



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102956838 B

(45) 授权公告日 2015. 06. 17

(21) 申请号 201210283599. 5

CN 101044641 A, 2007. 09. 26, 全文.

(22) 申请日 2012. 08. 10

钟玉磬. 表面等离子增强型有机发光器件的制备与特性研究. 《中国优秀硕士学位论文全文数据库 信息科技辑》. 2010, (第9期), 全文.

(30) 优先权数据

2011-176583 2011. 08. 12 JP

2012-021715 2012. 02. 03 JP

2012-158263 2012. 07. 17 JP

审查员 陈凯妍

(73) 专利权人 佳能株式会社

地址 日本东京

(72) 发明人 梶本典史

(74) 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专

利商标事务所 11038

代理人 罗银燕

(51) Int. Cl.

H01L 51/52(2006. 01)

H01L 51/50(2006. 01)

H01L 27/32(2006. 01)

(56) 对比文件

US 2006/0135029 A1, 2006. 06. 22, 全文.

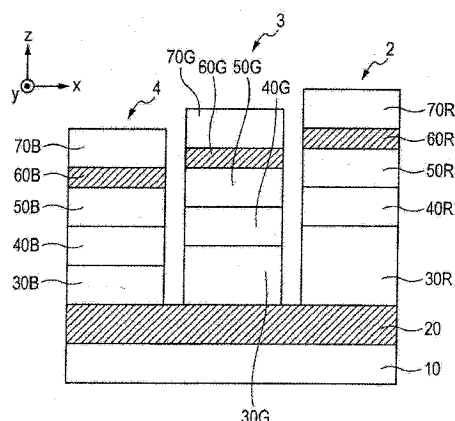
权利要求书2页 说明书26页 附图13页

(54) 发明名称

有机电致发光元件和使用该元件的装置和发光元件阵列

(57) 摘要

本发明公开了有机电致发光元件和使用该元件的装置和发光元件阵列。提供了即使在满足 $\lambda/4$ 干涉条件的强腔中仍抑制SP损失的有机电致发光元件,从而提高发光效率。有机电致发光元件发射具有大于等于440nm且小于等于470nm的峰值波长的光,其中分别在反射电极和透明电极处产生的表面等离子体激元之间的波数差 $\delta k(\text{Re})$ 落入特定的范围内。



1. 一种有机电致发光元件,依次包括由金属层形成的第一电极、第一电荷传输层、发光层、第二电荷传输层、由金属层形成的第二电极和外耦合层,该元件使由发光层发射的光从第二电极侧射出,并且,该元件发射在大于等于 440nm 且小于等于 470nm 的发光光谱中具有最大峰值波长的光,其中:

第一电荷传输层与第一电极接触;

第二电荷传输层和外耦合层分别与第二电极接触;

第一电极与第一电荷传输层之间的第一界面和第二电极与第二电荷传输层之间的第二界面之间的光路长度 L 满足以下关系:

$$(-1-\phi/\pi)\times(\lambda/4)<L<(1-\phi/\pi)\times(\lambda/4)$$

其中, λ 表示最大峰值波长, ϕ 表示具有最大峰值波长 λ 的光在第一界面和第二界面处反射时的相位偏移之和 [rad]; 以及,

当在第一界面处产生的表面等离子体激元的波数的实部用 k_r [rad/m] 表示并且在第二界面处产生的表面等离子体激元的波数的实部用 k_s [rad/m] 表示时,满足以下关系:

$$-4.5\times 10^6\leq k_r-k_s\leq 2.1\times 10^6。$$

2. 根据权利要求 1 所述的有机电致发光元件,其中,第二电极的表面等离子体激元包含长程表面等离子体激元 LRSP。

3. 根据权利要求 1 所述的有机电致发光元件,其中,第二电极的表面等离子体激元的波数的实部是 2.2×10^7 至 3.5×10^7 [rad/m]。

4. 根据权利要求 1 所述的有机电致发光元件,其中,外耦合层的介电常数比第二电荷传输层的介电常数大。

5. 根据权利要求 1 所述的有机电致发光元件,其中,第一电荷传输层的介电常数和第二电荷传输层的介电常数等于或小于发光层的介电常数。

6. 根据权利要求 1 所述的有机电致发光元件,其中,发光层包含发光分子,所述发光分子的跃迁偶极矩具有沿与发光层的厚度方向垂直的方向偏置的取向状态。

7. 根据权利要求 1 所述的有机电致发光元件,其中,光路长度 L 满足 $(-1-2\phi/\pi)\times(\lambda/8)\leq L\leq (1-2\phi/\pi)\times(\lambda/8)$ 的关系。

8. 根据权利要求 1 所述的有机电致发光元件,其中,光路长度 L 满足 $\lambda/4 < L < 3\lambda/4$ 的关系。

9. 根据权利要求 1 所述的有机电致发光元件,其中,第一界面和第二界面之间的物理距离大于等于 58nm 且小于等于 186nm。

10. 根据权利要求 1 所述的有机电致发光元件,其中,光路长度 L 满足 $3\lambda/8 \leq L \leq 5\lambda/8$ 的关系。

11. 根据权利要求 1 所述的有机电致发光元件,其中,第一界面和第二界面之间的物理距离大于等于 87nm 且小于等于 155nm。

12. 一种发光装置,包括:

根据权利要求 1 所述的有机电致发光元件;和

用于控制所述有机电致发光元件的发光的控制电路。

13. 一种图像形成装置,包括:

根据权利要求 12 所述的发光装置；
将通过所述发光装置在其上形成潜像的感光部件；以及
用于充电感光部件的充电部件。

14. 一种发光元件阵列，包括：

用于发射蓝色的有机电致发光元件；
用于发射绿色的有机电致发光元件；以及
用于发射红色的有机电致发光元件，

其中，所述用于发射蓝色的有机电致发光元件包含根据权利要求 1 所述的有机电致发光元件。

15. 一种成像装置，包括：

根据权利要求 14 所述的发光元件阵列；以及
位于所述发光元件阵列的除发光表面的顶部以外的位置处的成像元件。

16. 一种显示装置，包括：

根据权利要求 14 所述的发光元件阵列；和
用于基于从外部输入的图像信号在所述发光元件阵列中显示希望的图像的控制电路。

有机电致发光元件和使用该元件的装置和发光元件阵列

技术领域

[0001] 本发明涉及有机电致发光(EL)元件,并且还涉及分别使用该有机 EL 元件的发光装置、图像形成装置、显示装置和成像装置。

背景技术

[0002] 近年来,通过约几伏的低驱动电压自发地发射光的有机 EL 元件正受到关注。有机 EL 元件具有层叠具有金属反射层的反射电极、发光层和透明电极的构成。由于诸如表面发射特性、轻重量和可见性之类的优异的特征,有机 EL 元件作为薄型显示器、照明设备、头部安装显示器或用于电子照相打印机的打印头的光源的发光装置被付诸实用。

[0003] 伴随对于使用有机 EL 元件构建的显示装置的低功耗的需求,期望提高有机 EL 元件的发光效率。显著提高发光效率的元件结构中的一种是微腔系统。发光分子具有向出现光的“增强干涉”的空间强烈地辐射光的特征。特别地,可以增加激子的辐射速度,并可以通过使用光学干涉控制其辐射图案。根据微腔系统,元件参数(膜厚和折射率)被设计成使得在从发光分子观察的光提取方向上出现“增强干涉”。特别地,已知在金属反射层与发光层之间的距离 d_0 满足条件 $d_0 = \lambda / (4n_0)$ (在下文中,被称为 $\lambda/4$ 干涉条件)的情况下,最大程度地通过干涉效果增加辐射强度。这里, λ 表示发光分子的 PL 光谱的峰值波长(在真空中), n_0 对应于发光点与金属反射层之间的有效折射率。根据微腔系统,不必使用诸如微透镜之类的不均匀结构,并且可以期望以低成本增加发光效率。

[0004] 另外,取决于光提取侧的反射率的大小,微腔被分为弱微腔和强微腔。一般地,在弱腔中,使用诸如玻璃/透明氧化物半导体之类的具有高透射率的电极结构,并且,腔的干涉效果主要由金属反射层与发光层之间的干涉条件确定。另一方面,在强腔中,使用具有高反射率的半透明金属薄膜作为光提取侧的透明电极。因此,强腔不仅包含在金属反射层与发光层之间获得的干涉效果,还包含在发光层与光提取侧的金属薄膜之间获得的干涉效果。在这种情况下,发光层与光提取侧的金属薄膜之间的光学距离也被设计成以干涉效果变得最大的方式满足 $\lambda/4$ 干涉条件。因此,在强腔中,能够使用比弱腔中的干涉效果大的干涉效果,从而能够显著提高发光效率。

[0005] 但是,已知在 $\lambda/4$ 干涉条件中,发光层与金属反射层之间的距离约为 60nm 或更小,因此表面等离子体激元(SP)损失变大。SP 损失是如下现象,即,金属的 SP 受到发光分子的激发能量激发,作为结果,激发能量转变成 Joule 热。因此,使用 $\lambda/4$ 干涉结构的微腔具有发光效率相对于大的光学干涉效果并不提高的问题。特别地,为了进一步提高 $\lambda/4$ 干涉条件下的微腔的发光效率,需要抑制 SP 损失的方法。

[0006] 到目前为止,作为抑制 SP 损失的方法,提出了诸如增加金属反射层与发光层之间的距离之类的牺牲干涉效果的方法(日本专利申请公开 No. 2008-543074)。在近年的研究中,已开始提出满足 $\lambda/4$ 的干涉效果并抑制 SP 损失的方法,诸如使发光分子的跃迁偶极矩水平取向(J. Frischeisen 等, Organic Electronics 12, (2011), 809-817)。以上引入的用于抑制 SP 损失的每个方案已在金属与电介质之间仅具有一个界面的弱腔构成中得到了

研究。换句话说,还没有提出在满足 $\lambda/4$ 干涉条件的强腔中用于抑制 SP 损失的方案。

发明内容

[0007] 本发明的目的是,提供即使在满足 $\lambda/4$ 干涉条件的强腔构成中仍抑制 SP 损失从而提高发光效率的有机 EL 元件和分别使用该有机 EL 元件的各种装置。

[0008] 本发明的有机 EL 元件依次包括由金属层形成的第一电极、第一电荷传输层、发光层、第二电荷传输层、由金属层形成的第二电极和外耦合层,该元件使由发光层发射的光从第二电极侧出射,并且,该元件发射在大于等于 440nm 且小于等于 470nm 的发光光谱中具有最大峰值波长的光,其中:第一电荷传输层与第一电极接触;第二电荷传输层和外耦合层分别与第二电极接触;第一电极与第一电荷传输层之间的第一界面和第二电极与第二电荷传输层之间的第二界面之间的光路长度 L 满足以下关系:

[0009]

$$(-1-\phi/\pi)\times(\lambda/4)<L<(1-\phi/\pi)\times(\lambda/4)$$

[0010] 其中, λ 表示最大峰值波长, ϕ 表示具有最大峰值波长 λ 的光在第一界面和第二界面处反射时的相位偏移之和 [rad]; 以及,当在第一界面处产生的表面等离子体激元的波数的实部用 k_r [rad/m] 表示并且在第二界面处产生的表面等离子体激元的波数的实部用 k_s [rad/m] 表示时,满足以下关系:

[0011] $-4.5 \times 10^6 \leq k_r - k_s \leq 2.1 \times 10^6$ 。

[0012] 在本发明中,有助于光提取的发光分子的偶极分量作为传播光被提取到外部而不被表面等离子体激元吸收,因此可以提供具有改善的光提取效率的有机 EL 元件。因此,可以改善分别通过使用有机 EL 元件构成的发光装置、图像形成装置、显示装置和成像装置的特性。

[0013] 参照附图从以下描述的示例性实施例中,本发明的其它特征将变得明显。

附图说明

[0014] 图 1 是示意性地图示本发明的有机 EL 元件的构成的断面图。

[0015] 图 2 是示意性地图示本发明的显示装置的实施例的构成的透视图。

[0016] 图 3 是示出在本发明的实施例中发射蓝光的有机 EL 元件 101b 和 102b 中的每一个的 x 分量的 SP 能量耗散的示意图。

[0017] 图 4 是图 3 所示的 SP 模式 101b-1 的电场分布。

[0018] 图 5 是图 3 所示的 SP 模式 102b-1 的电场分布。

[0019] 图 6A 和图 6B 是示出在本发明的实施例中发射蓝光的有机 EL 元件 101b 和 102b 的阳极和阴极的 SP 能量耗散的示意图。

[0020] 图 7 是示出当外耦合层的折射率 n 等于 1.88 时阳极与阴极之间的 SP 波数差 $\delta k(\text{Re})$ 与发光效率之间的关系的示意图。

[0021] 图 8 是示出当外耦合层的折射率 n 等于 1.88 时腔强度与发光效率之间的关系的示意图。

[0022] 图 9 是示出当外耦合层的折射率 n 等于 2.4 时阳极与阴极之间的 SP 波数差 $\delta k(\text{Re})$ 与发光效率之间的关系的示意图。

[0023] 图 10 是示出图 9 的元件构成 L 和元件构成 L' 中的每一个的 x 分量的 SP 能量耗散的示图。

[0024] 图 11 是示出间隙等离子体激元的波数与发光效率之间的关系的示图。

[0025] 图 12 是示出掺杂剂 -1 和 2,8-二氨基-1,2-苯并菲(DAC)的 PL 光谱的示图。

[0026] 图 13 是示出在发光分子是掺杂剂 -1 的情况下当外耦合层的折射率 n 等于 1.88 时波数差 $\delta k(\text{Re})$ 与发光效率之间的关系的示图。

[0027] 图 14 是示出在发光分子是掺杂剂 -1 的情况下当外耦合层的折射率 n 等于 2.4 时波数差 $\delta k(\text{Re})$ 与发光效率之间的关系的示图。

[0028] 图 15 是示出通过本发明的各例子中的有机 EL 元件的实验确定的色度-效率曲线的示图。

[0029] 图 16 是示出通过本发明的各例子中的有机 EL 元件的仿真确定的色度-效率曲线的示图。

具体实施方式

[0030] 本发明的有机 EL 元件是包含光反射性的第一电极、光透过性的第二电极和位于这些电极之间的发光层的有机 EL 元件,该元件具有满足 $\lambda/4$ 干涉条件的强腔构成,并且,该元件发射在大于等于 440nm 且小于等于 470nm 的范围中具有最大峰值波长的蓝光。本发明的特征在于,第一电极与第二电极分别具有金属膜,并且,在相应第一电极和第二电极上产生的表面等离子体激元(在下文中,被称为“SP”)之间的波数差 $\delta k(\text{Re})$ [rad/m] 被设置为满足下式(III)。

[0031] $-4.5 \times 10^6 \leq \delta k(\text{Re}) \leq 2.1 \times 10^6$ 式(III)

[0032] 在下文中,通过实施例的方式描述本发明的有机 EL 元件。图 1 是示意性地图示本发明的显示装置的实施例的构成的断面图。图 2 是本发明的显示装置的实施例的透视图,并示出了沿图 2 中的线 1-1 的断面对应于图 1。

[0033] 本发明的显示装置具有显示区域 600,在显示区域 600 中以矩阵形式设置像素 500,并且,各像素 500 具有有机 EL 元件。典型地,用于显示全色图像的显示装置具有分别发射红(R)光、绿(G)光或蓝(B)光的有机 EL 元件。在图 1 中,在基板 10 上形成发射红光的有机 EL 元件 2、发射绿光的有机 EL 元件 3 和发射蓝光的有机 EL 元件 4 中的每一个。在下文中,为了方便,发射红光的有机 EL 元件被描述为 R 元件,发射绿光的有机 EL 元件被描述为 G 元件,发射蓝光的有机 EL 元件被描述为 B 元件。在图 1 中,在基板 10 上的各元件中设置作为光反射性的第一电极的反射电极 20,并在跨越发光层 40R、40G 或 40B 与反射电极 20 相对的一侧设置作为光透过性的第二电极的透明电极 60R、60G 或 60B。在图 1 中,附图标记 30R、30G 和 30B 分别代表第一电荷传输层,附图标记 50R、50G 和 50B 分别代表第二电荷传输层,附图标记 70R、70G 和 70B 分别代表外耦合层。应当注意,各标记的 R、G 和 B 分别表示由标记代表的层出现在 R 元件 2、G 元件 3 和 B 元件 4 中。在以下的描述中,在各元件共同的描述中,出于方便省略 R、G 和 B。图 1 的例子是从透明电极 60 侧(基板 10 相对的一侧)提取由有机 EL 元件发射的光的顶发光型。即使对于导致由有机 EL 元件发射的光从基板 10 侧出射的构成,本发明也是适用的。应当注意,由在反射电极 20 与透明电极 60 之间插入的有机化合物形成的叠层典型地被称为“有机化合物层”。另外,在图 1 中,反射电极 20

被形成共用于 R 元件、G 元件和 B 元件,透明电极 60R、60G 和 60B 分别对于 R 元件、G 元件和 B 元件被形成。但是,反射电极 20 可以对于 R 元件、G 元件和 B 元件中的每一个被形成,透明电极 60R、60G 或 60B 可以被形成共用于 R 元件、G 元件和 B 元件。

[0034] 作为图 1 中的基板 10,可以使用塑料基板、各种玻璃基板和在其上形成诸如由例如多晶 Si 或 a-Si (非晶硅)的半导体形成的晶体管之类的驱动电路的玻璃基板。并且,也可以使用在硅晶片上形成驱动电路的玻璃基板或在硅晶片上设置驱动电路的玻璃基板等。

[0035] 取决于反射电极 20 和透明电极 60 中的哪一个用作阳极或阴极以及它与发光层 40 的位置关系,适当地使用空穴注入层、空穴传输层、电子阻挡层、空穴阻挡层、电子传输层或电子注入层等作为第一电荷传输层 30 或第二电荷传输层 50。另外,可以在发光层与电极之间设置两个或更多个电荷传输层。

[0036] 在本发明中,不限制各层中的有机材料。例如,可以使用荧光材料和磷光材料中的每一种作为用于构成发光层 40 的发光材料。主体材料可以掺杂有发光材料。并且,为了提高元件的性能,可以加入除发光材料以外的至少一种类型的化合物。另外,空穴传输层可以用作电子阻挡层或空穴注入层,电子传输层可以用作空穴阻挡层或电子注入层。

[0037] 在本发明的有机 EL 元件中,适当地调整从发光位置到反射电极 20 的反射表面(第一反射表面)的光路长度 L_r 和从发光位置到透明电极 60 的反射表面(第二反射表面)的光路长度 L_s ,以通过强腔获得干涉效果。具体地,在由发光层 40 发射的光的光谱中的最大峰值波长用 λ 表示,在第一反射表面和第二反射表面处反射具有波长 λ 的光时的相位偏移分别用 φ_r 和 φ_s [rad] 表示。应当注意, $\varphi_r < 0$ 并且 $\varphi_s < 0$ 。干涉效果变得最高的光路长度 L_r 和 L_s 由下式(1)和(2)表示。应当注意,光路长度 L_r 和 L_s 分别是包含于发光位置与反射表面之间的有机化合物层的各层的折射率 n 与该层的厚度 d 的积的总和。

[0038]

$$L_r = (-\varphi_r/\pi) \times (\lambda/4) \quad (1)$$

[0039]

$$L_s = (-\varphi_s/\pi) \times (\lambda/4) \quad (2)$$

[0040] 总之,假定 $\varphi = \varphi_r + \varphi_s$,第一反射表面与第二反射表面之间的光路长度 L 满足下式(A)。另外,第一反射表面是作为第一电极的反射电极 20 与第一电荷传输层 30R、30G 或 30B 之间的界面(第一界面)。另外,第二反射表面是作为第二电极的透明电极 60R、60G 或 60B 与第二电荷传输层 50R、50G 或 50B 之间的界面(第二界面)。

[0041]

$$L = (-\varphi/\pi) \times (\lambda/4) \quad (A)$$

[0042] 此时,在实际的有机 EL 元件中,考虑到例如与前表面的提取效率的折衷关系中的视角特性,未必需要使长度严格地与厚度一致。具体地, L_r 和 L_s 中的每一个可以相对于满足式(1)或(2)的值具有 $\pm \lambda/8$ 的范围内的误差。因此,在本发明的有机 EL 元件中,优选满足下式(I)和(II)。

$$(-1-2\varphi_r/\pi) \times (\lambda/8) < L_r < (1-2\varphi_r/\pi) \times (\lambda/8) \quad \text{式(I)}$$

$$(-1-2\varphi_s/\pi) \times (\lambda/8) < L_s < (1-2\varphi_s/\pi) \times (\lambda/8) \quad \text{式(II)}$$

[0045] 作为式(I)和(II)的组合,在本发明的有机 EL 元件中,优选满足下式(B)。

$$(-1-\varphi/\pi) \times (\lambda/4) < L < (1-\varphi/\pi) \times (\lambda/4) \quad \text{式(B)}$$

[0047] 更具体地, 由于 φ_r 和 φ_s 的值分别约等于 $-\pi$, 因此, 假定 $\varphi = \varphi_r + \varphi_s = (-\pi) + (-\pi) = -2\pi$, 在本发明的有机 EL 元件中, 优选满足下式(B')。

[0048] $\lambda/4 < L < 3\lambda/4$ 式(B')

[0049] 当满足该式时, 有机 EL 元件的第一界面与第二界面之间的物理距离大于等于 58nm 且小于等于 186nm。

[0050] 更具体地, L_r 和 L_s 均相对于满足式(1)或(2)的值落入 $\pm \lambda/16$ 的范围内, 并且, 在本发明的有机 EL 元件中, 优选满足下式(I')和(II')。

[0051] $(-1-4\varphi_r/\pi) \times (\lambda/16) \leq L_r \leq (1-4\varphi_r/\pi) \times (\lambda/16)$ 式(I')

[0052] $(-1-4\varphi_s/\pi) \times (\lambda/16) \leq L_s \leq (1-4\varphi_s/\pi) \times (\lambda/16)$ 式(II')

[0053] 作为式(I')和(II')的组合, 在本发明的有机 EL 元件中, 优选满足下式(C)。

[0054] $(-1-2\varphi/\pi) \times (\lambda/8) \leq L \leq (1-2\varphi/\pi) \times (\lambda/8)$ 式(C)

[0055] 更具体地, 由于 φ_r 和 φ_s 的值分别约等于 $-\pi$, 因此, 假定 $\varphi = \varphi_r + \varphi_s = (-\pi) + (-\pi) = -2\pi$, 在本发明的有机 EL 元件中, 优选满足下式(C')。

[0056] $3\lambda/8 \leq L \leq 5\lambda/8$ 式(C')

[0057] 当满足该式时, 有机 EL 元件的第一界面与第二界面之间的物理距离大于等于 87nm 且小于等于 155nm。

[0058] 在满足条件(I)和(II)的元件结构的情况下, 因为有机化合物层的厚度约为 100nm, 所以反射电极 20 的 SP 与透明电极 60 的 SP 之间的交互作用是明显的。在本发明中, 通过抑制发射具有大于等于 440nm 且小于等于 470nm 的峰值波长的光的蓝 $\lambda/4$ 强腔的基板的面内方向上的偶极分量的 SP 损失, B 元件的发光效率提高。更具体地, 用于反射电极 20 和透明电极 60 的构成材料和分别与任何这种电极接合的空穴传输层、电子传输层和外耦合层的复介电常数(或复折射率)被选择来使得在反射电极 20 和透明电极 60 处产生的 SP 的波数可以基本上相互一致。

[0059] 在下文中, 描述本发明的实施例, 同时, 对于用于抑制 SP 损失的特定的模式组合, 示出了 $\lambda/4$ 强腔中的反射电极种类(species)和透明电极种类的组合, 并且, 以及对于与任何这种电极接合的电荷传输层或外耦合层的介电常数(折射率)的依赖性的分析结果。

[0060] 假定本发明与电极的极性无关并且即使在反射电极 20 是阴极并且透明电极 60 是阳极的情况下也成立, 在以下的描述中描述反射电极 20 是阳极(透明电极 60 是阴极)并且第一电荷传输层 30 是空穴传输层(第二电荷传输层 50 是电子传输层)的情况。

[0061] 首先描述发光效率在满足式(I)和(II)的 B 元件的元件结构中最高的材料组合与任何其它发光颜色和任何其它构成中的材料组合不同。表 1 示出了各元件构成中的发光效率 η 、腔强度 Ψ_{cav} 和 SP 损失比 ξ 之间的关系的阳极种类依赖性。这里, 作为分别在整個可见光区域中具有良好反射率(>87%)的代表性金属的 Al 和 Ag 被比较。这里研究的有机 EL 元件是图 1 所示的这种顶发光型, 并且是结构“基板 / 阳极 / 空穴传输层(HTL) / 发光层(EML) / 电子传输层(ETL) / 阴极 / 外耦合层(OCL)”。有机 EL 元件 101 和 102 的阳极分别为 Ag 和 Al。另外, 101 或 102 后面的 b、r 和 g 分别表示 B 元件、R 元件和 G 器件, 并且对于将在之后描述的有机 EL 元件 103 同样成立。

[0062] 通过与 S. Nowy 等, Journal of Applied Physics, Vol. 40, (2008), 123109 的技

术相同的技术执行仿真。在计算中使用的 R 元件、G 元件和 B 元件的 PL 光谱分别为以下的 Ir(piq)₃、Alq₃和 DAC 的 PL 光谱。

[0063] Ir(piq)₃:三 [1- 苯基异喹啉 -C2, N] 铱(III)

[0064] Alq₃:三(8- 羟基喹啉) 铝

[0065] DAC :2, 8- 二氨基 -1, 2- 苯并菲

[0066] 在下文中,除非另外陈述,在 B 元件中使用 DAC 的 PL 光谱。另外,在 R 元件、G 元件和 B 元件的(激子产生效率,内部量子效率)分别被设置为(75%,50%)、(25%,85%)和(25%,80%)的同时,执行计算。仿真中的发光分布被假定为均匀分布。另外,发光层的厚度在所有的元件构成中被固定为 20nm,并且,对于各颜色的元件优化空穴传输层、电子传输层和外耦合层的厚度以使得其发光效率可以最大。空穴传输层和电子传输层的厚度满足式(I)和(II)的关系。另外,表中的 n 和 d 分别表示 λ 处的折射率和厚度 [nm]。

[0067]

表1

元件	阳极	HTL		ETL		阴极			OCL		η [cd/A]	CIE_Yxy [任意单位]	Ψ_{cav} [10 ⁻⁶]	ξ [任意单位]
		n	d [nm]	n	d [nm]	材料	d [nm]	n	d [nm]					
101b	Ag	1.88	23	1.88	35	Ag	26	1.88	65	3.2	(0.136,0.065)	1.27	3.00	
102b	Al	1.88	31.5	1.88	35	Ag	26	1.88	65	4.1	(0.137,0.066)	1.17	1.94	
101r	Ag	1.74	59.5	1.74	50	Ag	26	1.74	110	45.2	(0.666,0.333)	2.52	2.06	
102r	Al	1.74	67	1.74	50	Ag	26	1.74	110	29.1	(0.666,0.334)	1.73	1.94	
101g	Ag	1.78	42.5	1.78	45	Ag	26	1.78	75	33.9	(0.294,0.670)	2.50	1.48	
102g	Al	1.78	50.3	1.78	45	Ag	26	1.78	75	30.9	(0.295,0.664)	2.09	1.23	
103b	Ag	1.88	152	1.88	35	Ag	26	1.88	65	3.2	(0.128,0.066)	0.76	2.16	
104b	Al	1.88	161	1.88	35	Ag	26	1.88	65	2.9	(0.129,0.066)	0.70	2.22	

[0068] 这里定义的腔强度 Ψ_{cav} 表示由多重干涉效果放大 PL 光谱的程度。换句话说,当不考虑 SP 损失时,随着腔强度的增加,前表面亮度增加。腔强度 Ψ_{cav} 具有下式(3)的关系。

$$[0069] \quad \Psi_{\text{cav}} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} X(\lambda) \cdot \Omega(\lambda) d\lambda \quad (3)$$

$$[0070] \quad X(\lambda) = \left| \frac{1 + \sqrt{R_1} e^{i(\frac{\phi_1}{2\pi} + \frac{4\pi n_s L_r}{\lambda})}}{1 + \sqrt{R_1} \sqrt{R_2} e^{i(\frac{(\phi_1 + \phi_2)}{2\pi} + \frac{4\pi(n_r L_r + n_s L_s)}{\lambda})}} \right|^2 T_c \quad (4)$$

[0071] 式中, X 表示在光提取侧放大在腔中产生的光的电场的程度,并由式(4)定义。式(4)的绝对值符号中的部分表示在发光区域中沿光提取方向强化干涉的程度, T_c 表示当从发光层观察时沿光提取方向的透射率。在式(4)的绝对值符号中的部分中, R_1 和 R_2 分别表示第一电极和第二电极的反射率, ϕ_1 和 ϕ_2 分别表示第一电极和第二电极处的相位偏移量。 n_r 和 n_s 分别表示空穴传输层与发光层之间的有效折射率和电子传输层与发光层之间的有效折射率。 Ω 表示被归一化的发光光谱强度,使得峰值强度可以为 1。

[0072] 另外, SP 损失比 ξ 是指示由于 SP 吸收而导致的发光效率降低的性能指数 (figure of merit)。SP 损失比 ξ 是与表面等离子体激元耦合的能量 W_{sp} [W] (耦合速度 Γ_{sp}) 与在光锥中辐射的光的能量 W_{lc} [W] (或辐射速度 Γ_{lc}) 的比,并被定义为下式(5)。

$$[0073] \quad \xi = \frac{W_{sp}}{W_{lc}} = \frac{\gamma_{sp}}{\gamma_{lc}} \quad (5)$$

[0074] 对于阳极种类在具有满足式(I)和(II)的元件结构的有机 EL 元件 101 或 102 上的效果的观察揭示,只有 B 元件(101b 或 102b)表现出不同的趋势。具体地, R 元件 101r 和 102r (或 G 元件 101g 和 102g)之间的比较表明了发光效率 η 和 SP 损失比 ξ 之间存在小的相关性,并且确认了具有较高腔强度的结构具有较高发光效率的这种大的相关性。同时, B 元件 101b 和 102b 之间的比较提供了以下的结果。在 G 元件或 R 元件中所观察到的前表面发光效率和腔强度之间的这种相关性较小,在具有较小 SP 损失的元件 102b 中发光效率提高。

[0075] 作为比较例,还研究了其空穴传输层的厚度被优化以满足下式(6)的 B 元件 103b 或 104b。

$$[0076] \quad L_r = (2 - (\phi_r/\pi)) \times (\lambda/4) \quad (6)$$

[0077] 作为 B 元件 103b 和 104b 之间的比较结果,观察到了发光效率和腔强度之间的清楚的相关性,并且,在具有较高腔强度的元件 103b 中发光效率提高。

[0078] 根据以上可以说,在 B 元件 101b 或 102b 中所观察到的发光效率与 SP 损失比之间的这种关系可以归因于满足式(I)和(II)的元件结构。在上述的具有满足式(I)和(II)的元件结构的 B 元件中,发现 SP 损失是确定其发光效率的重要参数。换句话说,以上暗示发光效率最高的材料组合与任何其它构成和任何其它发光颜色中的材料组合不同。

[0079] 本发明是与具有满足式(I)和(II)的元件结构的 B 元件所特有的用于通过抑制 SP 损失来提高发光效率的元件参数有关的方案。在下文中,在比较具有满足本发明中指定的要求的元件结构的 B 元件 102b 和具有不满足要求的元件结构的 B 元件 101b 的同时,详细描述本发明的抑制 SP 损失的机制。

[0080] 普遍已知 SP 的激发速度具有下式(7)的关系(参见 I.Gontijo 等, Physical Review B, Vol. 60, (1999), 11564.)。

$$[0081] \quad \Gamma_{sp} \propto \langle \vec{p} \cdot \vec{E}_{sp} \rangle^2 \rho(\omega) \quad (7)$$

[0082] 式中, p 表示跃迁偶极矩, E_{sp} 表示由 SP 产生的电场矢量, ρ 表示 SP 的状态密度(DOS)。 $\langle \rangle$ 表示热力学平均。从式(7)可以理解,激发 SP 的容易程度与 SP 的电场 E_{sp} 和跃迁偶极矩 p 的内积的平方成比例。

[0083] 这里, z 方向被定义为基板法线方向(光提取方向)。在基板的面内方向上的分量中, x 方向被定义为与跃迁偶极矩的振动轴平行的方向, y 方向被定义为与振动轴垂直的方向。根据定义,作为在波的传播方向上没有任何磁场分量的波导模式的 TM 模式(横磁模式)的电场矢量由 x 方向和 z 方向的两个分量构成。SP 模式包含于 TM 模式范畴内,因此,SP 的电场矢量为 x 方向和 z 方向分量。TE 模式(横电模式)是在波的传播方向上没有任何电场分量的波导模式。换句话说,TE 模式的电场由 x 方向分量构成并沿 y 方向传播。

[0084] 同时,根据跃迁偶极矩的辐射图案的性质,在向外部传播光时提取的分量仅是跃迁偶极矩的基板的面内方向(与发光层的厚度方向垂直的方向)的分量。因此,抑制跃迁偶极矩的 x 分量的 SP 吸收对于通过抑制 SP 吸收来提高发光效率是有效的。本发明的构思是优化阳极和阴极的表面等离子体激发,使得发光层中由 SP 产生的电场的面内方向分量(换句话说, x 分量)可以较小。

[0085] 图 3 示出了在由各有机 EL 元件发射的光的峰值波长处的频率(4.12×10^{15} [rad/sec])上的 B 元件 101b 和 102b 中的 x 分量的 SP 能量耗散之间的关系。表 1 示出了元件结构。从图 3 可以理解,在 B 元件 101b 或 102b 中产生的 SP 中产生两种模式。模式中的一种是以约 3.0×10^7 [rad/m] 产生的模式(101b-1 或 102b-1),另一种是以约 5.6×10^7 [rad/m] 产生的模式(101b-2 或 102b-2)。模式 101b-1 和 102b-1 之间的比较表明了清楚的阳极种类依赖性。使图形和表 1 中的 SP 损失比相互对应表明在 B 元件 101b 中观察到的大的 SP 损失可以归因于模式 101b-1。图 4 和图 5 分别示出了模式 101b-1 和 102b-1 的电场分布。通过转移(transfer)矩阵方法执行计算。在图 4 和图 5 两者中的每一个中,阳极和阴极的 SP 不相互独立而是处于混合状态中。这里,在导致混合的状态中的 SP 被称为“间隙等离子体激发”。间隙等离子体激发的吸收较大(图 3 的模式 101b-1)的元件 101b 和吸收较小(图 3 的模式 102b-1)的元件 102b 之间的比较表明,在 B 元件 102b 中由间隙等离子体激发产生的电场的 x 分量基本上为零。换句话说,可以说, B 元件 102b 是 p_x 和 E_{sp} 的内积为零的元件结构。

[0086] 接下来,描述阳极和阴极的 SP 之间的什么关系可以如图 5 那样抑制间隙等离子体激发的吸收。

[0087] 通常,在具有光学无限大厚度的金属与有机化合物层之间的界面处产生的 SP 的波数具有下式(8)的关系。

[0088]

$$k_{sp} = \sqrt{\frac{\epsilon_a \cdot \epsilon_{org}^r}{\epsilon_a + \epsilon_{org}^r}} k_0 \doteq \sqrt{\frac{\epsilon_a \cdot (n_{org}^r)^2}{\epsilon_a + (n_{org}^r)^2}} k_0 \quad (8)$$

[0089] 式中, ϵ_a 表示金属(阳极)的复介电常数, ϵ_{org}^r 表示有机化合物层的有效复介电常数, k_0 表示空气中的光的波数。这里,为了简化,有机化合物层的消光系数被设置为零。换句话说,当有机化合物层的折射率用 n_{org}^r 表示时, $\epsilon_{org}^r \approx (n_{org}^r)^2$ 关系成立。换句话说,

在阳极处产生的 SP 的波数由阳极的复介电常数 ϵ_a 和有效复介电常数 ϵ_{org}^r 确定。对于信息, 由空穴传输层、发光层或电子传输层等的介电常数或各层的厚度确定的有效复介电常数 ϵ_{org}^r 受到与阳极接合的空穴传输层的介电常数控制。

[0090] 另一方面, 在具有光学有限厚度的金属的情况下, 波数由金属(阴极)的复介电常数 ϵ_c 和厚度 d 、电子传输层侧的有机化合物层的有效复介电常数 ϵ_{org}^s 和外耦合层侧的有效复介电常数 ϵ_{ocl}^s 确定(对于细节, 参见 J. J. Burke 等, Physical Review B, Vol. 33, (1986), 5186 的式(6)和式(7))。如阳极的情况那样, 电子传输层侧的有机化合物层的有效复介电常数 ϵ_{org}^s 和外耦合层侧的有效复介电常数 ϵ_{ocl}^s 分别受到与阴极接合的电子传输层和外耦合层的介电常数控制。

[0091] 另外, 可以通过市售的利用已知的椭圆光度法的分光椭偏仪(spectroscopic ellipsometer)来测量复介电常数(或复折射率), 椭圆光度法是包含在物质的表面处反射光时观察偏光状态的变化以确定物质的光学常数的方法。然后, 可以计算反射电极 20 或透明电极 60 的 SP 的峰值波数。在面板中, 结合断面扫描电子显微镜(SEM)、二次离子分光计(SIMS)和 X 射线反射率方法等, 通过使用椭圆光度法来确定它们。基于由那些分析确定的阳极、阴极和有机化合物层的厚度和介电常数, 可以指定阳极和阴极的 SP 的波数之间的关系。

[0092] 图 6A 和图 6B 分别示出了构成 B 元件 101b 和 102b 的 Ag 阴极、Ag 阳极和 Al 阳极的 SP 之间的关系。应当注意, 图 6B 是图 6A 的部分放大图。在光致发光光谱的峰值波长处的频率(4.12×10^{15} [rad/sec])上执行计算。在阳极的 SP 的波数的计算中, 为了消除阴极的影响, 电子传输层的厚度被设置为无限大。类似地, 在计算阴极的 SP 的波数的情况下, 空穴传输层的厚度被设置为无限大。为了便于强调阳极和阴极的峰值波数, 图 6A 和图 6B 所示的纵轴均被归一化以使得阴极的 SP 的波数可以较大。从图 6A 和图 6B 可以理解, 在具有 1.88 的折射率 n 的空穴传输层与 Ag 基板之间的界面上产生的 SP 的波数(图中的 101b-a)比在空穴传输层与 Al 之间的界面上产生的 SP 的波数(图中的 102b-a)大。这可以归因于 Ag 的等离子体频率比 Al 的等离子体频率小、并因此 Ag 的复介电常数的实部具有比 Al 的复介电常数的实部小的绝对值的事实。同时, Ag 阴极的 SP (图中的 b-c) 被分成在 2.8×10^7 和 5.7×10^7 [rad/m] 上产生的两个 SP。前者被称为 LRSP, 后者被称为 SRSP, 并且, SP 是作为两个界面(即, Ag 阴极与外耦合层之间的界面和阴极与电子传输层之间的界面)处的 SP 之间的交互作用的结果的模式(参见 L. H. Smith 等, Journal of Modern Optics, Vol. 55, (2008), 2929. 或者 J. J. Burke 等, Physical Review B, Vol. 33, (1986), 5186.)。术语“LRSP”表示长程表面等离子体激元, 术语“SRSP”表示短程表面等离子体激元。从图 6A 和图 6B 可以理解, Al 阳极的 SP 和 Ag 阴极的 LRSP 的波数相互一致。换句话说, 前面暗示使阳极和阴极的波数基本上相互一致可以如图 5 所示的那样将发光层中的面内方向上的电场设置为零。如后面描述的, 与 SRSP 相比, 更希望使阳极的 SP 与其基本上一致的阴极的 SP 为 LRSP。LRSP 和 SRSP 可以具有的波数分别为 2.2×10^7 至 3.5×10^7 [rad/m] 和 4.5×10^7 至 2.5×10^8 [rad/m]。因此, 可以通过采取使阳极的 SP 与阴极的 LRSP 基本上一致的设计来减小间隙等离子体激元的波数。间隙等离子体激元的波数的减小可以归因于 DOS 的减小和间隙等离子体激元的激发速度的减小。图 11 示出了效果。在下文中, 除非另外陈述, 阴极的 SP 指的是 LRSP。

[0093] 接下来,描述容易将间隙等离子体激元抑制到阳极和阴极之间的波数差的什么范围内以及容易通过其抑制间隙等离子体激元的阳极和阴极的组合。

[0094] 图 7 示出了阳极和阴极之间的 SP 波数差 $\delta k(\text{Re})$ 与发光效率之间的关系,图 8 示出了由式(3)定义的腔强度与发光效率之间的关系。这里,波数差 $\delta k(\text{Re})$ 满足 $\delta k(\text{Re})=k_{\text{sp}}^{\text{a}}(\text{Re})-k_{\text{sp}}^{\text{c}}(\text{Re})$ 的关系,其中 $k_{\text{sp}}^{\text{a}}(\text{Re})$ 表示阳极的 SP 波数的实部, $k_{\text{sp}}^{\text{c}}(\text{Re})$ 表示阴极的 SP 波数的实部。如图 6A 和图 6B 所确定的,在电子传输层(阴极的情况下的空穴传输层)的厚度足够大的条件下,阳极(或阴极)的 SP 波数的值通过转移矩阵方法确定。这里研究的各元件构成是结构“基板/阳极/空穴传输层(HTL)/发光层(EML)/电子传输层(ETL)/阴极/外耦合层(OCL)”。该研究中的有机化合物层和外耦合层的介电常数(或折射率)和它们的分散(dispersion)特性与表 1 中的 B 元件 101b 和 102b 相同。另外,空穴传输层、电子传输层、阴极和外耦合层的厚度被优化到满足式(I)和(II)的程度,使得(0.136,0.66)的色度坐标 CIE_Yxy 处的发光效率可以最大。

[0095] 对于这里使用的 Mg 的光学常数参照在 Handbook of Optical Constants of Solids (Academic Orlando FL 1985)中描述的值,并且,假定通过溅射方法产生的 Mg 阳极(对于通过沉积方法(电阻加热)与溅射形成的 Mg 阳极的光学特性之间的差异,参见美国专利 No. 5022726)。可以取决于上部金属的厚度来控制金属叠层阳极的 SP 波数。可以通过增加 Mg 的厚度同时保持其反射率来使 Ag/Mg 叠层阳极的 SP 波数比 Ag 的 SP 波数小。在阴极中使用的 Mg:Ag 合金是吸收少量的传播光的富 Ag (10:1) 合金(参见日本专利申请公开 No. 2003-109775)。这里,通过如下改变阴极中的 Mg 的含量来控制其 SP 波数: MgAg 阴极 $\rightarrow$ MgAg/Ag 阴极 $\rightarrow$ Ag 阴极。

[0096] 首先,从图 7 可以看出,在发光效率与波数差 $\delta k(\text{Re})$ 之间存在清楚的相关性,并且,获得随着 $\delta k(\text{Re})$ 的减小发光效率变高的趋势。另一方面,图 8 示出了在发光效率与腔强度之间没有相关性。换句话说,可以说,确定 B 元件的发光效率的主要因素不是腔强度,而是阳极和阴极之间的 SP 波数差 $\delta k(\text{Re})$ 。图 7 和图 8 中的构成 A 至 E 之间的比较对应于改变阳极的 SP 波数的情况。首先,对于在构成 A 至 C 之间的比较中阳极种类依赖性的观察表明,阳极的等离子体频率 ω_{p} 是重要的因素。换句话说,与 Mg ($\omega_{\text{p}}=16.1\times 10^{15}\text{s}^{-1}$) 和 Al ($\omega_{\text{p}}=23.2\times 10^{15}\text{s}^{-1}$) 相比,具有小的等离子体频率 ($\omega_{\text{p}}=14.0\times 10^{15}\text{s}^{-1}$) 的 Ag 导致大的 $\delta k(\text{Re})$ 和低的发光效率。接下来,构成 A、D 和 E 之间的比较表明,随着 Mg 的厚度增加, $\delta k(\text{Re})$ 变小并且发光效率变高。如上所述,除了构成 B 和构成 C 之间的关系以外,获得了随着 $\delta k(\text{Re})$ 的减小发光效率变高的趋势。对于信息,构成 C 的发光效率比构成 B 的发光效率高可以归因于构成 C 的腔强度比构成 B 的腔强度高的事实。接下来,从 Al 阳极中的阴极依赖性可以看出(构成 B 和 I 至 K 之间的比较),可以说, $\delta k(\text{Re})$ 被希望地减小。具体地,构成 B 具有比具有较大腔强度的构成 K 高的发光效率。还可以根据具有最高腔强度的构成 H 的发光效率比具有最低腔强度的构成 I 低的事实得到上述确定。

[0097] 具体地,在本发明中希望的 $\delta k(\text{Re})$ 的上限被设置来使得该值处的发光效率可以比最大发光效率低 15% 或更多。如图 7 中的虚线所示,特定值因此希望如下: $\delta k(\text{Re})\leq 2.1\times 10^6[\text{rad/m}]$ 。这对应于图 8 中由虚线包围的区域。在该区域中,仅仅需要选择材料来使得腔强度可以如常规的设计指导那样高。

[0098] 接下来,描述 $\delta k(\text{Re})$ 的下限。在通常的情况下,在阴极处产生的 LRSP 的波数常

常比在阳极处产生的 SP 的波数小。可以根据 $\delta k(\text{Re})$ 在 Al 作为阳极并且 Ag 作为阴极的组合中最小的事实来理解以上情况。

[0099] 但是,在诸如 ZnSe 之类的高介电常数材料在外耦合层中使用的情况下,由于阴极的 LRSP 的波数增加,因此 $\delta k(\text{Re})$ 可以为负。图 9 示出了使用高折射率外耦合层的 $\lambda/4$ 强腔构成中 $\delta k(\text{Re})$ 与发光效率之间的关系。这里使用的外耦合层在 λ 处的折射率为 2.4 并且其波长分散性与图 7 相同。这里,为了简化,层的消光系数被设置为零。图 9 的构成 A' 至 C'、F' 至 H' 和 I' 至 K' 的有机化合物层、阳极和阴极的构成与图 7 的 A 至 C、F 至 H 和 I 至 K 的那些相同,并且,空穴传输层、电子传输层和外耦合层的厚度被优化来使得 (0.136, 0.66) 的色度坐标 CIE_{Yxy} 处的发光效率可以最大。还图示了构成 B 和 C (构成 L' 至 N') 中的每一个的 Ag 厚度依赖性。如上所述,LRSP 的波数随着阴极的厚度改变。因此,构成 M' 是对于 $\delta k(\text{Re})$ 具有最小值的构成。

[0100] 假设发现随着 $\delta k(\text{Re})$ 的减小发光效率变高的趋势在可以期望高腔强度的构成 B'、C'、K' 和 L' 至 N' 的各构成中保持,图 9 的使用高介电常数外耦合层的元件的 $\delta k(\text{Re})$ 相比于图 7 的元件向负方向偏移。因此,Al 阳极(或 Mg 阳极)中的 Ag 的最佳厚度是 26nm 至 22nm (在 Mg 的情况下是 24nm)。

[0101] 对于信息,图 9 的使用高介电常数外耦合层的元件的发光效率相比于图 7 的元件被提高。高介电常数外耦合层已知能够抑制阴极处的传播光的吸收(H. Riel 等, Appl. Phys. Lett. 82, 466-468 (2003).)。另外,在阴极处局部化的 SRSP 也可以被抑制。图 10 示出了高介电常数外耦合层对于 x 分量的 SP 能量耗散的影响。构成 L 和 L' (图 9) 两者的有机化合物层的厚度分别被优化来使得 (0.136, 0.66) 的色度坐标 CIE_{Yxy} 处的发光效率可以最大。图 10 所示的 SRSP 模式 (L-2 和 L'-2) 之间的比较表明 L'-2 的吸收减少。

[0102] 鉴于以上情况,满足式 (I) 和 (II) 的 B 元件中的元件参数(材料和厚度)希望被设置来使得 $\delta k(\text{Re})$ 可以较小。具体地,如图 9 中的虚线所示,在本发明中 $\delta k(\text{Re})$ [rad/m] 的希望的满足下式 (III) 的关系。应当注意,在本发明中,在最大峰值波长 λ 处的频率 $\omega = 2\pi C_0/\lambda$ (C_0 表示真空中的光的相位速度) 上在第一电极和第二电极处产生的 SP 的波数的实部分别用 $k_r(\text{Re})$ 和 $k_s(\text{Re})$ 表示,并且 $\delta k(\text{Re}) = k_r(\text{Re}) - k_s(\text{Re})$ 。

[0103] $-4.5 \times 10^6 \leq \delta k(\text{Re}) \leq 2.1 \times 10^6$ 式 (III)

[0104] 考虑到典型使用的电荷传输层的折射率,用于反射电极 20 的材料优选为在 B 区域中相对于空气的反射率为 85% 或更大并且等离子体频率 ω_p 为 $16.0 \times 10^{15} [\text{s}^{-1}]$ 或更大的材料。特别优选 Al 或(溅射) Mg 或者在其光学特性不改变的程度上添加任何其它金属的 Al 合金或 Mg 合金。另外,为了提高电荷注入性能,可以在满足反射率和 SP 分散特性的程度上在 Al (合金) 和 Mg (合金) 中的每一个上层叠金属薄膜。关于阴极,优选 Ag 或 Al 或者在其光学特性不改变的程度上添加任何其它金属的 Ag 合金或 Al 合金,原因是任何这种材料可以增加腔强度。另外,为了提高电荷注入性能,可以在满足 SP 分散特性的程度上在 Al (合金) 和 Ag (合金) 中的每一个上层叠金属薄膜。

[0105] 在下文中,例示满足式 (8) 的元件结构。在从元件发射的 EL 光谱的峰值波长处 OCL、ETL 和 HTL 的 $\lambda = 450\text{nm}$ 处的折射率分别被定义为 n_{ocl} 、 n_{etl} 和 n_{htl} 。在 Al 阳极和 Ag 阴极的组合中,在 $n_{\text{ocl}} = 2.4$ 且 $n_{\text{etl}} = 1.9$ 的情况下, n_{htl} 和 Ag 膜厚范围 (nm) 分别为 (1.9 和 8 至 29nm)、(1.7 和 6 至 26nm) 以及 (1.5 和 4 至 27nm)。在 $n_{\text{ocl}} = 1.9$ 且 $n_{\text{etl}} = 1.9$ 的

情况下, n_{htl} 和 Ag 膜厚范围(nm) 分别为(1.9 和 8 至 38nm)、(1.7 和 7 至 34nm) 以及(1.5 和 3 至 32nm)。在 Al 阳极上层叠厚度为 6nm 的 Mo 的阳极和 Ag 阴极的组合中, 在 $n_{\text{ocl}} = 1.9$ 且 $n_{\text{etl}} = 1.9$ 的情况下, n_{htl} 和 Ag 膜厚范围(nm) 分别为(1.9 和 18 至 40nm)、(1.7 和 8 至 38nm) 以及(1.5 和 4 至 34nm)。

[0106] 如上所述, 元件结构被确定以在满足式(8) 的条件的范围中提高腔强度。

[0107] 应当注意, 希望调整外耦合层的厚度和折射率, 并希望在阴极的上部分上形成至少一个反射表面。表 2 示出了作为比较例的没有任何反射表面的 B 元件 105b 和 106b 中的每一个的发光效率。表 2 中的符号“ ∞ ”表示厚度比光的相干长度大。SiN 和空气分别被假定为 B 元件 105b 和 106b 的阴极上的介质。尽管元件满足间隙等离子体激元抑制条件这一事实, 但是 B 元件 105b 具有比元件 102b 低的发光效率。以上可以归因于其腔强度的明显降低(式(4) 的分子的减小)。该表还示出了其阴极的上部分是空气的元件 106b。即使与元件 105b 相比, 其发光效率也较低。这是由于, 当外耦合层是空气时, 阴极的 LRSP 模式消失并由此不再满足间隙等离子体激元抑制条件。

[0108]

表2

元件	阳极		HTL		ETL		阴极		OCL		η [cd/A]	CIE _{Yxy} [任意单位]	$\delta k(\text{Re})$ [rad/m]
	材料	d [nm]	n	d [nm]	n	d [nm]	材料	d [nm]	n	d [nm]			
102b	Al	200	1.88	31.5	1.88	35	Ag	26	1.88	65	4.1	(0.137,0.066)	-1.7 × 10 ⁵
105b	Al	200	1.88	28.8	1.88	35	Ag	26	1.99	∞	3.3	(0.135,0.068)	-2.6 × 10 ⁶
106b	Al	200	1.88	27.5	1.88	35	Ag	26	1	∞	3.0	(0.133,0.066)	-

[0109] 在本发明中,当与阴极接合的外耦合层和电子传输层的介电常数分别用 ϵ_{oc1} 和 ϵ_{et1} 表示时,希望执行满足 $\epsilon_{oc1} \geq \epsilon_{et1}$ 的关系的设计。

[0110] 表 3 示出了作为比较例的其外耦合层的折射率增大的 B 元件 107b、其电子传输层的折射率增大的 B 元件 108b、其外耦合层的折射率减小的 B 元件 109b 以及其电子传输层的折射率减小的 B 元件 110b 中的每一个的发光效率。这里,为了简化,各有机化合物层的消光系数被设置为零。各元件的构成是结构“基板 / 阳极 / 空穴传输层(HTL) / 发光层(EML) / 电子传输层(ETL) / 阴极 / 外耦合层(OCL)”。另外,在所有的元件结构中,发光层的厚度被固定为 20nm,并且,对于各颜色的元件优化空穴传输层、电子传输层和外耦合层的厚度,使得可以满足式(I)和(II)。另外,表 3 中的 n 和 d 分别表示 $\lambda_{\max}$ 处的折射率和厚度 [nm]。从表 3 可以理解,满足 $n_{\text{ocl}} \geq n_{\text{etl}}$ 的关系的 B 元件 102b、107b 和 110b 相比于元件 108b 和 109b 中的每一个分别具有提高的发光效率。当满足该关系时,可以减轻从阴极得到的吸收和腔强度的增加,并因此可以以另外有效的方式引出对间隙等离子体激元的抑制效果。

[0111]

表3

元件	阳极		HTL		ETL		阴极		OCL		η [cd/A]	CIE _{Yxy} [任意单位]	$\delta k(\text{Re})$ [rad/m]
	材料	d [nm]	n	d [nm]	n	d [nm]	材料	d [nm]	n	d [nm]			
102b	Al	200	1.88	31.5	1.88	35	Ag	26	1.88	65	4.1	(0.137,0.066)	-1.7×10^5
107b	Al	200	1.88	27.5	1.88	35	Ag	26	2.19	50	4.3	(0.137,0.066)	-2.1×10^6
108b	Al	200	1.88	28.8	2.19	30	Ag	26	1.88	65	3.0	(0.137,0.067)	-1.4×10^6
109b	Al	200	1.88	27.5	1.88	35	Ag	26	1.75	72.5	4.0	(0.136,0.066)	1.2×10^6
110b	Al	200	1.88	28.8	1.75	36.7	Ag	26	1.88	65	4.7	(0.136,0.065)	8.6×10^5

[0112] 希望间隙等离子体激元的波数尽可能小到间隙等离子体激元抑制条件成立的程度。这是由于减小间隙等离子体激元的波数可以减小间隙等离子体激元的DOS并可以减小z方向上的SP的激发速度(对于状态密度的定义式,参见I.Gontijo等,Physical Review

B, Vol. 60, (1999), 11564.)。

[0113] 减小间隙等离子体激元的波数的有效方法是减小与阳极接合的空穴传输层和与阴极接合的电子传输层的复介电常数以及使阳极的 SP 和阴极的 LRSP 基本上相互一致。图 11 示出了间隙等离子体激元的波数与发光效率之间的关系。这里, 元件构成是结构“基板 / Al 阳极 / 空穴传输层 (HTL) / 发光层 (EML) / 电子传输层 (ETL) / Ag 阴极 / 外耦合层 (OCL)”。另外, 发光层和 Ag 阴极的厚度在所有的元件结构中分别被固定为 20nm 和 26nm, 并且, 对于各颜色的元件优化空穴传输层、电子传输层和外耦合层的厚度以使得可以满足式 (I) 和 (II)。在本研究中, 通过减小空穴传输层和电子传输层的折射率来调整阳极和阴极的 SP 波数。这里, 为了简化, 各有机化合物层的消光系数被设置为零。

[0114] 从图 11 可以理解, 减小空穴传输层和电子传输层的折射率减小间隙等离子体激元的波数并由此提高发光效率。对于信息, 构成 P 与 R 之间的比较表明, 尽管构成 P 的间隙等离子体激元的波数比构成 R 小, 但是构成 R 具有比构成 P 高的发光效率。这是由于电子传输层的折射率的减小还用作在阴极处局部化的 SRSP 的抑制。在空穴传输层和电子传输层的折射率都减小的构成 S 中, 间隙等离子体激元的波数可以明显减少并由此发光效率可以显著提高。

[0115] 但是, 在这一点上, 在间隙等离子体激元抑制条件中, 希望电荷传输层中的至少一个的折射率等于或小于发光层的折射率。

[0116] 表 4 示出了在满足间隙等离子体激元抑制条件的元件中有机化合物的折射率与发光效率、SP 耦合率 W_{sp} 和间隙等离子体激元的波数之间的关系。这里, 元件的构成是“支撑基板 / Al 阳极 / 空穴传输层 / 发光层 / 电子传输层 / Ag 阴极 (22nm) / 外耦合层 (45nm)”。在所有的构成中, 厚度被优化来使得前表面方向上的光谱可以具有 (0.139, 0.66) 的色度坐标 CIE_{Yxy}。另外, 为了减小在阴极中局部化的 SRSP 的影响, 外耦合层的折射率被设置为 2.4。元件 111b 与 112b 的比较揭示, 发光效率在发光层的折射率比两个电荷传输层的折射率小的元件 112b 中减小。虽然在元件 112b 中, 间隙等离子体激元的波数比元件 111b 小, 但是 SP 耦合率 W_{sp} 增加。这种 SP 耦合率的增加可以归因于 z 方向上的 SP 的电场增加的事实。换句话说, z 方向上的介电通量密度 D 是连续的, 因此, 随着发光层的介电常数 ϵ_{eml} 变小, 电场 $E_{sp}=D/\epsilon_{eml}$ 变大。作为结果, 式 (7) 的表面等离子体激元激发速度增加。

[0117] 表 4 还示出了分别具有第一电荷传输层和第二电荷传输层的减小的折射率以及发光层的元件 113b 和 114b。元件 113b 和 114b 均具有比元件 111b 高的发光效率。当与电极接触的电荷传输层的折射率减小时, 腔强度可以增大。由此, 即使当发光层具有小的折射率时, 也可以提高发光效率 η 。另外, 与元件 112b 相比, 元件 113b 和 114b 中的每一个的 SP 耦合率 W_{sp} 较小。当与电极接触的电荷传输层的折射率减小时, 可以容易地减小间隙等离子体激元的波数。即, 可以减小由式 (7) 表示的间隙等离子体激元的 DOS, 并且, 与元件 112b 相比, 可以减小 SP 的激发速度。

[0118] 即, 在间隙等离子体激元抑制条件中, 电荷传输层中的至少一个的折射率希望被设计为等于或小于发光层的折射率。如元件 115b 所示, 最希望的情况是如下情况, 即, 在间隙等离子体激元的波数减小的状态下第一电荷传输层和第二电荷传输层的折射率均比发光层的折射率小的情况。在这种情况下, SP 耦合效率减小并且发光效率显著增大。

[0119] 表 4

[0120]

元件	HTL		EML		ETL		CIE_Yxy	η [cd/A]	W_{sp} [%]	Kgap (Re) [10 ⁷ rad/m]
	n	d [nm]	n	d [nm]	n	d [nm]				
111b	1.88	33.6	1.88	20	1.88	35	(0.139, 0.066)	4.5	46.9%	3.17
112b	1.88	36	1.65	23	1.88	35	(0.140, 0.066)	4.1	56.3%	3.06
113b	1.65	37	1.65	23	1.88	35	(0.140, 0.066)	5.0	53.7%	2.91
114b	1.88	37	1.65	23	1.65	35	(0.139, 0.066)	5.1	50.3%	2.86
115b	1.65	37	1.88	20	1.65	40	(0.138, 0.065)	7.3	28.2%	2.75

[0121] 在间隙等离子体激元抑制条件中,希望使用其跃迁偶极在与发光层的厚度方向垂直的方向(基板面内方向)上具有取向状态的发光分子作为发光层中的发光分子。作为已知材料的 4,40-双[4-(二苯胺基)苯乙烯基]联苯(BDASBi)等的使用允许跃迁偶极的取向分布状态沿基板面内方向偏置。另外,可以基于光谱角度依赖性来评估跃迁偶极的取向状态,这是在 J.Frischeisen 等,Organic Electronics 12, (2011),809 ~ 817 等中描述的公知方法。

[0122] 表 5 示出了在三种类型的 B 元件中跃迁偶极具有理想水平取向分布状态的情况下 W_{oc}^{para} 、 W_{sp}^{para} 以及前表面方向上的色度坐标和发光效率。这里, W_{oc}^{para} 对应于提取到外部的能量与产生的激子能量的比, W_{sp}^{para} 对应于与 SP 耦合的能量与产生的激子能量的比。通过将提取到外部的能量的比 W_{oc}^{para} 乘以载流子平衡因子和激子产生效率获得的值对应于外部量子效率。另外,在表 5 的 W_{sp}^{para} 中的括号中括起来的值是 SP 能量耦合 δW_{sp} 通过跃迁偶极的水平取向的减小的比。换句话说,在跃迁偶极具有随机取向分布的情况下,当 SP 能量耦合率被定义为 W_{sp}^{iso} 时,式 $\delta W_{sp} = (W_{sp}^{para}/W_{sp}^{iso}) - 1$ 成立。这里研究的构成是结构“支撑基板/第一电极/第一电荷传输层/发光层(20nm)第二电荷传输层/第二电极/外耦合层”。EML 的折射率和分散曲线等于电荷传输层的折射率和分散曲线。图 12 示出了掺杂剂 -1 的 PL 光谱,并且,激子产生效率和发光量子效率分别被假定为 0.25 和 0.8。采用如下设计,即, B 元件 116b 和 117b 中的第一电荷传输层和第二电荷传输层的厚度满足式(I)和(II)以及前表面光谱具有(0.138,0.60)的色度坐标 CIE_Yxy。该表还示出了作为比较例的具有底发光构成的元件 118b。元件 118b 的第一电荷传输层的厚度等于元件 117b 的第一电荷传输层的厚度。

[0123] 该表揭示,满足间隙等离子体激元抑制条件的元件 117b 的 δW_{sp} 为 -87.2%,该值与任何其它构成相比是最大的。换句话说,元件 117b 通过使跃迁偶极水平取向而具有大的抑制表面等离子体激元损失的效果。作为结果,元件 117b 的 W_{sp}^{para} 约为 5%,该值与任何其它构成相比是最小的。这可以归因于当满足间隙等离子体激元抑制条件时,从图 5 可以看出,由 SP 产生的电场的 x 分量在 EML 中变为零。在 J.Frischeisen 等,Organic Electronics 12, (2011),809-817 中公开的底发光构成仅具有一个电介质/金属界面,因此在界面处产生的 SP 的电场是半环电场。换句话说,在施加 SP 的电场的区域中,SP 的电场的 x 分量不

能被设置为零。以上可以从元件 118b 的 δW_{sp} 是比元件 117b 的 δW_{sp} 小的 -77.5% 的事实来理解。上述的满足间隙等离子体激元抑制条件并且其跃迁偶极在发光层的面内方向上具有取向次序的发光分子的使用允许表面等离子体激元损失被显著抑制,并允许表面发光效率和外部量子效率被显著提高。可以基于光谱角度依赖性来评估跃迁偶极的取向状态,这是在 J.Frischeisen 等,Organic Electronics 12, (2011), 809 ~ 817 等中描述的公知方法。

[0124]

表 5

元件	第1电极		第1 CTL		第2 CTL		第2电极		OCL		W _{paraOc} [%]	W _{paraSp} [%] (δW_{sp} [%])	CIE _{Yxy}	η [cd/A]
	材料	d [nm]	n	d [nm]	n	d [nm]	材料	d [nm]	n	d [nm]				
116b	Ag	200	1.88	29.4	1.88	35	Ag	22	2.4	45	18.6%	41.2% (-38.8%)	(0.138, 0.060)	4.6
117b	Al	200	1.88	37	1.88	35	Ag	22	2.4	45	36.6%	5.1% (-87.2%)	(0.138, 0.060)	8.0
118b	Al	200	1.88	37	1.88	35	IZO	73	1.5	∞	30.3%	9.9% (-77.5%)	(0.136, 0.089)	7.4

[0125] 在通过使用满足式(I)和(II)的B元件构成的显示装置中,当反射电极和透明电极共用于R、G和B元件时,优选地选择在B元件中满足间隙等离子体激元抑制条件的组合。

表 6 示出了由有机 EL 元件 101 和 102 构成的显示装置在 250cd/m^2 下的功耗。在 3 英寸、3:4 的比值“垂直：水平”、25% 的孔径比和 8.7V 的驱动电压的条件下执行计算。

[0126] 另外,显示装置 101rgb 由 B 元件 101b、G 元件 101g 和 R 元件 101r 构成,显示装置 102rgb 由 B 元件 102b、G 元件 102g 和 R 元件 102r 构成。从表 6 可以理解,由满足间隙等离子体激元抑制条件的 B 元件 102b 构成的显示装置 102rgb 具有比显示装置 101rgb 低的功耗。

[0127] 另外,从产量和工艺简化的观点,诸如电子传输层、阴极或外耦合层之类的发光层之上的层常常被形成成为共用层。同样在这种情况下,优选地选择在 B 元件中满足间隙等离子体激元抑制条件的组合。表 6 示出了显示装置 103rgb 和 104rgb 之间的比较。这里使用的术语“103rgb”对应于如下情况,即,元件由与有机 EL 元件 101 相同的类型的材料构成并且 R 元件和 G 元件中的每一个的电子传输层、阴极和外耦合层的厚度与 B 元件 101b 的相同(R 元件 103r 和 G 元件 103g)。类似地,术语“104rgb”对应于如下情况,即,R 元件和 G 元件中的每一个的空穴传输层和外耦合层的厚度与 B 元件 102b 的相同(R 元件 104r 和 G 元件 104g)。可以发现,如显示装置 101rgb 和 102rgb 之间的关系那样,作为在 B 元件中满足间隙等离子体激元抑制条件的组合的显示装置 104rgb 的功耗比显示装置 103rgb 的功耗小。

[0128] 表 6

[0129]

	η [cd/A]			功耗[mW]
	R	G	B	
101rgb	45.2	33.9	3.2	296.8
102rgb	29.1	30.9	4.1	292.0
103rgb	29.6	29.9	3.2	326.6
104rgb	22.2	26.9	4.1	324.4
105rgb	45.2	33.9	4.1	265.2
106rgb	29.6	29.9	4.1	295.2

[0130] 另外,在对于 R、G 和 B 元件采用不同的反射电极的情况下,优选地在 R 元件和 G 元件中的每一个中选择使腔强度最大化的组合,并且,优选地在 B 元件中选择满足间隙等离子体激元抑制条件的组合。表 6 示出了显示装置 105rgb 和 106rgb 的功耗。显示装置 105rgb 由 R、G 和 B 元件(101r、101g 和 102b)构成,显示装置 106rgb 也由 R、G 和 B 元件(103r、103g 和 102b)构成。与显示装置 102rgb 相比,显示装置 105rgb 的功耗减小,并且,与显示装置 104rgb 相比,显示装置 106rgb 的功耗也减小。

[0131] 如上所述,在本发明的有机 EL 元件中,金属电极中的 SP 损失减小,并且发光效率高。从而,通过将本发明应用到分别使用有机 EL 元件的各种装置而获得更高的特性。具体的例子是包括本发明的有机 EL 元件和用于控制有机 EL 元件的发光的控制电路的发光装置。发光装置的例子包括照明设备和电子照相图像形成装置的曝光光源以及液晶显示装置的背光。图像形成装置包括曝光光源(发光装置)、将通过曝光光源在其上形成潜像的感光部件和用于充电感光部件的充电部件。

[0132] 另外,在布置有用于发射蓝色的有机 EL 元件、用于发射绿色的有机 EL 元件和用于发射红色的有机 EL 元件的发光元件阵列中,本发明的有机 EL 元件可以被用于发射蓝色的有机 EL 元件。

[0133] 可以在显示装置中使用发光元件阵列。具体地,显示装置具有发光元件阵列和用于基于从外部输入的图像信号在发光元件阵列中显示希望的图像的控制电路。显示装置的例子包括 TV 接收器、个人计算机、移动电话、便携式游戏机、移动音乐播放器、个人数字助理(PDA)和汽车导航系统的显示部分。

[0134] 另外,本实施例的发光元件阵列可以被放置在诸如数字照相机和数字视频照相机之类的成像装置的显示部分或电子取景器中。成像装置还包括成像光学系统和用于成像的诸如 CMOS 传感器之类的成像元件。另外,成像元件被放置在发光元件阵列的除发光表面的顶部以外的位置处。

[0135] 在下文中,描述本发明的具体例子。

[0136] (例子 1)

[0137] 例子 1 表明即使在不同的 PL 光谱中间隙等离子体激元抑制条件(式(III))也成立。

[0138] 图 12 示出了在本研究中使用的掺杂剂 -1 的 PL 光谱。掺杂剂 -1 的 PL 光谱具有 451nm 的峰值波长并具有双峰值。

[0139] 图 13 和图 14 分别示出了在发光分子为掺杂剂 -1 的情况下阳极与阴极的 SP 之间的波数差 $\delta k(\text{Re})$ 和发光效率之间的关系。图 13 和图 14 的外耦合层的 λ_{max} 处的折射率分别为 1.88 和 2.4。这里研究的各元件构成是结构“基板 / 阳极 / 空穴传输层(HTL) / 发光层(EML) / 电子传输层(ETL) / 阴极 / 外耦合层(OCL)”。本研究中的有机化合物层的介电常数(或折射率)及其分散特性与图 7 相同。另外,空穴传输层、电子传输层、阴极和外耦合层的厚度被优化来使得(0.137,0.60)的色度坐标 CIE_{Yxy} 处的发光效率在满足式(I)和(II)的程度上可以最大。

[0140] 图 13 和图 14 中的每一个中的 $\delta k(\text{Re})$ 与发光效率之间的关系表明了与对于 DAC 获得的趋势(图 7 或图 9)相同的趋势,并由此确认了满足间隙等离子体激元抑制条件(式(III))。

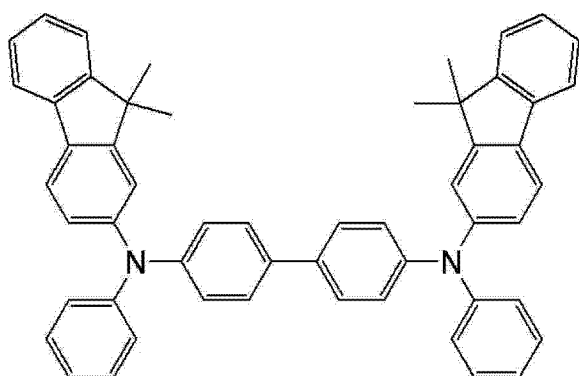
[0141] (例子 2)

[0142] 在通过图 7 所示的仿真获得的结果中构成 A 和 B 的效果被确认。

[0143] 在本例子中使用了 AlNd 和 Ag/ITO 阳极。通过利用溅射方法在玻璃基板上将铝合金(AlNd)形成为具有 100nm 的厚度的膜,来形成 AlNd 阳极。以 2.0 质量 % 的比添加 Nd。

[0144] 可以确认,Nd 的添加比对于 Al 的光学特性没有影响。另外,通过如下获得 Ag/ITO 阳极:在玻璃基板上将 Ag 形成为具有 100nm 的厚度的膜;并在该膜上将 ITO 形成为具有 10nm 的厚度的膜。利用溅射方法来将 Ag 和 ITO 两者形成为膜。通过真空沉积方法依次在这种阳极上形成有机化合物层。膜形成次序如下面描述的那样。以下描述的化合物 1 被形成为具有 20nm 的厚度的膜以用作 AlNd 阳极上的空穴传输层,该化合物还被形成为具有 5nm 的厚度的膜以用作 Ag/ITO 阳极上的空穴传输层。

[0145]

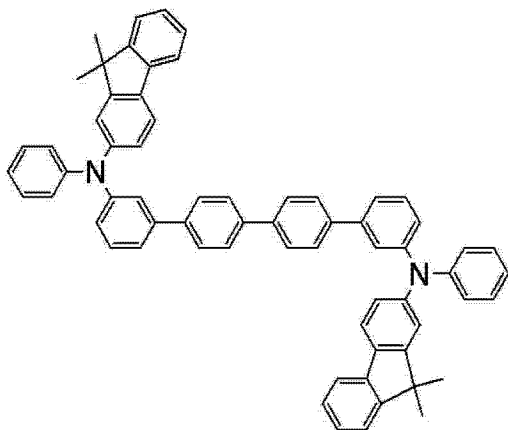


化合物 1

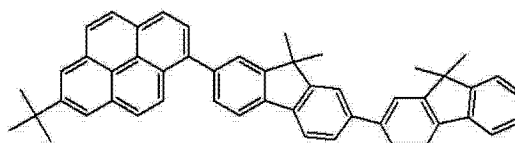
[0146] 接下来,具有以下结构的化合物 2 被形成具有 10nm 的厚度的膜以用作电子阻挡层。接下来,具有以下结构的化合物 3 和化合物 4 分别以**0.98Å/s**和**0.02Å/s**的成膜速度从气相被共同沉积以用作发光层。从而,具有 20nm 的厚度的发光层被形成。接下来,具有以下结构的化合物 6 被形成具有 20nm 的厚度的膜以用作电子传输层。接下来,具有以下结构的化合物 6 和 Cs 分别以**3.0Å/s**和**0.3Å/s**的成膜速度从气相被共同沉积,以被形成具有 10nm 的厚度的膜,该膜用作电子注入层。Ag (24nm) 的透光性的金属薄膜被形成成为阴极。应当注意,括号中的数值表示相应金属的厚度。

[0147] 另外,具有以下结构的化合物 5 被形成具有 70nm 的厚度的膜以用作外耦合层。

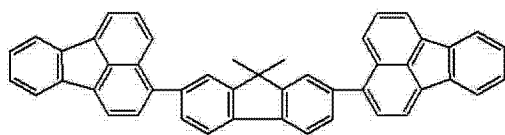
[0148]



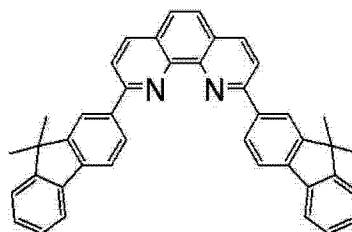
化合物 2



化合物 3



化合物 4



化合物 5

[0149] 最后,在氮气气氛中的手套箱中通过 UV 固化树脂密封包含干燥剂的密封玻璃(未示出)和玻璃基板的成膜表面。

[0150]

表 7

	阳极		ITO		HTL		ETL		EIL		阴极		OCL		η [cd/A]	CIE _{Yxy} [任意单位]	$\delta k(\text{Re})$ [rad/m]
	材料	d [nm]	n	d [nm]	n	d [nm]	n	d [nm]	n	d [nm]	材料	d [nm]	n	d [nm]			
例子 1-1	AINd	100	-	-	1.88	20	1.86	20	1.81	10	Ag	24	1.86	70	4.1	(0.146,0.056)	1.53×10^5
例子 1-2	Ag	100	1.96	10	1.88	5	1.86	20	1.81	10	Ag	24	1.86	70	2.5	(0.140,0.057)	6.43×10^5

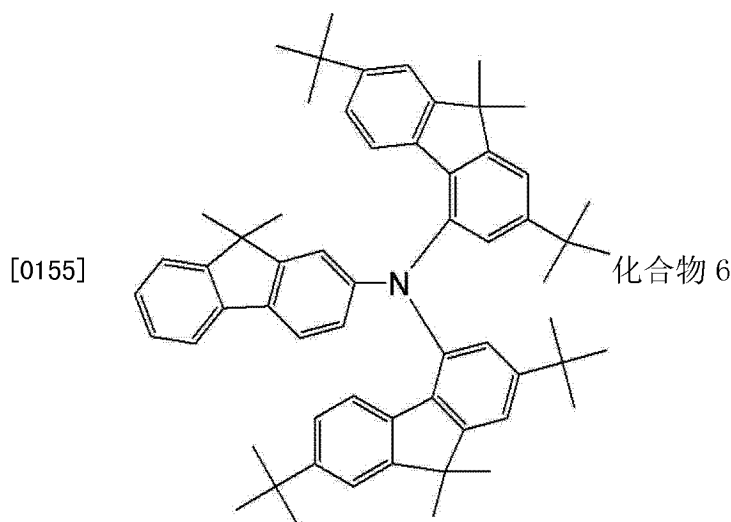
[0151] 表 7 示出了在实验中所获得的有机 EL 元件的发光效率。另外，表 7 中的有机化合物层的折射率的值是当光的峰值波长 λ 等于 450nm 时通过分光椭圆偏振仪测量的值。 $\delta k(\text{Re})$ 是

从仿真方法确定的。使用满足间隙等离子体激元抑制条件的 Al:Nd 阳极的例子 1-1 的发光效率被确认为比使用 Ag/ITO 阳极的例子 1-2 的发光效率高。

[0152] (例子 3)

[0153] 在上述仿真结果中提供高效率的减小间隙等离子体激元的波数的效果被确认。这次,研究减小与阳极接触的空穴传输层的折射率的情况。

[0154] 在本例子中,使用了具有不同折射率的两个空穴传输层。空穴传输层中的一个由上述化合物 1 ($\lambda = 450\text{nm}$ 处的折射率 $n = 1.88$) 制成,另一个由具有比化合物 1 的折射率低的折射率的化合物 6 ($\lambda = 450\text{nm}$ 处的折射率 $n = 1.65$) 制成。



[0156] 本例子的元件被制造如下。首先,通过溅射方法在玻璃基板上将铝合金(AlNd)形成成为具有 100nm 的厚度的膜以形成阳极。Nd 以 2.0 质量 % 的比被添加。通过真空沉积方法在阳极上依次形成有机化合物层。成膜次序如下所述。作为空穴传输层,上述化合物 1 被形成成为具有 18nm 的厚度的膜或者化合物 6 被形成成为具有 21nm 的厚度的膜,作为电子阻挡层,具有上述结构的化合物 2 被形成成为具有 10nm 的厚度的膜。接下来,作为发光层,具有上述结构的化合物 3 和化合物 4 分别以 $0.98\text{\AA/s}$ 和 $0.02\text{\AA/s}$ 的成膜速度从气相被共同沉积。从而,具有 20nm 的厚度的发光层被形成。接着,作为电子传输层,具有上述结构的化合物 5 被形成成为具有 30nm 的厚度的膜。接着,作为阴极,AgCs (6nm)/Ag (20nm) 的透光性的层叠的金属薄膜被形成。这里,由 Ag 和 Cs 制成的 Ag 合金被放置在与电子传输层接触的阴极侧,从而有利于将电子注入到电子传输层中。应当注意,括号中的数值表示相应金属的厚度。以 Cs 浓度掺杂的 Cs 对于 Ag 的光学特性没有表现出影响。另外,具有上述结构的化合物 5 被形成成为具有 70nm 的厚度的膜以用作外耦合层。

[0157] 最后,在氮气气氛中的手套箱中通过 UV 固化树脂密封包含干燥剂的密封玻璃(未示出)和玻璃基板的成膜表面。

[0158] 应当注意,在本例子中制作的有机 EL 元件中的任一个具有 $\lambda/4$ 构成。另外,化合物 1 中和化合物 2 中的阳极和阴极之间的 SP 波数差分别为 $1.5 \times 10^5 [\text{rad/m}]$ 和 $7.4 \times 10^5 [\text{rad/m}]$,因此各元件满足式(III)。

[0159] 图 15 示出了在实验中获得有机 EL 元件的色度-发光效率曲线,图 16 示出了通过仿真与各有机 EL 元件对应的层构成获得的结果。由图 15 中的空心圆点表示的将化合物 1 用于空穴传输层的有机 EL 元件在 0.065 的 CIEy 处具有约 4.1cd/A 的发光效率。另一方

面,由图 15 中的实心圆和曲线表示的使用具有低折射率的化合物 2 的有机 EL 元件在 0.065 的 CIEy 处具有约 5.3cd/A 的高发光效率。从而,通过减小折射率的使用化合物 2 的有机 EL 元件的发光效率的增加率是使用化合物 1 的有机 EL 元件的 1.3 倍。此外,在图 16 中,实线表示使用化合物 2 的元件,虚线表示使用化合物 1 的元件。在化合物 2 的仿真中获得的增加率约是化合物 1 的 1.3 倍,并且确认仿真结果与实验结果一致。

[0160] 具体地,在本例子中,确认仿真结果与实验结果一致,并表明通过减小与阳极接触的空穴传输层 3 的折射率并减小间隙等离子体激元的波数来提高发光效率。

[0161] 虽然已参照示例性实施例描述了本发明,但是要理解的是,本发明不限于公开的示例性实施例。以下权利要求的范围应遵循最宽泛的解释以包含所有的变更方式以及等同的结构和功能。

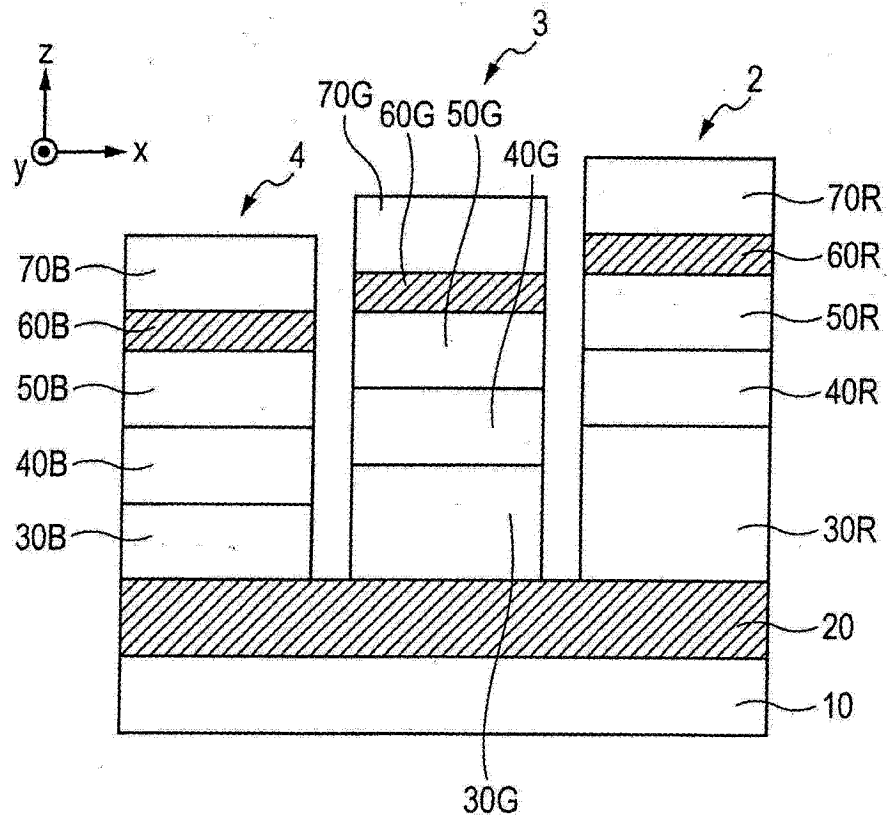


图 1

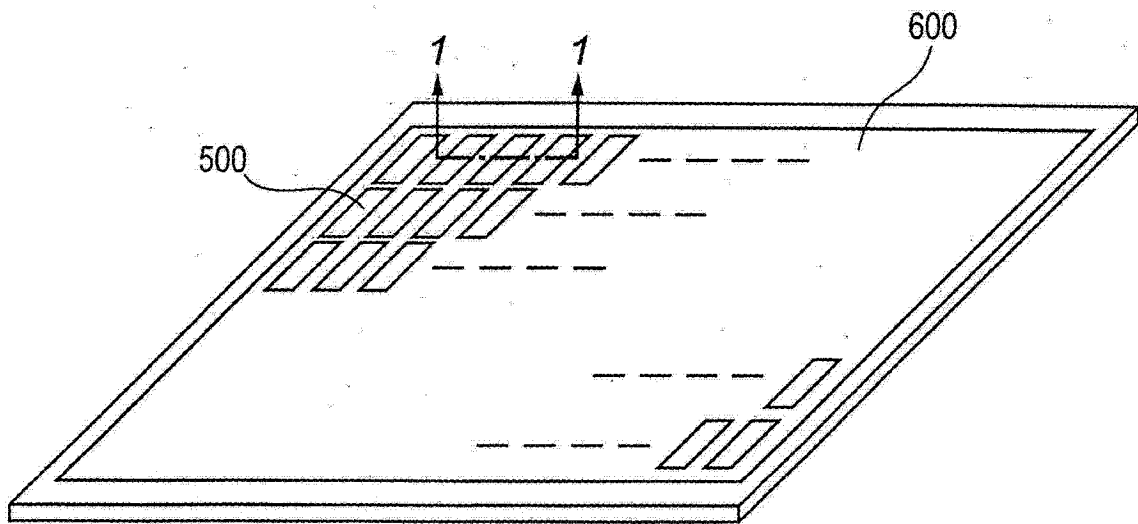


图 2

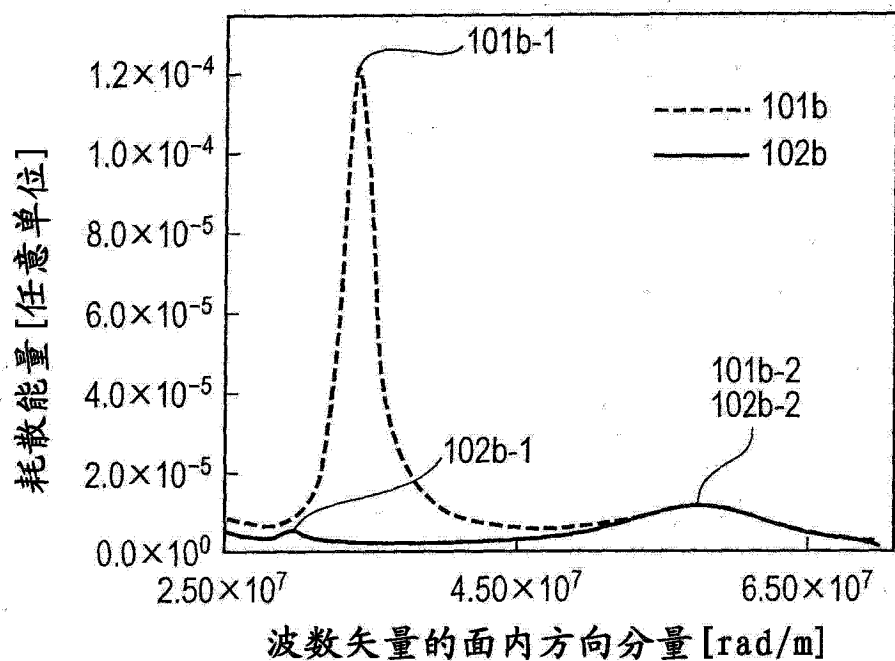


图 3

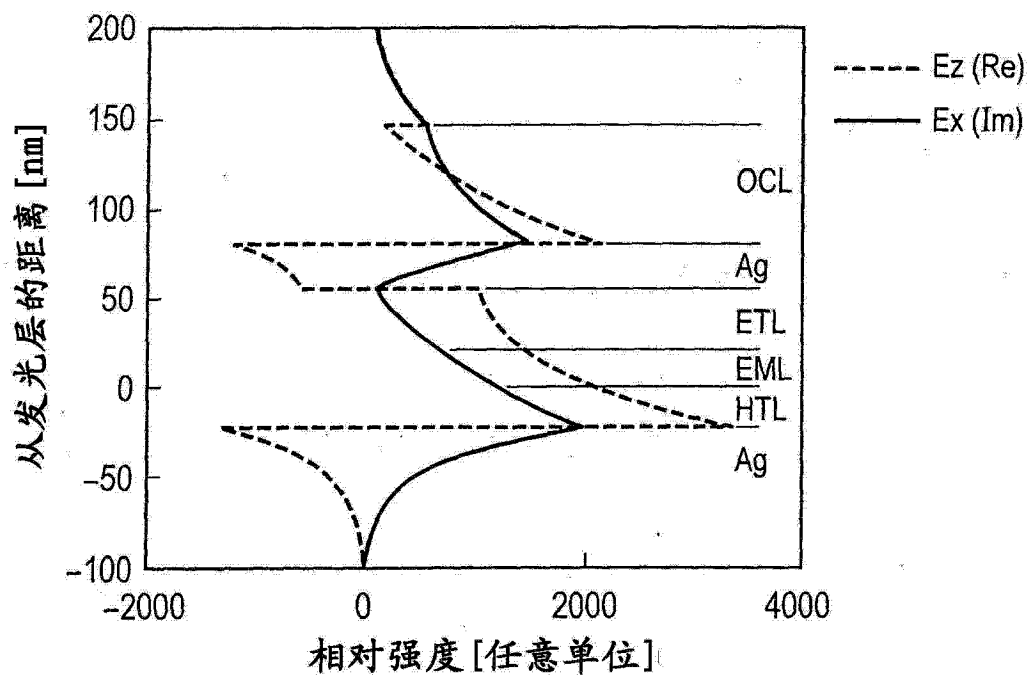


图 4

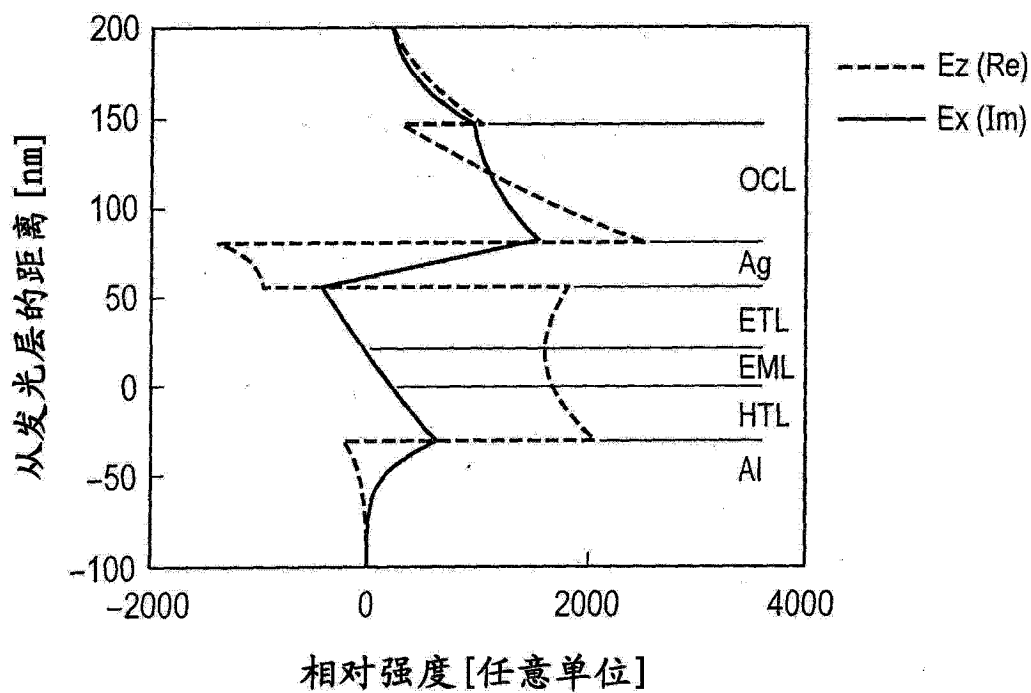


图 5

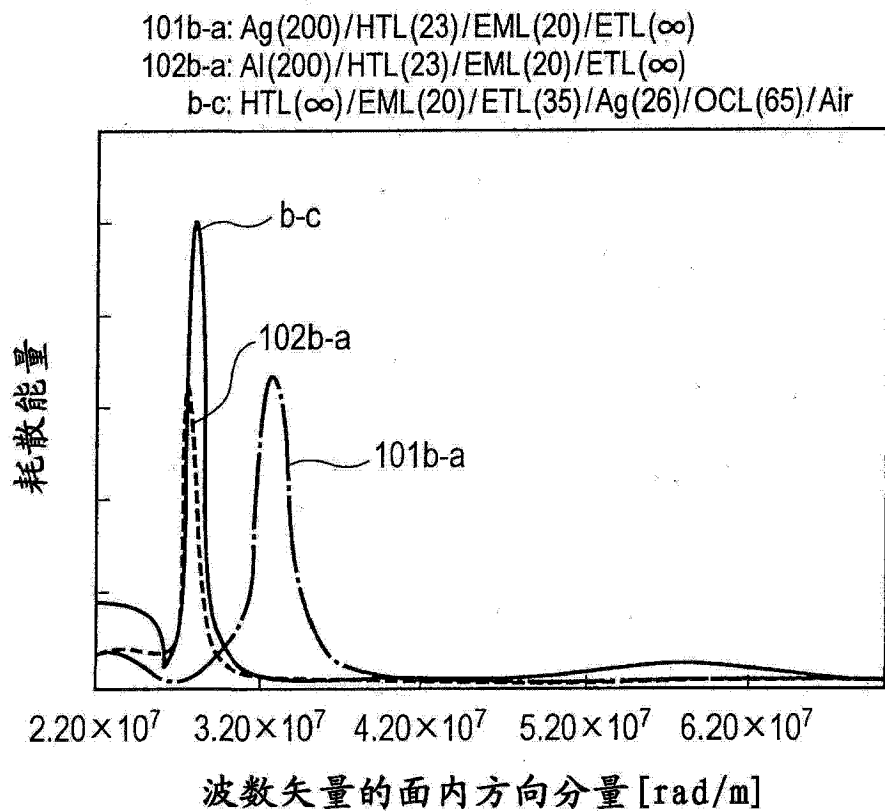


图 6A

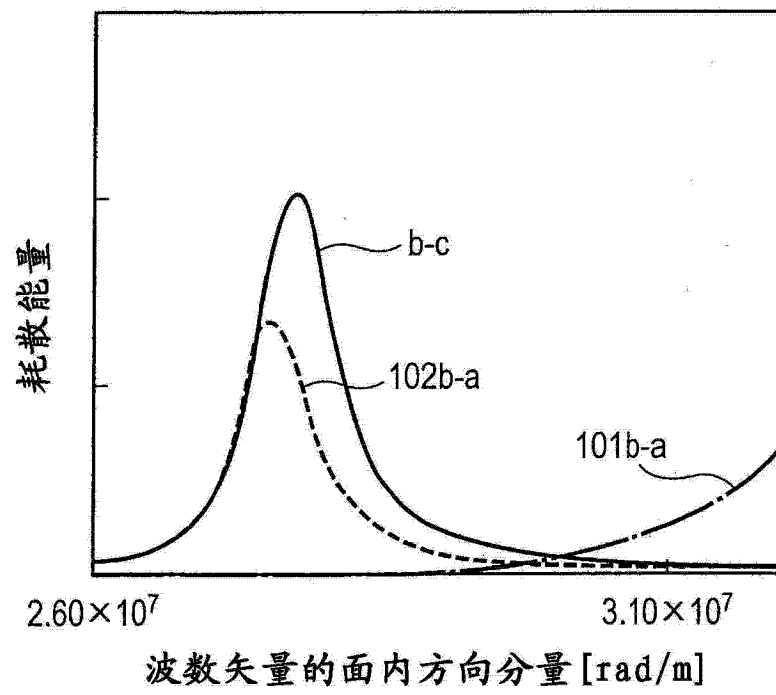


图 6B

	阳极	阴极
A	Ag	Ag (26)
B	Al	Ag (26)
C	Mg	Ag (26)
D	Ag/Mg (5)	Ag (26)
E	Ag/Mg (8)	Ag (26)
F	Ag	MgAg (18)
G	Ag	MgAg (7.7)/Ag (14.5)
H	Ag	Al (10)
I	Al	MgAg (19.5)
J	Al	MgAg (8.1)/Ag (13)
K	Al	Al (7)

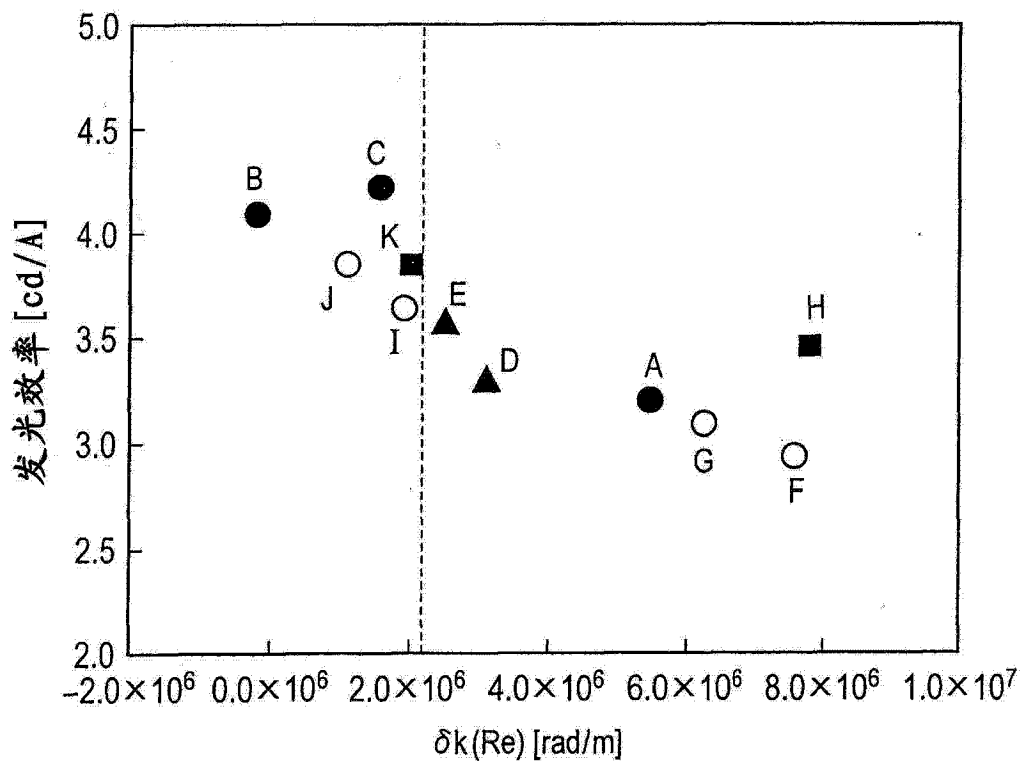


图 7

	阳极	阴极
A	Ag	Ag (26)
B	Al	Ag (26)
C	Mg	Ag (26)
D	Ag/Mo (5)	Ag (26)
E	Ag/Mo (8)	Ag (26)
F	Ag	MgAg (18)
G	Ag	MgAg (7.7)/Ag (14.5)
H	Ag	Al (10)
I	Al	MgAg (19.5)
J	Al	MgAg (8.1)/Ag (13)
K	Al	Al (7)

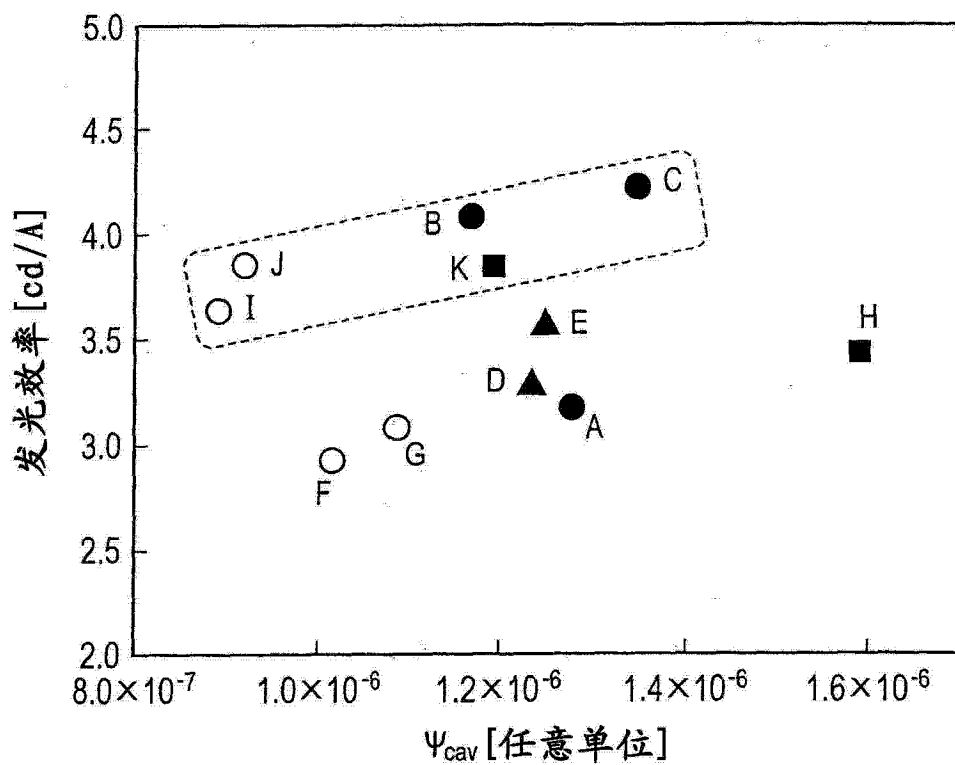


图 8

	阳极	阴极
A'	Ag	Ag (26)
B'	Al	Ag (26)
C'	Mg	Ag (26)
F'	Ag	MgAg (18)
G'	Ag	MgAg (7.7)/Ag (14.5)
H'	Ag	Al (10)
I'	Al	MgAg (19.5)
J'	Al	MgAg (8.1)/Ag (13)
K'	Al	Al (7)
L'	Al	Ag (22)
M'	Al	Ag (30)
N'	Mg	Ag (24)

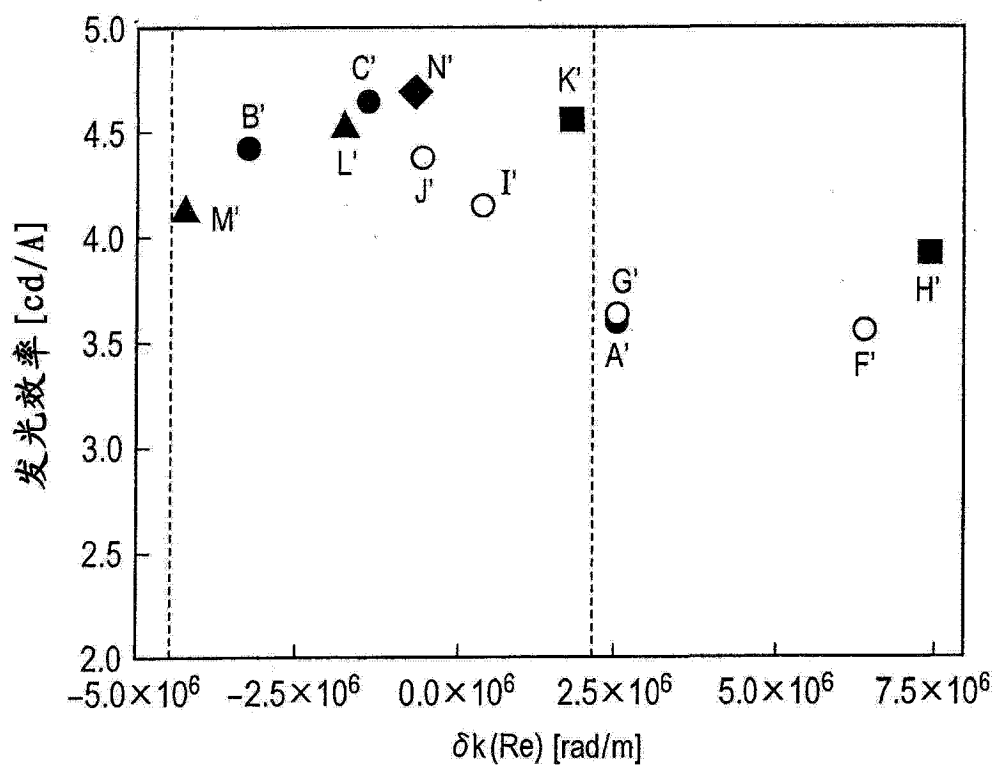


图 9

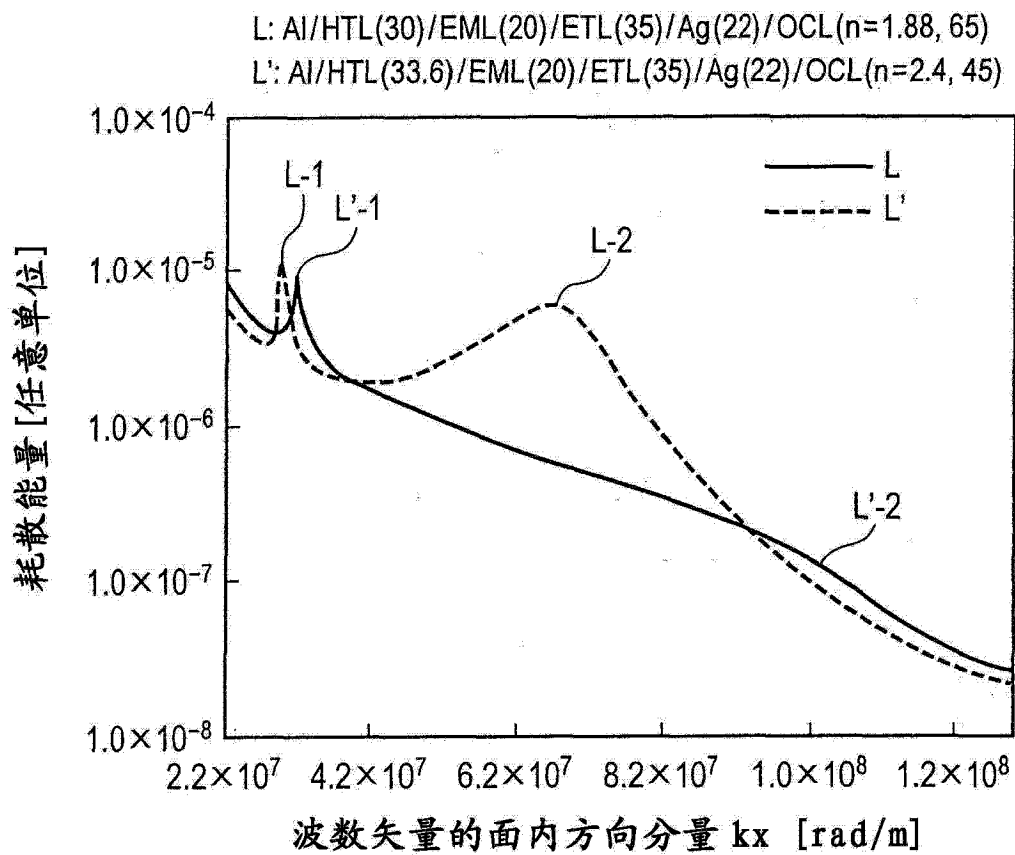


图 10

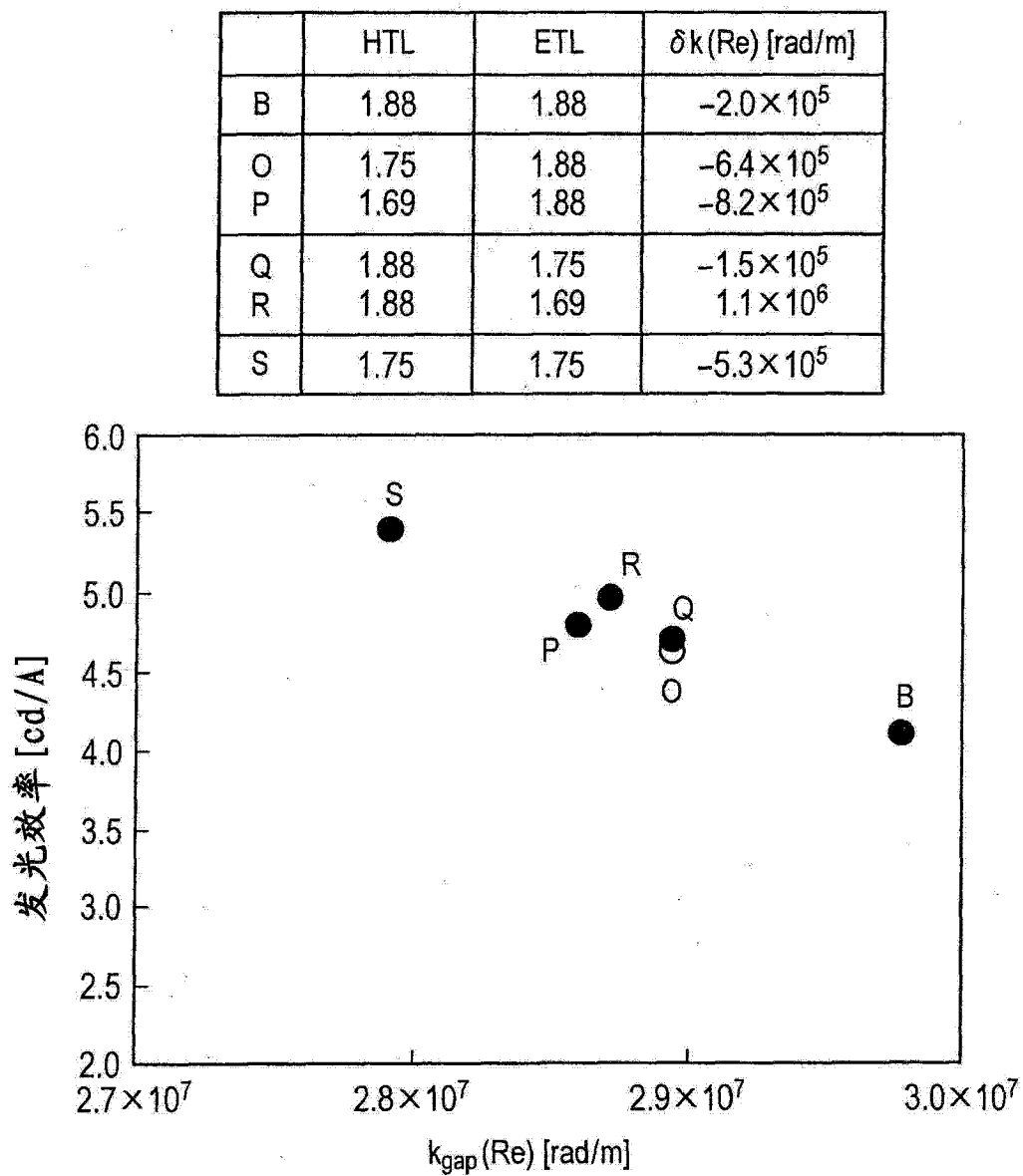


图 11

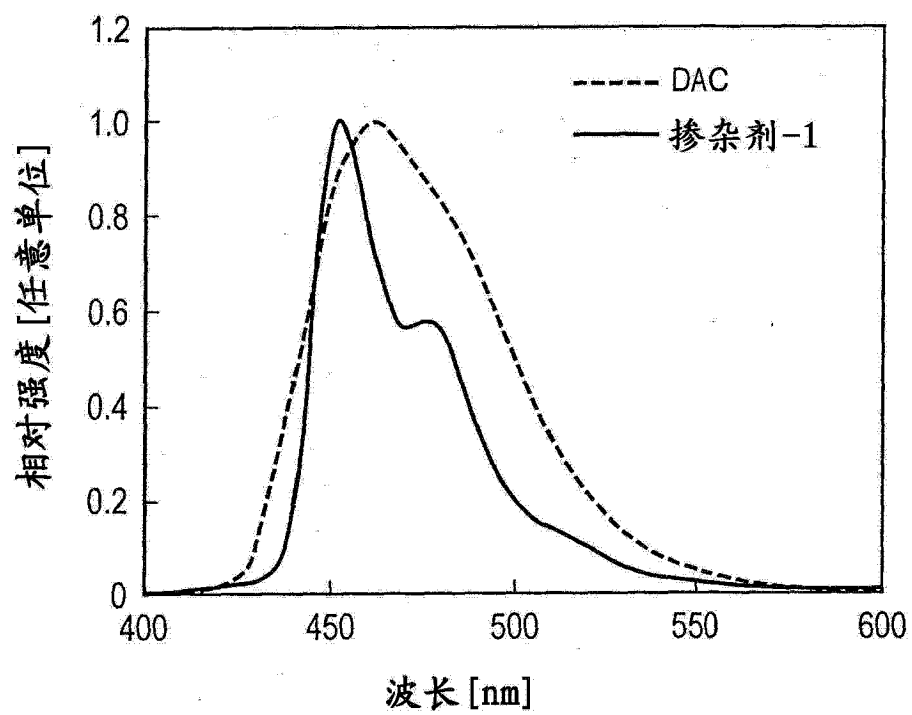


图 12

	阳极	阴极
A	Ag	Ag (26)
B	Al	Ag (26)
C	Mg	Ag (26)
D	Ag/Mg (5)	Ag (26)
E	Ag/Mg (8)	Ag (26)
F	Ag	MgAg (18)
G	Ag	MgAg (7.7)/Ag (14.5)
H	Ag	Al (10)
I	Al	MgAg (19.5)
J	Al	MgAg (8.1)/Ag (13)
K	Al	Al (7)

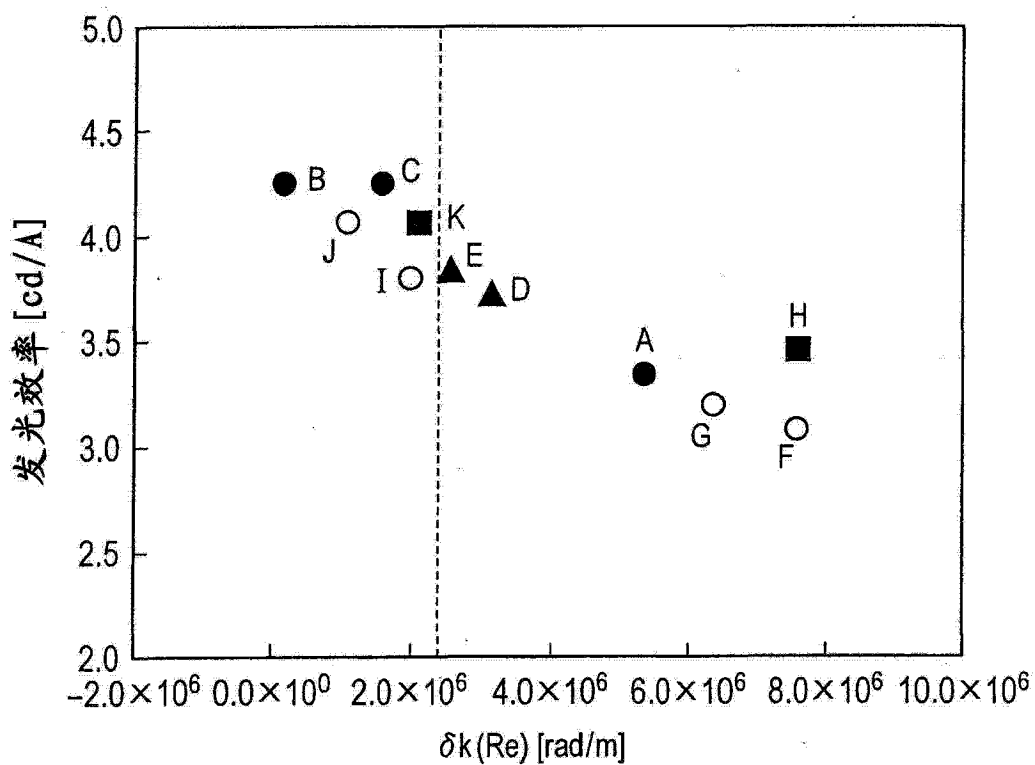


图 13

	阳极	阴极
A'	Ag	Ag(26)
C'	Mg	Ag(26)
F'	Ag	MgAg(18)
G'	Ag	MgAg(7.7)/Ag(14.5)
H'	Ag	Al(10)
I'	Al	MgAg(19.5)
J'	Al	MgAg(8.1)/Ag(13)
K'	Al	Al(7)
L'	Al	Ag(22)
M'	Al	Ag(24)
N'	Al	Ag(28)
O'	Al	Ag(30)
P'	Mg	Ag(22)

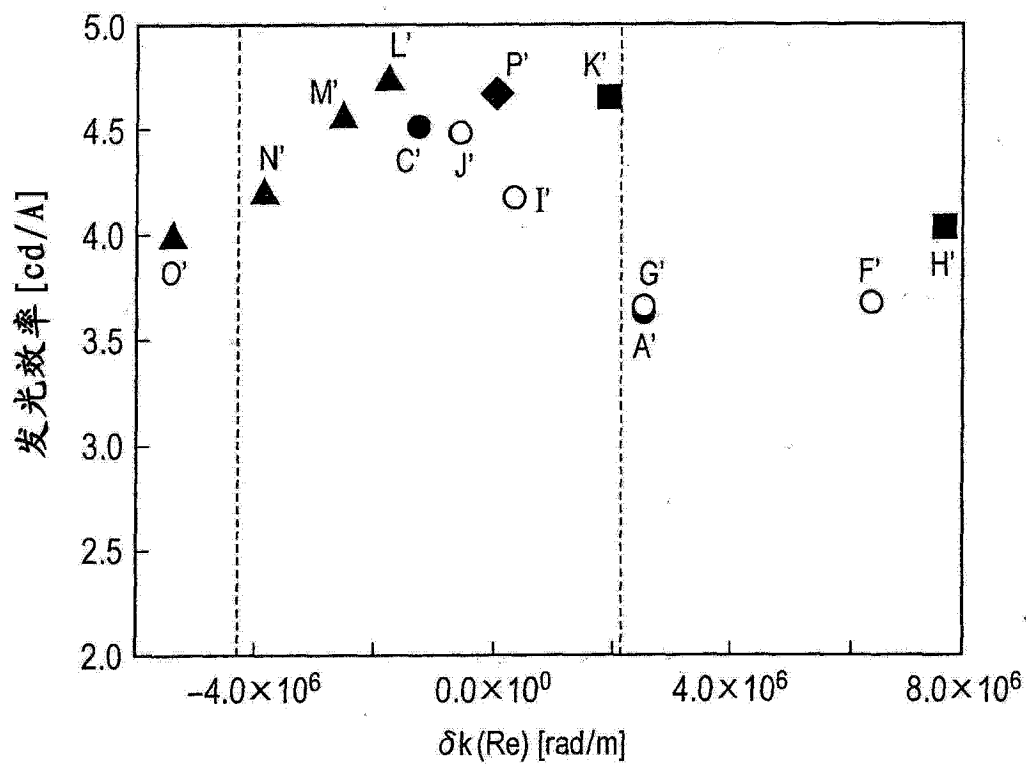


图 14

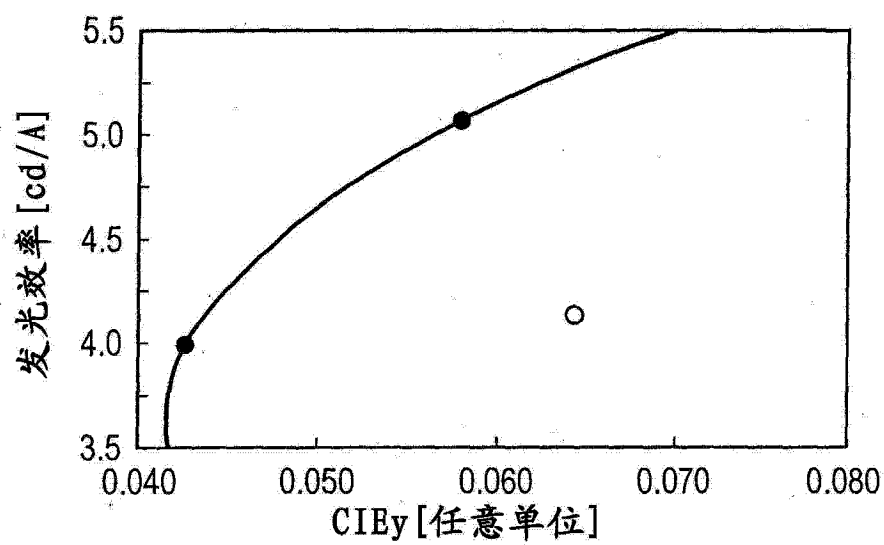


图 15

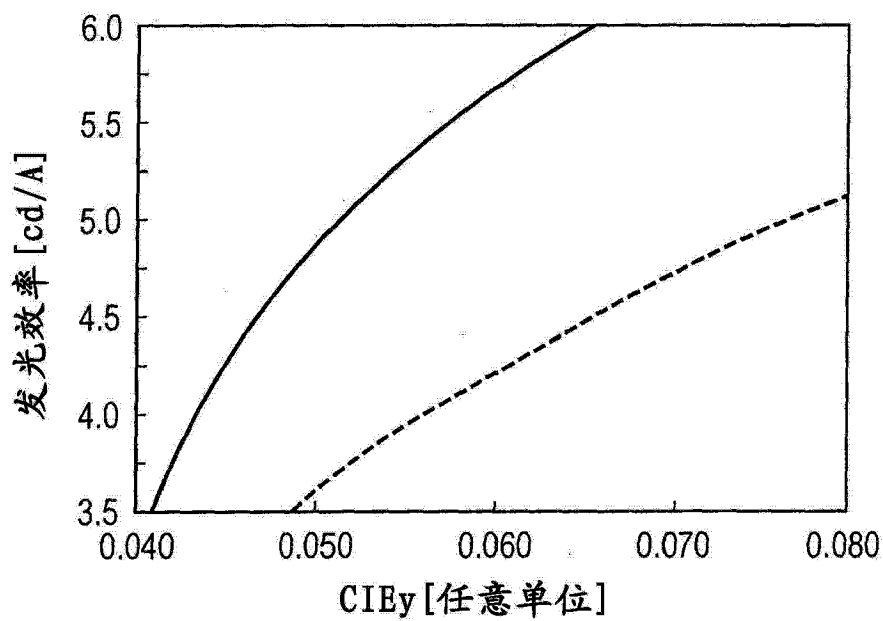


图 16