



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103518270 B

(45) 授权公告日 2016. 04. 06

(21) 申请号 201280022226. 0

(22) 申请日 2012. 03. 26

(30) 优先权数据

2011-085423 2011. 04. 07 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2013. 11. 07

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2012/058770 2012. 03. 26

(87) PCT国际申请的公布数据

W02012/137693 EN 2012. 10. 11

(73) 专利权人 株式会社半导体能源研究所

地址 日本神奈川县

(72) 发明人 濑尾哲史 下垣智子 大泽信晴

井上英子 门间裕史 尾坂晴惠

山崎舜平

(74) 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公

司 31100

代理人 胡嘉倩

(51) Int. Cl.

H01L 51/50(2006. 01)

H05B 33/12(2006. 01)

(56) 对比文件

TW 200514834 A, 2005. 05. 01,

TW 200514834 A, 2005. 05. 01,

US 2007/0222374 A1, 2007. 09. 27,

JP 2007073620 A, 2007. 03. 22,

CN 1656853 A, 2005. 08. 17,

US 5420288 A, 1995. 05. 30,

审查员 赵芳

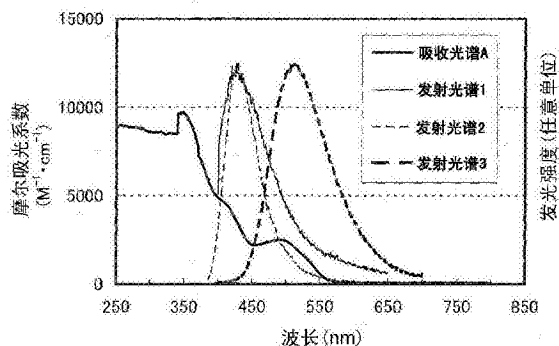
权利要求书2页 说明书28页 附图16页

(54) 发明名称

使用磷光化合物和由其形成激基复合物的有机化合物的发光元件

(57) 摘要

本发明提供一种磷光化合物的使用量少且发光效率高或者寿命长的发光元件。本发明提供一种发光元件,该发光元件包括一对电极之间的发光层,该发光层包含磷光化合物、第一有机化合物及第二有机化合物,并且,第一有机化合物及第二有机化合物的组合形成激基复合物。该发光元件利用激基复合物的发射光谱与磷光化合物的吸收光谱的重叠进行能量转移,因此即使磷光化合物的浓度低,能量转移效率也很高。



1. 一种发光元件,所述发光元件包括:

一对电极;以及

所述一对电极之间的发光层,该发光层包括:

磷光化合物;

第一有机化合物;以及

第二有机化合物,

其中,选择所述第一有机化合物及所述第二有机化合物,以便由所述第一有机化合物及所述第二有机化合物形成激基复合物,

其中,所述激基复合物的发射光谱与所述磷光化合物的吸收带在最长波长一侧重叠,

并且,所述磷光化合物的重量相对于所述第一有机化合物及所述第二有机化合物的总重量的比率为0.1%至2.5%。

2. 一种发光元件,所述发光元件包括:

一对电极;以及

所述一对电极之间的EL层,该EL层包括:

空穴注入层;

所述空穴注入层上的空穴传输层;

所述空穴传输层上的包含磷光化合物、第一有机化合物和第二有机化合物的发光层;

所述发光层上的电子传输层;以及

所述电子传输层上的电子注入层,

其中,选择所述第一有机化合物及所述第二有机化合物,以便由所述第一有机化合物及所述第二有机化合物形成激基复合物,

其中,所述激基复合物的发射光谱与所述磷光化合物的吸收带在最长波长一侧重叠,

并且,所述磷光化合物的重量相对于所述第一有机化合物及所述第二有机化合物的总重量的比率为0.1%至2.5%。

3. 一种发光元件,所述发光元件包括:

一对电极;

第一EL层;

第二EL层;以及

所述第一EL层与所述第二EL层之间的电荷发生层,

其中,在所述一对电极之间层叠所述第一EL层、所述第二EL层及所述电荷发生层,

所述第一EL层和所述第二EL层中的一个包含磷光化合物、第一有机化合物及第二有机化合物,

选择所述第一有机化合物及所述第二有机化合物,以便由所述第一有机化合物及所述第二有机化合物形成激基复合物,

其中,所述激基复合物的发射光谱与所述磷光化合物的吸收带在最长波长一侧重叠,

并且,所述磷光化合物的重量相对于所述第一有机化合物及所述第二有机化合物的总重量的比率为0.1%至2.5%。

4. 根据权利要求1至3中任一项所述的发光元件,其中,通过所述第一有机化合物的单重态激子与基态下的所述第二有机化合物的相互作用形成所述激基复合物。

5. 根据权利要求1至3中任一项所述的发光元件,其中,由所述第一有机化合物的阴离子及所述第二有机化合物的阳离子形成所述激基复合物。

6. 根据权利要求1至3中任一项所述的发光元件,其中,所述激基复合物的激发能量转移到所述磷光化合物,从而使所述磷光化合物发射磷光。

7. 根据权利要求1至3中任一项所述的发光元件,其中,所述第一有机化合物和所述第二有机化合物中的至少一个是荧光化合物。

8. 根据权利要求1至3中任一项所述的发光元件,其中,所述磷光化合物是有机金属配合物。

9. 根据权利要求8所述的发光元件,其中,所述磷光化合物包含铱。

10. 根据权利要求1至3中任一项所述的发光元件,其中,所述磷光化合物在所述激基复合物的发射光谱的峰值处的摩尔吸光系数为 $5000\text{M}^{-1}\text{cm}^{-1}$ 或更高。

11. 根据权利要求1至3中任一项所述的发光元件,其中,所述第一有机化合物与所述第二有机化合物是不同的有机化合物。

12. 一种包括根据权利要求1至3中任一项所述的发光元件的电子设备。

13. 一种包括根据权利要求1至3中任一项所述的发光元件的照明装置。

使用磷光化合物和由其形成激基复合物的有机化合物的发光元件

技术领域

[0001] 本发明涉及利用有机电致发光 (EL: Electroluminescence) 的发光元件 (以下, 也称为有机 EL 元件)。

背景技术

[0002] 有机 EL 元件已经被积极地进行研究开发 (参照专利文献 1 和 2 以及非专利文献 1)。在有机 EL 元件的基本结构中, 包含发光有机化合物的层 (以下, 也称为发光层) 夹在一对电极之间。有机 EL 元件由于具有可实现薄型轻量化、对输入信号进行高速响应、能够实现直流低电压驱动等的特性, 所以作为下一代的平板显示元件受到关注。

[0003] 此外, 使用这种发光元件的显示器还具有优异的对比度和图像质量且具有广视角的特征。再者, 由于有机 EL 元件是面光源, 因此发光元件被认为应用于光源, 诸如液晶显示器的背光灯及照明装置。

[0004] 有机 EL 元件的发光机理是载流子注入体系。换言之, 通过对夹在电极之间的发光层施加电压, 从电极注入的电子和空穴复合, 以使发光物质激发, 并且当该激发态回到基态时发光。作为可存在的激发态有两种: 单重激发态 (S^*) 和三重激发态 (T^*)。此外, 在发光元件中的统计学上的生成比例被认为是 $S^*:T^*=1:3$ 。

[0005] 一般来说, 发光有机化合物的基态是单重态。由此, 来自单重激发态 (S^*) 的发光被称为荧光, 因为这是由相同的自旋多重态之间的电子跃迁而产生的。另一方面, 来自三重激发态 (T^*) 的发光被称为磷光, 其中不同的自旋多重态之间发生电子跃迁。在此, 在发射荧光的化合物 (以下, 称为荧光化合物) 中, 一般来说, 在室温下无法观察到磷光, 且只能观察到荧光。因此, 基于 $S^*:T^*=1:3$, 在使用荧光化合物的发光元件中的内部量子效率 (所产生的光子对所注入的载流子的比率) 的理论上的极限被认为是 25%。

[0006] 另一方面, 当使用发射磷光的化合物 (以下称为磷光化合物) 时, 在理论上可获得 100% 的内部量子效率。换言之, 与使用荧光化合物时相比, 可以得到更高的发光效率。由此, 为了实现高效率的发光元件, 近年来积极地开发出使用磷光化合物的发光元件。尤其是, 作为磷光化合物, 具有铱等作为中心金属的有机金属配合物由于其高磷光量子产率而已受到关注; 例如, 在专利文献 1 中, 作为磷光材料公开了具有铱作为中心金属的有机金属配合物。

[0007] 当使用上述磷光化合物形成发光元件的发光层时, 为了抑制在磷光化合物中的浓度猝灭或者由三重态-三重态湮灭导致的猝灭, 通常以将该磷光化合物分散在另一种化合物的基体中的方式形成发光层。在此, 形成基体的化合物被称为主体, 分散在基体中的化合物诸如磷光化合物被称为客体 (或掺杂剂)。

[0008] 此外, 专利文献 2 或非专利文献 1 提出了使用高电子传输性的材料和高空穴传输性的材料的混合物形成发光层的方法。例如, 在非专利文献 1 中, 提出了一种发光装置, 其中使用高电子传输性的三-(8-羟基喹啉) 铝配合物 (缩写: Alq_3)、高空穴传输性的

4,4'-双[N-(1-萘基)-N-苯基氨基]联苯(缩写:NPB)的两种材料以及作为客体(掺杂剂)的甲基喹吡啶酮(缩写:mqa)。

[0009] 在具有这种结构的发光层中,两种主体分担功能,从而电子和空穴都可以保持平衡地传导。换言之,电子由Alq₃传导,空穴由NPB传导,并且电子及空穴传到mqa,因此mqa可成为激发态。mqa只发射荧光,但是在专利文献2中公开了通过使用磷光化合物作为客体,可以获得来源于三重激发态的发光。

[0010] [参考文献]

[0011] [专利文献1] 国际专利申请公开第2000/070655号

[0012] [专利文献2] 美国专利第7572522号的说明书

[0013] [非专利文献]

[0014] [非专利文献1] Vi-En Choong等“具有双极传输层的有机发光二极管”(“Organic light-emitting diodes with a bipolar transport layer”), Appl. Phys. Lett., 75, 172(1999).

发明内容

[0015] 铱是稀有元素(或微量元素)(克拉克数为 $1 \times 10^{-7}\%$),与比铱昂贵的铂(克拉克数为 $5 \times 10^{-7}\%$)、金(克拉克数为 $5 \times 10^{-7}\%$)相比,在地表附近的铱的蕴藏量少。由此,有关于铱的稳定供应的忧虑,且需要削减其使用量。

[0016] 然而,一般而言,当在以磷光化合物为客体且过度降低客体浓度时,发光效率降低。对此可作如下说明。作为使客体分子处于激发态的过程可认为大致有两个过程。一个过程是直接复合过程,其中电子及空穴注入到客体分子中而使客体分子激发。另一个过程是能量转移过程,其中激发的主体分子的状态转移到客体分子。

[0017] 为了提高直接复合过程的比例,需要提高客体浓度。因此,如果客体浓度降低,复合概率也就减少,因此发光效率降低。

[0018] 另一方面,作为能量转移过程,提出了两个机理:福斯特(Förster)机理及德克斯特(Dexter)机理。

[0019] 福斯特机理(也称为福斯特共振能量转移(Förster resonance energy transfer))对于能量转移不需要分子间的直接接触。这被认为通过主体分子和客体分子间的偶极振荡的共振现象,发生能量转移。通过偶极振荡的共振现象,主体分子给客体分子供应能量,因此主体分子处于基态,且客体分子处于激发态。通过公式(1)示出福斯特机理的速度常数 $k_{h \rightarrow g}^*$ 。

[0020] [公式1]

$$[0021] \quad k_{h \rightarrow g}^* = \frac{9000c^4 K^2 \phi \ln 10}{128\pi^5 n^4 N \tau R^6} \int \frac{f'_h(\nu) \varepsilon_g(\nu)}{\nu^4} d\nu \cdots (1)$$

[0022] 在公式(1)中, ν 表示振荡数, $f'_h(\nu)$ 表示主体分子的标准化的发射光谱(从单重激发态的能量转移中的荧光光谱,以及从三重激发态的能量转移中的磷光光谱), $\varepsilon_g(\nu)$ 表示客体分子的摩尔吸光系数,N表示阿伏伽德罗数,n表示介质的折射率,R表示主体分子和客体分子之间的分子间距离, τ 表示所测量的激发态的寿命(荧光寿命或磷光

寿命), c 表示光速, ϕ 表示发光量子效率 (从单重激发态的能量转移中的荧光量子效率、以及从三重激发态的能量转移中的磷光量子效率), K^2 表示主体分子和客体分子之间的跃迁偶极矩的取向的系数 (0 至 4)。此外, 在无规取向中 $K^2 = 2/3$ 。

[0023] 在德克斯特机理 (也称为德克斯特电子转移 (Dexter electron transfer)) 中, 认为主体分子和客体分子接近于其轨道重叠的接触有效距离, 并且激发态的主体分子和基态的客体分子交换电子, 由此发生能量转移。通过公式 2 示出德克斯特机理的速度常数 $k_{h^* \rightarrow g}^*$ 。

[0024] [公式 2]

$$[0025] \quad k_{h^* \rightarrow g}^* = \left(\frac{2\pi}{h} \right) K^2 \exp \left(-\frac{2R}{L} \right) \int f'_h(\nu) \varepsilon'_g(\nu) d\nu \cdots (2)$$

[0026] 在公式 (2) 中, h 表示普朗克常数, K 表示具有能量维数 (energy dimension) 的常数, ν 表示振荡数, $f'_h(\nu)$ 表示主体分子的标准化的发射光谱 (从单重激发态的能量转移中的荧光光谱、以及从三重激发态的能量转移中的磷光光谱), $\varepsilon'_g(\nu)$ 表示客体分子的标准化的吸收光谱, L 表示有效分子半径, R 表示主体分子和客体分子之间的分子间距离。

[0027] 一般而言, 由德克斯特机理的转移能量的可能距离大约为 1nm 或更小, 而由福斯特机理的转移能量的可能距离大约为 10nm 或更小。因此, 当客体浓度很小且在客体分子与处于激发态的主体分子之间的距离很大时, 能量转移效率显著降低。由此, 客体浓度必须要为 3% 或更高。

[0028] 如上所述那样, 考虑到从载流子的复合到客体的激发态的形成的基本过程, 为了高效地使客体处于激发态需要提高客体的浓度。然而, 在客体的浓度较高时, 因客体凝集而发生发光效率的降低, 即浓度淬灭, 所以即使高效地产生客体的激发态, 元件的发光效率还降低。换言之, 在客体的浓度较低时, 客体的激发态的生成效率很低, 而当客体的浓度较高时, 发生浓度淬灭。无论是上述哪一种情况, 都有降低发光效率的问题。

[0029] 鉴于上述问题, 本发明的一个方式的目的是通过使用新颖的发光机理提供一种具有降低的客体浓度的发光元件。此外, 本发明的一个方式的目的是提供一种高效的发光装置。此外, 本发明的一个方式的目的是提供一种寿命长的发光装置。此外, 本发明的一个方式的目的是提供一种劣化少的发光装置。此外, 本发明的一个方式的目的是提供一种可靠性高的发光装置。本发明的一个方式能够解决上述目的中的至少一个。

[0030] 本发明的一个方式是一种发光元件, 该发光元件在一对电极之间包括发光层, 该发光层包含磷光化合物、第一有机化合物及第二有机化合物, 并且, 第一有机化合物及第二有机化合物形成激基复合物 (exciplex), 并且, 磷光化合物的重量相对于第一有机化合物及第二有机化合物的总重量的比率为 0.1% 至 2.5%, 优选为 0.1% 至 1.5%, 更优选为 0.1% 至 0.5%。

[0031] 本发明的另一个方式是一种发光元件, 该发光元件在一对电极之间包括发光层, 该发光层包含磷光化合物、第一有机化合物及第二有机化合物, 并且, 至少一个第一有机化合物和至少一个第二有机化合物形成激基复合物, 该激基复合物对磷光化合物起作用, 以使磷光化合物能够发射磷光, 并且, 磷光化合物的重量相对于第一有机化合物及第二有机化合物的总重量的比率为 0.1% 至 2.5%, 优选为 0.1% 至 1.5%, 更优选为 0.1% 至 0.5%。

[0032] 本发明的另一个方式是一种发光元件, 该发光元件在一对电极之间包括发光层,

该发光层包含磷光化合物、第一有机化合物及第二有机化合物,并且,第一有机化合物及第二有机化合物的激基复合物由第一有机化合物或第二有机化合物的单重态激子形成,并且,磷光化合物的重量相对于第一有机化合物及第二有机化合物的总重量的比率为 0.1% 至 2.5%,优选为 0.1% 至 1.5%,更优选为 0.1% 至 0.5%。

[0033] 本发明的另一个方式是一种发光元件,该发光元件在一对电极之间包括发光层,该发光层包含磷光化合物、第一有机化合物及第二有机化合物,并且,第一有机化合物及第二有机化合物的激基复合物由第一有机化合物的阴离子及第二有机化合物的阳离子形成,并且,磷光化合物的重量相对于第一有机化合物及第二有机化合物的总重量的比率为 0.1% 至 2.5%,优选为 0.1% 至 1.5%,更优选为 0.1% 至 0.5%。

[0034] 在上述发光元件的任一个中,激基复合物的激发能量优选转移到磷光化合物,以使该磷光化合物发射磷光。

[0035] 在上述发光元件的任一个中,第一有机化合物和第二有机化合物中的至少一方优选是荧光化合物。

[0036] 在上述发光元件的任一个中,磷光化合物优选是含铱的有机金属配合物。

[0037] 在上述发光元件的任一个中,在激基复合物的发射光谱的峰值处磷光化合物的摩尔吸光系数优选为 $5000\text{M}^{-1}\text{cm}^{-1}$ 或更高。

[0038] 在上述发光元件的任一个中,优选的是,第一有机化合物的电子传输性比空穴传输性高,而第二有机化合物的空穴传输性比电子传输性高。

[0039] 根据本发明的一个方式的发光元件可以应用于发光装置、电子设备及照明装置。

[0040] 在上述能量转移过程中,可认为以公式 (3) 表示从主体分子到客体分子的能量转移的效率(能量转移效率 Φ_{ET})。在公式中, k_r 表示主体分子的发光过程(主体分子的从单重激发态的能量转移中的荧光、以及主体分子的从三重激发态的能量转移中的磷光)的速度常数, k_n 表示非发光过程(热失活或系间跨越)的速度常数, τ 表示所检测出的主体分子的激发态的寿命。

[0041] [公式 3]

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

[0042]

[0043] 根据公式 (3) 可知,通过与其他竞争的速度常数 $k_r + k_n (= 1/\tau)$ 相比,进一步提高能量转移的速度常数 $k_{H^* \rightarrow G}$,可以提高能量转移效率 Φ_{ET} 。而且,为了增大该能量转移的速度常数 $k_{H^* \rightarrow G}$,根据公式 (1) 及公式 (2) 可知,在福斯特机理和德克斯特机理中,优选的是,使主体分子的发射光谱(从单重激发态的能量转移中的荧光光谱、以及从三重激发态的能量转移中的磷光光谱)和客体分子的吸收光谱的重叠增大。

[0044] 此外,可知在主体分子的发射光谱的峰值处的客体分子的吸收能力越高,能量越容易从主体分子转移到客体分子。

[0045] 换言之,将主体分子的激发态的能级与客体分子的激发态的能级设定为大致相等且提高使客体分子成为激发态的跃迁概率,因此更容易进行能量转移。

[0046] 然而,在上述条件下,在按照惯例使用单一材料作为主体时,激发态的客体分子的能量容易转移到基态的主体分子,其结果是,导致发光效率的降低。

[0047] 可以使用激基复合物解决上述问题。在此详细说明激基复合物。激基复合物(exciplex、excited complex)通过激发态下的异种分子间的相互作用形成。一般已知激基复合物在具有相对深的最低未占据分子轨道(LUMO:Lowest Unoccupied Molecular Orbital)能级的材料和具有相对浅的最高占据分子轨道(HOMO:Highest Occupied Molecular Orbital)能级的材料之间容易形成。

[0048] 在此,本发明的一个方式所应用的第一有机化合物与第二有机化合物的HOMO能级及LUMO能级不同。具体而言,能级满足如下关系:第一有机化合物的HOMO能级<第二有机化合物的HOMO能级<第一有机化合物的LUMO能级<第二有机化合物的LUMO能级。

[0049] 但是,即使上述条件成立也不一定形成激基复合物,例如,非专利文献1中的Alq₃与NPB不能形成激基复合物。注意,在不能形成激基复合物时,不能获得如下效果。

[0050] 在由第一有机化合物及第二有机化合物形成激基复合物时,激基复合物的LUMO能级和HOMO能级分别来源于第一有机化合物和第二有机化合物。因此,激基复合物的能量差比第一有机化合物的能量差及第二有机化合物的能量差小。换言之,与第一有机化合物及第二有机化合物的发光波长相比,激基复合物的发光波长处于更长波长一侧。

[0051] 激基复合物的形成过程可认为大致划分为如下两个过程。第一过程是电致激基复合物(electroplex)的形成过程。在本说明书中,“电致激基复合物”是指由基态的第一有机化合物及基态的第二有机化合物直接形成激基复合物。具体而言,当第一有机化合物的阴离子与第二有机化合物的阳离子相邻时,它们形成激基复合物。

[0052] 根据上述关系,在第一有机化合物是具有电子俘获性的化合物,而第二有机化合物是具有空穴俘获性的化合物的情况下,由第一有机化合物的阴离子及第二有机化合物的阳离子直接形成激基复合物。

[0053] 与第一及第二有机化合物的各个发光波长相比,所形成的激基复合物的发射光谱位于更长波长一侧。

[0054] 电致激基复合物的发射光谱与磷光化合物的吸收光谱的重叠大于第一有机化合物(或第二有机化合物)的发射光谱与磷光化合物的吸收光谱的重叠。根据本发明的一个方式的发光元件通过利用激基复合物的发射光谱与作为客体的磷光化合物的吸收光谱的重叠进行能量转移,由此具有高能量转移效率。因此,根据本发明的一个方式,可以实现外部量子效率高的发光元件。

[0055] 如上所述,一般而言,在电子和空穴在主体材料中复合时,激发能量从激发态的主体分子转移到客体分子,由此客体分子成为激发态而发光。

[0056] 在此,在激发能量从主体分子转移到客体分子之前,主体分子本身以不希望的波长发光或激发能量转换为热能量,由此失去激发能量的一部分(失活)。尤其是,在主体分子处于单重激发态时,由于与处于三重激发态的情况相比激发寿命短,所以容易发生单重态激子的失活。激子的失活是导致发光元件的寿命降低的原因之一。

[0057] 但是,在根据本发明的一个方式中,电致激基复合物由具有载流子(阳离子或阴离子)的第一有机化合物及第二有机化合物形成;所以可以抑制激发寿命短的单重态激子的形成。换言之,存在在不形成单重态激子的状态下直接形成激基复合物的过程。由此,还可以抑制上述单重态激子的失活。因此,可以实现寿命长的发光元件。

[0058] 通过抑制主体的单重激发态的发生,且将能量从电致激基复合物转移到客体材料

的方式来获得发光效率高的发光元件是一种新的概念。

[0059] 作为另一个过程,可以考虑作为主体的第一和第二有机化合物中的一方形成单重态激子,然后与基态的另一方相互作用而形成激基复合物的基本过程。与电致激基复合物不同,在此情况下暂时生成主体的单重态激子,但是由于该单重态激子迅速地变换为激基复合物,所以可以抑制单重态激子的失活。

[0060] 后面所述的实验结果也示出主体的单重态激子迅速地变换为激基复合物。因此,可以抑制主体失活。由此,根据本发明的一个方式,可以实现寿命长的发光元件。

[0061] 此外,在此情况下也与第一及第二有机化合物的各个发光波长相比,所形成的激基复合物的发射光谱位于更长波长一侧。

[0062] 该激基复合物的发射光谱与磷光化合物的吸收光谱之间的重叠大于第一有机化合物(或第二有机化合物)的发射光谱与磷光化合物的吸收光谱之间的重叠。根据本发明的一个方式的发光元件利用激基复合物的发射光谱与磷光化合物的吸收光谱的重叠进行能量转移,因此具有高能量转移效率。因此,根据本发明的一个方式,可以提供外部量子效率高的发光元件。

[0063] 此外,根据上述关系,第一有机化合物是具有电子俘获性的化合物,而第二有机化合物是具有空穴俘获性的化合物。当这些化合物之间的 HOMO 能级的差异及 LUMO 能级的差异大时(具体而言,0.3eV 或更高),电子优先地进入第一有机化合物,空穴优先地进入第二有机化合物。在此情况下,可以认为与经过单重态激子形成激基复合物的过程相比,优先进行形成电致激基复合物的过程。

[0064] 再者,有激基复合物只在激发态中具有能级的概念。因此,形成激基复合物的分子在基态中是独立的两个或更多个分子,并且这些分子不在其基态中形成任何复合物。

[0065] 例如,在能量从激发态的激基复合物转移到基态的客体分子,客体分子成为激发态的情况下,当该客体分子试图使其他分子激发时,在本发明的一个方式中会激发的分子只是第一有机化合物或第二有机化合物。而且,当激发态的客体分子试图使第一有机化合物或第二有机化合物激发时,由于激发态的客体分子的能量不够,所以不发生激发。

[0066] 换言之,可以认为由于客体分子的激发态的能量反向转移到该激基复合物,在发光之前的客体分子的失活现象(换言之,失去发光效率)在原理上不发生。这也有助于发光效率的提高。

[0067] 如上所述,在根据本发明的一个方式中,能量转移的分子间的激发态与基态之间的能量差优选基本上相等。换言之,使激基复合物的激发能级与客体的激发能级基本上相等。另一方面,形成激基复合物的第一有机化合物和第二有机化合物的激发能级高于激基复合物的激发能级。

[0068] 换言之,当处于激发态的客体分子试图使第一有机化合物或第二有机化合物激发时,由于能量不够,所以能量从客体分子转移到其他分子的概率极低。由此,根据本发明的一个方式,可以提高发光效率。此外,由于可以抑制热失活,所以发光元件可以具有很长的寿命,可以抑制劣化,并可以具有高可靠性。

[0069] 此外,如上所述,有时从第一有机化合物或第二有机化合物的单重态激子形成激基复合物。换言之,有时激基复合物的形成的基本过程如下:第一和第二有机化合物中的一方形成单重态激子,然后,与基态的另一方起相互作用。该过程似乎非常迅速地进行。

[0070] 单重态激子的激发寿命短 (τ 很小)。因此有如下问题:在激发能量从主体的单重态激子转移到客体材料之前,激发能量的一部分失去(由于不希望的波长的发光或热失活)(有公式(3)中 Φ_{ET} 变小的倾向)。

[0071] 然而,在根据本发明的一个方式中,由于主体的单重态激子迅速地形成激基复合物,所以可以抑制这种激发能量失活。而且,激基复合物的激发寿命较长,因此可以认为提高能量转移效率 Φ_{ET} 。因此,可以抑制除影响元件的效率之外还影响到元件的寿命的主体的单重态激子的失活,从而可以实现寿命长的发光元件。

[0072] 此外,优选的是,激基复合物的激发能量充分地转移到磷光化合物,并且实质上从元件中没有观察到来自激基复合物的发光。因此,优选通过主体的激基复合物将能量转移到磷光化合物,以使该磷光化合物发射磷光。

[0073] 此外,根据上述能量转移的概念,在第一和第二有机化合物中的至少一方为荧光化合物(即,容易产生从单重激发态的发光或热失活的化合物)时,很有效果。因此,第一和第二有机化合物中的至少一方优选为荧光化合物。

[0074] 此外,在作为用作主体材料的有机化合物(第一有机化合物及/或第二有机化合物)使用磷光化合物时,该有机化合物本身容易发光,并且能量不容易转移到客体材料。在此情况下,希望该有机化合物能高效地发光,但是由于用作主体的该有机化合物发生浓度猝灭的问题,所以难以实现高发光效率。因此,优选的是,该有机化合物为荧光化合物,且通过上述结构实现能量转移。

[0075] 此外,上述效果在由第一有机化合物及第二有机化合物形成激基复合物时能够获得。例如,通过非专利文献1中公开的方法,不形成激基复合物,因此通过直接复合过程,可以使客体分子激发,发光效率不够高。

[0076] 另外,一般而言,在将激基复合物用于发光元件的发光层时,可以控制发光颜色,但是通常导致发光效率的大幅度降低。从而,过去认为不适合使用激基复合物来获得高效率的发光元件。

[0077] 然而,如本发明的一个方式所示,本发明人等发现通过将激基复合物用于对于向磷光化合物转移能量的介质,与上述相反,可以使发光效率提高到极限。该技术思想是与现有的固定概念相反的。

[0078] 此外,在根据本发明的一个方式中,将激基复合物的激发能级与在激发态的客体的能级设定为大致相等,并且提高客体成为激发态的跃迁概率,由此,能量转移过程的概率提高。其结果是,即使将客体的浓度设定为0.1%至2.5%,优选为0.1%至1.5%,更优选为0.1%至0.5%也可以实现充分的能量转移。通过采用上述浓度,可以抑制浓度猝灭,从而可以将发光效率提高到极限。

附图说明

[0079] 在附图中:

[0080] 图1A至图1C都示出根据本发明的一个方式的发光元件;

[0081] 图2A和图2B都示出实施例1的吸收光谱及发射光谱;

[0082] 图3A和图3B都示出实施例2的吸收光谱及发射光谱;

[0083] 图4示出实施例3的发光元件的亮度-电流密度特性;

- [0084] 图 5 示出实施例 3 的发光元件的亮度 - 电压特性；
- [0085] 图 6 示出实施例 3 的发光元件的电流 - 电压特性；
- [0086] 图 7 示出实施例 3 的发光元件的色度 - 亮度特性；
- [0087] 图 8 示出实施例 3 的发光元件的电流效率 - 亮度特性；
- [0088] 图 9 示出实施例 3 的发光元件的功率效率 - 亮度特性；
- [0089] 图 10 示出实施例 3 的发光元件的外部量子效率 - 亮度特性；
- [0090] 图 11 示出实施例 3 的发光元件的发射光谱；
- [0091] 图 12 示出实施例 4 的发光元件的亮度 - 电流密度特性；
- [0092] 图 13 示出实施例 4 的发光元件的亮度 - 电压特性；
- [0093] 图 14 示出实施例 4 的发光元件的电流 - 电压特性；
- [0094] 图 15 示出实施例 4 的发光元件的色度 - 亮度特性；
- [0095] 图 16 示出实施例 4 的发光元件的电流效率 - 亮度特性；
- [0096] 图 17 示出实施例 4 的发光元件的功率效率 - 亮度特性；
- [0097] 图 18 示出实施例 4 的发光元件的外部量子效率 - 亮度特性；
- [0098] 图 19 示出实施例 4 的发光元件的发射光谱；
- [0099] 图 20 示出实施例 5 的发光元件的亮度 - 电流密度特性；
- [0100] 图 21 示出实施例 5 的发光元件的亮度 - 电压特性；
- [0101] 图 22 示出实施例 5 的发光元件的电流 - 电压特性；
- [0102] 图 23 示出实施例 5 的发光元件的色度 - 亮度特性；
- [0103] 图 24 示出实施例 5 的发光元件的电流效率 - 亮度特性；
- [0104] 图 25 示出实施例 5 的发光元件的功率效率 - 亮度特性；
- [0105] 图 26 示出实施例 5 的发光元件的外部量子效率 - 亮度特性；
- [0106] 图 27 示出实施例 5 的发光元件的外部能量效率 - 亮度特性；
- [0107] 图 28 示出实施例 5 的发光元件的发射光谱。

具体实施方式

[0108] 参照附图对实施方式进行详细说明。注意，本发明不局限于以下说明，而所属技术领域的普通技术人员可以很容易地理解一个事实就是其方式及详细内容在不脱离本发明的宗旨及其范围的情况下可以被变换为各种各样的形式。因此，本发明不应该被解释为仅局限在以下所示的实施方式所记载的内容中。注意，在下面说明的发明结构中，在不同的附图中共同使用相同的附图标记来表示相同的部分或具有相同功能的部分，而省略反复说明。

[0109] 实施方式 1

[0110] 在本实施方式中，将说明本发明的一个方式的发光元件。本实施方式的发光元件包含发光层，该发光层具有作为发光物质的客体 and 其中分散有该客体的主体。具体而言，作为客体使用磷光化合物，而作为主体使用第一有机化合物及第二有机化合物。此外，第一有机化合物及第二有机化合物的组合形成激基复合物。

[0111] 在本实施方式中，优选的是，用作主体的各个有机化合物的三重激发态能级 (T^* 能级) 高于客体的 T^* 能级。这是因为当主体的 T^* 能级低于客体的 T^* 能级时，对发光贡献的

客体的三重激发态能级由于主体猝灭,从而发光效率降低。

[0112] 如上所述,当客体的 T^* 能级与激基复合物的 T^* 能级大致相等时,客体的 T^* 能级低于第一有机化合物(或第二有机化合物)的 T^* 能级。因此,在很多情况下可以克服上述问题。

[0113] 用作主体的第一有机化合物和第二有机化合物形成激基复合物。当所形成的激基复合物发光时,与第一有机化合物及第二有机化合物的各个发光波长(荧光波长)相比,其发光波长位于长波长一侧。换言之,通过激基复合物的形成,可以使第一有机化合物的荧光光谱、第二有机化合物的荧光光谱变换为位于更长波长一侧的发射光谱。

[0114] 由此,即使与位于磷光化合物的最长波长一侧的吸收带相比,第一有机化合物(或第二有机化合物)的荧光光谱位于短波长一侧,并且不与该吸收带重叠,通过形成激基复合物使该荧光光谱变换为长波长的发射光谱,从而与该吸收带的重叠变大。

[0115] 本实施方式的发光元件利用该激基复合物的发射光谱与磷光化合物的吸收光谱的重叠而进行从激基复合物到磷光化合物的能量转移,因此即使客体浓度为 0.1% 至 2.5%,优选为 0.1% 至 1.5%,更优选为 0.1% 至 0.5%,也可以获得充分的能量转移效率。

[0116] 为了使激基复合物的发射光谱与客体材料的吸收光谱充分地彼此重叠,发射光谱的峰值的能量值与吸收光谱的最低能量一侧的吸收带的峰值的能量值之间的差异优选为 0.3eV 或更小。更优选为 0.2eV 或更小,进一步优选为 0.1eV 或更小。

[0117] 将参照图 1A 至图 1C 说明本实施方式的发光元件。

[0118] 图 1A 示出在第一电极 101 与第二电极 103 之间具有 EL 层 102 的发光元件。图 1A 中的发光元件包括在第一电极 101 上按顺序层叠的空穴注入层 111、空穴传输层 112、发光层 113、电子传输层 114、电子注入层 115、以及设置在电子注入层 115 上的第二电极 103。

[0119] 作为第一电极 101,优选使用具有高功函(具体而言,4.0eV 以上的功函)的金属、合金、导电性化合物以及它们的混合物等。作为典型例子,可以举出氧化铟-氧化锡(ITO: Indium Tin Oxide,氧化铟锡)、含有硅或氧化硅的氧化铟-氧化锡、氧化铟-氧化锌(氧化铟锌)、含有氧化钨及氧化锌的氧化铟(IWZO)等。

[0120] 这些导电金属氧化物膜一般通过溅射法形成,但是也可以使用溶胶-凝胶法等形成。例如,通过溅射法,使用在氧化铟中添加有 1wt% 至 20wt% 的氧化锌的靶材,可以形成氧化铟-氧化锌的膜。此外,通过溅射法,使用在氧化铟中添加有 0.5wt% 至 5wt% 的氧化钨和 0.1wt% 至 1wt% 的氧化锌的靶材,可以形成 IWZO 膜。

[0121] 作为其它例子,可以举出石墨烯、金、铂、镍、钨、铬、钼、铁、钴、铜、钇或金属材料的氮化物(例如氮化钛)等。

[0122] 但是,当在 EL 层 102 中,使用将后面所述的有机化合物和电子受体(acceptor)混合而构成的复合材料形成与第一电极 101 以接触方式形成的层时,第一电极 101 可以使用各种金属、合金、导电化合物以及它们的混合物中的任一种等,而不考虑功函。例如,可以使用铝(Al)、银(Ag)、含铝的合金(例如 Al-Si)等。

[0123] 第一电极 101 例如可以通过溅射法、蒸镀法(包括真空蒸镀法)等形成。

[0124] 作为第二电极 103,优选使用具有低功函(尤其是,3.8eV 以下的功函)的金属、合金、导电化合物以及它们的混合物等中的任一种。作为具体例子,可以举出属于元素周期表中第 1 族或第 2 族的元素,即碱金属诸如锂或铯、碱土金属诸如钙或锶、镁、这些金属的合金

(例如, Mg-Ag、Al-Li)、稀土金属诸如铕、镱、这些金属的合金、铝或银等。

[0125] 当包含在 EL 层 102 中且与第二电极 103 以接触方式形成的层使用后面所述的包含有机化合物和电子供体 (donor) 的复合材料形成时, 可以使用各种导电材料诸如 Al、Ag、ITO、含有硅或氧化硅的氧化铟-氧化锡中的任一种, 而不考虑功函。

[0126] 另外, 第二电极 103 可以使用真空蒸镀法或溅射法形成。此外, 在使用银浆等的情况下, 可以采用涂覆法、喷墨法等。

[0127] EL 层 102 至少具有发光层 113。作为 EL 层 102 的一部分, 可以使用已知物质, 且可以使用低分子化合物或高分子化合物。另外, 形成 EL 层 102 的物质既可以由有机化合物构成, 又可以作为其一部分包含无机化合物。

[0128] 此外, 如图 1A 所示那样, 除了发光层 113 以外, 通过适当地层叠包含具有高空穴注入性的物质的空穴注入层 111、包含具有高空穴传输性的物质的空穴传输层 112、包含具有高电子传输性的物质的电子传输层 114 以及包含具有高电子注入性的物质的电子注入层 115 等形成 EL 层 102。

[0129] 空穴注入层 111 是包含具有高空穴注入性的物质的层。作为具有高空穴注入性的物质, 可以使用金属氧化物, 诸如氧化钼、氧化钛、氧化钒、氧化铌、氧化钽、氧化铬、氧化锆、氧化钪、氧化铟、氧化银、氧化钨或氧化锰。也可以使用酞菁类化合物, 诸如酞菁 (缩写: H_2Pc) 或酞菁铜 (II) (缩写: $CuPc$) 等。

[0130] 或者, 可以使用如下低分子有机化合物的芳香胺化合物: 4, 4', 4''-三 (N, N-二苯基氨基) 三苯胺 (缩写: TDATA)、4, 4', 4''-三 [N-(3-甲基苯基)-N-苯基氨基] 三苯胺 (缩写: MTDATA)、4, 4'-双 [N-(4-二苯基氨基苯基)-N-苯基氨基] 联苯 (缩写: DPAB)、4, 4'-双 (N-{4-[N'-(3-甲基苯基)-N'-苯基氨基] 苯基}-N-苯基氨基) 联苯 (缩写: DNTPD)、1, 3, 5-三 [N-(4-二苯基氨基苯基)-N-苯基氨基] 苯 (缩写: DPA3B)、3-[N-(9-苯基咪唑-3-基)-N-苯基氨基]-9-苯基咪唑 (缩写: PCzPCA1)、3, 6-双 [N-(9-苯基咪唑-3-基)-N-苯基氨基]-9-苯基咪唑 (缩写: PCzPCA2)、3-[N-(1-萘基)-N-(9-苯基咪唑-3-基) 氨基]-9-苯基咪唑 (缩写: PCzPCN1) 等。

[0131] 另外, 可以使用各种高分子化合物 (例如, 低聚物、树枝状聚合物或聚合物) 中的任一种。例如, 可以使用如下高分子化合物: 聚 (N-乙烯基咪唑) (缩写: PVK)、聚 (4-乙烯基三苯胺) (缩写: PVTPA)、聚 [N-(4-{N'-[4-(4-二苯基氨基) 苯基] 苯基-N'-苯基氨基} 苯基) 甲基丙烯酸酰胺] (缩写: PTPDMA)、聚 [N, N'-双 (4-丁基苯基)-N, N'-双 (苯基) 联苯胺] (缩写: Poly-TPD) 等。还可以使用添加有酸的高分子化合物, 诸如聚 (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)。

[0132] 将有机化合物与电子受体 (acceptor) 混合形成的复合材料可以用于空穴注入层 111。这种复合材料因为通过电子受体在有机化合物中产生空穴而具有优异的空穴注入性和空穴传输性。在此情况下, 有机化合物优选为在传输产生的空穴的性能优异的材料 (具有高空穴传输性的物质)。

[0133] 作为用于复合材料的有机化合物, 可以使用各种化合物, 诸如芳族胺化合物、咪唑衍生物、芳香烃和高分子化合物 (例如, 低聚物、树枝状聚合物或聚合物)。用于复合材料的该有机化合物优选为具有高空穴传输性的有机化合物。具体而言, 优选使用空穴迁移率为 $10^6 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 或更高的物质。但是, 还可以使用上述物质之外的气态物质, 只要是空穴传输性

高于电子传输性的物质即可。下面具体举出可以用于复合材料的有机化合物。

[0134] 可以用于复合材料的有机化合物的例子是芳族胺化合物, 诸如 TDATA、MTDATA、DPAB、DNTPD、DPA3B、PCzPCA1、PCzPCA2、PCzPCN1、4, 4'-双[N-(1-萘基)-N-苯基氨基]联苯(缩写:NPB或 α -NPD)、N,N'-双(3-甲基苯基)-N,N'-二苯基-[1, 1'-联苯]-4, 4'-二胺(缩写:TPD)、4-苯基-4'-(9-苯基芴-9-基)三苯胺(缩写:BPAFLP), 以及咔唑衍生物, 诸如 4, 4'-二(N-咔唑基)联苯(缩写:CBP)、1, 3, 5-三[4-(N-咔唑基)苯基]苯(缩写:TCPB)、9-[4-(N-咔唑基)苯基]-10-苯基蒽(缩写:CzPA)、9-苯基-3-[4-(10-苯基-9-蒽基)苯基]-9H-咔唑(缩写:PCzPA)、1, 4-双[4-(N-咔唑基)苯基]-2, 3, 5, 6-四苯基苯。

[0135] 此外, 可以使用如下芳香烃化合物:2-叔丁基-9, 10-二(2-萘基)蒽(缩写:t-BuDNA)、2-叔丁基-9, 10-二(1-萘基)蒽、9, 10-双(3, 5-二苯基苯基)蒽(缩写:DPPE)、2-叔丁基-9, 10-双(4-苯基苯基)蒽(缩写:t-BuDBA)、9, 10-二(2-萘基)蒽(缩写:DNA)、9, 10-二苯基蒽(缩写:DPAnth)、2-叔丁基蒽(缩写:t-BuAnth)、9, 10-双(4-甲基-1-萘基)蒽(缩写:DMNA)、9, 10-双[2-(1-萘基)苯基]-2-叔丁基蒽、9, 10-双[2-(1-萘基)苯基]蒽、2, 3, 6, 7-四甲基-9, 10-二(1-萘基)蒽等。

[0136] 再者, 可以使用芳香烃化合物, 诸如 2, 3, 6, 7-四甲基-9, 10-二(2-萘基)蒽、9, 9'-联蒽、10, 10'-二苯基-9, 9'-联蒽、10, 10'-双(2-苯基苯基)-9, 9'-联蒽、10, 10'-双[(2, 3, 4, 5, 6-五苯基)苯基]-9, 9'-联蒽、蒽、并四苯、红荧烯、芘、2, 5, 8, 11-四(叔丁基)芘、并五苯、晕苯、4, 4'-双(2, 2-二苯基乙烯基)联苯(缩写:DPVBi)或9, 10-双[4-(2, 2-二苯基乙烯基)苯基]蒽(缩写:DPVPA)。

[0137] 此外, 作为电子受体, 可以举出有机化合物, 例如 7, 7, 8, 8-四氰基-2, 3, 5, 6-四氰醌二甲烷(缩写:F₄-TCNQ)及氯醌; 以及过渡金属氧化物。另外, 还可以举出属于元素周期表第4族至第8族的金属的氧化物。具体而言, 优选使用氧化钒、氧化铌、氧化钽、氧化铬、氧化钼、氧化钨、氧化锰和氧化镱, 因为这些材料具有高电子接受性。其中, 尤其优选使用氧化钼, 因为氧化钼在大气中稳定, 吸湿性低, 容易处理。

[0138] 另外, 可以使用上述高分子化合物例如 PVK、PVTPE、PTPDMA 或 Poly-TPD 与上述电子受体的复合材料形成空穴注入层 111。

[0139] 空穴传输层 112 是包含具有高空穴传输性的物质的层。作为具有高空穴传输性的物质的例子, 可以举出芳族胺化合物, 诸如 NPB、TPD、BPAFLP、4, 4'-双[N-(9, 9-二甲基芴-2-基)-N-苯基氨基]联苯(缩写:DFLDPBi)和 4, 4'-双[N-(螺环-9, 9'-联芴(bifluoren)-2-基)-N-苯基氨基]联苯(缩写:BSPB)。在此所述的物质主要是其空穴迁移率为 $10^6 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 或更高的物质。但是, 还可以使用上述材料之外的其它物质, 只要是空穴传输性高于电子传输性的物质即可。包含具有高空穴传输性的物质的层不限于单层, 还可以层叠两层或更多层的包含上述物质的层。

[0140] 作为空穴传输层 112, 也可以使用咔唑衍生物, 诸如 CBP、CzPA 或 PCzPA, 或蒽衍生物, 诸如 t-BuDNA、DNA 或 DPAAnth。

[0141] 此外, 作为空穴传输层 112, 可以使用高分子化合物, 诸如 PVK、PVTPE、PTPDMA 或 Poly-TPD。

[0142] 发光层 113 是包含发光物质的层。本实施方式的发光层 113 包含作为客体的磷光化合物, 作为主体的第一有机化合物及第二有机化合物。可以使用两种或更多种的主体。客

体的重量相对于主体的总重量（在作为主体使用第一有机化合物及第二有机化合物时的它们的总重量）的比率为 0.1% 至 2.5%，优选为 0.1% 至 1.5%，更优选为 0.1% 至 0.5%。

[0143] 作为磷光化合物，优选使用有机金属配合物，尤其优选使用铱配合物。在考虑到由于上述福斯特机理的能量转移时，位于最长波长一侧的磷光化合物的吸收带的摩尔吸光系数优选为 $2000\text{M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ 或更高，尤其优选为 $5000\text{M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ 或更高。

[0144] 作为具有这样大的摩尔吸光系数的化合物的例子，可以举出双(3,5-二甲基-2-苯基吡嗪根)(二新戊酰基甲烷基根)铱(III)(缩写:[Ir(mppr-Me)₂(dpm)])、(乙酰丙酮根)双(4,6-二苯基嘧啶根(diphenylpyrimidinato))铱(III)(缩写:[Ir(dppm)₂(acac)])、(乙酰丙酮根)双[4-(2-降冰片基)-6-苯基嘧啶根]铱(III)(缩写:[Ir(nbppm)₂(acac)])、(2,6-二甲基-3,5-庚二酮根- $\kappa^2\text{O}, \text{O}'$)双[4-甲基-2(3-甲基-4-嘧啶基- $\kappa\text{N}3$)苯基- κC]铱(III)(缩写:[Ir(5mdppm)₂(dibm)])、(乙酰丙酮根)双(2-苯基二苯并[f,h]喹喔啉合)铱(III)(缩写:[Ir(dbq-P)₂(acac)])等。尤其是，当使用摩尔吸光系数为 $5000\text{M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ 或更高的材料如 [Ir(dppm)₂(acac)] 时，可以获得外部量子效率为 30% 左右的发光元件。

[0145] 作为第一有机化合物及第二有机化合物的组合例子，优选使用如下组合：容易接受电子的至少一种化合物，例如 2-[3-(二苯并噻吩-4-基)苯基]二苯并[f,h]喹喔啉(缩写:2mDBTPDBq-II)、2-[4-(3,6-二苯基-9H-吡唑-9-基)苯基]二苯并[f,h]喹喔啉(缩写:2CzPDBq-III)、7-[3-(二苯并噻吩-4-基)苯基]二苯并[f,h]喹喔啉(缩写:7mDBTPDBq-II)以及 6-[3-(二苯并噻吩-4-基)苯基]二苯并[f,h]喹喔啉(缩写:6mDBTPDBq-II)；和容易接受空穴的至少一种化合物，例如 4,4'-双[N-(1-萘基)-N-苯基氨基]联苯(缩写:NPB 或 α -NPD)、4-苯基-4'-(9-苯基-9H-吡唑-3-基)三苯胺(缩写:PCBA1BP)、4,4'-二(1-萘基)-4''-(9-苯基-9H-吡唑-3-基)三苯胺(缩写:PCBNBB)。注意，只要是能够形成激基复合物的组合，本发明不局限于上述化合物。

[0146] 表 1 示出 2mDBTPDBq-II 和 PCBNBB 以及在使用 2mDBTPDBq-II 和 PCBNBB 时的合适磷光化合物的 [Ir(dppm)₂(acac)] 和 [Ir(mppr-Me)₂(dpm)] 的主要物理性质。

[0147] [表 1]

[0148]

物质	LUMO 能级	HOMO 能级	T*能级
----	---------	---------	------

[0149]

2mDBTPDBq-II	-2.78 eV	-5.88 eV	2.54 eV
PCBNBB	-2.31 eV	-5.46 eV	2.40 eV
[Ir(dppm) ₂ (acac)]	-2.98 eV	-5.56 eV	2.22 eV
[Ir(mppr-Me) ₂ (dpm)]	-2.77 eV	-5.50 eV	2.26 eV

[0150] 在混合有 2mDBTPDBq-II 和 PCBNBB 的发光层 113 中，LUMO 能级为 -2.78eV，而 HOMO 能级为 -5.46eV。这些能级与 2mDBTPDBq-II 和 PCBNBB 的激基复合物的 LUMO 能级、HOMO 能

级相等。而且,磷光化合物 $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ 的 LUMO 能级、HOMO 能级基本上相等。

[0151] 另一方面, $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ 的 LUMO 能级、HOMO 能级都比上述能级低;因此可知 $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ 容易俘获电子。这表示,在使用 $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ 作为客体时,与使用 $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ 的情况相比,直接复合过程的概率更高。

[0152] 此外, $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ 及 $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ 在三重激发态的能级 (T^* 能级) 都比 2mDBTPDBq-II 及 PCBNBB 在三重激发态的能级低 0.1 电子伏特或更大。因此,三重激发态的 $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ 或 $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ 将该激发态转移到 2mDBTPDBq-II 或 PCBNBB 的三重激发态的概率小。尤其是, $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ 的 T^* 能级比上述物质低 0.18eV 或更大,这表示, $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ 具有比 $[\text{Ir}(\text{mppr-Me})_2(\text{dpm})]$ 更高的发光效率。

[0153] 电子传输层 114 是包含具有高电子传输性的物质的层。作为高电子传输性的物质,可以举出如下金属配合物: Alq_3 ; 三(4-甲基-8-羟基喹啉)铝(缩写: Almq_3); 双(10-羟基苯并[h]喹啉)铍(缩写: BeBq_2); BAIq ; $\text{Zn}(\text{BOX})_2$; 双[2-(2-羟基苯基)苯并噻唑]锌(缩写: $\text{Zn}(\text{BTZ})_2$)。此外,也可以使用杂芳族化合物诸如 2-(4-联苯基)-5-(4-叔丁基苯基)-1,3,4-噁二唑(缩写: PBD)、1,3-双[5-(对叔丁基苯基)-1,3,4-噁二唑-2-基]苯(缩写: OXD-7)、3-(4-叔丁基苯基)-4-苯基-5-(4-联苯基)-1,2,4-三唑(缩写: TAZ)、3-(4-叔丁基苯基)-4-(4-乙基苯基)-5-(4-联苯基)-1,2,4-三唑(缩写: p-EtTAZ)、红菲绕啉(缩写: BPhen)、浴铜灵(缩写: BCP)、4,4'-双(5-甲基苯并噻唑-2-基)二苯乙烯(缩写: BzOs)。此外,也可以使用高分子化合物诸如聚(2,5-吡啶二基)(缩写: PPy)、聚[(9,9-二己基芴-2,7-二基)-共聚-(吡啶-3,5-二基)](缩写: PF-Py)、聚[(9,9-二辛基芴-2,7-二基)-共聚-(2,2'-联吡啶-6,6'-二基)](缩写: PF-BPy)。在此所述的物质主要是具有 $10^6 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 或更高的电子迁移率的物质。注意,只要是其电子传输性高于空穴传输性的物质,就可以使用上述物质之外的其他物质作为电子传输层。

[0154] 另外,电子传输层不限于单层,可以层叠由上述物质形成的两层或更多层。

[0155] 电子注入层 115 是包含具有高电子注入性的物质的层。作为电子注入层 115,可以使用碱金属、碱土金属或者其化合物,诸如锂、铯、钙、氟化锂、氟化铯、氟化钙或者氧化锂。此外,也可以使用氟化铟等稀土金属化合物。或者,还可以使用上述用来形成电子传输层 114 的物质。

[0156] 或者,也可以将有机化合物与电子供体(donor)混合形成的复合材料用于电子注入层 115。这种复合材料因为通过电子供体在有机化合物中产生电子,从而具有优异的电子注入性和电子传输性。

[0157] 在此情况下,有机化合物优选为在传输产生的电子方面性能优异的材料。具体而言,例如,可以使用上述用来形成电子传输层 114 的物质(例如,金属配合物或杂芳族化合物等)。

[0158] 作为电子供体,可以使用对有机化合物显示电子给予性的物质,具体而言,优选使用碱金属、碱土金属或稀土金属,诸如锂、铯、镁、钙、铟或镱等。此外,优选使用碱金属氧化物或碱土金属氧化物,例如,可以举出氧化锂、氧化钙或氧化钡等。或者,也可以使用路易斯碱如氧化镁。此外,也可以使用有机化合物如四硫富瓦烯(缩写: TTF)。

[0159] 注意,上述空穴注入层 111、空穴传输层 112、发光层 113、电子传输层 114 和电子注入层 115 都可以通过蒸镀法(例如,真空蒸镀法)、喷墨法或涂覆法等的方法形成。

[0160] 如图 1B 所示,在第一电极 101 和第二电极 103 之间可以层叠多个 EL 层。在此情况下,优选在被层叠的第一 EL 层 104 和第二 EL 层 105 之间设置电荷发生层 106。电荷发生层 106 可以使用上述复合材料中的任一种来形成。

[0161] 另外,电荷发生层 106 可以为具有包含复合材料的层和包含其他材料的层的叠层结构。在此情况下,作为包含其他材料的层,可以使用包含具有电子给予性的物质和具有高电子传输性的物质的层、由透明导电膜形成的层等。

[0162] 作为具有这种结构的发光元件,有不容易发生能量转移或猝灭等问题,并且,由于扩大材料的选择范围,可以容易得到兼有高发光效率和长寿命的发光元件。另外,可以容易得到从一方的 EL 层得到磷光发光并从另一方的 EL 层得到荧光发光的发光元件。另外,这种结构可以与上述 EL 层的结构组合而使用。

[0163] 另外,通过形成每个发光颜色互不相同的 EL 层,发光元件整体可以提供所需颜色的发光。例如,通过形成具有两个 EL 层的发光元件,其中第一 EL 层的发射颜色和第二 EL 层发射颜色为互补颜色,因此整体发光元件可以提供白色光的发射。这可以应用于具有三个或更多个 EL 层的发光元件。

[0164] 如图 1C 所示,EL 层 102 可以在第一电极 101 和第二电极 103 之间具有空穴注入层 111、空穴传输层 112、发光层 113、电子传输层 114、电子注入缓冲层 116、电子继电层 117 以及接触于第二电极 103 的复合材料层 118。

[0165] 优选的是,通过设置接触于第二电极 103 的复合材料层 118,尤其当使用溅射法形成第二电极 103 时,可以减轻对 EL 层 102 的损伤。复合材料层 118 可以使用在具有高空穴传输性的有机化合物中包含受主物质的所述复合材料。

[0166] 并且,通过设置电子注入缓冲层 116,可以削弱复合材料层 118 与电子传输层 114 之间的注入壁垒;因而可以将产生在复合材料层 118 的电子容易注入到电子传输层 114。

[0167] 作为电子注入缓冲层 116,可以使用具有高电子注入性的物质,诸如碱金属、碱土金属、稀土金属以及上述金属的化合物(例如,碱金属化合物(例如,氧化锂等氧化物、卤化物、碳酸锂或碳酸铯等碳酸盐)、碱土金属化合物(例如,氧化物、卤化物、碳酸盐)、或稀土金属化合物(例如,氧化物、卤化物、碳酸盐))等。

[0168] 此外,当包括具有高电子传输性的物质和供体物质来形成电子注入缓冲层 116 时,优选以供体物质与具有高电子传输性的物质的质量比为 0.001:1 至 0.1:1 的方式添加供体物质。

[0169] 另外,作为供体物质,除了可以使用碱金属、碱土金属、稀土金属及上述金属的化合物(例如,碱金属化合物(包括氧化锂等氧化物、卤化物、碳酸盐如碳酸锂或碳酸铯)、碱土金属化合物(包括氧化物、卤化物、碳酸盐)、稀土金属化合物(包括氧化物、卤化物、碳酸盐))之外,还可以使用有机化合物诸如四硫萘并萘(tetrathianaphthacene)(缩写:TTN)、二茂镍或十甲基二茂镍。

[0170] 另外,作为具有高电子传输性的物质,可以使用与上述电子传输层 114 同样的材料。

[0171] 再者,优选在电子注入缓冲层 116 和复合材料层 118 之间形成电子继电层 117。电子继电层 117 并不是必须要设置的;但是通过设置具有高电子传输性的电子继电层 117,可以将电子迅速传输到电子注入缓冲层 116。

[0172] 在复合材料层 118 和电子注入缓冲层 116 之间夹持电子继电层 117 的结构是复合材料层 118 所包含的受体物质和电子注入缓冲层 116 所包含的供体物质彼此不容易相互作用,因此不容易互相影响各自的功能的结构。因而,可以防止驱动电压增高。

[0173] 电子继电层 117 包含具有高电子传输性的物质,并且将该具有高电子传输性的物质的 LUMO 能级位于复合材料层 118 所包含的受体物质的 LUMO 能级与电子传输层 114 所包含的具有高电子传输性的物质的 LUMO 能级之间。

[0174] 当电子继电层 117 包含供体物质时,将该供体物质的供体能级控制为位于复合材料层 118 所包含的受体物质的 LUMO 能级与电子传输层 114 所包含的具有高电子传输性的物质的 LUMO 能级之间。作为能级的具体数值,电子继电层 117 所包含的具有高电子传输性的物质的 LUMO 能级优选为高于或等于 -5.0eV ,更优选为高于或等于 -5.0eV 且低于或等于 -3.0eV 。

[0175] 作为电子继电层 117 所包含的具有高电子传输性的物质,优选使用酞菁类的材料或具有金属-氧键合和芳香配体的金属配合物。

[0176] 作为电子继电层 117 所包含的酞菁类材料,具体而言,优选使用如下物质中的任一种:CuPc;酞菁锡(II)配合物(Phthalocyanine tin(II)complex)(SnPc);酞菁锌配合物(Phthalocyanine zinc complex)(ZnPc);酞菁钴(II), β 型(Cobalt(II)phthalocyanine, β -form)(CoPc);酞菁铁(Phthalocyanine Iron)(FePc)以及 2,9,16,23-四苯氧基-29H,31H-酞菁氧钒(Vanadyl 2,9,16,23-tetraphenoxy-29H,31H-phthalocyanine)(PhO-VOPc)。

[0177] 作为电子继电层 117 所包含的具有金属-氧键合和芳香配体的金属配合物,优选使用具有金属-氧的双键的金属配合物。金属-氧的双键具有受体性(容易接受电子的性质);因此电子的移动(授受)变得更加容易。并且,可以认为具有金属-氧的双键的金属配合物是稳定的。因而,通过使用具有金属-氧的双键的金属配合物,可以使发光元件以低电压进行更稳定的驱动。

[0178] 作为具有金属-氧键合和芳香配体的金属配合物,优选使用酞菁类材料。具体而言,优选使用钒氧酞菁 Vanadyl(phthalocyanine)(VOPc)、酞菁氧化锡(IV)配合物(Phthalocyanine tin(IV)oxide complex)(SnOPc)以及酞菁氧化钛配合物(Phthalocyanine titanium oxide complex)(TiOPc)中的任一种,因为在分子结构上金属-氧的双键更容易与其他分子相互作用而具有高受体性。

[0179] 另外,作为上述酞菁类材料,优选使用具有苯氧基的酞菁类材料。具体而言,优选使用 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于溶剂。因此,这样的酞菁衍生物具有当形成发光元件时容易处理的优点、以及容易维修用于形成膜的装置的优点。

[0180] 电子继电层 117 还可以包含供体物质。供体物质的例子除了碱金属、碱土金属、稀土金属及上述金属的化合物(例如,碱金属化合物(包括氧化物如氧化锂、卤化物、碳酸盐如碳酸锂或碳酸铯)、碱土金属化合物(包括氧化物、卤化物、碳酸盐)、稀土金属化合物(包括氧化物、卤化物、碳酸盐))之外,还包括有机化合物诸如四硫萘并萘(tetrathianaphthacene)(缩写:TTN)、二茂镍、十甲基二茂镍。当将这些供体物质包含在电子继电层 117 时,电子容易移动并且该发光元件能够以更低的电压驱动。

[0181] 当供体物质包含在电子继电层 117 中时,除了上述物质以外,作为具有高电子传输性的物质,可以使用其 LUMO 能级高于包含在复合材料层 118 中的受体物质的受体能级的物质。

[0182] 作为具体能级,LUMO 能级为高于或等于 -5.0eV ,更优选为高于或等于 -5.0eV 且低于或等于 -3.0eV 。作为这种物质的例子,可以举出茚衍生物、含氮稠环芳香化合物。另外,含氮稠环芳香化合物优选用于电子继电层 117,因为它具有稳定性。

[0183] 作为茚衍生物的具体例子,可以举出如下物质:3,4,9,10-茚四羧酸二酐(缩写:PTCDA);3,4,9,10-茚四羧酸双苯并咪唑(缩写:PTCBI);N,N'-二辛基-3,4,9,10-茚四羧酸二酐亚胺(缩写:PTCDI-C8H);N,N'-二己基-3,4,9,10-茚四羧酸二酐亚胺(缩写:Hex PTC)等。

[0184] 作为含氮稠环芳香化合物的具体例子,可以举出如下物质:吡嗪并[2,3-f][1,10]菲咯啉-2,3-二甲腈(缩写:PPDN)、2,3,6,7,10,11-六氰-1,4,5,8,9,12-六氮杂苯并[9,10]菲(缩写:HAT(CN)₆);2,3-二苯基吡啶并[2,3-b]吡嗪(缩写:2PYPR);2,3-双(4-氟苯基)吡啶并[2,3-b]吡嗪(缩写:F2PYPR)等。

[0185] 除此之外,可以使用 7,7,8,8-四氰基对醌二甲烷(缩写:TCNQ)、1,4,5,8-萘四羧酸二酐(缩写:NTCDA)、全氟并五苯(perfluoropentacene)、十六氟代酞菁铜(缩写:F₁₆CuPc)、N,N'-双(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-萘四羧酸二酐亚胺(缩写:NTCDI-C8F)、3',4'-二丁基-5,5"-双(二氰基亚甲基)-5,5"-二氢-2,2':5',2"-三嗪吩(缩写:DCMT)、亚甲基富勒烯(例如,[6,6]-苯基 C₆₁酞酸甲酯)等。

[0186] 另外,当供体物质包含在电子继电层 117 时,可以通过具有高电子传输性的物质和供体物质的共蒸镀等的方法形成电子继电层 117。

[0187] 空穴注入层 111、空穴传输层 112、发光层 113 以及电子传输层 114 都可以使用上述材料的任一种形成。

[0188] 通过上述方式,可以制造本实施方式的 EL 层 102。

[0189] 在上述发光元件中,因在第一电极 101 和第二电极 103 之间产生的电位差,电流流过,并在 EL 层 102 中空穴和电子复合,从而发光。然后,该发射的光穿过第一电极 101 和第二电极 103 中的一方或双方被取出到外部。因此,第一电极 101 和第二电极 103 中的一方或双方为具有可见光可透过性的电极。

[0190] 另外,设置在第一电极 101 和第二电极 103 之间的层的结构不局限于上述结构。也可以采用上述之外的任何其它结构,只要在远离第一电极 101 和第二电极 103 的部分中具有空穴和电子复合的发光区即可,以防止因发光区接近金属而产生的猝灭。

[0191] 也就是说,对层的叠层结构没有特别限制,将由具有高电子传输性的物质、具有高空穴传输性的物质、具有高电子注入性的物质、具有高空穴注入性的物质、具有双极性的物质(具有高电子传输性和高空穴传输性的物质)或空穴阻挡材料等形成的层可以与发光层自由组合。

[0192] 通过使用本实施方式所示的发光元件,可以制造被动矩阵型发光装置或由晶体管控制发光元件的驱动的主动矩阵型发光装置。此外,可以将该发光装置应用于电子设备或照明装置等。

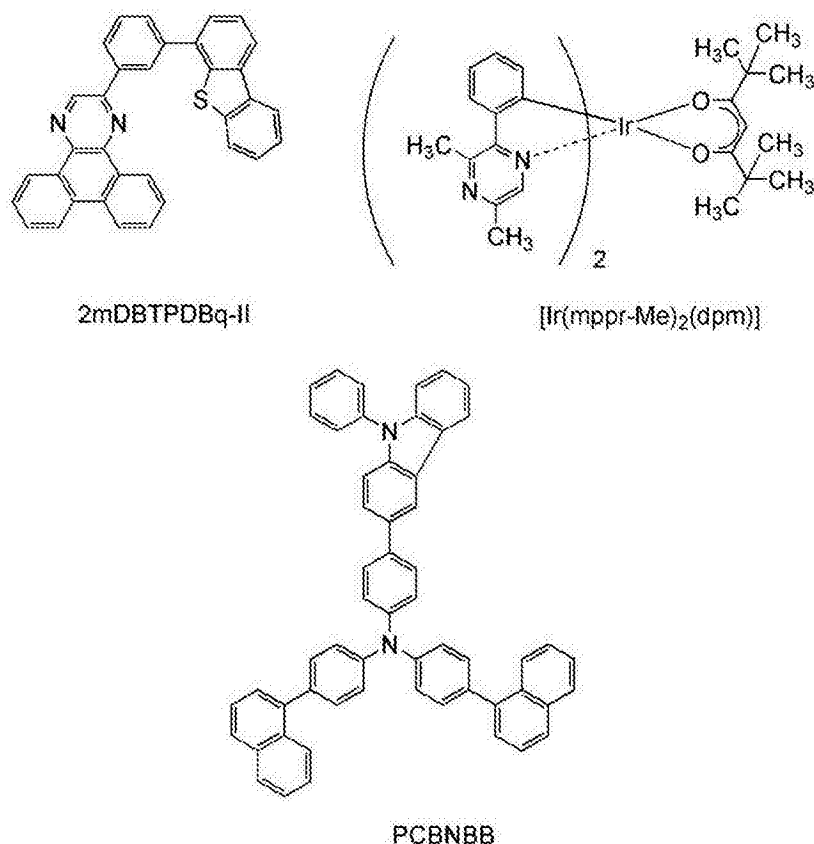
[0193] 通过上述方式,可以制造本发明的一个方式的发光元件。本实施方式可以与其他任何实施方式适当地组合。

[0194] 实施例 1

[0195] 在本实施例中,参照图 2A 和图 2B 说明可以应用于本发明的一个方式的发光元件的第一有机化合物、第二有机化合物和磷光化合物的组合的例子。

[0196] 在本实施例中使用的磷光化合物是双(3,5-二甲基-2-苯基吡嗪根)(二新戊酰基甲烷根)铱(III)(缩写:[Ir(mppr-Me)₂(dpm)]。在本实施例中使用的第一有机化合物是 2-[3-(二苯并噻吩-4-基)苯基]二苯并[f,h]喹喔啉(缩写:2mDBTPDBq-II)。在本实施例中使用的第二有机化合物是 4,4'-二(1-萘基)-4''-(9-苯基-9H-咔唑-3-基)三苯胺(缩写:PCBNBB)。以下示出上述材料的化学式。

[0197]



[0198] < 吸收光谱 >

[0199] 图 2A 和图 2B 都示出磷光化合物 [Ir(mppr-Me)₂(dpm)] 在二氯甲烷溶液中的紫外可见吸收光谱(吸收光谱 A)。吸收光谱的测量使用紫外可见分光光度计(V550,日本分光株式会社(JASCO Corporation)制造)在将二氯甲烷溶液(0.093mmol/L)放在石英皿中并在室温的条件下进行。

[0200] < 发射光谱 >

[0201] 图 2A 和图 2B 也都示出第一有机化合物 2mDBTPDBq-II 的薄膜的发射光谱(发射光谱 1)、第二有机化合物 PCBNBB 的薄膜的发射光谱(发射光谱 2)、以及 2mDBTPDBq-II 和 PCBNBB 的混合材料的薄膜的发射光谱(发射光谱 3)。在图 2A 中,横轴表示波长(nm),而纵轴表示摩尔吸光系数 ϵ ($M^{-1} \cdot cm^{-1}$) 及发光强度(任意单位)。在图 2B 中,横轴表示能量

(eV), 而纵轴表示摩尔吸光系数 ϵ ($M^{-1} \cdot cm^{-1}$) 及发光强度 (任意单位)。

[0202] 从图 2A 中的吸收光谱 A 可知, $[Ir(mppr-Me)_2(dpm)]$ 在 500nm 附近具有宽吸收带。该吸收带可认为是对发光显著贡献的吸收带。

[0203] 与发射光谱 1、2 相比, 发射光谱 3 的峰值位于更长波长 (低能量)。而且, 发射光谱 3 的峰值与发射光谱 1、2 的峰值相比近于该吸收带。图 2A 和图 2B 表示, 发射光谱 3 具有与吸收光谱 A 中的对发光显著贡献的吸收带之间的最大重叠。具体而言, 吸收光谱 A 的峰值与发射光谱 3 的峰值之间的差异为 0.10eV。

[0204] 可知, 与 2mDBTPDBq-II 或 PCBNBB 单独的发射光谱相比, 2mDBTPDBq-II 和 PCBNBB 的混合材料的发射光谱的峰值位于更长波长 (低能量)。这表示由 2mDBTPDBq-II 和 PCBNBB 的混合物形成激基复合物。

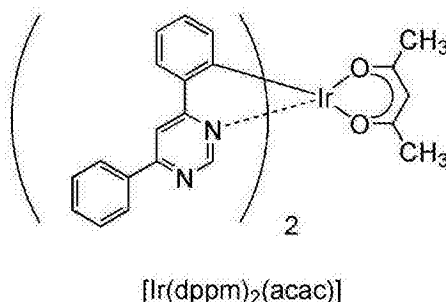
[0205] 可以认为, 该混合材料的发射光谱具有与 $[Ir(mppr-Me)_2(dpm)]$ 的吸收光谱中的对发光贡献很大的吸收带之间的很大重叠。因此可知, 包含 $[Ir(mppr-Me)_2(dpm)]$ 作为客体且包含 2mDBTPDBq-II 和 PCBNBB 的混合材料作为主体的发光元件具有很高的能量转移效率, 因为该发光元件通过利用该混合材料的发射光谱与磷光化合物的吸收光谱的重叠进行能量转移。因此, 可以获得外部量子效率高的发光元件。

[0206] 实施例 2

[0207] 在本实施例中, 参照图 3A 和图 3B 说明可以应用于本发明的一个方式的发光元件的第一有机化合物、第二有机化合物和磷光化合物的组合的例子。

[0208] 在本实施例中使用的磷光化合物是 (乙酰丙酮根) 双 (4, 6-二苯基嘧啶根) 铱 (III) (缩写: $[Ir(dppm)_2(acac)]$)。在本实施例中使用的第一有机化合物是 2mDBTPDBq-II。在本实施例中使用的第二有机化合物是 PCBNBB。以下示出在本实施例中使用的材料的化学式。注意, 省略实施例 1 所示的材料的化学式。

[0209]



[0210] < 吸收光谱 >

[0211] 图 3A 和图 3B 都示出磷光化合物 $[Ir(dppm)_2(acac)]$ 在二氯甲烷溶液中的紫外可见吸收光谱 (吸收光谱 B)。吸收光谱的测量使用紫外可见分光光度计 (V550, 日本分光株式会社制造) 在将二氯甲烷溶液 (0.093mmol/L) 放在石英皿中并在室温的条件下进行。

[0212] < 发射光谱 >

[0213] 图 3A 和图 3B 也都示出第一有机化合物 2mDBTPDBq-II 的薄膜的发射光谱 (发射光谱 4)、第二有机化合物 PCBNBB 的薄膜的发射光谱 (发射光谱 5)、以及 2mDBTPDBq-II 和 PCBNBB 的混合材料的薄膜的发射光谱 (发射光谱 6)。在图 3A 中, 横轴表示波长 (nm), 而纵轴表示摩尔吸光系数 ϵ ($M^{-1} \cdot cm^{-1}$) 及发光强度 (任意单位)。在图 3B 中, 横轴表示能量 (eV), 而纵轴表示摩尔吸光系数 ϵ ($M^{-1} \cdot cm^{-1}$) 及发光强度 (任意单位)。

[0214] 从图 3A 中的吸收光谱 B 可知, $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ 在 520nm 附近具有宽吸收带。该吸收带可认为是对发光显著贡献的吸收带。

[0215] 与发射光谱 4、5 相比, 发射光谱 6 的峰值位于更长波长 (较低能量)。而且, 发射光谱 6 的峰值与发射光谱 4、5 的峰值相比更接近于该吸收带。图 3A 和图 3B 表示, 发射光谱 6 具有与吸收光谱 B 中的对发光显著贡献的吸收带之间的最大重叠。具体而言, 吸收光谱 B 的峰值与发射光谱 6 的峰值之间的差异为 0.02eV。

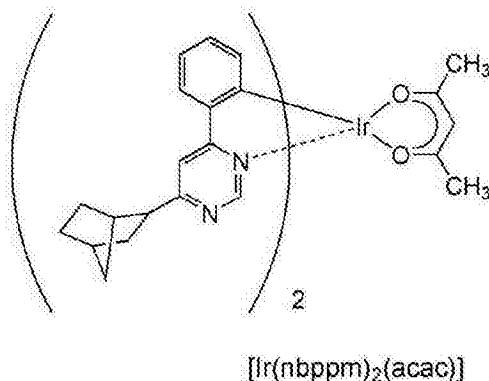
[0216] 可知, 与 2mDBTPDBq-II 或 PCBNBB 单独的发射光谱相比, 2mDBTPDBq-II 和 PCBNBB 的混合材料的发射光谱的峰值位于更长波长 (较低能量)。这表示由 2mDBTPDBq-II 和 PCBNBB 的混合物形成激基复合物。

[0217] 可以认为, 该混合材料的发射光谱的峰值具有与 $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ 的吸收光谱中的对发光贡献很大的吸收带之间的很大重叠。此外, 摩尔吸光系数为 $5000\text{M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ 。因此可知, 包含 $[\text{Ir}(\text{dppm})_2(\text{acac})]$ 作为客体且包含 2mDBTPDBq-II 和 PCBNBB 的混合材料作为主体的发光元件具有很高的能量转移效率, 因为该发光元件通过利用该混合材料的发射光谱与磷光化合物的吸收光谱的重叠进行能量转移。再者, 即使客体浓度低, 也可以预期充分的能量转移。

[0218] 实施例 3

[0219] 在本实施例中, 在发光元件中, 用作磷光化合物的有机金属配合物 (乙酰丙酮根) 双 [4-(2-降冰片基 (norbornyl))-6-苯基嘧啶根] 铱 (III) (缩写: $[\text{Ir}(\text{nbppm})_2(\text{acac})]$) 用于客体, 并增减客体浓度。通过这样的方式, 检测发光元件的特性。以下示出 $[\text{Ir}(\text{nbppm})_2(\text{acac})]$ 的结构。

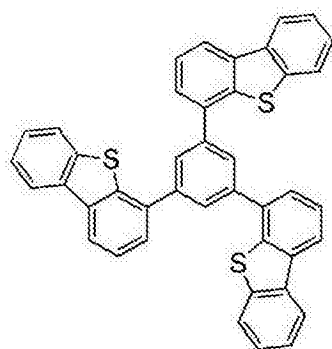
[0220]



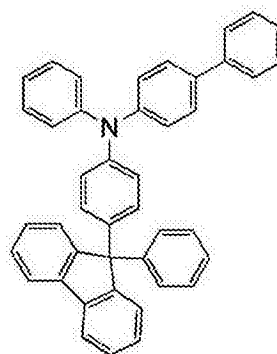
[0221] 此外, 在本实施例中使用的第一有机化合物是 2mDBTPDBq-II。在本实施例中使用的第二有机化合物是 4-苯基-4'-(9-苯基-9H-吡唑-3-基)三苯胺 (缩写: PCBA1BP)。另外, 2mDBTPDBq-II 和 PCBA1BP 的组合与实施例 1 的 2mDBTPDBq-II 和 PCBNBB 的组合同样地形成激基复合物, 其发射光谱位于与实施例 1 大致相等的位置。

[0222] 在本实施例中, 制造客体浓度分别不同的发光元件 1、发光元件 2、发光元件 3, 并比较其特性。图 1A 示出发光元件 1、发光元件 2、发光元件 3 的结构。以下示出在本实施例中使用的有机化合物的结构式, 但是, 不示出已示出的结构式。

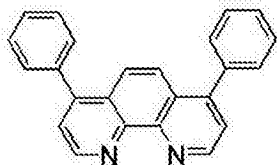
[0223]



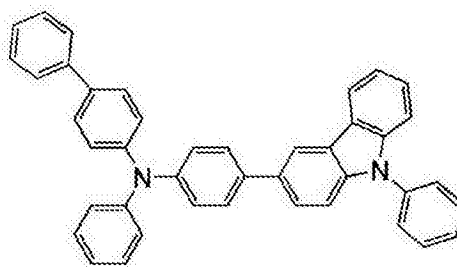
DBT3P-II



BPAFLP



BPhen



PCBA1BP

[0224] 首先,准备作为用作阳极的第一电极 101,在玻璃衬底上形成有厚度为 110nm 的含硅的铟锡氧化物 (ITSO)。使用聚酰亚胺膜覆盖 ITSO 表面,以使其表面的 $2\text{mm} \times 2\text{mm}$ 的面积露出。电极面积为 $2\text{mm} \times 2\text{mm}$ 。作为用来在该衬底上形成发光元件的预处理,用水洗涤衬底表面,并在 200°C 下进行焙烧 1 小时,然后进行 370 秒的 UV 臭氧处理。

[0225] 然后,在其压力被减小到 10^{-4}Pa 左右的真空蒸镀装置中,在真空蒸镀装置的加热室中以 170°C 进行 30 分钟的真空焙烧,然后,对衬底进行 30 分钟左右的冷却。接着,以使设置有 ITSO 的表面朝向下方的方式将衬底固定在设置在真空蒸镀装置内的蒸镀室中的支架。

[0226] 将蒸镀室的压力减小到 10^{-4}Pa 左右。然后,通过进行 1,3,5-三(二苯并噻吩-4-基)-苯(缩写:DBT3P-II)和氧化钼(VI)的共蒸镀,形成空穴注入层 111,以使 DBT3P-II 对氧化钼的重量比为 4:2。空穴注入层 111 的膜厚度设定为 40nm。注意,共蒸镀法是将多个不同的物质分别从不同的蒸发源同时蒸发的蒸镀法。

[0227] 接着,通过蒸镀厚度为 20nm 的 4-苯基-4'-(9-苯基芴-9-基)三苯胺(缩写:BPAFLP),来形成空穴传输层 112。

[0228] 在空穴传输层 112 上,进行 2mDBTPDBq-II、PCBA1BP、 $\text{Ir}(\text{nbppm})_2(\text{acac})$ 的共蒸镀,以使 2mDBTPDBq-II 对 PCBA1BP 及 $\text{Ir}(\text{nbppm})_2(\text{acac})$ 的重量比为 0.8:0.2:x,来形成厚度为 40nm 的发光层 113。在此,在发光元件 1 的情况下,x 为 0.01,在发光元件 2 的情况下,x 为 0.025,在发光元件 3 的情况下,x 为 0.05。

[0229] 接着,通过蒸镀沉积厚度为 10nm 的 2mDBTPDBq-II,然后,通过蒸镀沉积厚度为 20nm 的红菲绕啉(缩写:BPhen),来形成电子传输层 114。换言之,在本实施例中,电子传输层 114 包括厚度为 10nm 的 2mDBTPDBq-II 的第一电子传输层以及厚度为 20nm 的 BPhen 的

第二电子传输层。

[0230] 再者,通过蒸镀在电子传输层 114 上沉积厚度为 1nm 的氟化锂,来形成电子注入层 115。通过上述步骤,形成 EL 层 102。注意,在上述蒸镀过程中,均采用电阻加热法进行蒸镀。

[0231] 最后,沉积厚度为 200nm 的铝作为用作阴极的第二电极 103,这样完成发光元件。表 2 示出发光元件的叠层结构。在表 2 中,在发光元件 1 的情况下 x 为 0.01,在发光元件 2 的情况下 x 为 0.025,在发光元件 3 的情况下 x 为 0.05。

[0232] [表 2]

[0233]

	发光元件 1 至 3
第一电极	ITO, 110nm
空穴注入层	DBT3P-II:MoO _x (=4:2), 40nm
空穴传输层	BPAFLP, 20nm
发光层	2mDBTPDBq-II :PCBA1BP :[Ir(nbppm) ₂ (acac)] (=0.8:0.2:x), 40nm
电子传输层	2mDBTPDBq-II, 10nm
	BPhen, 20nm
电子注入层	LiF, 1nm
第二电极	Al, 200nm

[0234] 在氮气气氛的手套箱中以不暴露于大气的方式对通过上述步骤得到的发光元件(发光元件 1 至 3)进行密封(以 80℃进行 1 小时的热处理进行密封)。然后,对这些发光元件的工作特性进行测量。这里,在室温下(在保持于 25℃的气氛中)进行测量。

[0235] 图 4 示出发光元件 1 至 3 的亮度-电流密度特性。在图 4 中,纵轴表示亮度 (cd/m²),而横轴表示电流密度 (mA/cm²)。另外,图 5 示出发光元件 1 至 3 的亮度-电压特性。在图 5 中,纵轴表示亮度 (cd/m²),而横轴表示电压 (V)。图 6 示出发光元件 1 至 3 的电流-电压特性。在图 6 中,纵轴表示电流 (mA),而横轴表示电压 (V)。图 7 示出发光元件 1 至 3 的色度-亮度特性。在图 7 中,纵轴表示色度,而横轴表示亮度 (cd/m²)。

[0236] 图 8 示出发光元件 1 至 3 的电流效率-亮度特性。在图 8 中,纵轴表示电流效率 (cd/A),而横轴表示亮度 (cd/m²)。图 9 示出发光元件 1 至 3 的功率效率-亮度特性。在图 9 中,纵轴表示功率效率 (lm/W),而横轴表示亮度 (cd/m²)。图 10 示出发光元件 1 至 3 的外部量子效率-亮度特性。在图 10 中,纵轴表示外部量子效率 (%),而横轴表示亮度 (cd/

m²)。图 11 示出发光元件 1 至 3 的发光光谱。在图 11 中,纵轴表示发光强度(任意单位),而横轴表示波长(nm)。

[0237] 此外,在图 4 至图 11 中,LE1、LE2、LE3 分别表示发光元件 1、发光元件 2、发光元件 3。

[0238] 根据图 4 至图 11 可知,客体浓度低的发光元件 1 的发光效率比发光元件 2、发光元件 3 高。表 3 示出发光元件 1 至发光元件 3 的主要特性。在表 3 中,LE1、LE2、LE3 分别表示发光元件 1、发光元件 2、发光元件 3。从表 3 可知,客体相对于主体的总重量的重量比为 1%的发光元件 1 可以呈现优越于该重量比高于发光元件 1 的发光元件 2、发光元件 3 的特性。

[0239] [表 3]

[0240]

	LE1 (1%)	LE2 (2.5%)	LE3 (5%)
电压 (V)	2.9	2.9	2.9
电流密度 (mA/cm ²)	1.23	1.33	1.18
色度 x	0.4277	0.4463	0.4613
色度 y	0.5615	0.5451	0.5301
亮度 (cd/m ²)	1195.0	1243.0	1001.0
电流效率 (cd/A)	97.17	93.12	84.70
功率效率 (lm/W)	105.27	100.87	91.75

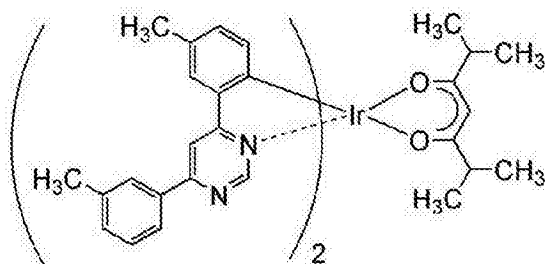
[0241]

外部量子效率 (%)	26.90	26.57	25.36
------------	-------	-------	-------

[0242] 实施例 4

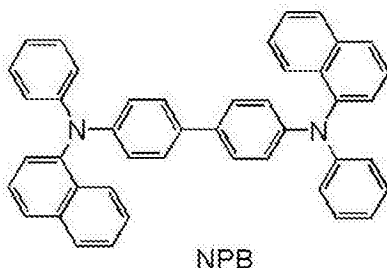
[0243] 在本实施例中,在发光元件中,用作磷光化合物的有机金属配合物(2,6-二甲基-3,5-庚二酮- $\kappa^2 O, O'$)双[4-甲基-2(3-甲基-4-嘧啶基- $\kappa N3$)苯基- κC]铱(III)(缩写:[Ir(5mdppm)₂(dibm)])用于客体,并增减客体浓度。通过这样的方式,检测发光元件的特性。以下示出 [Ir(5mdppm)₂(dibm)] 的结构。

[0244]



[0245] 此外,在本实施例中使用的第一有机化合物是 2mDBTPDBq-II。在本实施例中使用的第二有机化合物是 4,4'-双[N-(1-萘基)-N-苯基氨基]联苯(缩写:NPB)。以下示出 NPB 的结构式。另外,2mDBTPDBq-II 和 NPB 的组合与实施例 1 同样地形成激基复合物,其发射光谱位于与实施例 1 大致相等的位置。

[0246]



NPB

[0247] 在本实施例中,制造客体浓度分别不同的发光元件 4、发光元件 5、发光元件 6,并比较其特性。图 1A 示出发光元件 4、发光元件 5、发光元件 6 的结构。

[0248] 首先,准备作为用作阳极的第一电极 101,在玻璃衬底上形成厚度为 110nm 的含硅的铟锡氧化物(ITSO)。使用聚酰亚胺膜覆盖 ITSO 表面,以使其表面的 2mm×2mm 的面积露出。电极面积为 2mm×2mm。作为用来在该衬底上形成发光元件的预处理,用水洗涤衬底表面,并在 200℃下进行焙烧 1 小时,然后进行 370 秒的 UV 臭氧处理。

[0249] 然后,在其压力被减小到 10^{-4} Pa 左右的真空蒸镀装置中,在真空蒸镀装置的加热室中以 170℃进行 30 分钟的真空焙烧,然后,对衬底进行 30 分钟左右的冷却。接着,以使设置有 ITSO 的表面朝向下方的方式将衬底固定在设置在真空蒸镀装置内的蒸镀室中的支架。

[0250] 将蒸镀室的压力减小到 10^{-4} Pa 左右。然后,通过进行 DBT3P-II 和氧化钼(VI)的共蒸镀,形成空穴注入层 111,以使 DBT3P-II 对氧化钼的重量比为 4:2。空穴注入层 111 的膜厚度设定为 40nm。

[0251] 接着,通过蒸镀厚度为 20nm 的 BPAFLP,来形成空穴传输层 112。

[0252] 在空穴传输层 112 上,进行 2mDBTPDBq-II、NPB、 $[\text{Ir}(\text{5mdppm})_2(\text{dibm})]$ 的共蒸镀,以使 2mDBTPDBq-II 对 NPB 及 $[\text{Ir}(\text{5mdppm})_2(\text{dibm})]$ 的重量比为 0.8:0.2:x,来形成厚度为 40nm 的发光层 113。在此,在发光元件 4 的情况下,x 为 0.01,在发光元件 5 的情况下,x 为 0.025,在发光元件 6 的情况下,x 为 0.05。

[0253] 接着,通过蒸镀沉积厚度为 10nm 的 2mDBTPDBq-II,然后,通过蒸镀沉积厚度为 20nm 的 BPhen,来形成电子传输层 114。再者,通过蒸镀在电子传输层 114 上沉积厚度为 1nm

的氟化锂,来形成电子注入层 115。通过上述步骤,形成 EL 层 102。注意,在上述蒸镀过程中,均采用电阻加热法进行蒸镀。

[0254] 最后,沉积厚度为 200nm 的铝作为用作阴极的第二电极 103,这样完成发光元件。表 4 示出发光元件的叠层结构。在表 4 中,在发光元件 4 的情况下 x 为 0.01,在发光元件 5 的情况下 x 为 0.025,在发光元件 6 的情况下 x 为 0.05。

[0255] [表 4]

[0256]

	发光元件 4 至 6
第一电极	ITO, 110 nm
空穴注入层	DBT3P-II:MoO _x (=4:2), 40 nm
空穴传输层	BPAFLP, 20 nm
发光层	2mDBTPDBq-II :NPB :[Ir(5mdppm) ₂ (dibm)] (=0.8:0.2:x), 40 nm
电子传输层	2mDBTPDBq-II, 10 nm
	BPhen, 20 nm
电子注入层	LiF, 1 nm
第二电极	Al, 200 nm

[0257] 在氮气气氛的手套箱中以不暴露于大气的方式对通过上述步骤得到的发光元件(发光元件 4 至 6)进行密封(以 80℃进行 1 小时的热处理进行密封)。然后,对这些发光元件的工作特性进行测量。这里,在室温下(在保持于 25℃的气氛中)进行测量。

[0258] 图 12 示出发光元件 4 至 6 的亮度-电流密度特性。在图 12 中,纵轴表示亮度(cd/m²),而横轴表示电流密度(mA/cm²)。另外,图 13 示出发光元件 4 至 6 的亮度-电压特性。在图 13 中,纵轴表示亮度(cd/m²),而横轴表示电压(V)。图 14 示出发光元件 4 至 6 的电流-电压特性。在图 14 中,纵轴表示电流(mA),而横轴表示电压(V)。图 15 示出发光元件 4 至 6 的色度-亮度特性。在图 15 中,纵轴表示色度,而横轴表示亮度(cd/m²)。

[0259] 图 16 示出发光元件 4 至 6 的电流效率-亮度特性。在图 16 中,纵轴表示电流效率(cd/A),而横轴表示亮度(cd/m²)。图 17 示出发光元件 4 至 6 的功率效率-亮度特性。在图 17 中,纵轴表示功率效率(lm/W),而横轴表示亮度(cd/m²)。图 18 示出发光元件 4 至 6 的外部量子效率-亮度特性。在图 18 中,纵轴表示外部量子效率(%),而横轴表示亮度(cd/m²)。图 19 示出发光元件 4 至 6 的发光光谱。在图 19 中,纵轴表示发光强度(任意单位),而横轴表示波长(nm)。

[0260] 此外,在图 12 至图 19 中,LE4、LE5、LE6 分别表示发光元件 4、发光元件 5、发光元件 6。

[0261] 根据图 12 至图 19 可知,客体浓度低的发光元件 4 的发光效率比发光元件 5、发光元件 6 高。表 5 示出发光元件 4 至发光元件 6 的主要特性。在表 5 中,LE4、LE5、LE6 分别

表示发光元件 4、发光元件 5、发光元件 6。从表 5 可知,客体相对于主体的总重量的重量比为 1%的发光元件 4 可以呈现优越于该重量比高于发光元件 4 的发光元件 5、发光元件 6 的特性。

[0262] [表 5]

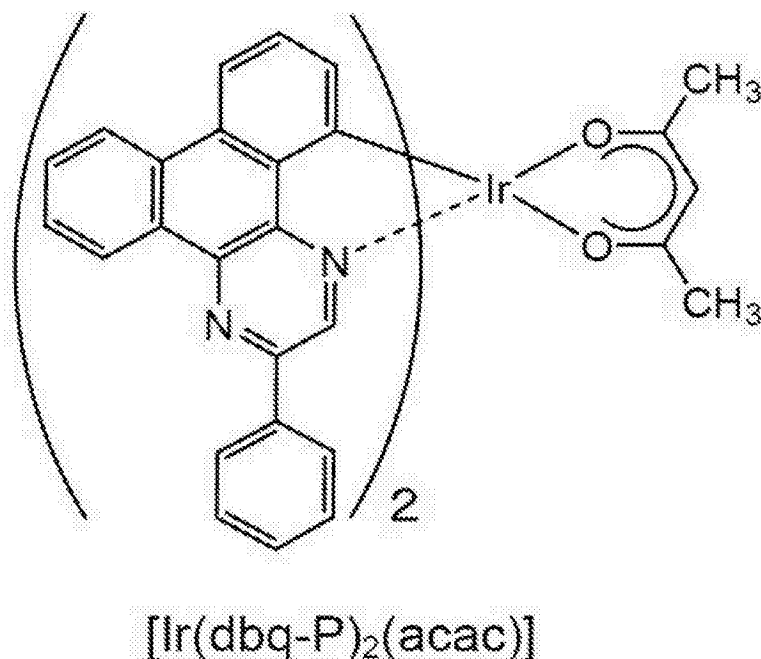
[0263]

	LE1 (1%)	LE2 (2.5%)	LE3 (5%)
电压 (V)	2.8	2.8	2.8
电流密度 (mA/cm ²)	1.13	1.92	1.80
色度 x	0.5901	0.6004	0.6179
色度 y	0.4079	0.3996	0.3821
亮度 (cd/m ²)	767.8	1209.0	931.6
电流效率 (cd/A)	67.78	62.92	51.68
功率效率 (lm/W)	76.05	68.17	55.98
外部量子效率 (%)	29.85	29.44	28.25

[0264] 实施例 5

[0265] 在本实施例中,在发光元件中,用作磷光化合物的有机金属配合物(乙酰丙酮根)双(2-苯基二苯并[f,h]喹喔啉合)铱(III)(缩写:[Ir(dbq-P)₂(acac)])用于客体,并增减客体浓度。通过这样的方式,检测发光元件的特性。以下示出[Ir(dbq-P)₂(acac)]的结构。

[0266]



[0267] 此外,在本实施例中使用的第一有机化合物是 2mDBTPDBq-II。在本实施例中使用的第二有机化合物是 NPB。另外,2mDBTPDBq-II 和 NPB 的组合与实施例 1(2mDBTPDBq-II 和 PCBNBB 的组合)同样地形成激基复合物,其发射光谱位于与实施例 1 大致相等的位置。

[0268] 在本实施例中,制造客体浓度分别不同的发光元件 7、发光元件 8、发光元件 9,并比较其特性。图 1A 示出发光元件 7、发光元件 8、发光元件 9 的结构。

[0269] 首先,准备作为用作阳极的第一电极 101,在玻璃衬底上形成有厚度为 110nm 的含硅的铟锡氧化物(ITSO)。使用聚酰亚胺膜覆盖 ITSO 表面,以使其表面的 $2\text{mm} \times 2\text{mm}$ 的面积露出。电极面积为 $2\text{mm} \times 2\text{mm}$ 。作为用来在该衬底上形成发光元件的预处理,用水洗涤衬底表面,并在 200°C 下进行焙烧 1 小时,然后进行 370 秒的 UV 臭氧处理。

[0270] 然后,在其压力被减小到 10^{-4}Pa 左右的真空蒸镀装置中,在真空蒸镀装置的加热室中以 170°C 进行 30 分钟的真空焙烧,然后,对衬底进行 30 分钟左右的冷却。接着,以使设置有 ITSO 的面朝向下方的方式将衬底固定在设置在真空蒸镀装置内的蒸镀室中的支架。

[0271] 将蒸镀室的压力减小到 10^{-4}Pa 左右。然后,通过进行 DBT3P-II 和氧化钼(VI)的共蒸镀,形成空穴注入层 111,以使 DBT3P-II 对氧化钼的重量比为 4:2。空穴注入层 111 的膜厚度设定为 40nm。

[0272] 接着,通过蒸镀厚度为 20nm 的 BPAFLP,来形成空穴传输层 112。

[0273] 在空穴传输层 112 上,进行 2mDBTPDBq-II、NPB、 $[\text{Ir}(\text{dbq-P})_2(\text{acac})]$ 的共蒸镀,以使 2mDBTPDBq-II 对 NPB 及 $[\text{Ir}(\text{dbq-P})_2(\text{acac})]$ 的重量比为 0.8:0.2:x,来形成厚度为 40nm 的发光层 113。在此,在发光元件 7 的情况下,x 为 0.01,在发光元件 8 的情况下,x 为 0.025,在发光元件 9 的情况下,x 为 0.05。

[0274] 接着,通过蒸镀沉积厚度为 10nm 的 2mDBTPDBq-II,然后,通过蒸镀沉积厚度为 20nm 的 BPhen,来形成电子传输层 114。再者,通过蒸镀在电子传输层 114 上沉积厚度为 1nm 的氟化锂,来形成电子注入层 115。通过上述步骤,形成 EL 层 102。注意,在上述蒸镀过程中,均采用电阻加热法进行蒸镀。

[0275] 最后,沉积厚度为 200nm 的铝膜作为用作阴极的第二电极 103,这样完成发光元件。表 6 示出发光元件的叠层结构。在表 6 中,在发光元件 7 的情况下 x 为 0.01,在发光元件 8 的情况下 x 为 0.025,在发光元件 9 的情况下 x 为 0.05。

[0276] [表 6]

[0277]

	发光元件 7 至 9
第一电极	ITO, 110 nm
空穴注入层	DBT3P-II:MoO _x (=4:2), 40 nm
空穴传输层	BPAFLP, 20 nm
发光层	2mDBTPDBq-II :NPB :[Ir(dbq-P) ₂ (acac)] (=0.8:0.2:x), 40 nm
电子传输层	2mDBTPDBq-II, 10 nm
	BPhen, 20 nm
电子注入层	LiF, 1 nm
第二电极	Al, 200 nm

[0278] 在氮气气氛的手套箱中以不暴露于大气的方式对通过上述步骤得到的发光元件（发光元件 7 至 9）进行密封（以 80℃进行 1 小时的热处理进行密封）。然后，对这些发光元件的工作特性进行测量。这里，在室温下（在保持于 25℃的气氛中）进行测量。

[0279] 图 20 示出发光元件 7 至 9 的亮度 - 电流密度特性。在图 20 中，纵轴表示亮度 (cd/m²)，而横轴表示电流密度 (mA/cm²)。另外，图 21 示出发光元件 7 至 9 的亮度 - 电压特性。在图 21 中，纵轴表示亮度 (cd/m²)，而横轴表示电压 (V)。图 22 示出发光元件 7 至 9 的电流 - 电压特性。在图 22 中，纵轴表示电流 (mA)，而横轴表示电压 (V)。图 23 示出发光元件 7 至 9 的色度 - 亮度特性。在图 23 中，纵轴表示色度，而横轴表示亮度 (cd/m²)。

[0280] 图 24 示出发光元件 7 至 9 的电流效率 - 亮度特性。在图 24 中，纵轴表示电流效率 (cd/A)，而横轴表示亮度 (cd/m²)。图 25 示出发光元件 7 至 9 的功率效率 - 亮度特性。在图 25 中，纵轴表示功率效率 (lm/W)，而横轴表示亮度 (cd/m²)。图 26 示出发光元件 7 至 9 的外部量子效率 - 亮度特性。在图 26 中，纵轴表示外部量子效率 (%)，而横轴表示亮度 (cd/m²)。图 27 示出发光元件 7 至 9 的外部量子效率 - 亮度特性。在图 27 中，纵轴表示外部量子效率 (%)，而横轴表示亮度 (cd/m²)。图 28 示出发光元件 7 至发光元件 9 的发光光谱。在图 28 中，纵轴表示发光强度（任意单位），而横轴表示波长 (nm)。

[0281] 此外，在图 20 至图 28 中，LE7、LE8、LE9 分别表示发光元件 7、发光元件 8、发光元件 9。

[0282] 根据图 20 至图 28 可知，客体浓度低的发光元件 7 的发光效率比发光元件 8、发光元件 9 高。表 7 示出发光元件 7 至发光元件 9 的主要特性。在表 7 中，LE7、LE8、LE9 分别表示发光元件 7、发光元件 8、发光元件 9。从表 7 可知，客体相对于主体的总重量的重量比为 1% 的发光元件 7 可以呈现优越于该重量比高于发光元件 7 的发光元件 8、发光元件 9 的特性。

[0283] [表 7]

[0284]

	LE1(1%)	LE2(2.5%)	LE3(5%)
电压 (V)	3.2	3.5	4.0
电流密度 (mA/cm ²)	2.35	3.45	4.36
色度 x	0.6331	0.6508	0.6591
色度 y	0.3655	0.3492	0.3409
亮度 (cd/m ²)	874.0	969.9	1037.0
电流效率 (cd/A)	37.17	28.13	23.79
功率效率 (lm/W)	36.46	25.25	18.69
外部量子效率 (%)	22.59	20.94	20.27
能量效率 (%)	13.97	11.66	9.80

[0285] 本申请基于 2011 年 4 月 7 日向日本专利局提交的日本专利申请第 2011-085423 号,其全部内容通过引用纳入本文。

[0286] 符号说明

[0287] 101:第一电极、102:EL 层、103:第二电极、104:第一 EL 层、105:第二 EL 层、106:电荷发生层、111:空穴注入层、112:空穴传输层、113:发光层、114:电子传输层、115:电子注入层、116:电子注入缓冲层、117:电子继电层、118:复合材料层。

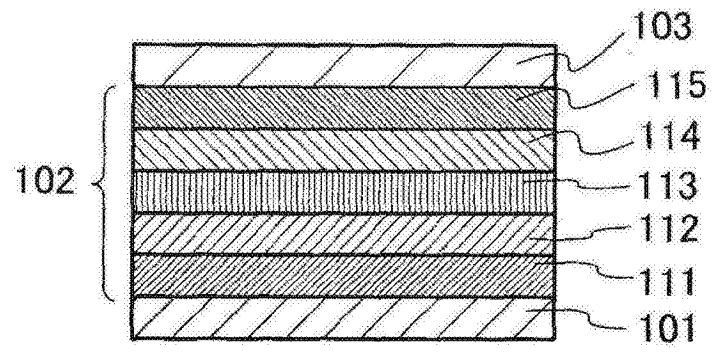


图 1A

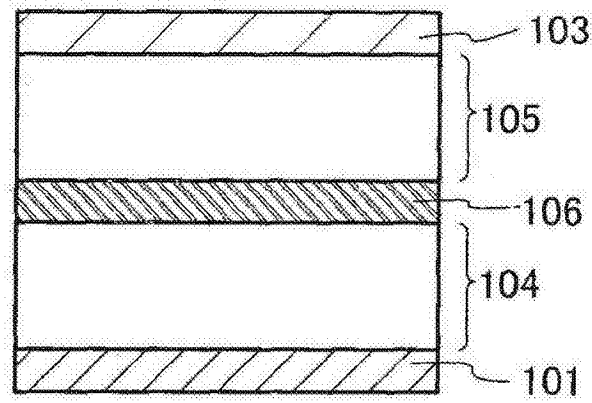


图 1B

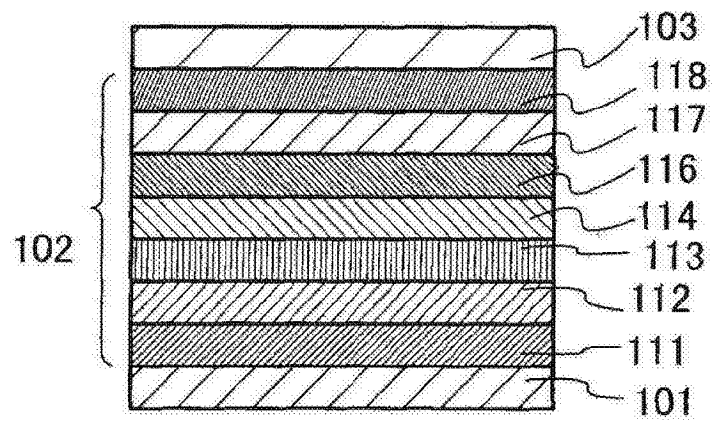


图 1C

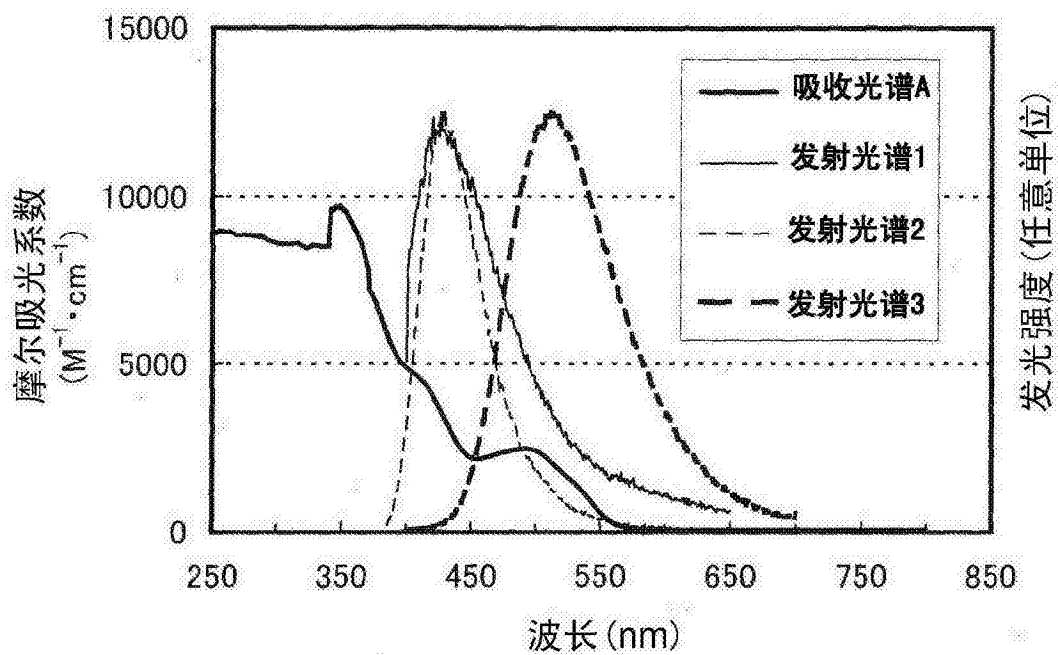


图 2A

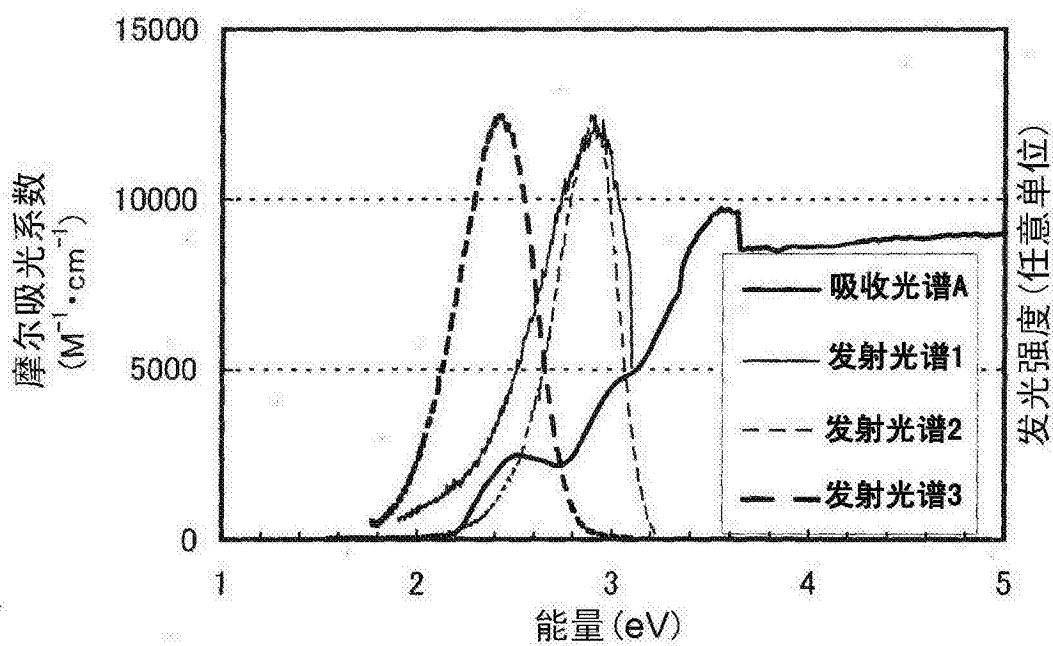


图 2B

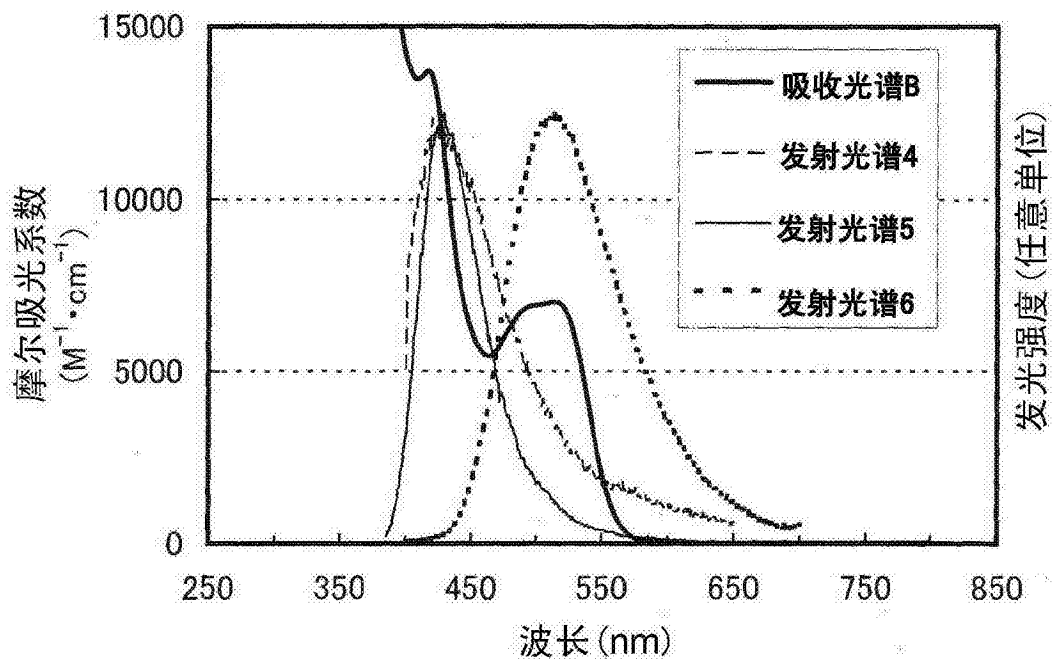


图 3A

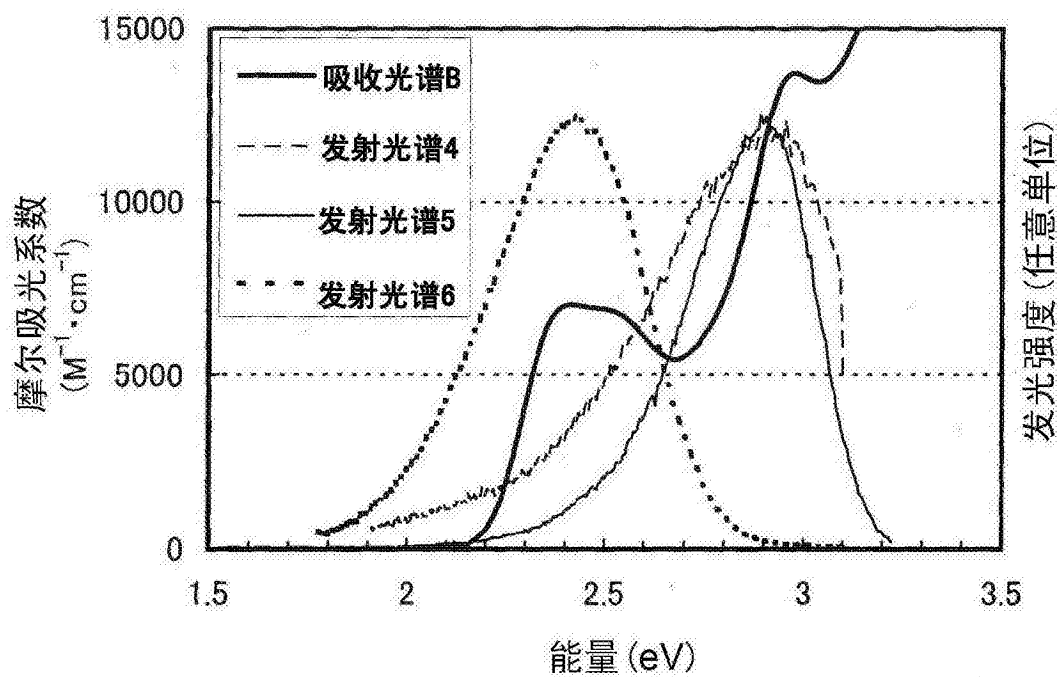
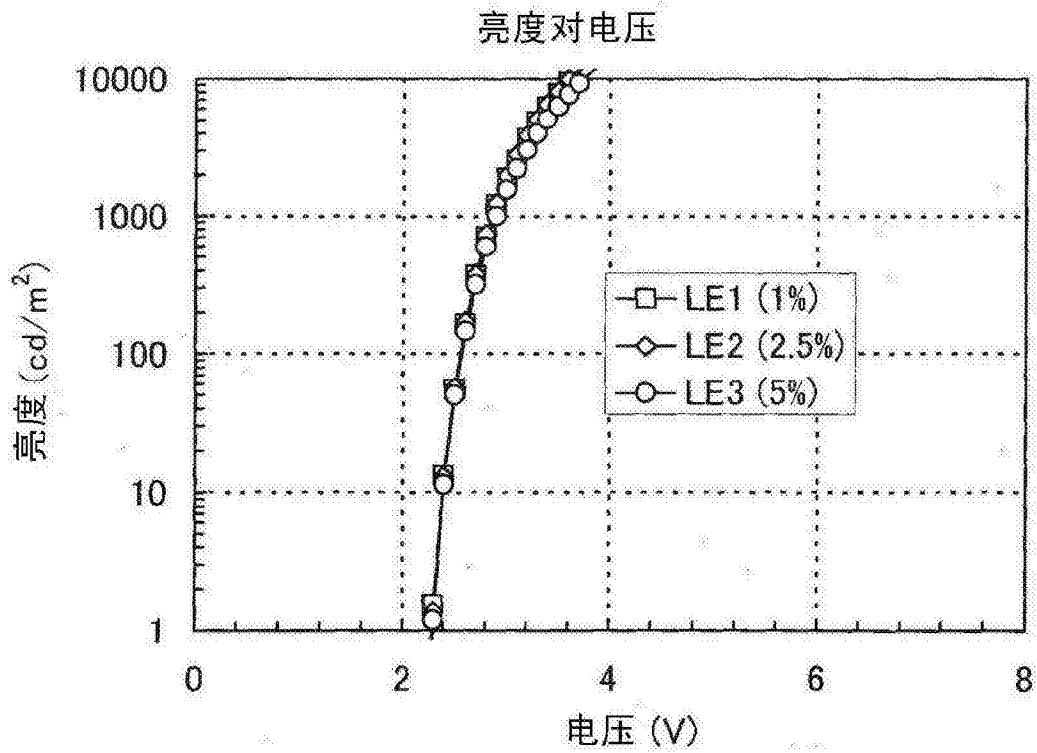
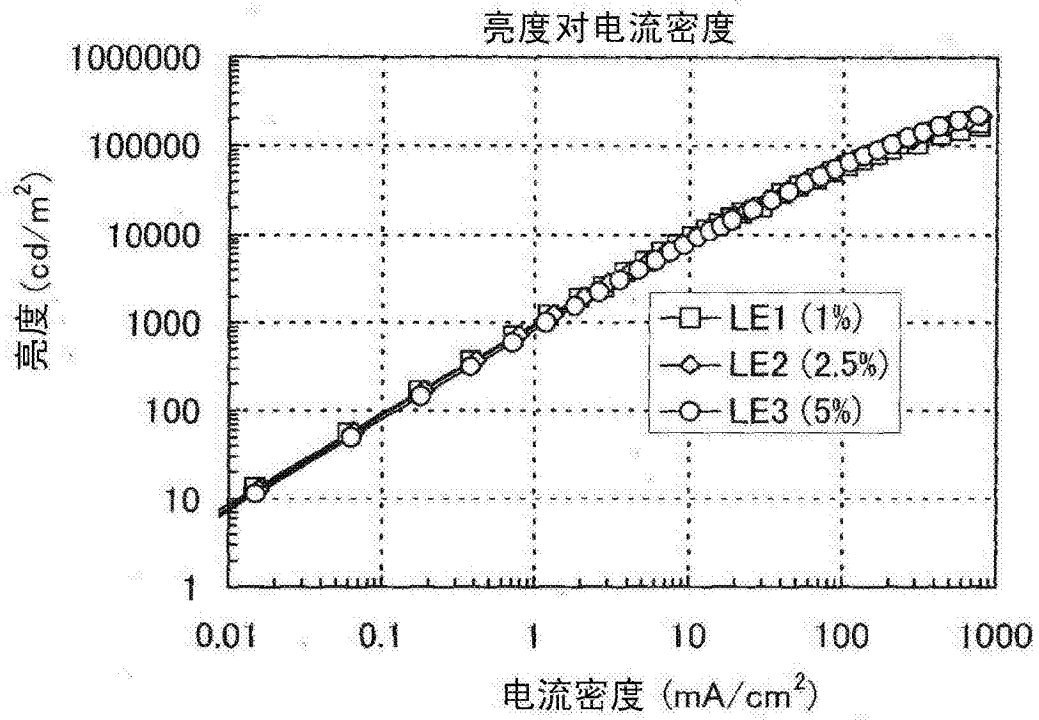


图 3B



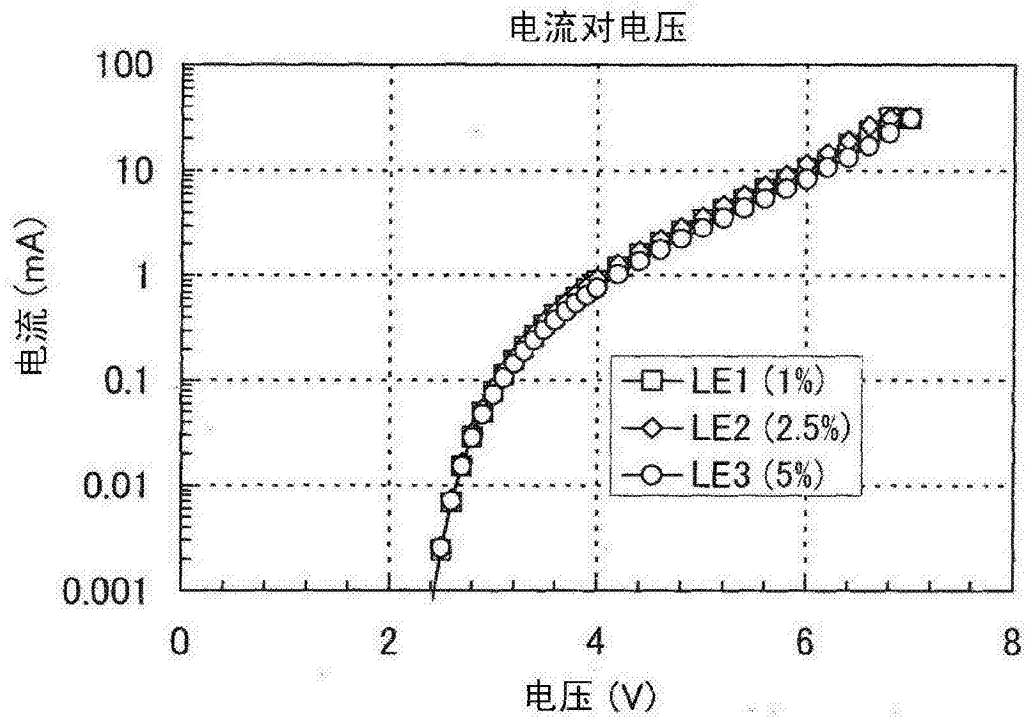


图 6

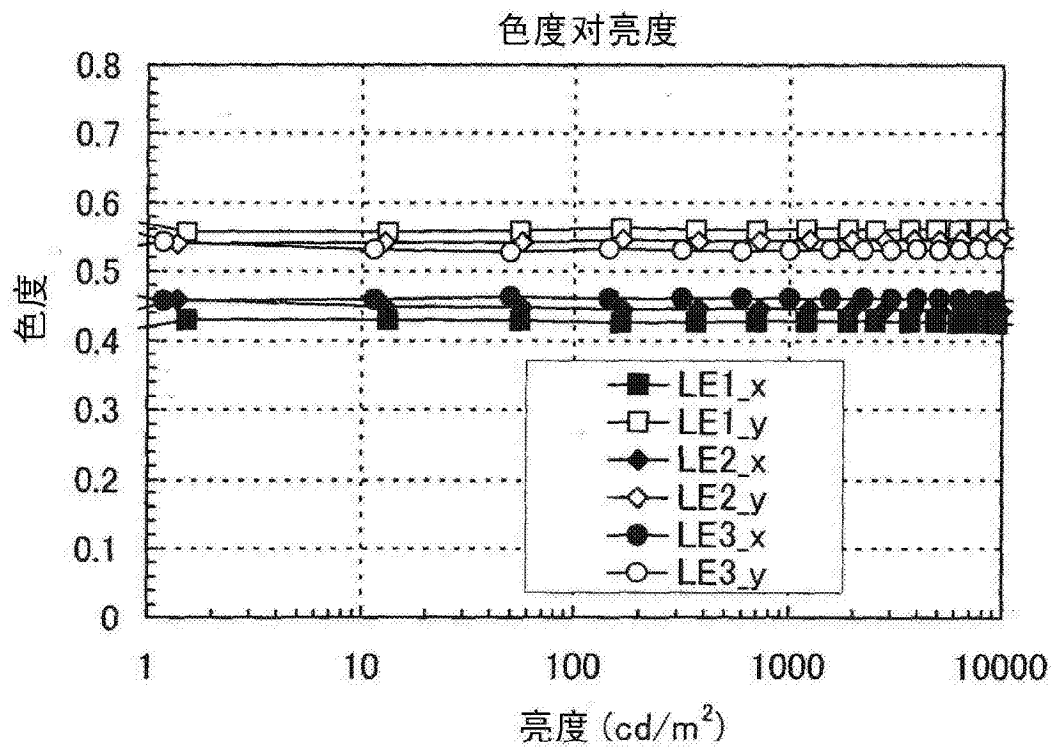


图 7

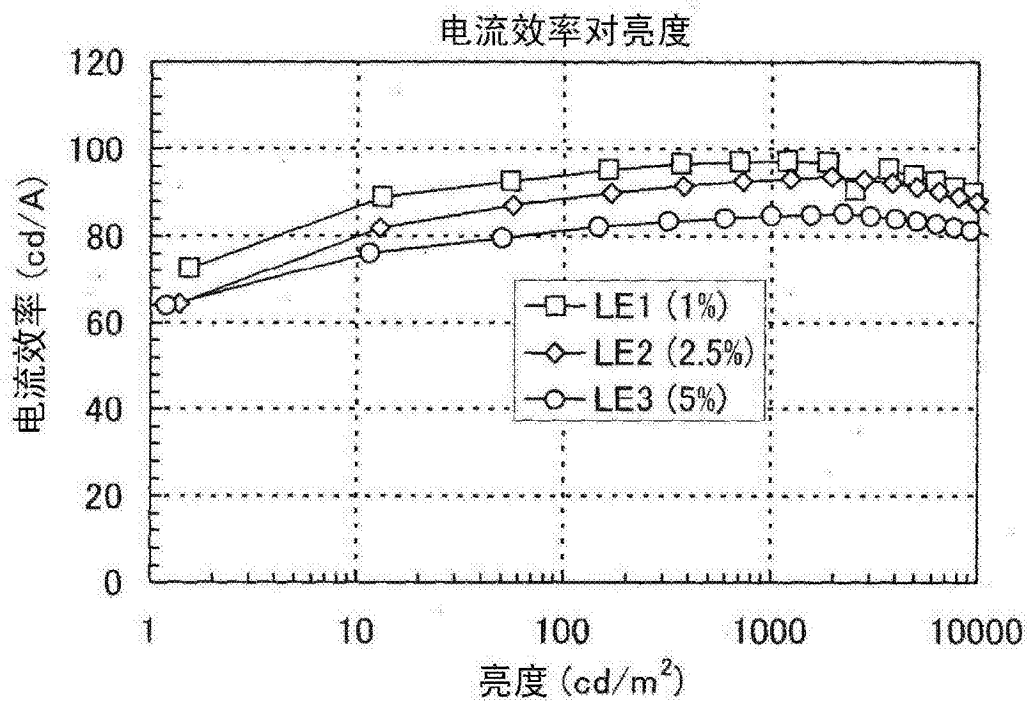


图 8

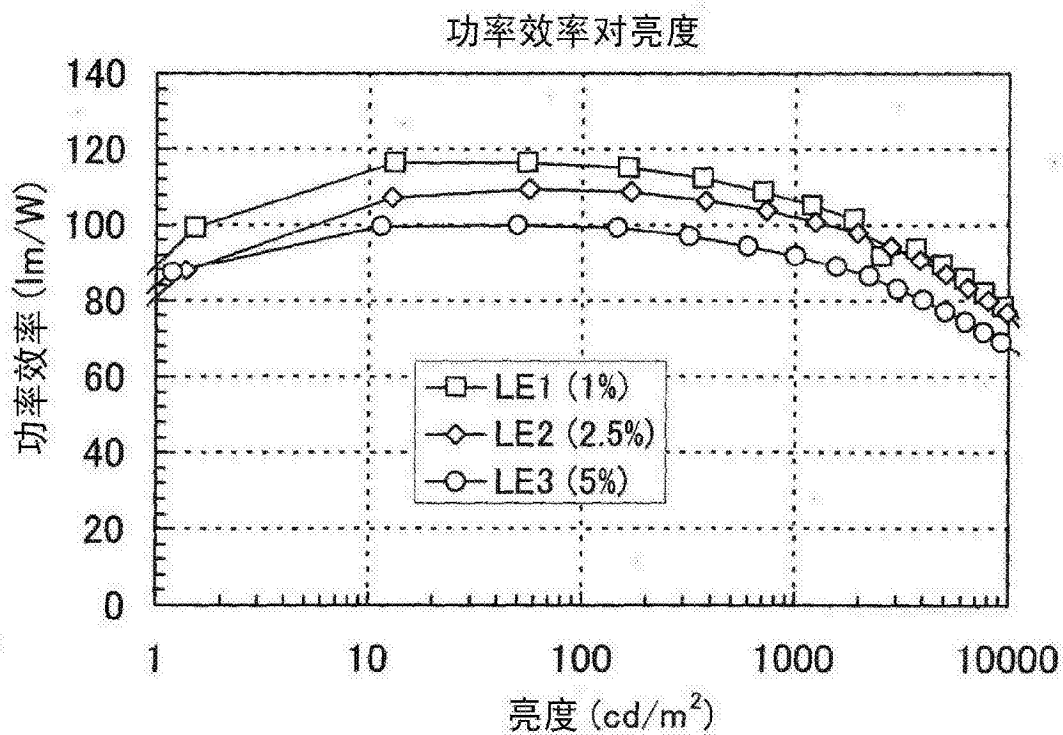


图 9

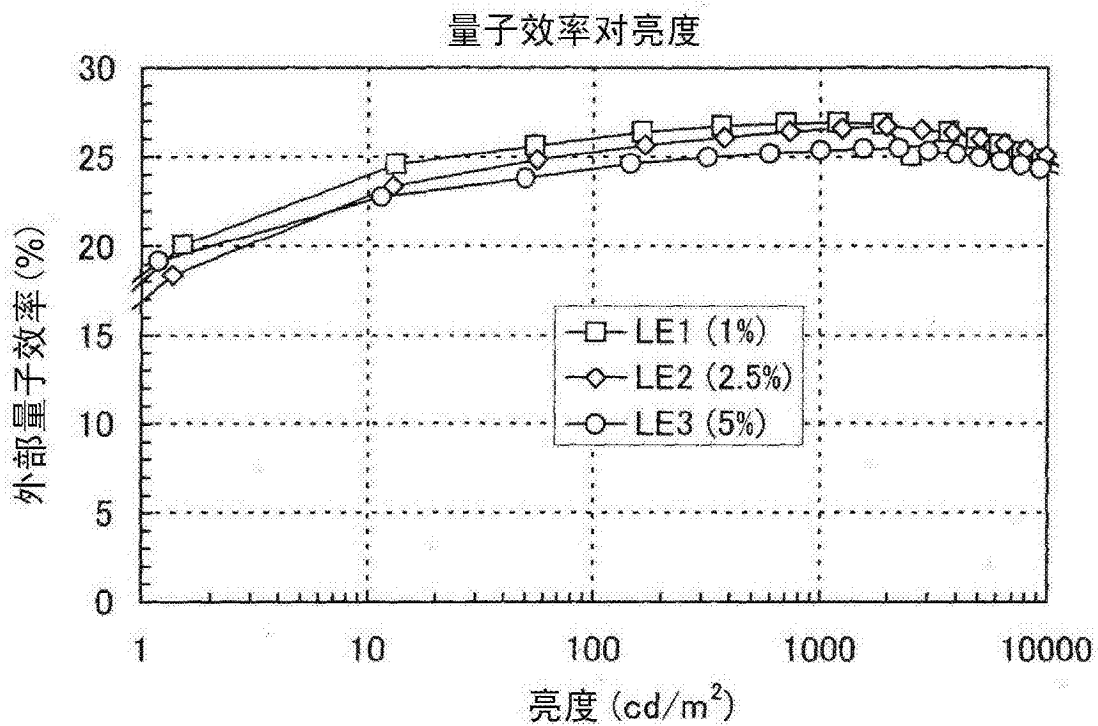


图 10

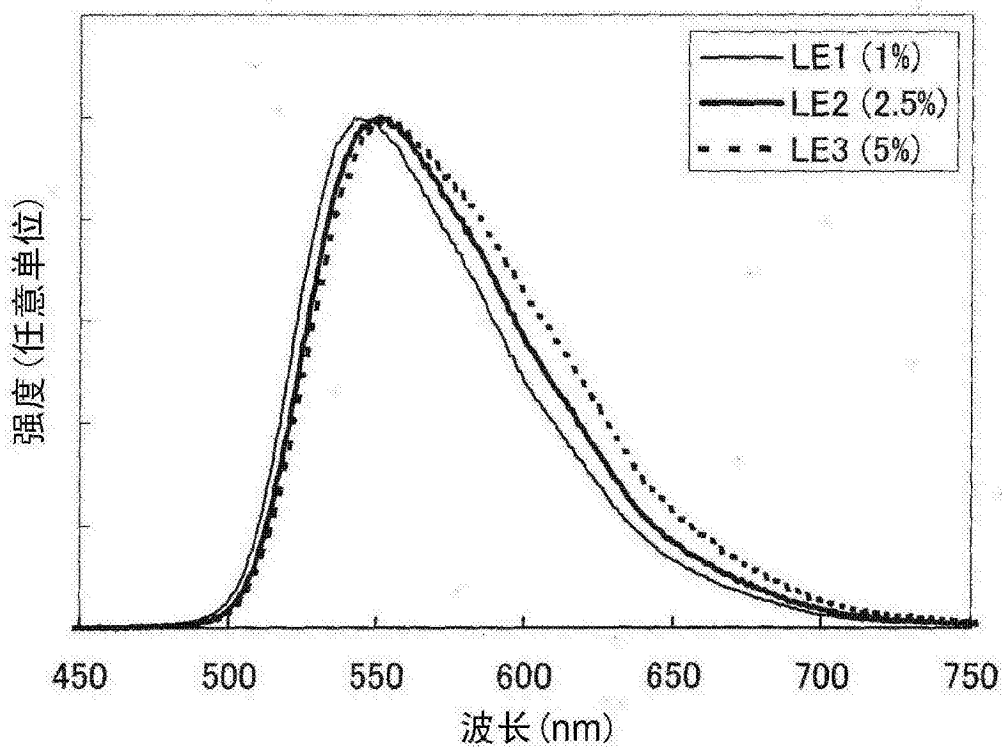


图 11

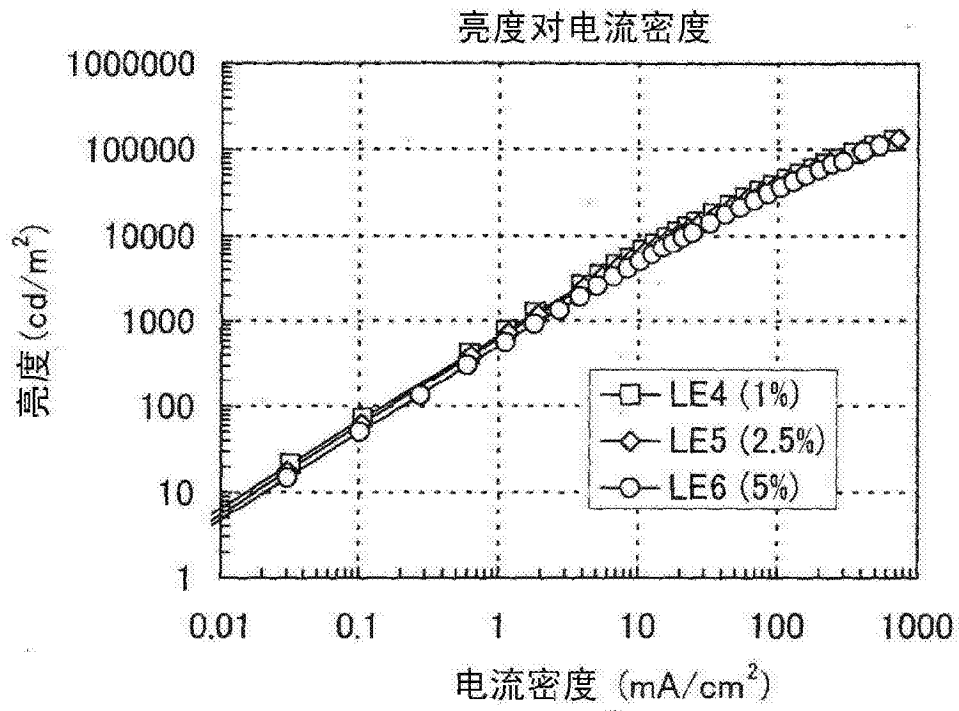


图 12

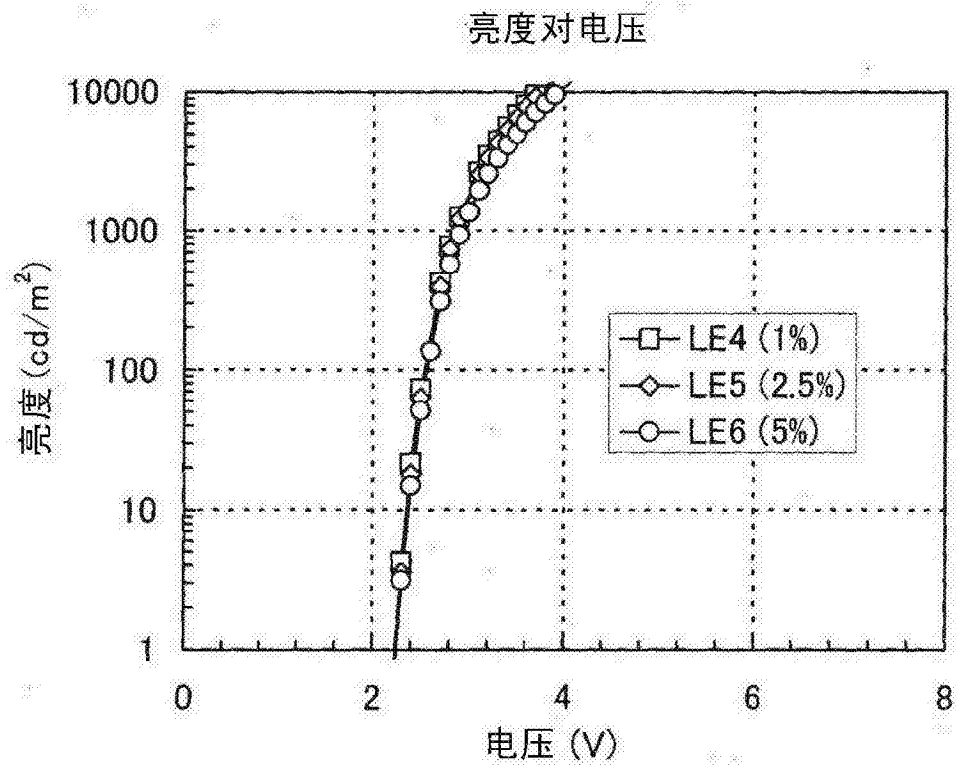


图 13

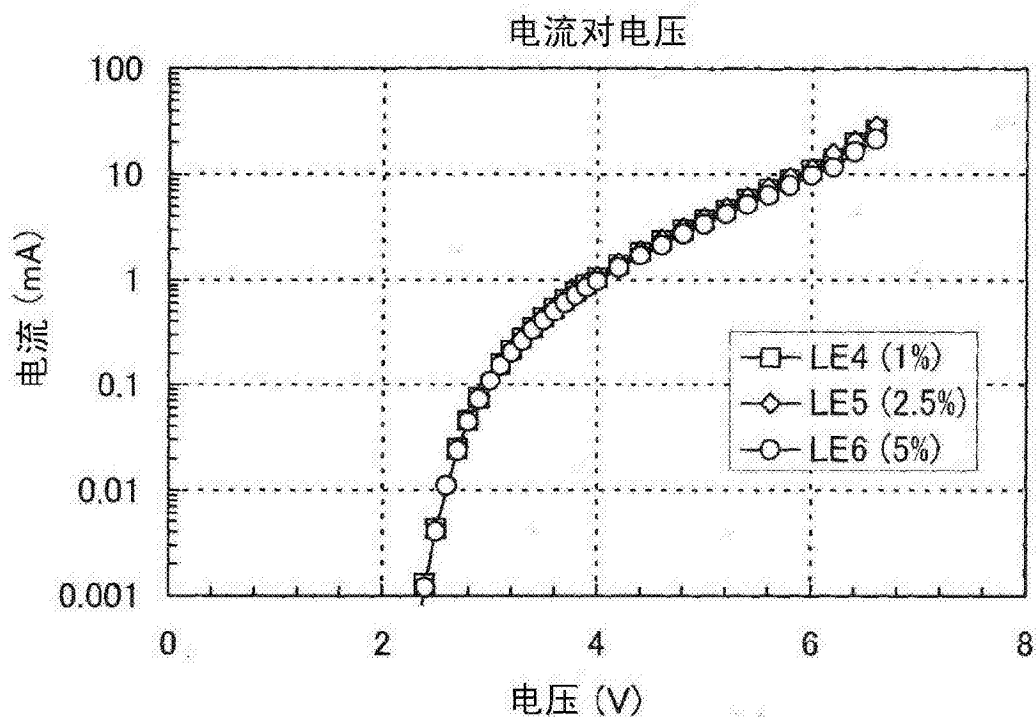


图 14

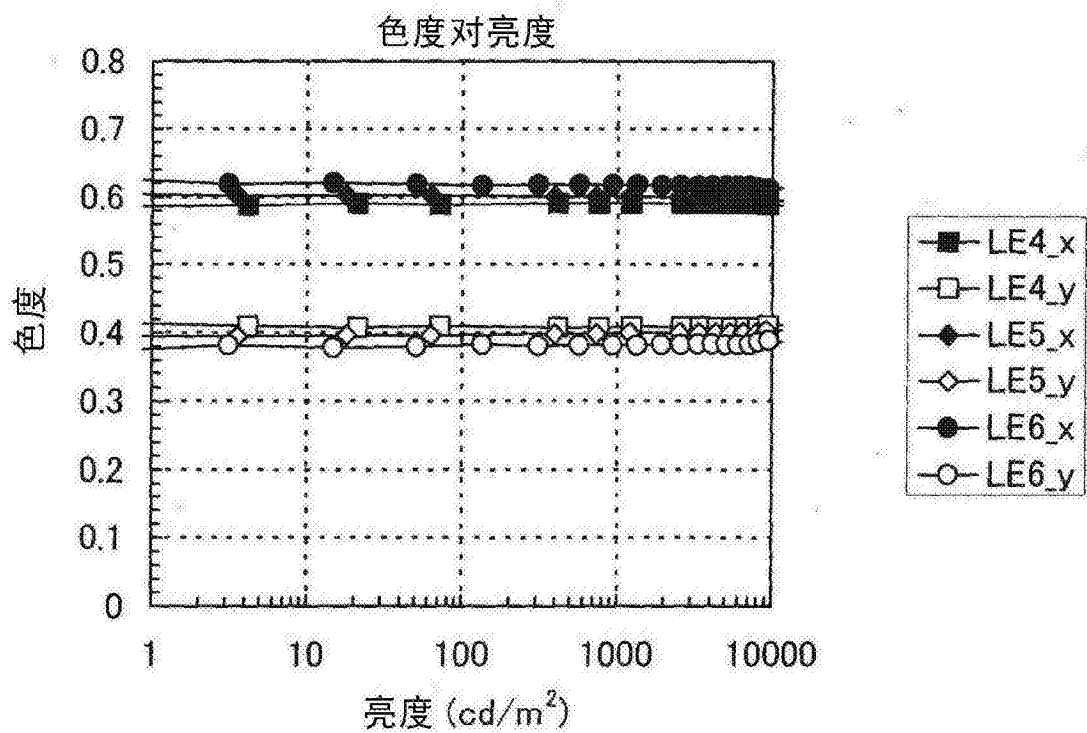


图 15

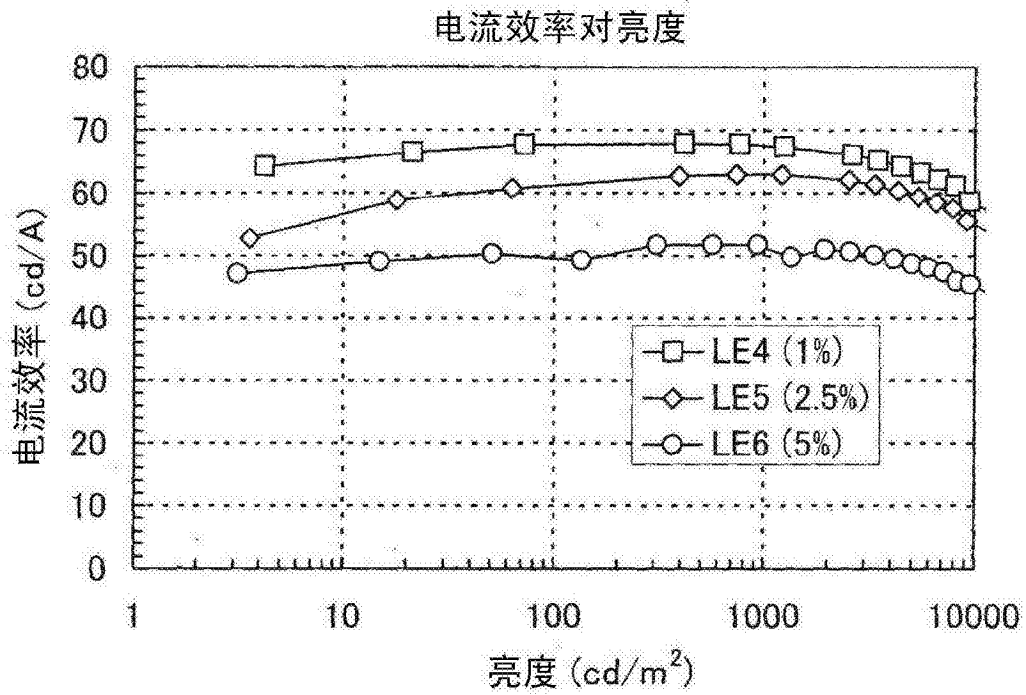


图 16

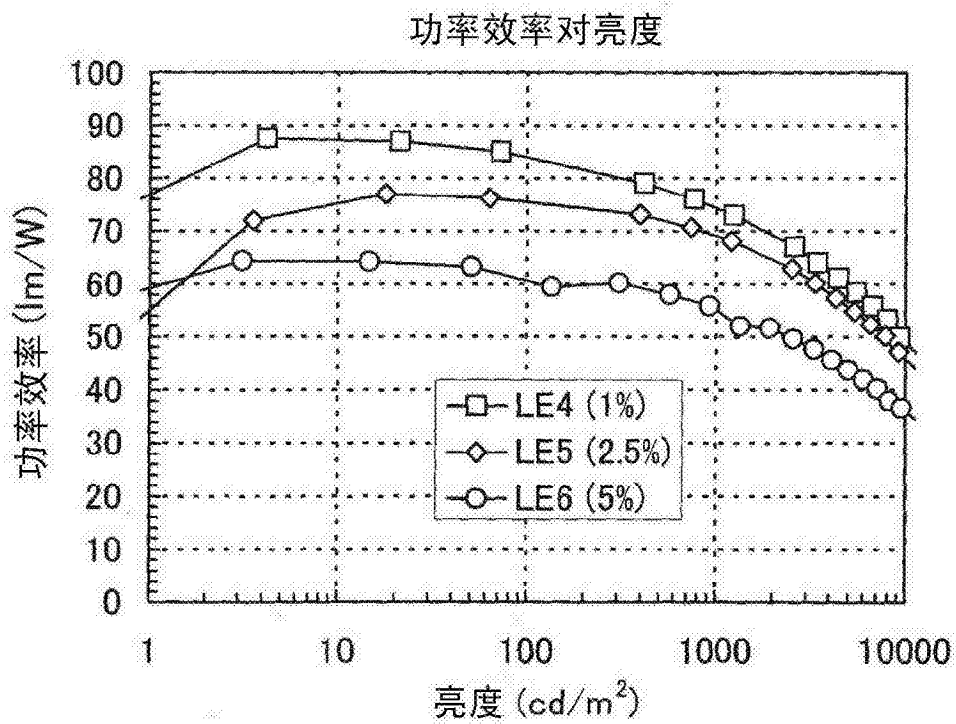


图 17

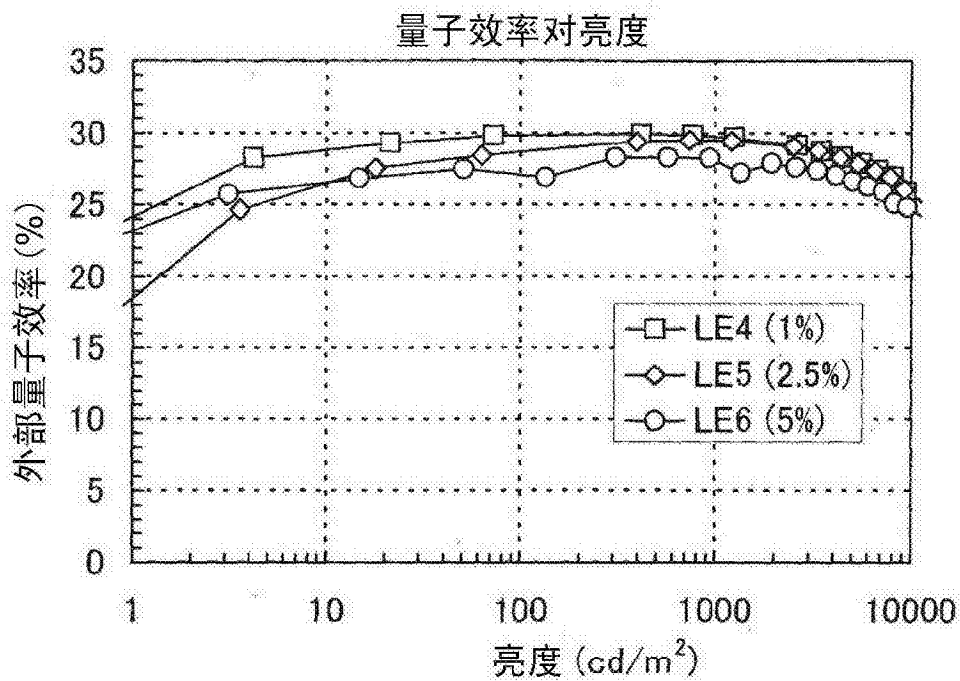


图 18

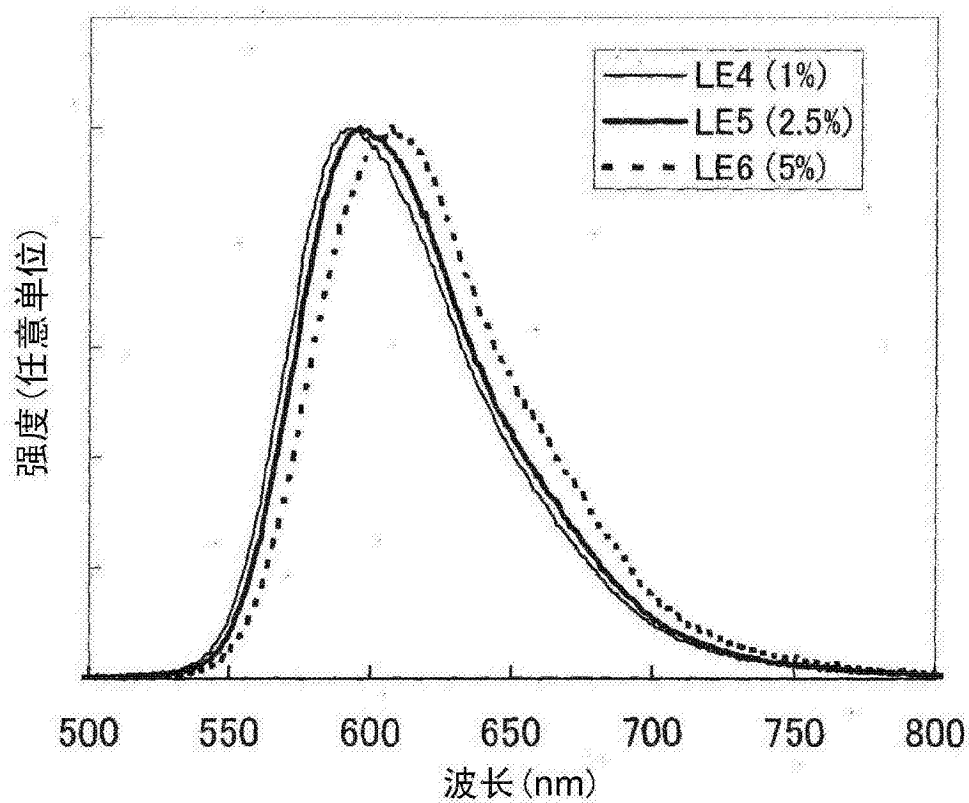


图 19

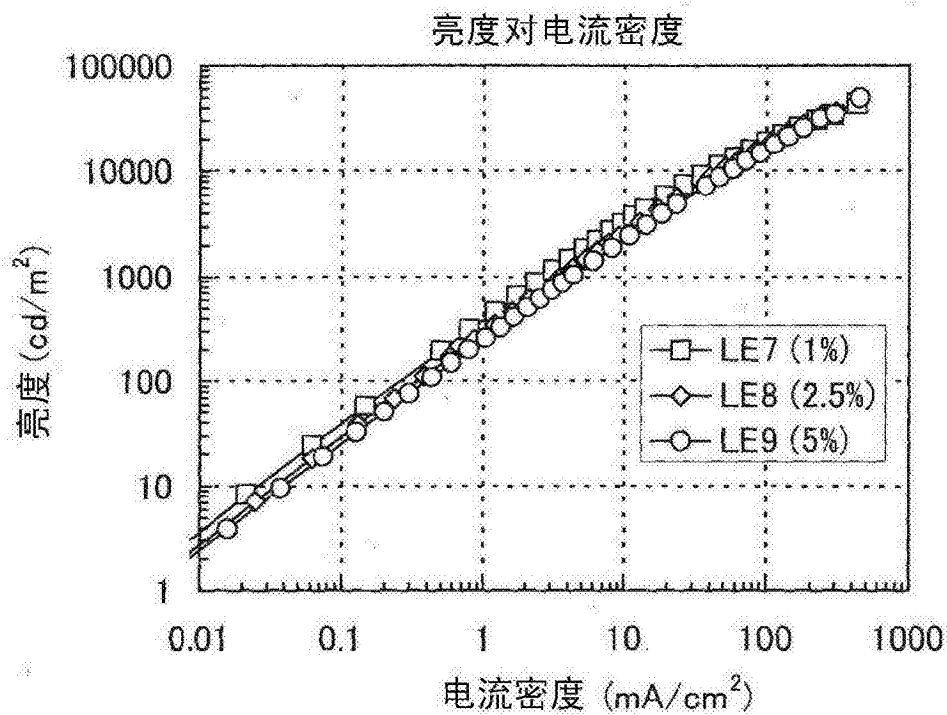


图 20

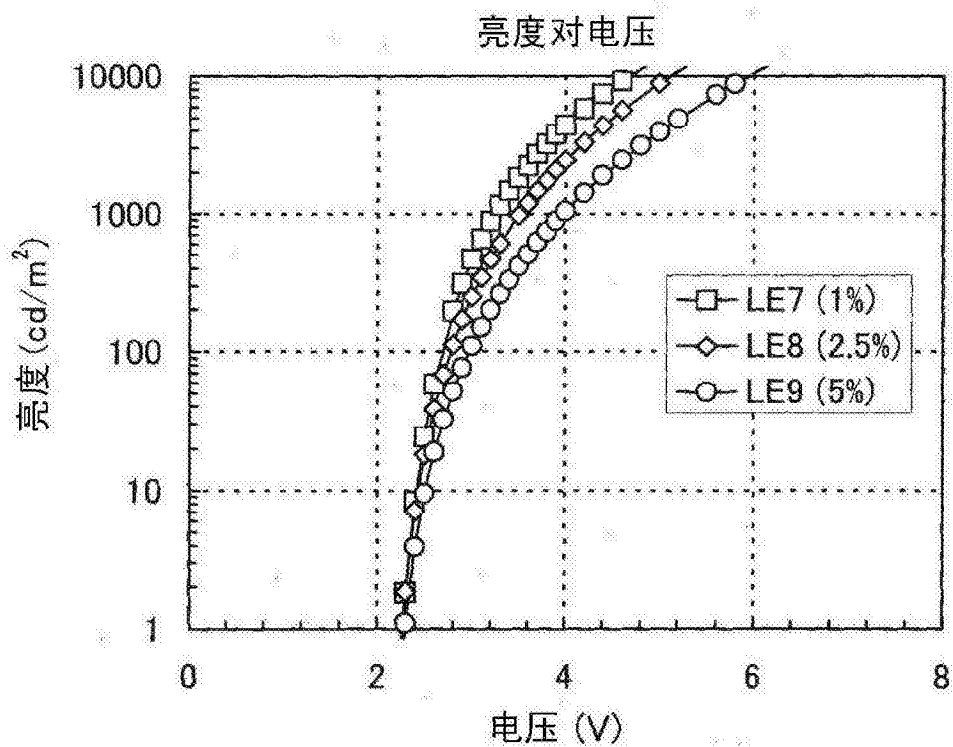


图 21

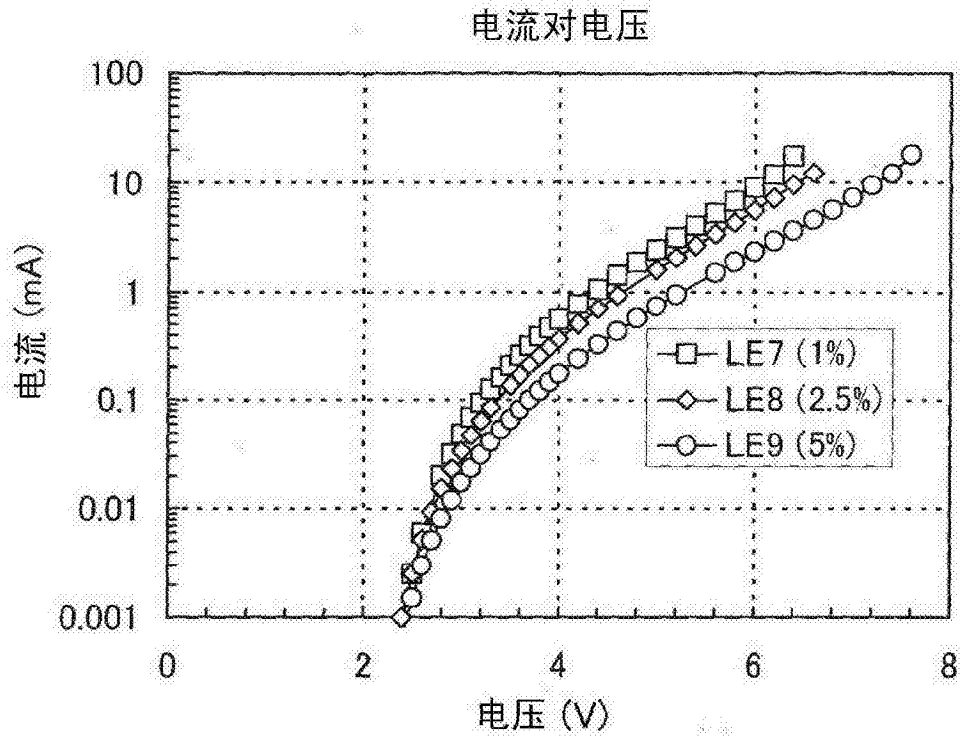


图 22

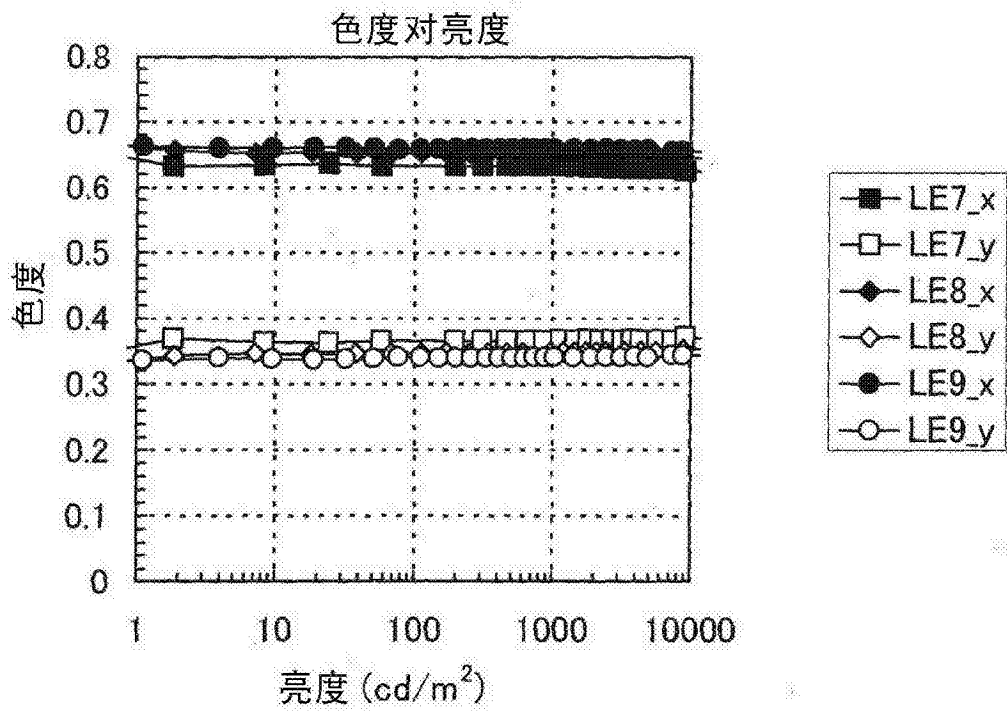


图 23

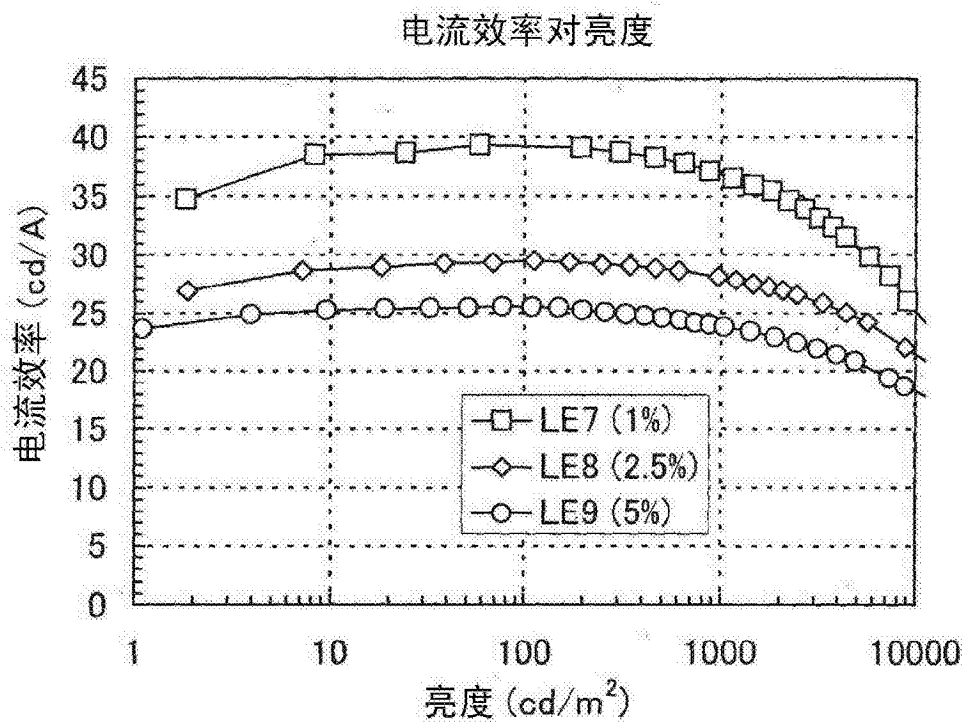


图 24

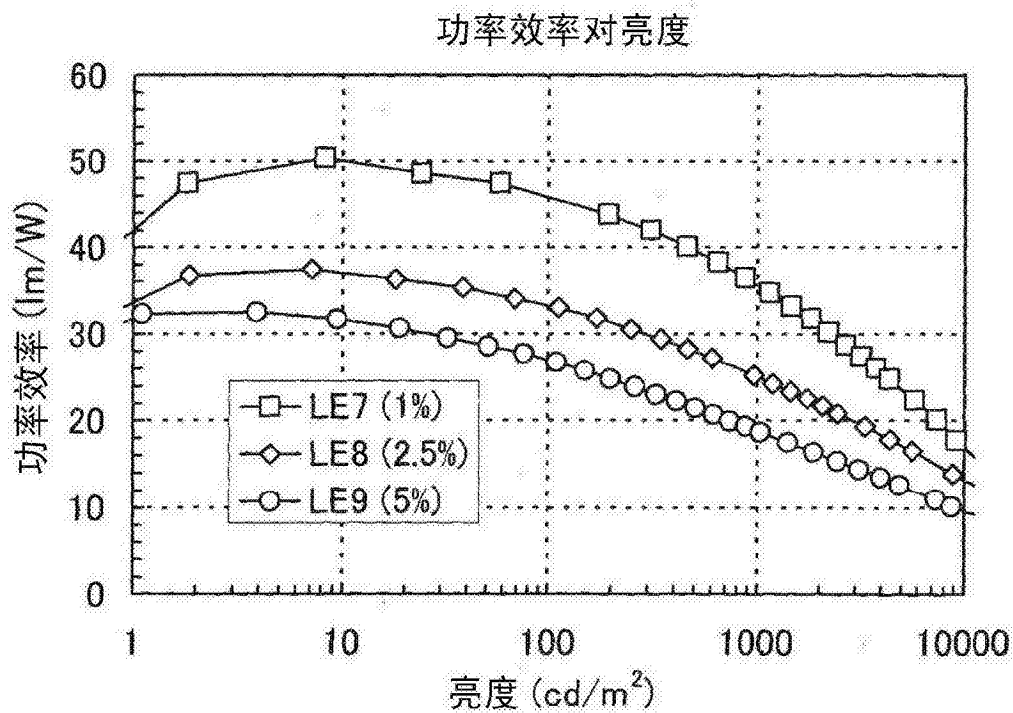


图 25

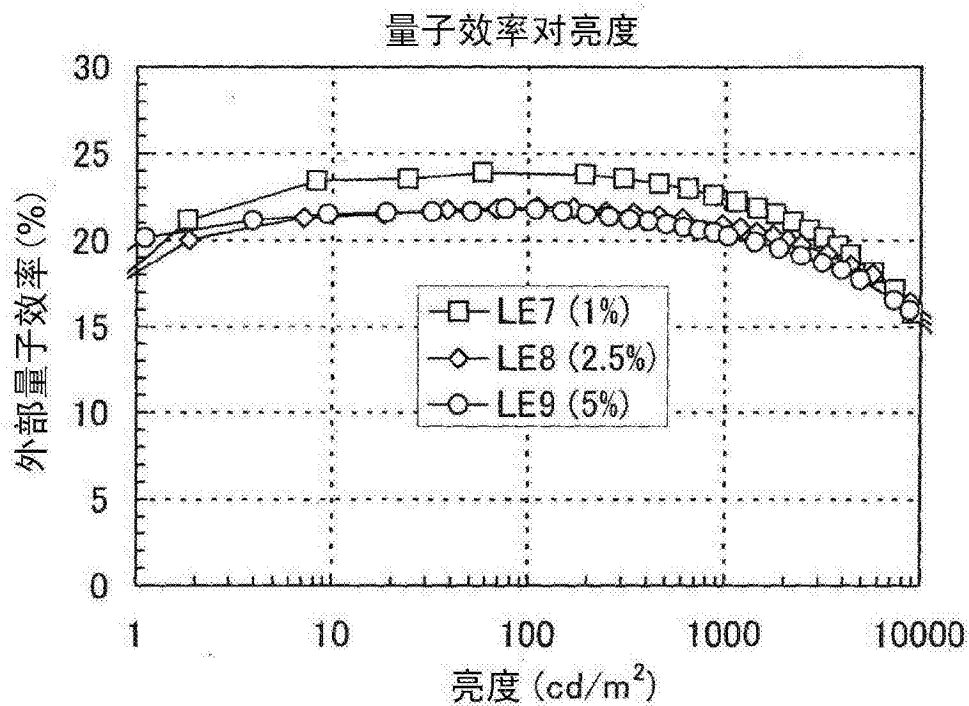


图 26

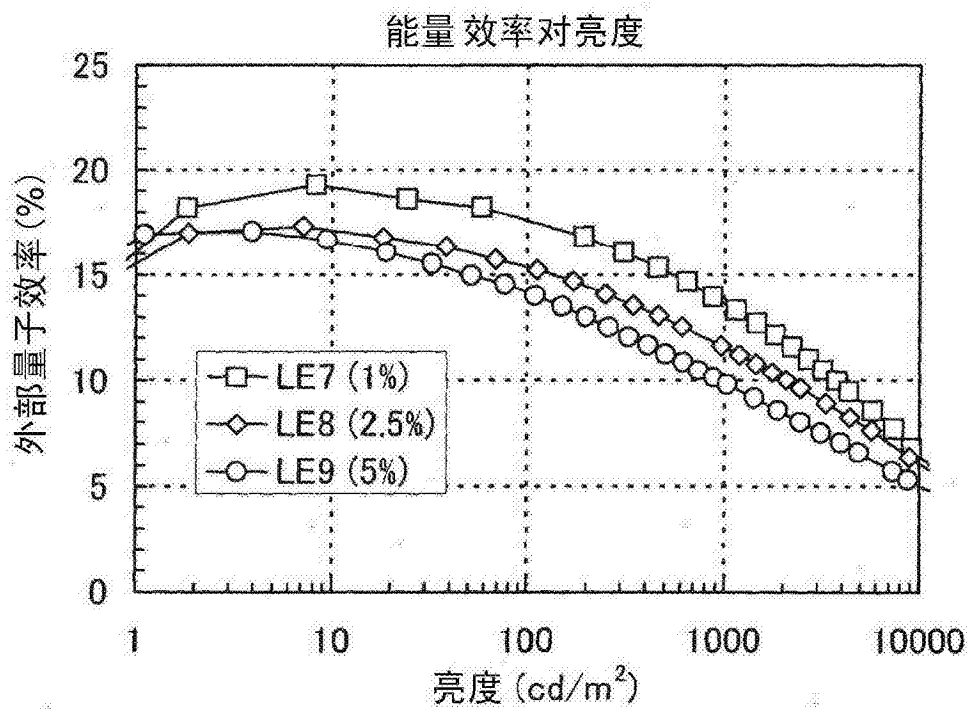


图 27

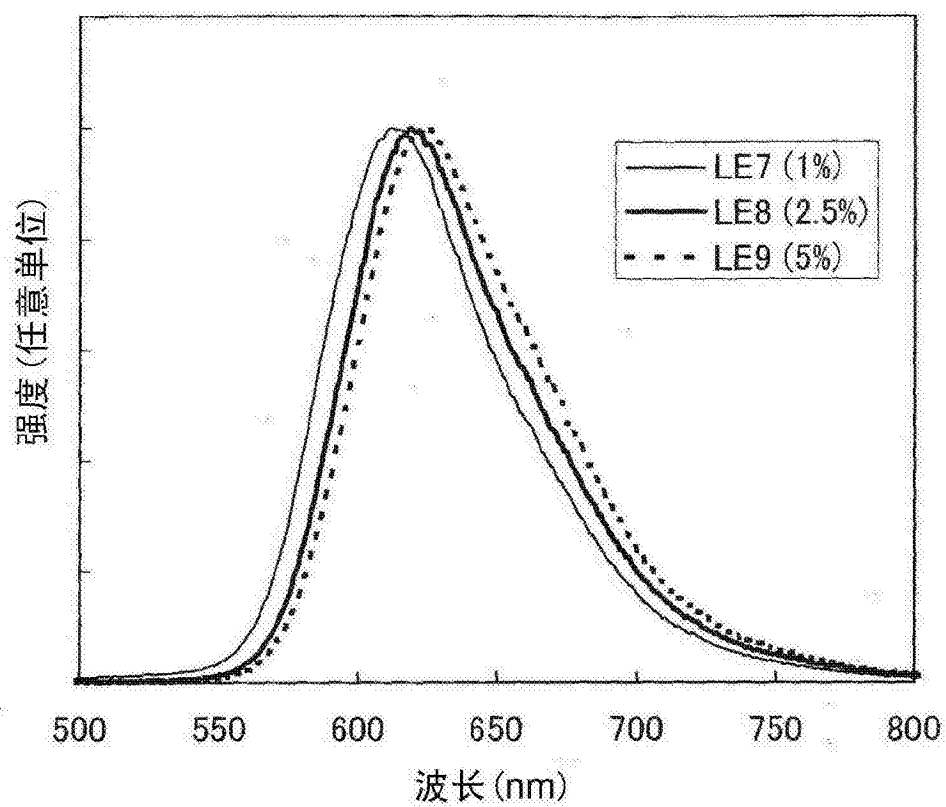


图 28