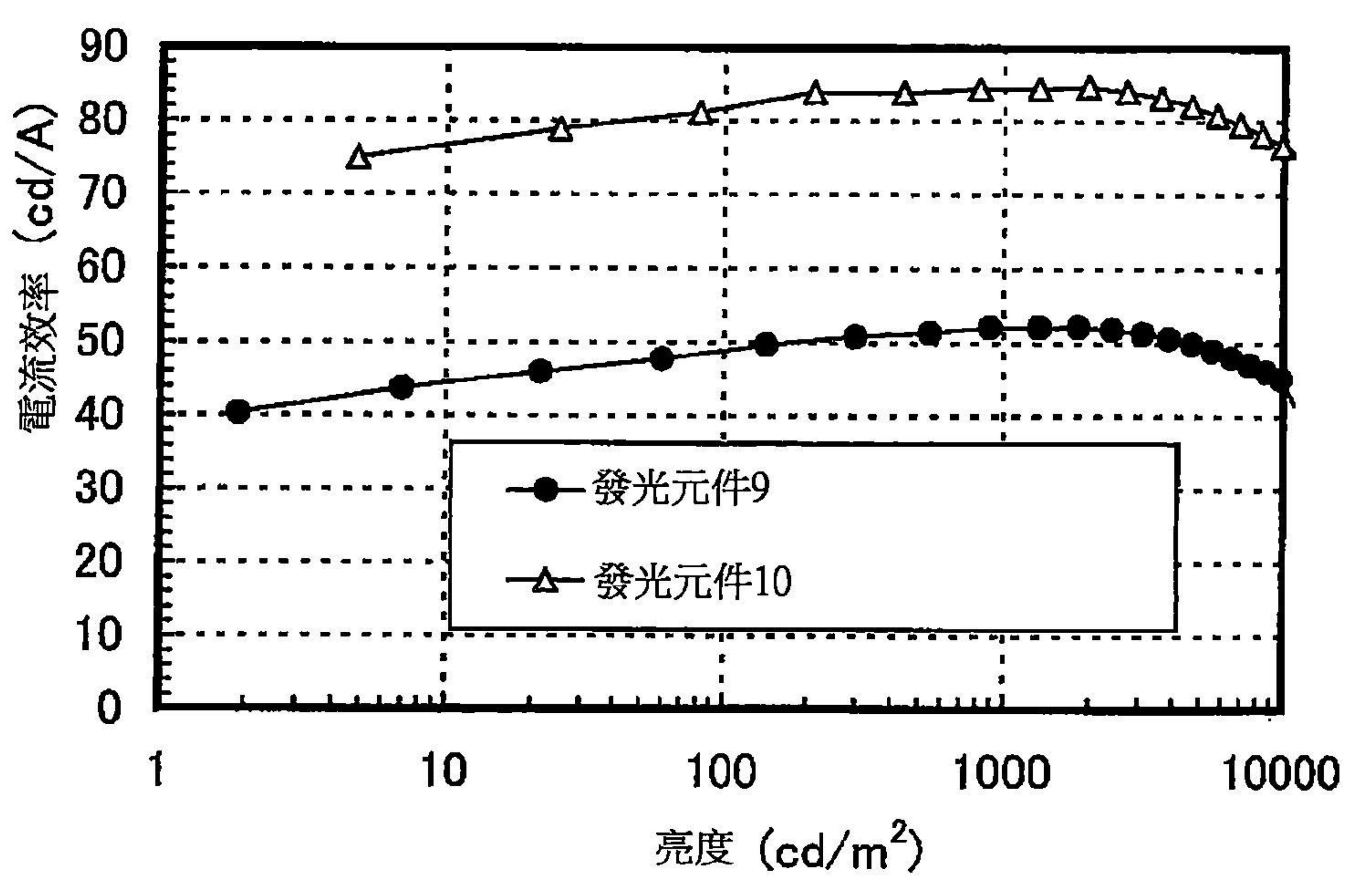


圖41

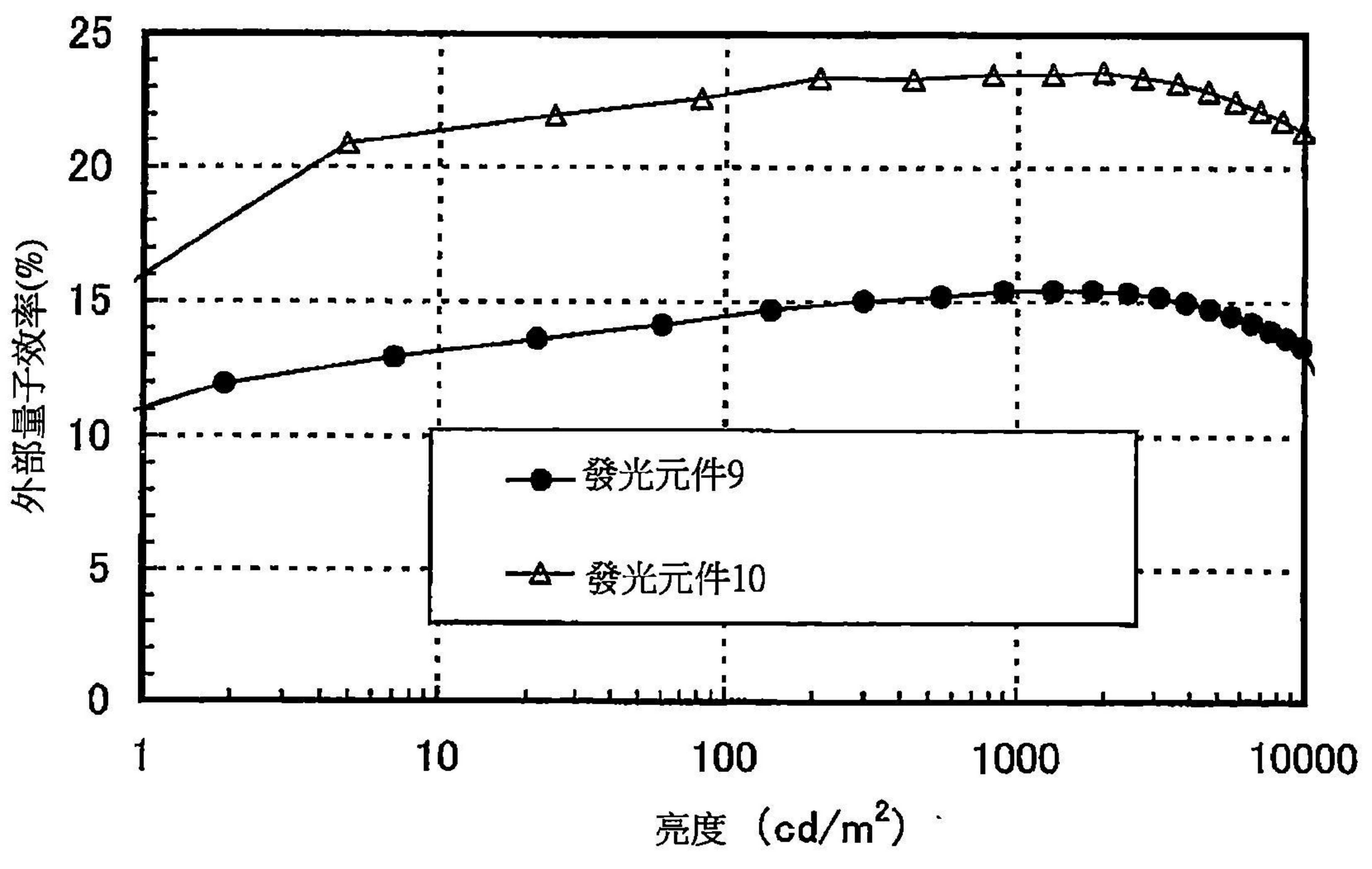


圖 42

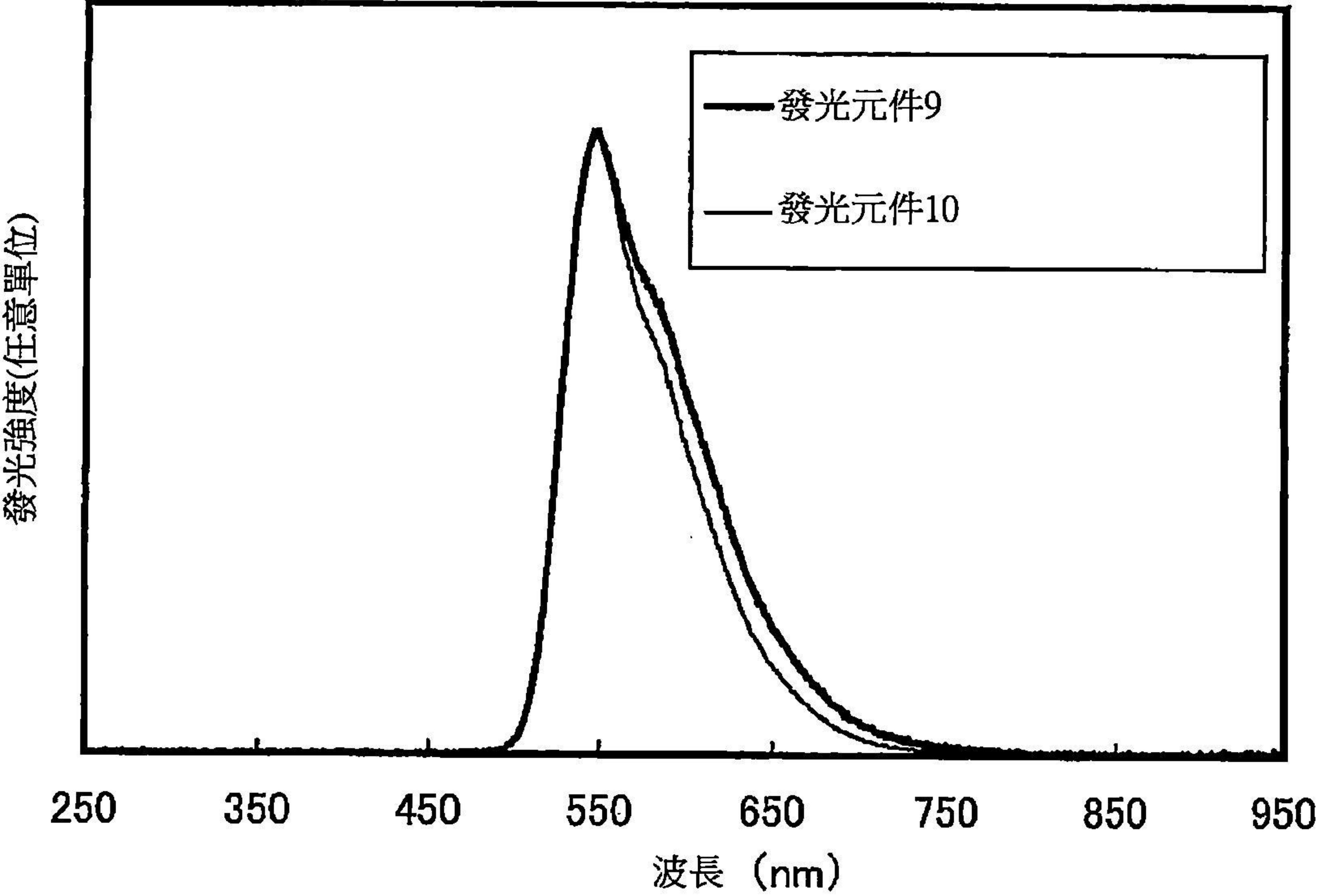


圖 43A

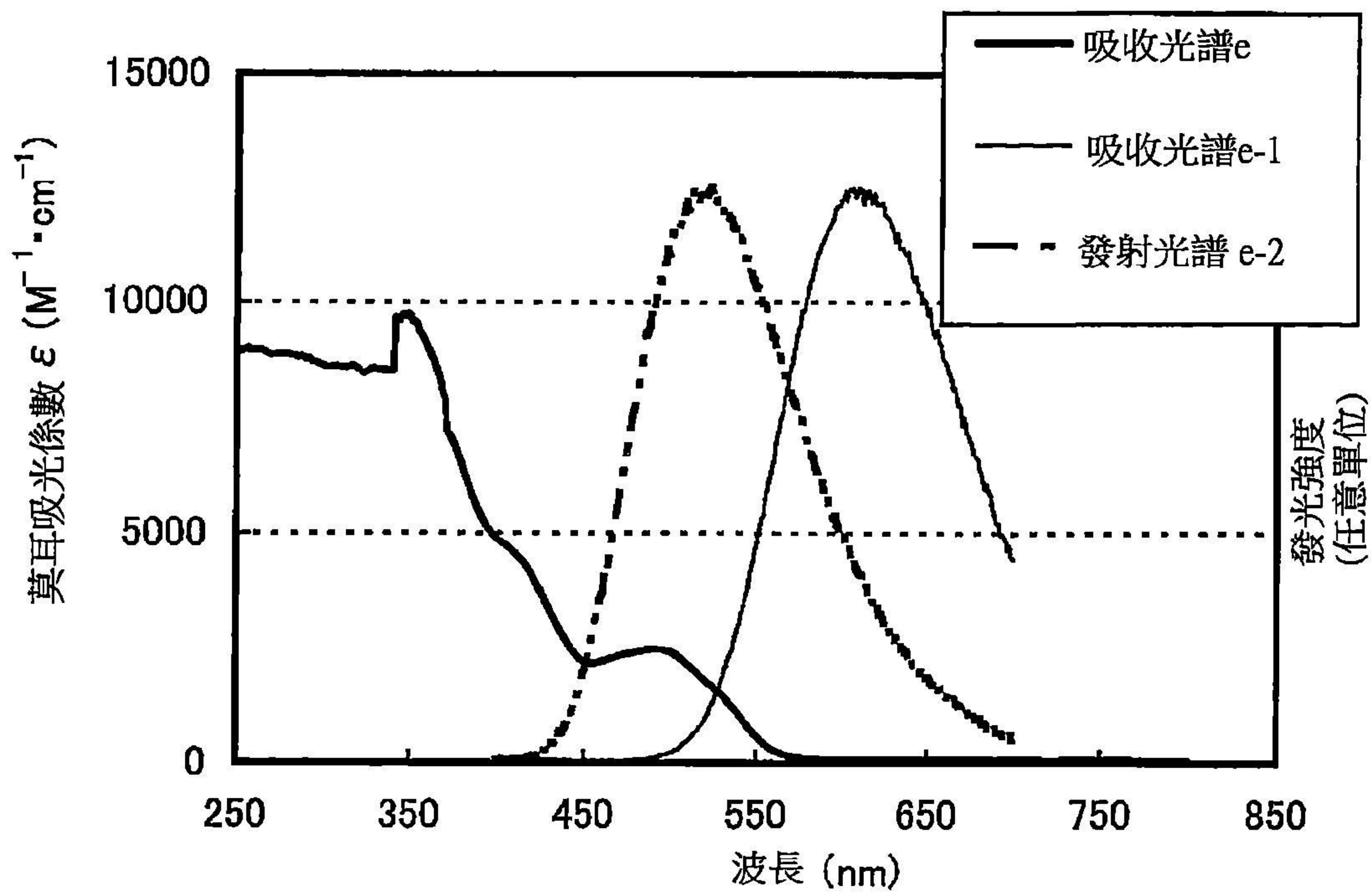


圖 43B

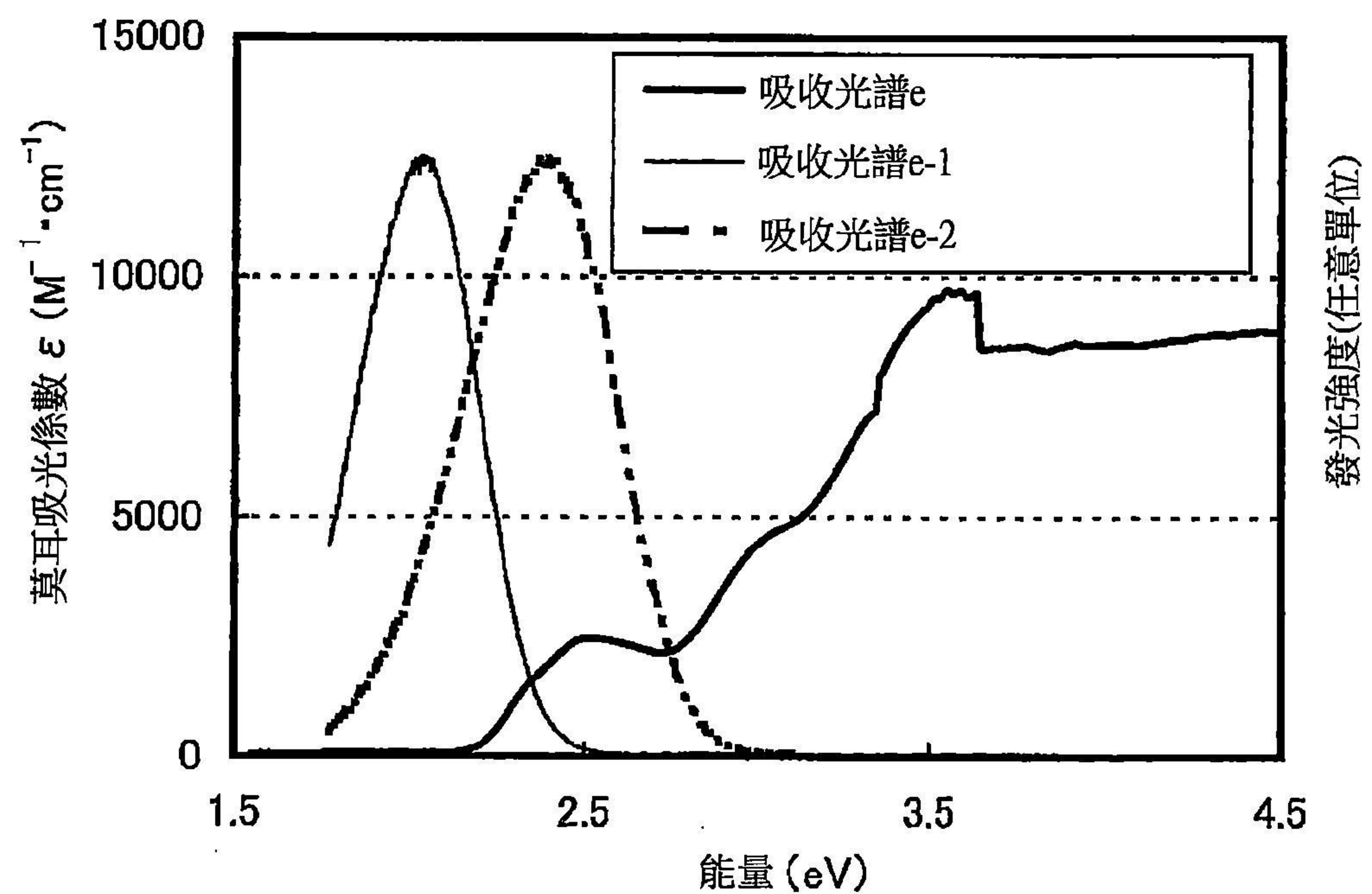


圖 44

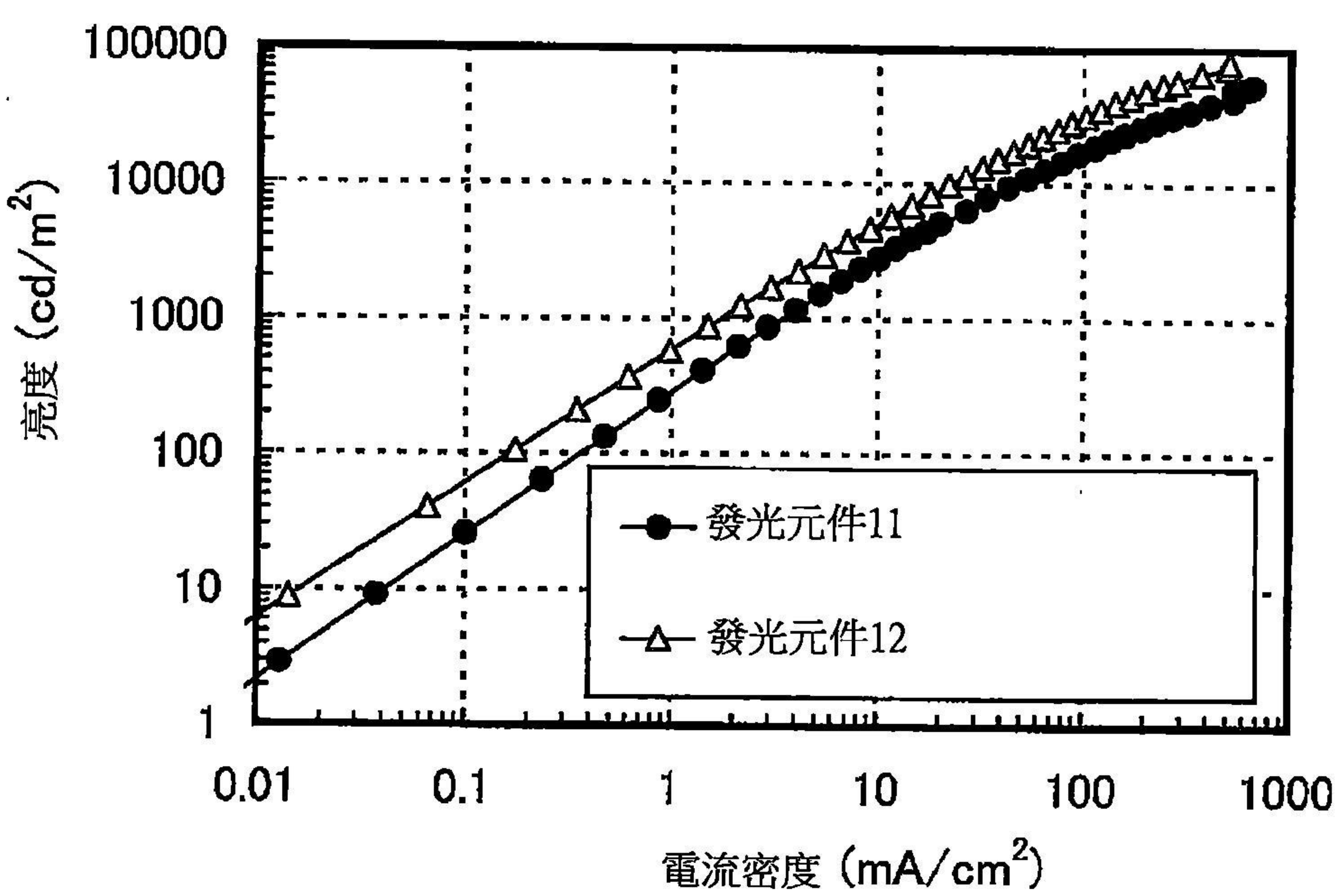


圖 45

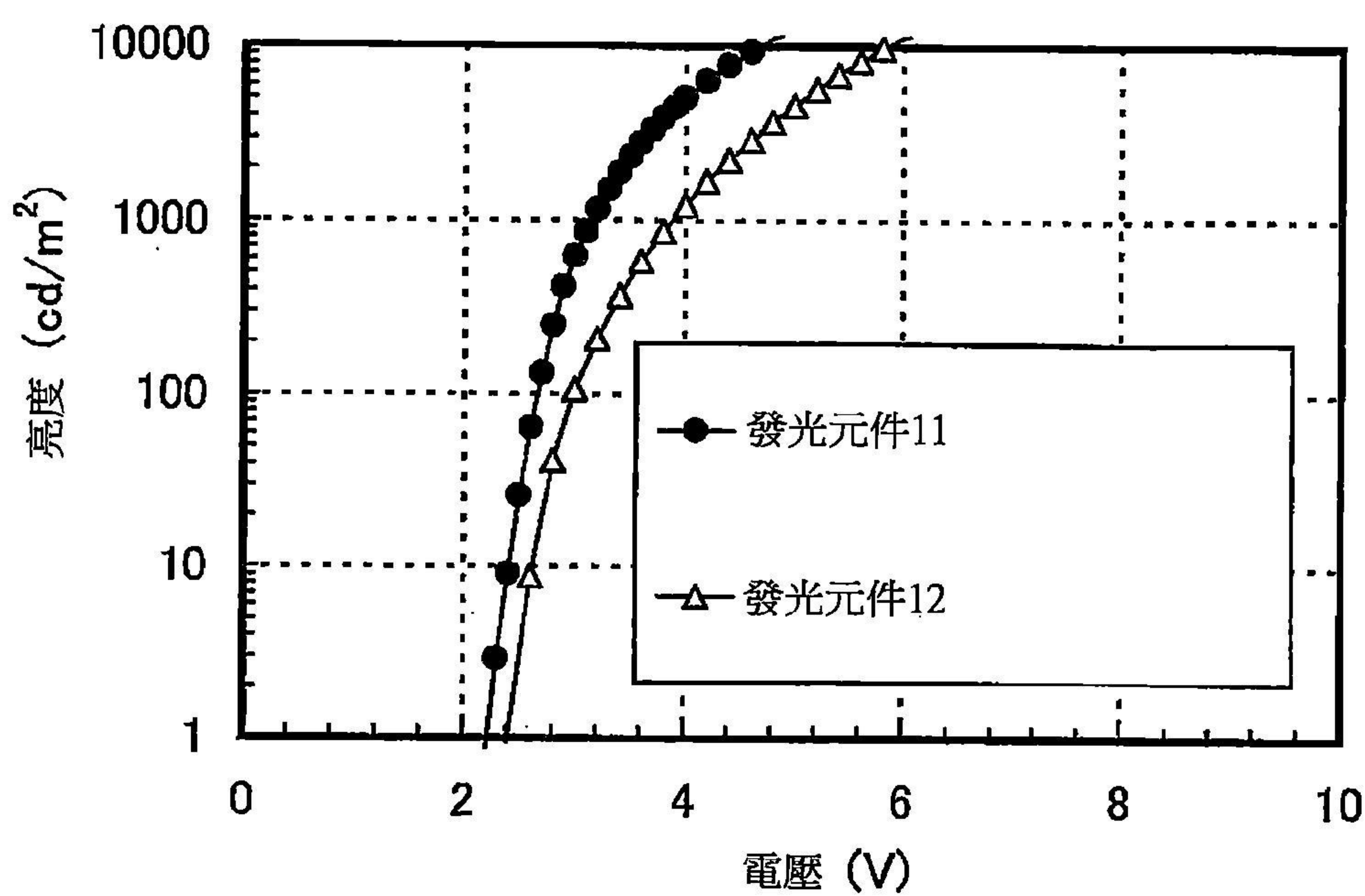


圖 46

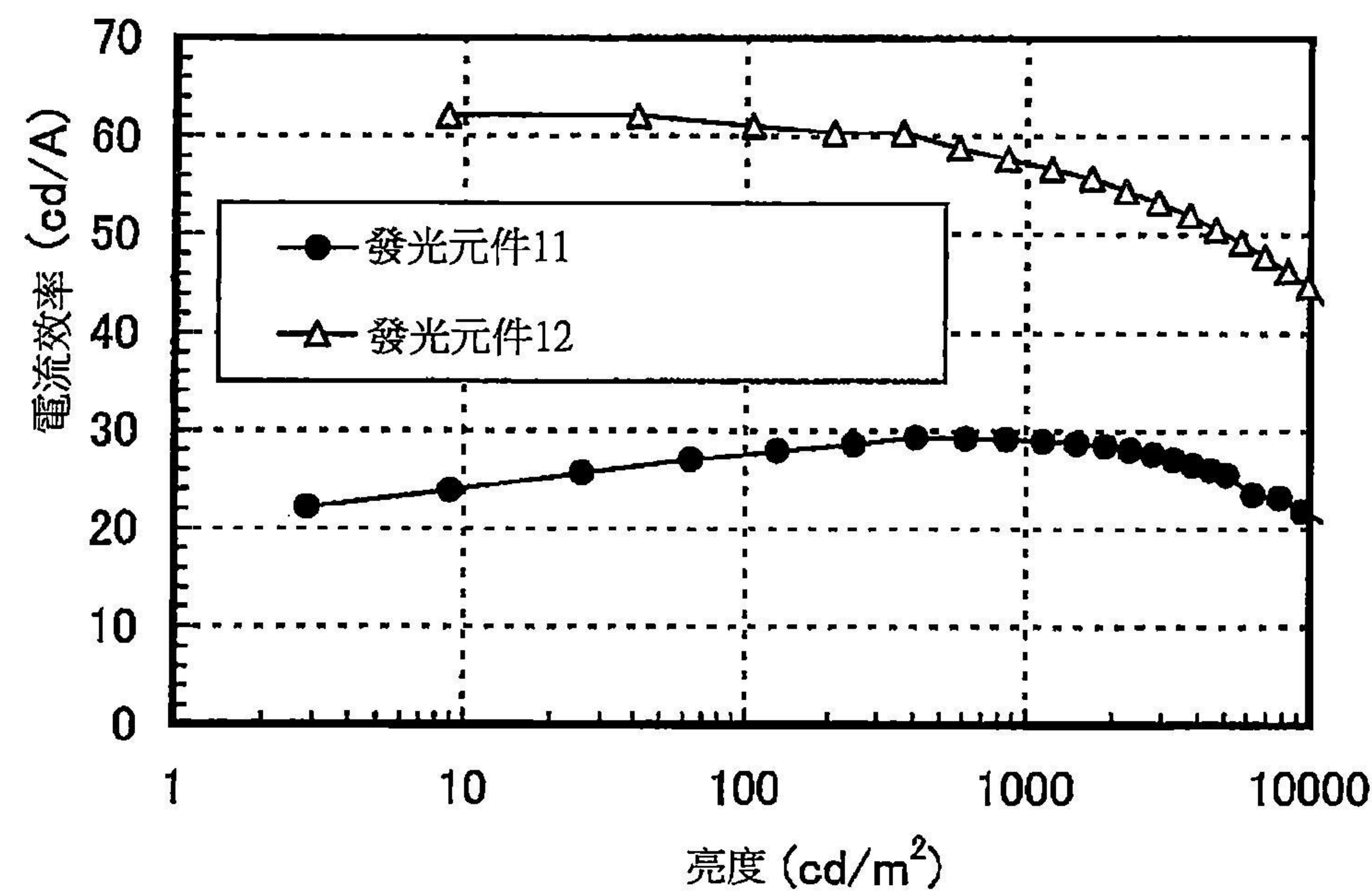


圖 47

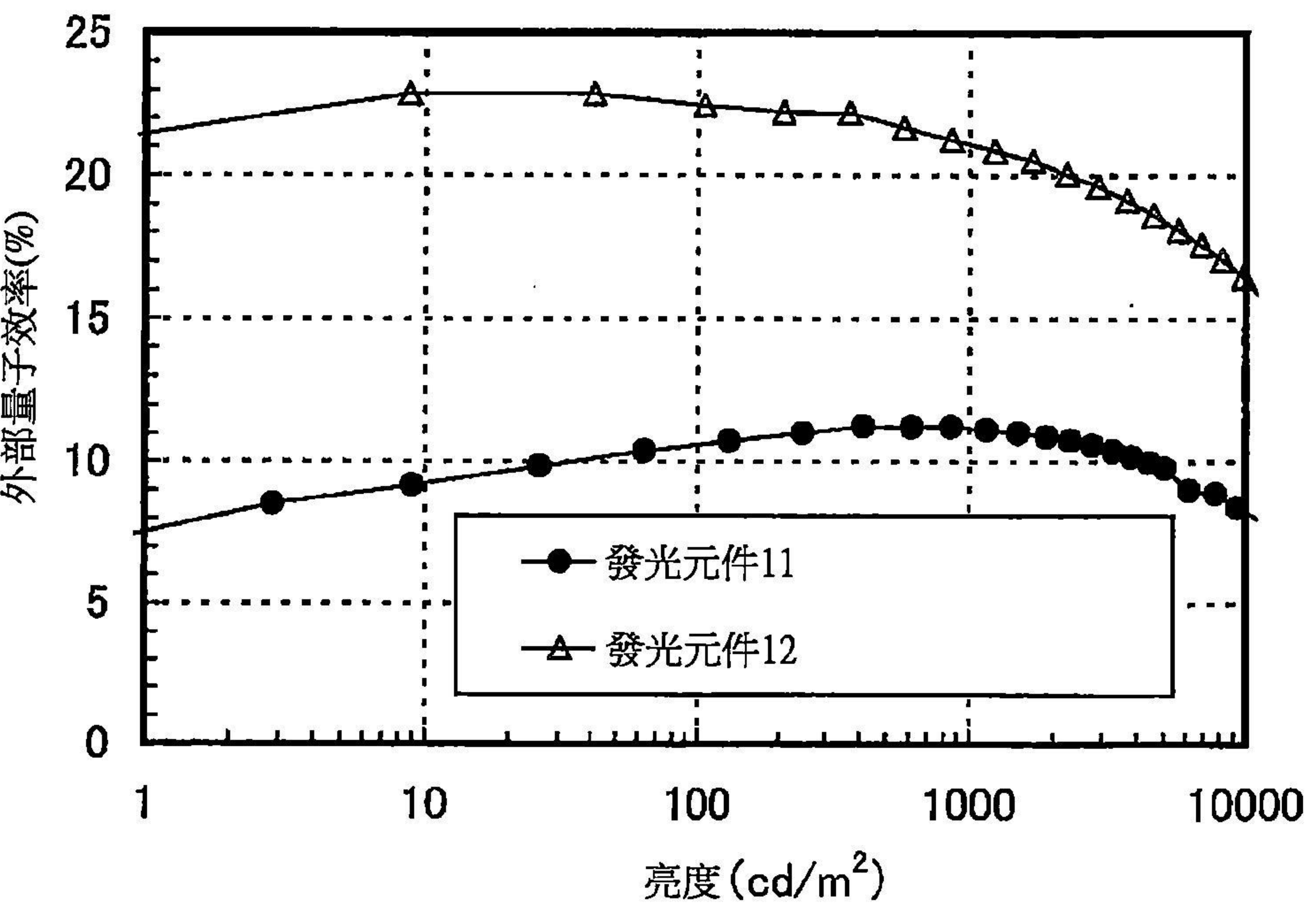


圖 48

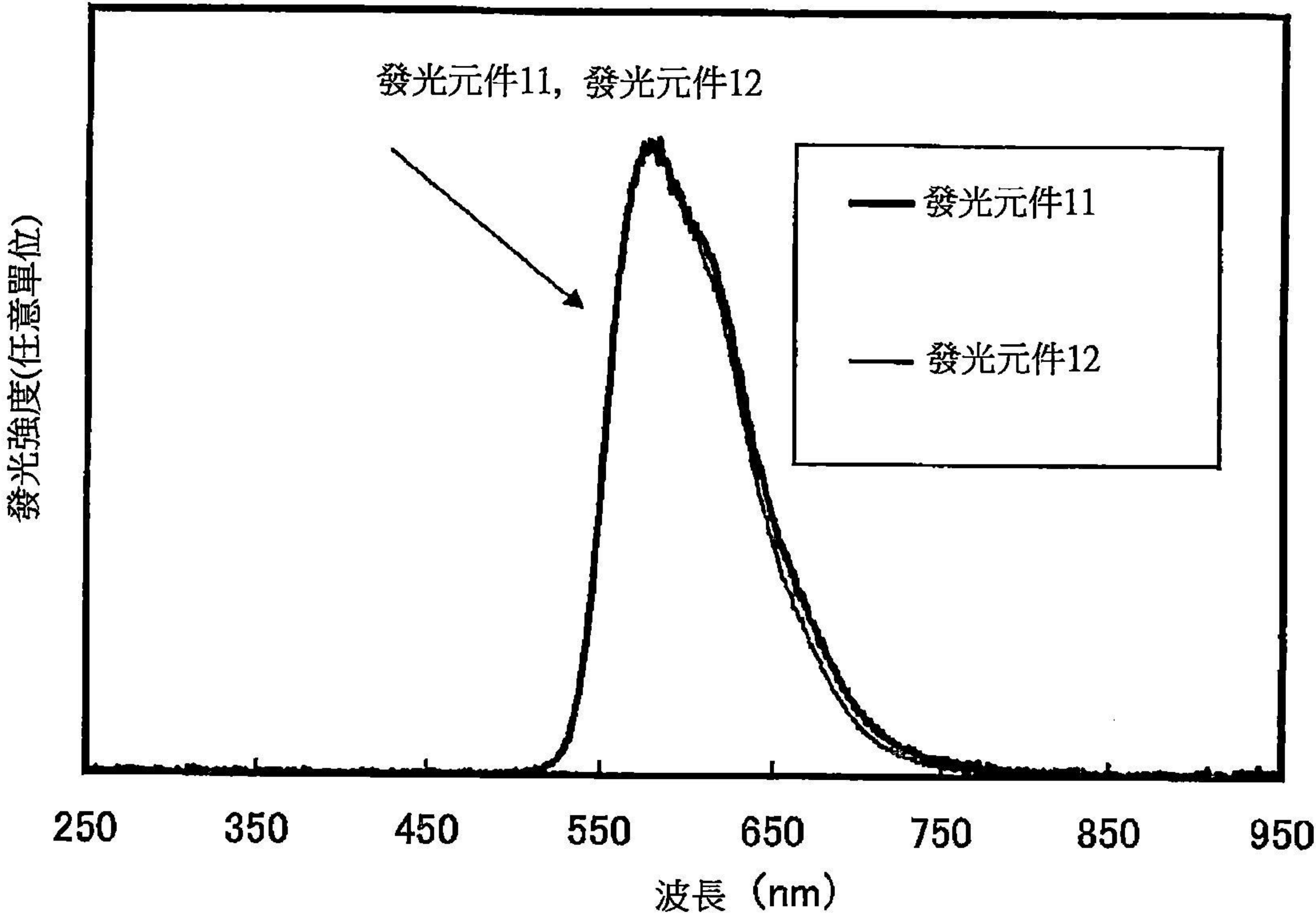


圖 49A

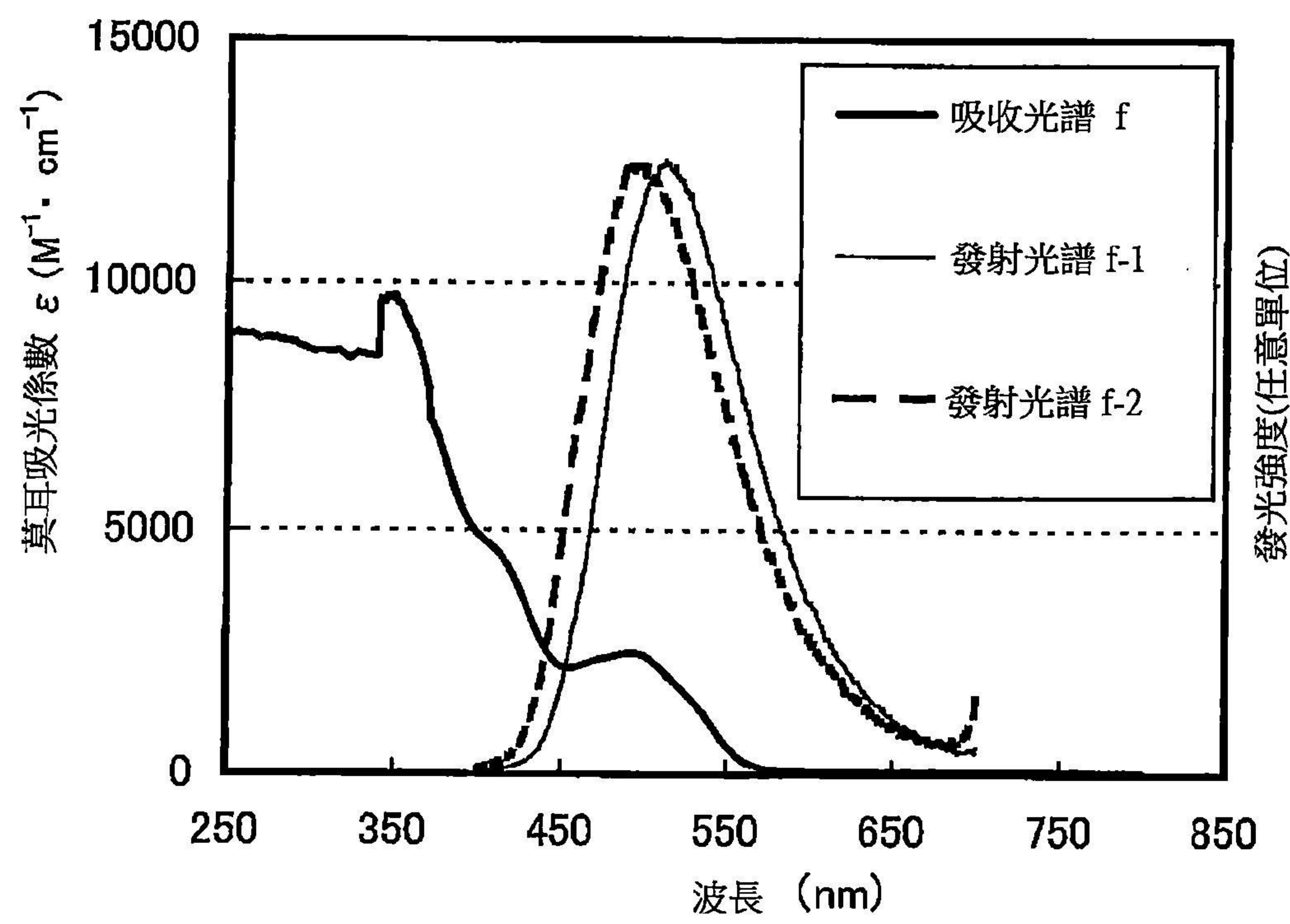


圖 49B

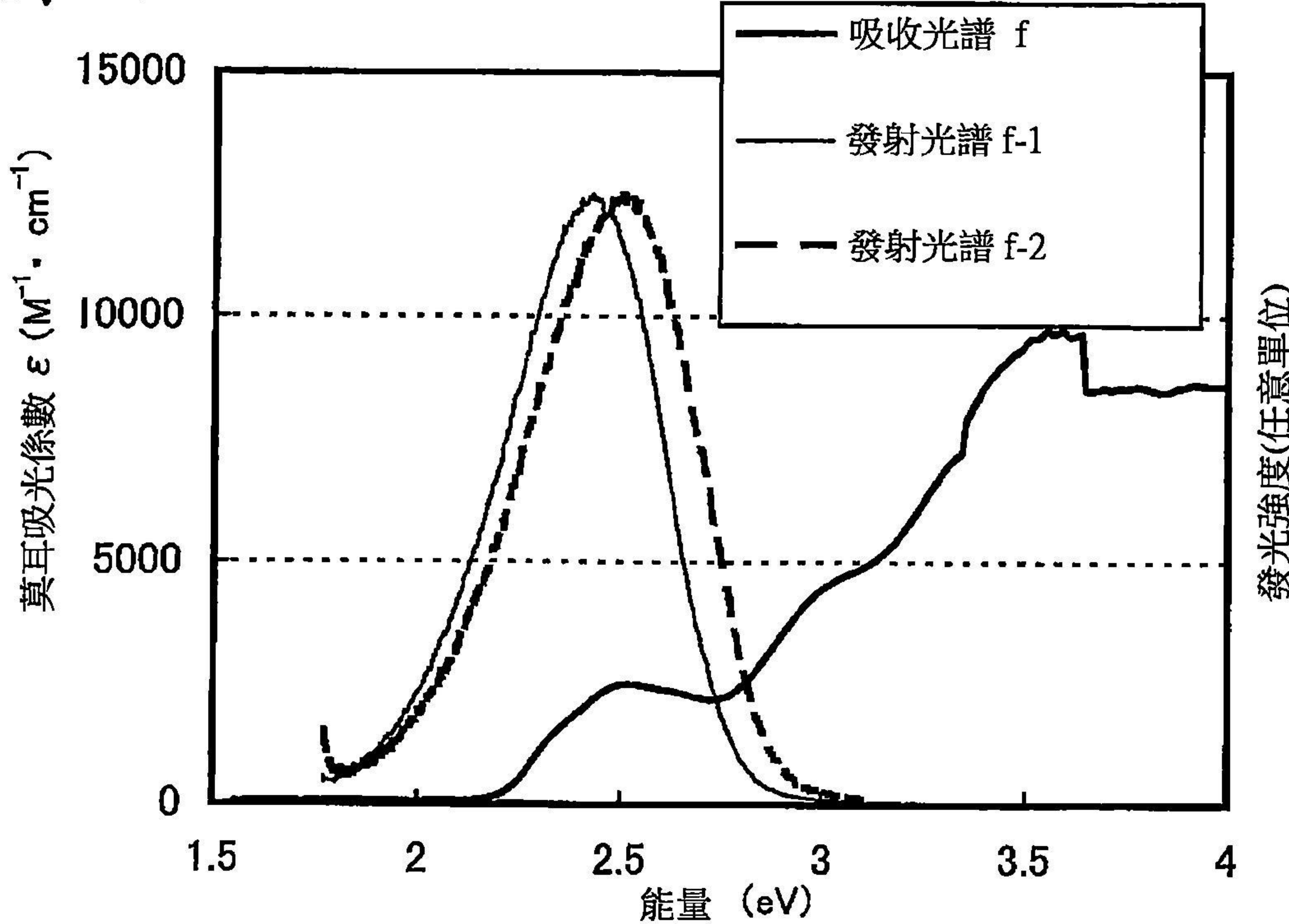


圖50

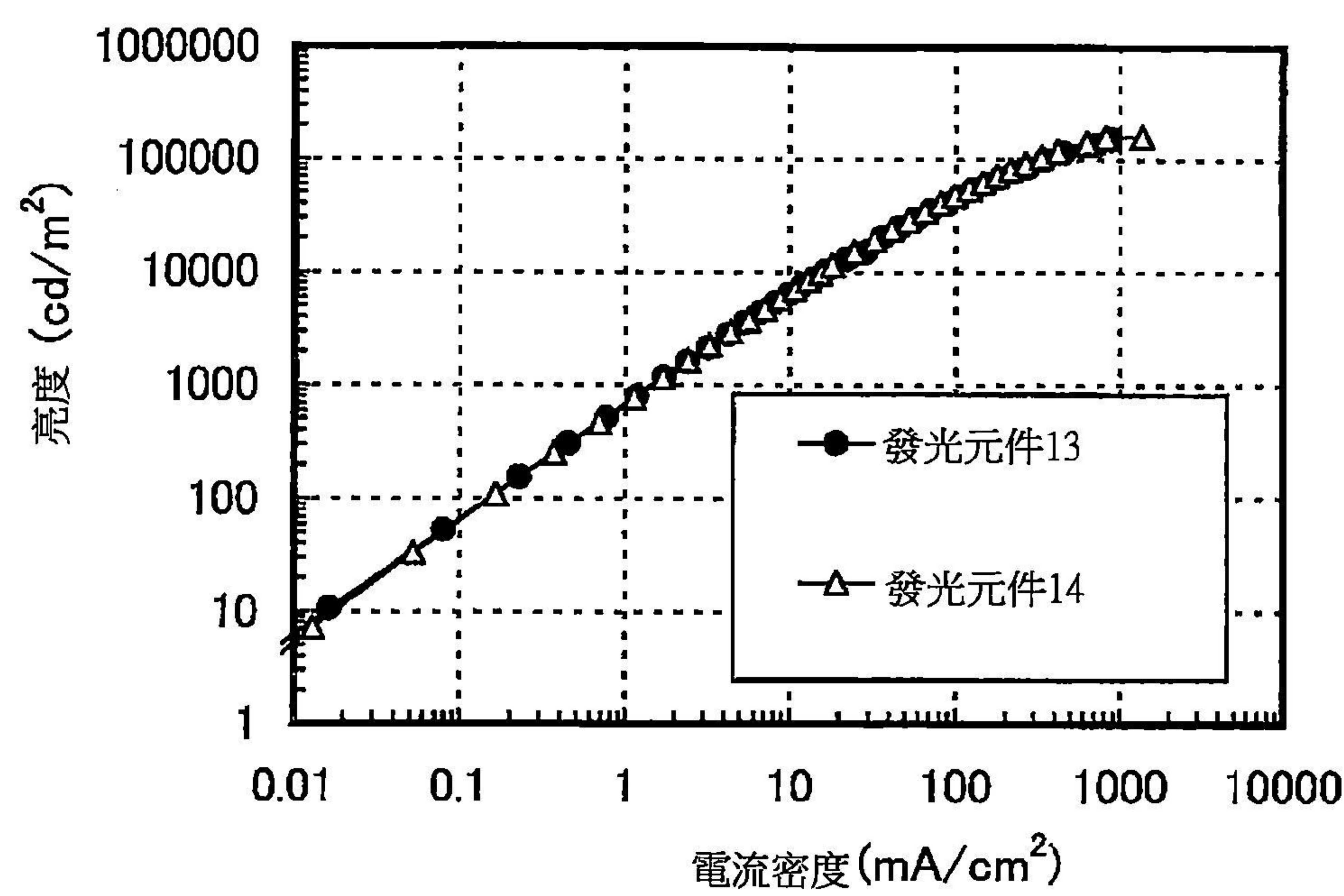


圖51

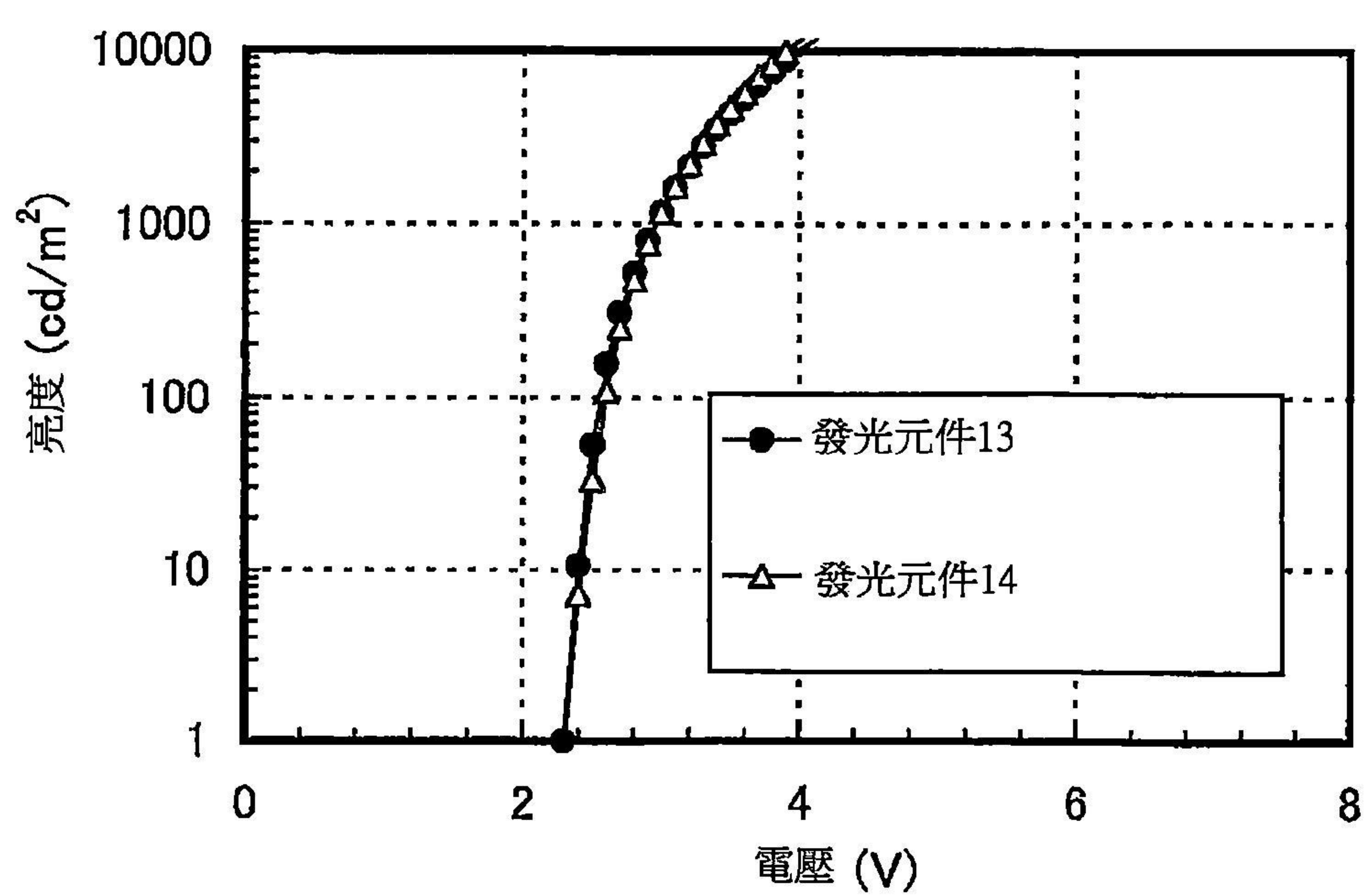


圖 52

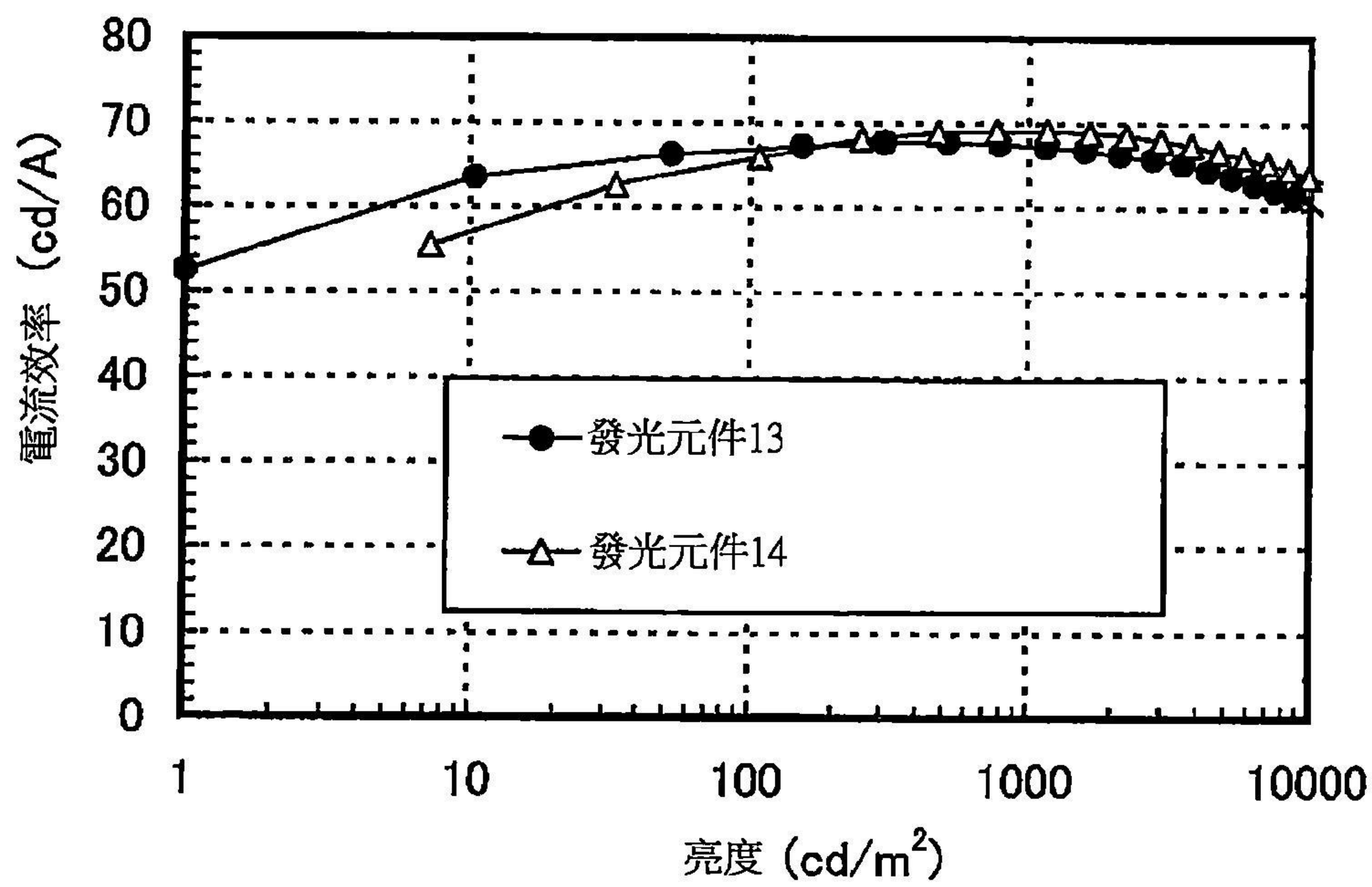


圖 53

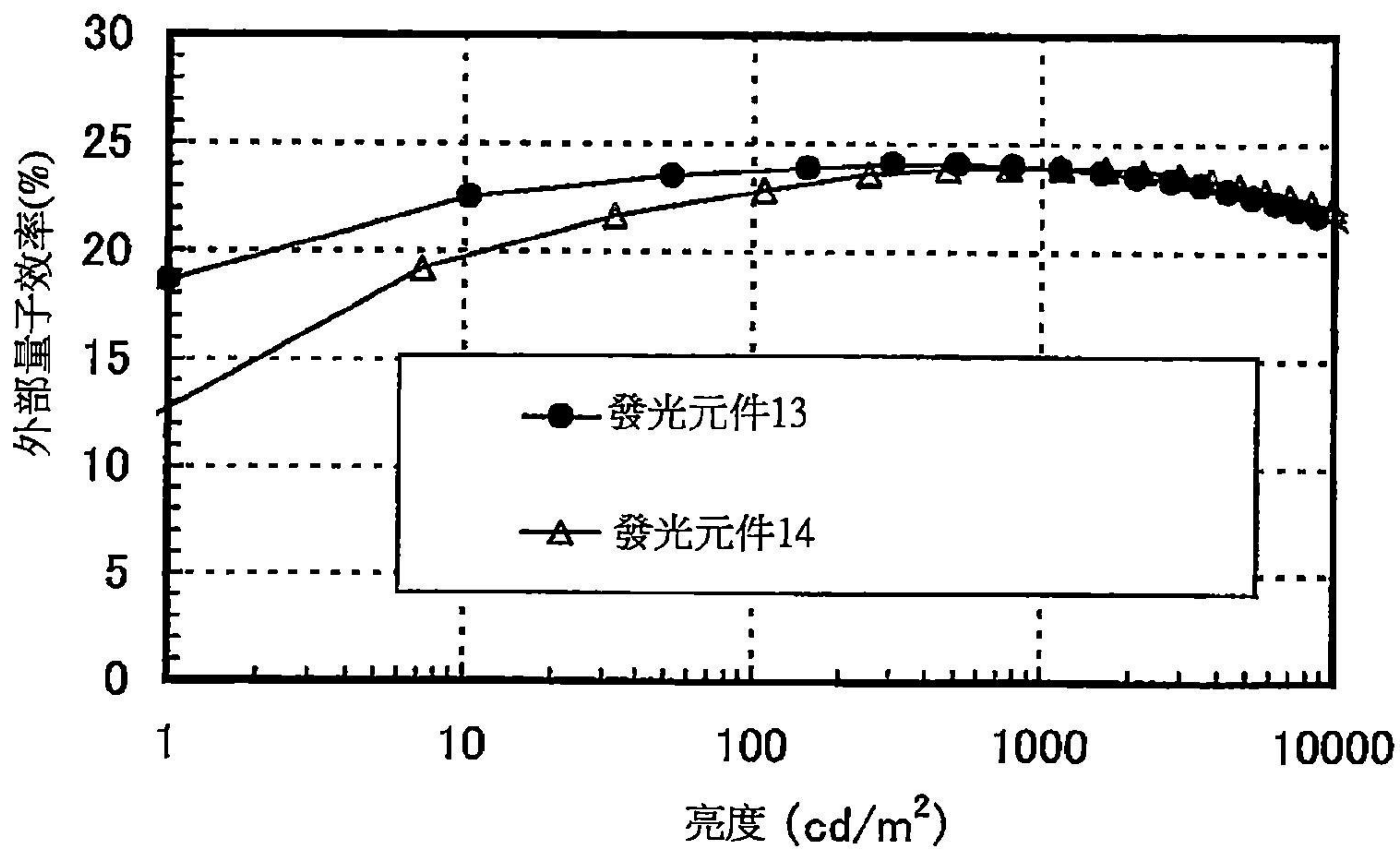


圖 54

