



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104205398 B

(45)授权公告日 2016.10.26

(21)申请号 201380018856.5

(22)申请日 2013.03.22

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 104205398 A

(43)申请公布日 2014.12.10

(30)优先权数据
2012-087050 2012.04.06 JP

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2014.10.08

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2013/059429 2013.03.22

(87)PCT国际申请的公布数据
W02013/150968 EN 2013.10.10

(73)专利权人 株式会社半导体能源研究所
地址 日本神奈川县厚木市

(72)发明人 濑尾广美 下垣智子 濑尾哲史
牛洼孝洋 佐佐木俊毅 上坂正吾

(74)专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
72001
代理人 童春媛 杨思捷

(51)Int.Cl.

H01L 51/50(2006.01)

H01L 51/54(2006.01)

H01L 51/52(2006.01)

G09K 11/06(2006.01)

H01L 27/32(2006.01)

(56)对比文件

JP 2012004526 A,2012.01.05,

US 2010052527 A1,2010.03.04,

CN 103518268 A,2014.01.15,

WO 2011042443 A1,2011.04.14,

CN 1550540 A,2004.12.01,

Marina E. Kondakova等.High-efficiency, low-voltage phosphorescent organic light-emitting diode devices with mixed host.《JOURNAL OF APPLIED PHYSICS》.2008,第104卷第094501-1至094501-17页.

审查员 程健

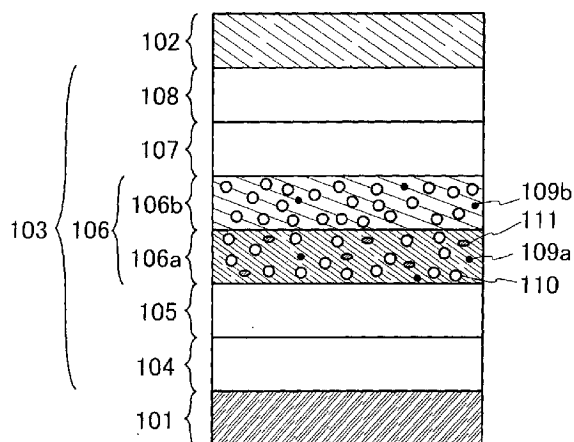
权利要求书2页 说明书43页 附图23页

(54)发明名称

发光元件、发光装置、电子设备及照明装置

(57)摘要

提供一种外部量子效率高的发光元件。提供一种寿命长的发光元件。在一对电极之间设置有发光层。该发光层是第一发光层和第二发光层的叠层,第一发光层至少包含第一磷光化合物、具有电子传输性的第一有机化合物以及具有空穴传输性的第二有机化合物且其设置在阳极一侧,第二发光层至少包含第二磷光化合物以及具有电子传输性的第一有机化合物。第一有机化合物和第二有机化合物的组合形成激基复合物。



1. 一种发光装置,包括:

阳极上的第一发光层,所述第一发光层包括第一磷光化合物、具有电子传输性的第一有机化合物以及具有空穴传输性的第二有机化合物;

所述第一发光层上的第二发光层,所述第二发光层包括第二磷光化合物以及所述第一有机化合物;以及

所述第二发光层上的阴极,

其中,所述第一有机化合物和所述第二有机化合物的激基复合物的发射光谱与所述第一磷光化合物的吸收光谱重叠,且

其中所述第一磷光化合物与所述第二磷光化合物不同。

2. 根据权利要求1所述的发光装置,其中与来自所述第二发光层的发光相比,来自所述第一发光层的发光具有较短波长。

3. 根据权利要求1所述的发光装置,其中与所述第一磷光化合物的吸收光谱的峰值相比,所述激基复合物的发射光谱的峰值具有较长波长。

4. 根据权利要求1所述的发光装置,其中与所述第一有机化合物及所述第二有机化合物各自的发射光谱的峰值相比,所述激基复合物的发射光谱的峰值具有较长波长。

5. 根据权利要求1所述的发光装置,其中所述第一磷光化合物和所述第二磷光化合物中的至少其一为有机金属配合物。

6. 根据权利要求1所述的发光装置,其中所述第一有机化合物为缺 π 电子型杂芳族化合物。

7. 根据权利要求1所述的发光装置,其中所述第二有机化合物为芳族胺化合物或富 π 电子型杂芳族化合物。

8. 一种包括根据权利要求1所述的发光装置的电子设备。

9. 一种包括根据权利要求1所述的发光装置的照明装置。

10. 一种发光装置,包括:

阳极和阴极之间的第一电致发光层及第二电致发光层,所述第一电致发光层和所述第二电致发光层中的至少其一包括第一发光层及第二发光层;以及

所述第一电致发光层和所述第二电致发光层之间的电荷产生层,

其中,所述第一发光层包括第一磷光化合物、具有电子传输性的第一有机化合物以及具有空穴传输性的第二有机化合物,

所述第二发光层包括第二磷光化合物以及所述第一有机化合物,

并且,所述第一有机化合物和所述第二有机化合物的激基复合物的发射光谱与所述第一磷光化合物的吸收光谱重叠,且

其中所述第一磷光化合物与所述第二磷光化合物不同。

11. 根据权利要求10所述的发光装置,其中与来自所述第二发光层的发光相比,来自所述第一发光层的发光具有较短波长。

12. 根据权利要求10所述的发光装置,其中与所述第一磷光化合物的吸收光谱的峰值相比,所述激基复合物的发射光谱的峰值具有较长波长。

13. 根据权利要求10所述的发光装置,其中与所述第一有机化合物及所述第二有机化合物各自的发射光谱的峰值相比,所述激基复合物的发射光谱的峰值具有较长波长。

14. 根据权利要求10所述的发光装置,其中所述第一磷光化合物和所述第二磷光化合物中的至少一个为有机金属配合物。

15. 根据权利要求10所述的发光装置,其中所述第一有机化合物为缺 π 电子型杂芳族化合物。

16. 根据权利要求10所述的发光装置,其中所述第二有机化合物为芳族胺化合物或富 π 电子型杂芳族化合物。

17. 一种包括根据权利要求10所述的发光装置电子设备。

18. 一种包括根据权利要求10所述的发光装置的照明装置。

发光元件、发光装置、电子设备及照明装置

技术领域

[0001] 本发明的一个方式涉及一种发光元件,其中通过施加电场能够提供发光的有机化合物设置在一对电极之间,另外,还涉及包含这种发光元件的发光装置、电子设备以及照明装置。

背景技术

[0002] 具有如薄型、轻量、高速响应性及低电压直流驱动等的特征的包含有机化合物作为发光体的发光元件被期待应用于下一代平板显示器。一般来说,与传统的液晶显示装置相比,其中发光元件配置为矩阵状的显示装置被认为具有视角宽且可见度高的优点。

[0003] 发光元件的发光机理被认为如下:当在夹有包含发光体的EL层的一对电极之间施加电压时,从阴极注入的电子和从阳极注入的空穴在EL层的发光中心复合来形成分子激子,并当该分子激子弛豫到基态时放出能量而发射光。单重激发态和三重激发态作为激发态被已知,并且被认为通过上述任一种激发态都可以获得发光。

[0004] 为了提高这种发光元件的元件特性,已积极地进行了元件结构的改进、材料的开发等(例如,参照专利文献1)。

[0005] [参考]

[0006] [专利文献1]日本专利申请公开2010-182699号公报。

发明内容

[0007] 然而,目前发光元件的光提取效率被认为是20%至30%左右。即使考虑到由反射电极或透明电极的光吸收,包含磷光化合物的发光元件的外部量子效率最高限是25%左右。

[0008] 在本发明的一个方式中,提供一种具有高外部量子效率的发光元件。在本发明的另一方式中,提供一种寿命长的发光元件。

[0009] 本发明的一个方式是一种发光元件,该发光元件包括在一对电极(阳极和阴极)之间的发光层。该发光层具有叠层结构,该叠层结构包括:至少包含第一磷光化合物(客体材料)、具有电子传输性的第一有机化合物(主体材料)以及具有空穴传输性的第二有机化合物(辅助材料)且设置在阳极一侧的第一发光层;以及至少包含第二磷光化合物(客体材料)以及具有电子传输性的第一有机化合物(主体材料)的第二发光层。在第一发光层中,第一有机化合物和第二有机化合物的组合形成激基复合物。

[0010] 本发明的另一方式是一种发光元件,该发光元件包括阳极与阴极之间的发光层、阳极与发光层之间的空穴传输层以及阴极与发光层之间的电子传输层。该发光层是第一发光层和第二发光层的叠层,第一发光层至少包含第一磷光化合物、具有电子传输性的第一有机化合物及具有空穴传输性的第二有机化合物且接触于空穴传输层,第二发光层至少包含第二磷光化合物以及具有电子传输性的第一有机化合物且接触于电子传输层。第一有机化合物和第二有机化合物的组合形成激基复合物。

[0011] 注意,在上述各方式中,与第一有机化合物(主体材料)和第二有机化合物(辅助材料)各自的发射波长(荧光波长)相比,由第一有机化合物(主体材料)和第二有机化合物(辅助材料)形成的激基复合物的发射波长位于更长波长一侧。因此,通过形成激基复合物,可以将第一有机化合物(主体材料)的荧光光谱和第二有机化合物(辅助材料)的荧光光谱转换为位于更长波长一侧的发射光谱。

[0012] 因此,由于激基复合物形成在第一发光层中,本发明的一个方式的发光元件可以利用相对于第一和第二有机化合物各自的发射波长(荧光波长)位于更长波长一侧的激基复合物的发射光谱与第一磷光化合物(客体材料)的吸收光谱之间的重叠来转移能量,从而该发光元件可以得到高能量转移效率和高外部量子效率。通过使第二有机化合物(辅助材料)只存在于第一发光层中,可以使第二发光层中的空穴传输性低于第一发光层,并且,可以控制发光层中的起因于激基复合物的发光区域形成在第一发光层与第二发光层之间的界面附近。再者,当激基复合物形成在第一发光层中时,可以使不助于激基复合物的形成的空穴有助于第二发光层中存在的第二磷光化合物(客体材料)的发光。由此,发光元件可具有高的发光效率,且可以防止由载流子密度的局部增高引起的发光元件的劣化。另外,由于第二发光层的空穴传输性低,所以可以抑制空穴穿到阴极一侧所导致的发光效率的降低。

[0013] 注意,在上述各方式中,包含在第一发光层中的第一磷光化合物(客体材料)与包含在第二发光层中的第二磷光化合物(客体材料)既可以相同,又可以不同。注意,当不同的磷光化合物被包含时,基于第一磷光化合物(客体材料)的来自第一发光层的发光的波长比基于第二磷光化合物(客体材料)的来自第二发光层的发光的波长短。

[0014] 注意,在上述各方式的第一发光层中,激基复合物也可以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。

[0015] 在上述各方式中,磷光化合物(第一磷光化合物及第二磷光化合物)可以是有机金属配合物,第一有机化合物可以主要是具有 $10^{-6}\text{cm}^2/\text{Vs}$ 或更高的电子迁移率的电子传输材料,尤其是缺 π 电子型杂芳族化合物,并且第二有机化合物可以主要是具有 $10^{-6}\text{cm}^2/\text{Vs}$ 或更高的空穴迁移率的空穴传输材料,尤其是富 π 电子型杂芳族化合物或芳族胺化合物。

[0016] 此外,本发明除了具有发光元件的发光装置之外在其范围内还包括具有发光装置的电子设备及照明装置。本说明书中的发光装置是指图像显示装置及光源(例如,照明装置)。另外,发光装置包括如下所有模块:其中连接器诸如柔性印刷电路(Flexible printed circuit:FPC)或载带封装(Tape Carrier Package:TCP)连接到发光装置的模块;其中印刷电路板设置在TCP端部的模块;以及其中集成电路(IC)通过玻璃覆晶封装(Chip On Glass:COG)法直接安装在发光装置上的模块。

[0017] 注意,由于激基复合物形成在发光层中,本发明的一个方式的发光元件可以利用相对于第一和第二有机化合物各自的发射波长(荧光波长)位于更长波长一侧的激基复合物的发射光谱与磷光化合物(客体材料)的吸收光谱之间的重叠来转移能量,从而该发光元件可以得到高能量转移效率和高外部量子效率。

[0018] 再者,本发明一个方式的发光层具有包括第一发光层和第二发光层的叠层结构。第一发光层包含第一磷光化合物(客体材料)、具有电子传输性的第一有机化合物(主体材料)以及具有空穴传输性的第二有机化合物(辅助材料),第二发光层包含第二磷光化合物(客体材料)以及具有电子传输性的第一有机化合物(主体材料)。因此,可以使第二发光层

中的空穴传输性低于第一发光层,并且,可以控制发光层中的起因于激基复合物的发光区域形成在第一发光层与第二发光层之间的界面附近。再者,当激基复合物形成在第一发光层中时,可以使不助于激基复合物的形成的空穴有助于第二发光层中存在的第二磷光化合物(客体材料)的发光。由此,发光元件可具有高的发光效率,且可以防止由载流子密度的局部增高引起的发光元件的劣化。另外,由于第二发光层的空穴传输性低,所以可以抑制空穴穿到阴极一侧所导致的发光效率的降低。

附图说明

- [0019] 图1A和1B表示本发明的一个方式的概念;
- [0020] 图2示出根据本发明的一个方式的计算结果;
- [0021] 图3A1、3A2、3B1、3B2、3C1和3C2示出根据本发明的一个方式的计算结果;
- [0022] 图4表示应用于本发明的一个方式的激基复合物的能级;
- [0023] 图5表示发光元件的结构;
- [0024] 图6A和6B各自表示发光元件的结构;
- [0025] 图7表示发光装置;
- [0026] 图8A和8B表示发光装置;
- [0027] 图9A至9D表示电子设备;
- [0028] 图10A至10C表示电子设备;
- [0029] 图11表示照明装置;
- [0030] 图12表示发光元件1的结构;
- [0031] 图13示出发光元件1的电流密度-亮度特性;
- [0032] 图14示出发光元件1的电压-亮度特性;
- [0033] 图15示出发光元件1的亮度-电流效率特性;
- [0034] 图16示出发光元件1的电压-电流特性;
- [0035] 图17示出发光元件1的发射光谱;
- [0036] 图18示出发光元件1的可靠性;
- [0037] 图19示出发光元件2的电流密度-亮度特性;
- [0038] 图20示出发光元件2的电压-亮度特性;
- [0039] 图21示出发光元件2的亮度-电流效率特性;
- [0040] 图22示出发光元件2的电压-电流特性;
- [0041] 图23示出发光元件2的发射光谱;
- [0042] 图24示出发光元件2的可靠性;
- [0043] 图25示出表示发光元件3的结构;
- [0044] 图26示出发光元件3的电流密度-亮度特性;
- [0045] 图27示出发光元件3的电压-亮度特性;
- [0046] 图28示出发光元件3的亮度-电流效率特性;
- [0047] 图29示出发光元件3的电压-电流特性;
- [0048] 图30示出发光元件3的发射光谱;
- [0049] 图31A至图31C示出发光元件4至6的结构;

- [0050] 图32示出发光元件4至6的电压-亮度特性；
 [0051] 图33示出发光元件4至6的亮度-电流效率特性；
 [0052] 图34示出发光元件4至6的CIE色度图；
 [0053] 图35示出发光元件4至6的发射光谱。

具体实施方式

[0054] 下面,参照附图说明本发明的实施方式。注意,本发明不局限于以下说明的内容,在不脱离本发明的宗旨及其范围的情况下可以作出各种各样的改变和修改。因此,本发明不应该被解释为仅限定在下面的实施方式的记载中。

[0055] (发光元件中的发光的基本过程)

[0056] 首先,对使用磷光化合物作为客体材料的发光元件中的发光的一般基本过程进行说明。注意,将提供激发能量的分子称为主体分子,将接受激发能量的分子称为客体分子。

[0057] (1)在客体分子中电子和空穴复合,并且,客体分子处于激发态的情况(直接复合过程)。

[0058] (1-1)在客体分子的激发态为三重激发态时,客体分子发射磷光。

[0059] (1-2)在客体分子的激发态为单重激发态时,单重激发态的客体分子通过系间跨越(intersystem crossing)转移到三重激发态而发射磷光。

[0060] 换言之,在(1)的直接复合过程中,只要客体分子的系间跨越效率及磷光量子产率高,就可以获得高发光效率。注意,主体分子的 T_1 能级优选高于客体分子的 T_1 能级。

[0061] (2)在主体分子中电子和空穴复合,并且,主体分子处于激发态的情况(能量转移过程)。

[0062] (2-1)在主体分子的激发态为三重激发态且主体分子的 T_1 能级高于客体分子的 T_1 能级时,激发能量从主体分子转移到客体分子,因此,客体分子成为三重激发态。三重激发态的客体分子发射磷光。注意,除非主体分子发射磷光,否则从主体分子的 T_1 能级到客体分子的单重激发态能级(S_1 能级)的能量转移是禁阻的,不容易成为主要能量转移过程;因此,在此省略其说明。换言之,如下式(2-1)所示的从三重激发态($3H^*$)的主体分子到三重激发态($3G^*$)的客体分子的能量转移是重要的(其中 $1G$ 表示客体分子的单重基态, $1H$ 表示主体分子的单重基态)。

[0063] $3H^* + 1G \rightarrow 1H + 3G^*$ (2-1)

[0064] (2-2)在主体分子的激发态为单重激发态且主体分子的 S_1 能级高于客体分子的 S_1 能级及 T_1 能级的情况下,激发能量从主体分子转移到客体分子,因此,客体分子成为单重激发态或三重激发态。三重激发态的客体分子发射磷光。此外,单重激发态的客体分子通过系间跨越转移到三重激发态,而发射磷光。

[0065] 换言之,有可能存在:如下式(2-2A)所示,能量从单重激发态($1H^*$)的主体分子转移到单重激发态($1G^*$)的客体分子,然后客体分子通过系间跨越成为三重激发态($3G^*$)的过程;以及如下式(2-2B)所示,能量从单重激发态($1H^*$)的主体分子直接转移到三重激发态($3G^*$)的客体分子的过程。

[0066] $1H^* + 1G \rightarrow 1H + 1G^* \rightarrow (\text{系间跨越}) \rightarrow 1H + 3G^*$ (2-2A)

[0067] $1H^* + 1G \rightarrow 1H + 3G^*$ (2-2B)。

[0068] 当上述(2)中的所有能量转移过程高效地产生时,主体分子的三重激发态能及单重激发态能两者高效地转换为客体分子的三重激发态($3G^*$)。因此,可以实现高效率的发光。与此相反,在主体分子的激发能量转移到客体分子之前,当主体分子本身由于发射该激发能量作为光或热而失活时,发光效率降低。

[0069] 接着,对控制上述主体分子和客体分子之间的分子间能量转移过程的因素进行说明。作为分子间能量转移机理,提出了以下两个机理。

[0070] 一个机理是福斯特(Förster)机理(偶极-偶极相互作用),其中能量转移不需要分子间的直接接触,并通过主体分子和客体分子间的偶极振荡的共振现象来转移能量。通过偶极振荡的共振现象,主体分子给客体分子供应能量,由此,主体分子成为基态,且客体分子成为激发态。注意,以式(1)示出福斯特机理的速率常数 $k_{h^* \rightarrow g}$ 。

[0071] [式1]

$$[0072] \quad k_{h^* \rightarrow g} = \frac{9000 c^4 K^2 \phi \ln 10}{128 \pi^5 n^4 N \tau R^6} \int \frac{f'_h(\nu) \epsilon'_g(\nu)}{\nu^4} d\nu \quad (1)$$

[0073] 在式(1)中, ν 表示频率, $f'_h(\nu)$ 表示主体分子的被归一化的发射光谱(从单重激发态的能量转移中的荧光光谱,和从三重激发态的能量转移中的磷光光谱), $\epsilon'_g(\nu)$ 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 表示发光量子产率(从单重激发态的能量转移中的荧光量子产率,和从三重激发态的能量转移中的磷光量子产率), 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)。注意,在无规取向中 $K^2=2/3$ 。

[0074] 另一机理是德克斯特(Dexter)机理(电子交换相互作用),其中主体分子和客体分子接近于它们的轨道重叠的接触有效范围,并且激发态的主体分子和基态的客体分子交换它们的电子,导致能量转移。注意,以式(2)示出德克斯特机理的速率常数 $k_{h^* \rightarrow g}$ 。

[0075] [式2]

$$[0076] \quad k_{h^* \rightarrow g} = \left(\frac{2\pi}{h} \right) K'^2 \exp\left(-\frac{2R}{L} \right) \int f'_h(\nu) \epsilon'_g(\nu) d\nu \quad (2)$$

[0077] 在式(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 表示频率, $f'_h(\nu)$ 表示主体分子的被归一化的发射光谱(从单重激发态的能量转移中的荧光光谱,和从三重激发态的能量转移中的磷光光谱), $\epsilon'_g(\nu)$ 表示客体分子的被归一化的吸收光谱, 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。

[0078] 在此,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})被认为以式(3)表示。在式中, k_f 表示主体分子的发光过程(从单重激发态的能量转移中的荧光,和从三重激发态的能量转移中的磷光)的速率常数, k_n 表示主体分子的非发光过程(热失活或系间跨越)的速率常数, τ 表示所检测出的主体分子的激发态的寿命。

[0079] [式3]

$$[0080] \quad \Phi_{ET} = \frac{k_{h^* \rightarrow g}}{k_r + k_n + k_{h^* \rightarrow g}} = \frac{k_{h^* \rightarrow g}}{\left(\frac{1}{\tau}\right) + k_{h^* \rightarrow g}} \quad (3)$$

[0081] 根据式(3),可知通过增大能量转移的速率常数 $k_{h^* \rightarrow g}$,可以提高能量转移效率 Φ_{ET} ,由此,其他竞争的速率常数 $k_r + k_n (=1/\tau)$ 相对变小。

[0082] ((2-1)中的能量转移效率)

[0083] 在此,首先,考虑(2-1)中的能量转移过程。在此情况下,福斯特机理(式(1))是禁阻的,只需考虑德克斯特机理(式(2))。根据式(2),为了增大速率常数 $k_{h^* \rightarrow g}$,优选的是,主体分子的发射光谱(在此,由于讨论从三重激发态的能量转移,所以是磷光光谱)与客体分子的吸收光谱(相当于从单重基态到三重激发态的直接跃迁的吸收)大幅度重叠。

[0084] 在本发明的一个方式中,使用磷光化合物作为客体材料。在磷光化合物的吸收光谱中,有时观察到相当于从单重基态到三重激发态的直接跃迁的吸收,这是最长波长一侧的吸收带。尤其是,发光铈配合物在500nm至600nm附近具有宽吸收带(当然,该宽吸收带有可能根据发射光谱位于更短或更长波长一侧)作为最长波长一侧的吸收带。该吸收带主要基于三重MLCT(金属到配体的电荷转移: Metal to Ligand Charge Transfer)跃迁。注意,认为该吸收带还包括基于三重 $\pi-\pi^*$ 跃迁及单重MLCT跃迁的吸收,这些吸收彼此重叠而形成吸收光谱中的最长波长一侧的宽吸收带。换言之,最低单重激发态与最低三重激发态之间的差异小,基于这些激发态的吸收彼此重叠而形成吸收光谱的最长波长一侧的宽吸收带。因此,在使用有机金属配合物(尤其是铈配合物)作为客体材料时,如上所述那样,最长波长一侧的宽吸收带与主体材料的磷光光谱大幅度重叠,由此可以增大速率常数 $k_{h^* \rightarrow g}$,并可以提高能量转移效率。

[0085] 再者,荧光化合物一般被用作主体材料;因此,磷光寿命(τ)非常长,为毫秒或更长(即, $k_r + k_n$ 小)。这是因为从三重激发态到基态(单重)的跃迁是禁阻跃迁的缘故。式(3)示出这有利于能量转移效率 Φ_{ET} 。

[0086] 上述内容还表示,只要主体材料的磷光光谱与相当于客体材料的从单重基态到三重激发态的直接跃迁的吸收光谱重叠,通常容易发生从三重激发态的主体材料到三重激发态的客体材料的能量转移,即,式(2-1)的过程。

[0087] ((2-2)中的能量转移效率)

[0088] 接着,考虑(2-2)中的能量转移过程。式(2-2A)的过程受到客体材料的系间跨越效率的影响。因此,为了使发光效率最大化,式(2-2B)的过程被认为是重要的。在此情况下,由于德克斯特机理(式(2))是禁阻的,只需考虑福斯特机理(式(1))。

[0089] 当从式(1)和式(3)消掉 τ 时,可以说,当量子产率 Φ (在此,由于讨论从单重激发态的能量转移,所以是荧光量子产率)更高时,能量转移效率 Φ_{ET} 也更高。但是,在实际上,更重要的因素是,主体分子的发射光谱(在此,由于讨论从单重激发态的能量转移,所以是荧光光谱)和客体分子的吸收光谱(相当于从单重基态到三重激发态的直接跃迁的吸收)大幅度重叠(注意,优选的是,客体分子的摩尔吸光系数也高)。这意味着主体材料的荧光光谱和用作客体材料的磷光化合物的位于最长波长一侧的吸收带重叠。

[0090] 然而,以往实现上述情况是非常困难的。这是因为:为了能够高效地发生上述过程

(2-1)和(2-2)两者,从上述讨论可知,主体材料需要被设计为不仅具有与客体材料的最长波长一侧的吸收带重叠的磷光光谱,而且具有与客体材料的最长波长一侧的吸收带重叠的荧光光谱。换言之,主体材料需要被设计为其荧光光谱位于与磷光光谱大致相同的位置。

[0091] 但是,一般而言, S_1 能级与 T_1 能级大不相同(S_1 能级 $>$ T_1 能级);因此,荧光发射光谱也与磷光发射光谱大不相同(荧光发射光谱 $<$ 磷光发射光谱)。例如,通常在包含磷光化合物的发光元件中用作主体材料的4,4'-二(N-咔唑基)联苯(简称:CBP)在500nm附近具有磷光光谱,而在400nm附近具有荧光光谱,有大约为100nm的很大差异。这个例子也示出,主体材料被设计为其荧光光谱位于与磷光光谱大致相同的位置是极为困难的。因此,提高从单重激发态的主体材料到客体材料的能量转移效率是非常重要的。

[0092] 因此,本发明的一个方式提供能够克服这种从单重激发态的主体材料到客体材料的能量转移效率的问题的有用技术。其具体方式将在下面说明。

[0093] 实施方式1

[0094] 在本实施方式中,对本发明的一个方式中的发光元件的结构概念及发光元件的具体结构进行说明。注意,本发明的一个方式中的发光元件被形成,使得包括发光层的EL层设置在一对电极之间,该发光层具有叠层结构,该叠层结构包括:至少包含第一磷光化合物(客体材料)、具有电子传输性的第一有机化合物(主体材料)以及具有空穴传输性的第二有机化合物(辅助材料)的第一发光层;以及至少包含第二磷光化合物(客体材料)以及具有电子传输性的第一有机化合物(主体材料)的第二发光层。

[0095] 首先,参照图1A对本发明的一个例子的发光元件的元件结构进行说明。

[0096] 在图1A所示的元件结构中,包括发光层106的EL层103设置在一对电极(阳极101及阴极102)之间,并且EL层103具有在阳极101上依次层叠有空穴注入层104、空穴传输层105、发光层106(106a及106b)、电子传输层107以及电子注入层108等的结构。

[0097] 如图1A所示那样,本发明的一个方式中的发光层106具有如下结构,其中层叠有:至少包含第一磷光化合物(客体材料)109a、具有电子传输性的第一有机化合物(主体材料)110和具有空穴传输性的第二有机化合物(辅助材料)111的第一发光层106a;以及至少包含第二磷光化合物(客体材料)109b以及具有电子传输性的第一有机化合物(主体材料)110的第二发光层106b。作为第一有机化合物110主要使用具有 10^{-6} cm²/Vs或更高的电子迁移率的电子传输材料,作为第二有机化合物111主要使用具有 10^{-6} cm²/Vs或更高的空穴迁移率的空穴传输材料。在本说明书中,将第一有机化合物110称为主体材料,将第二有机化合物111称为辅助材料。

[0098] 一特征是,在第一发光层106a中,第一有机化合物(主体材料)110和第二有机化合物(辅助材料)111的组合形成激基复合物(exciplex;也称为激发复合物:excited complex)。另外,与第一有机化合物(主体材料)110和第二有机化合物(辅助材料)111各自的发射波长(荧光波长)相比,所形成的激基复合物的发射波长位于更长波长一侧。因此,第一有机化合物(主体材料)110的荧光光谱及第二有机化合物(辅助材料)111的荧光光谱可以变换为位于更长波长一侧的发射光谱。

[0099] 注意,在上述结构中,优选的是,第一有机化合物(主体材料)110及第二有机化合物(辅助材料)111各自的三重激发态能级(T_1 能级)高于第一磷光化合物(客体材料)109a的 T_1 能级。这是因为,当第一有机化合物110(或第二有机化合物111)的 T_1 能级低于第一磷光化

合物(客体材料)109a的 T_1 能级时,有助于发光的第一磷光化合物(客体材料)109a的三重激发态能被第一有机化合物110(或第二有机化合物111)猝灭(quench)而导致发光效率的降低。

[0100] 再者,在包括在发光层106中的第一发光层106a中,第一有机化合物(主体材料)110或第二有机化合物(辅助材料)111可以较高比例含有,并且,本发明在其范围内包括两者的情况。

[0101] 注意,在上述结构中,当发光层106(第一发光层106a和第二发光层106b)中用作空穴传输材料的第二有机化合物(辅助材料)111相对于激基复合物的形成的比例太高时,载流子(空穴)容易穿过发光层106,导致复合效率的降低。但是,当采用图1A所示的本发明的一个方式的结构时,可以使穿过第一发光层106a的载流子(空穴)有助于第二发光层106b中的激子的形成。其结果,发光元件可具有高发光效率,并可以防止由载流子密度的局部增高导致的发光元件的劣化。

[0102] 如上所述,由于激基复合物的形成,可以将第一有机化合物(主体材料)110的荧光光谱和第二有机化合物(辅助材料)111的荧光光谱转换为位于更长波长一侧的发射光谱。这意味着,如图1B所示,即使与第一磷光化合物(客体材料)109a的位于最长波长一侧的吸收带相比,第一有机化合物110(或第二有机化合物111)的荧光光谱位于更短波长一侧,并不与第一磷光化合物(客体材料)109a的位于最长波长一侧的吸收带重叠,激基复合物的发射光谱与吸收带之间也可以大幅重叠。由此,可以提高式(2-2B)中的能量转移效率。

[0103] 再者,激基复合物被认为具有极小的单重激发态能与三重激发态能之间的差异。换言之,激基复合物的从单重态的发射光谱与其从三重态的发射光谱极为接近。因此,如上所述那样,在使激基复合物的发射光谱(一般来说,激基复合物的从单重态的发射光谱)与第一磷光化合物(客体材料)的位于最长波长一侧的吸收带重叠的设计实现时,激基复合物的从三重态的发射光谱(在常温下观察不到,并在很多情况下即使在低温下也观察不到)也与第一磷光化合物(客体材料)的位于最长波长一侧的吸收带重叠。换言之,不但从单重激发态的能量转移((2-2))的效率得到提高,而且从三重激发态的能量转移((2-1))的效率也得到提高,其结果,从单重及三重激发态两者的能量可以高效地转换为发光。

[0104] 因此,如下述那样进行分子轨道计算,检查激基复合物实际上是否具有上述特性。一般而言,杂芳族化合物和芳族胺的组合经常受到比芳族胺的最低未占据分子轨道(LUMO: Lowest Unoccupied Molecular Orbital)能级深的杂芳族化合物的LUMO能级(容易接受电子的性质)和比杂芳族化合物的最高占据分子轨道(HOMO: Highest Occupied Molecular Orbital)能级浅的芳族胺的HOMO能级(容易接受空穴的性质)的影响而形成激基复合物。从而,使用为形成杂芳族化合物的LUMO的典型骨架且为本发明的一个方式中的第一有机化合物110的模型的二苯并[f,h]喹啉(简称:DBq)、以及为形成芳族胺的HOMO的典型骨架且为本发明的一个方式中的第二有机化合物111的模型的三苯胺(简称:TPA)来进行计算。

[0105] 首先,使用时间依赖密度泛函理论(TD-DFT)计算出DBq(简称)的一个分子和TPA(简称)的一个分子在最低单重激发态(S_1)和最低三重激发态(T_1)中的最佳分子结构及激发能量。再者,还计算出DBq(简称)和TPA(简称)的二聚体的激发能量。

[0106] 在DFT(密度泛函理论)中,以电势能、电子间静电能、电子的运动能及包括所有的电子间的复杂互相作用的交换相关能的总和表示总能量。在DFT中,还通过使用以电子密度

表示的单电子势的泛函(另一函数的函数)来近似表示交换相关作用,来实现速度快且精度高的计算。在此,杂化泛函B3LYP用来规定涉及交换相关能的各参数的权重。

[0107] 此外,作为基底函数,将6-311(对每个价轨道使用三个收缩函数(contraction function)的三重分裂价层(triple split valence)基底组的基底函数)应用于所有原子上。

[0108] 通过上述基底函数,例如,在氢原子的情况下,考虑1s至3s的轨道,而在碳原子的情况下,考虑1s至4s及2p至4p的轨道。再者,为了提高计算精度,作为极化基底组,对氢原子及氢原子以外的原子分别加上p函数及d函数。

[0109] 注意,Gaussian09用作量子化学计算程序。高性能计算机(Altix4700,由SGI Japan,Ltd.制造)用来计算。

[0110] 首先,算出DBq(简称)的一个分子、TPA(简称)的一个分子及DBq(简称)和TPA(简称)的二聚体的HOMO能级及LUMO能级。图2示出HOMO能级及LUMO能级,并且图3A1、3A2、3B1、3B2、3C1及3C2示出HOMO及LUMO分布。

[0111] 图3A1示出DBq(简称)的一个分子的LUMO分布;图3A2示出DBq(简称)的一个分子的HOMO分布;图3B1示出TPA(简称)的一个分子的LUMO分布;图3B2示出TPA(简称)的一个分子的HOMO分布;图3C1示出DBq(简称)和TPA(简称)的二聚体的LUMO分布;图3C2示出DBq(简称)和TPA(简称)的二聚体的HOMO分布。

[0112] 如图2所示,提示DBq(简称)和TPA(简称)的二聚体受到比TPA(简称)的LUMO能级深(低)的DBq(简称)的LUMO能级(-1.99eV)和比DBq(简称)的HOMO能级浅(高)的TPA(简称)的HOMO能级(-5.21eV)的影响而形成DBq(简称)和TPA(简称)的激基复合物。实际上,从图3C1和3C2可见,DBq(简称)和TPA(简称)的二聚体的LUMO分布在DBq(简称)一侧,而其HOMO分布在TPA(简称)一侧。

[0113] 接着,示出从DBq(简称)的一个分子的S₁和T₁能级下的最佳分子结构获得的激发能量。在此,S₁和T₁能级下的激发能量分别相当于从DBq(简称)的一个分子获得的荧光和磷光的波长。DBq(简称)的一个分子的S₁能级下的激发能量为3.294eV,荧光波长为376.4nm。DBq(简称)的一个分子的T₁能级的激发能量为2.460eV,磷光波长为504.1nm。

[0114] 另外,示出从TPA(简称)的一个分子的S₁和T₁能级下的最佳分子结构获得的激发能量。在此,S₁和T₁能级下的激发能量分别相当于从TPA(简称)的一个分子获得的荧光和磷光的波长。TPA(简称)的一个分子的S₁能级下的激发能量为3.508eV,荧光波长为353.4nm。TPA(简称)的一个分子的T₁能级下的激发能量为2.610eV,磷光波长为474.7nm。

[0115] 再者,示出从DBq(简称)和TPA(简称)的二聚体的S₁和T₁能级下的最佳分子结构获得的激发能量。S₁和T₁能级下的激发能量分别相当于从DBq(简称)和TPA(简称)的二聚体获得的荧光和磷光的波长。DBq(简称)和TPA(简称)的二聚体的S₁能级下的激发能量为2.036eV,荧光波长为609.1nm。DBq(简称)和TPA(简称)的二聚体的T₁能级下的激发能量为2.030eV,磷光波长为610.0nm。

[0116] 从上述内容可知,DBq(简称)的一个分子和TPA(简称)的一个分子各自的磷光波长向较长波长一侧位移100nm左右。该结果表示与上述CBP(简称)(测量值)类似的倾向,并支持计算的有效性。

[0117] 另一方面,可知,DBq(简称)和TPA(简称)的二聚体的荧光波长,与DBq(简称)的一

个分子和TPA(简称)的一个分子的荧光波长相比,位于较长波长一侧。还可知,DBq(简称)和TPA(简称)的二聚体的荧光波长和磷光波长的差异只为0.9nm,这些波长基本相等。

[0118] 上述结果表明激基复合物可以将单重激发态能和三重激发态能集成为大致相同的能量。因此表明,如上所述,激基复合物可以高效地将能量从单重态及三重态两者转移到磷光化合物。

[0119] 以上述方式,本发明的一个方式中的发光元件通过利用形成在发光层中的激基复合物的发射光谱与第一磷光化合物(客体材料)的吸收光谱之间的重叠来转移能量,由此具有高能量转移效率。因此,该发光元件可以实现高外部量子效率。

[0120] 此外,激基复合物只在激发态下存在,由此没有能够吸收能量的基态。因此,在原理上认为不发生通过从单重激发态及三重激发态的第一磷光化合物(客体材料)到激基复合物的能量转移,在发光之前第一磷光化合物(客体材料)失活(即,发光效率降低)的现象。这也有助于外部量子效率的提高。

[0121] 注意,上述激基复合物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比较深的LUMO能级的材料和具有比较浅的HOMO能级的材料之间容易形成。

[0122] 激基复合物的发射光谱依赖于HOMO能级与LUMO能级之间的能量差。作为一般的倾向,在能量差大时发射波长短,而在能量差小时发射波长长。

[0123] 因此,本实施方式中的第一有机化合物(主体材料)110与第二有机化合物(辅助材料)111的HOMO能级及LUMO能级彼此不同。具体而言,能级的大小关系为如下:第一有机化合物110的HOMO能级<第二有机化合物111的HOMO能级<第一有机化合物110的LUMO能级<第二有机化合物111的LUMO能级(参照图4)。

[0124] 在使用这两个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(主体材料)110和第二有机化合物(辅助材料)111(参照图4)。因此,激基复合物的能量差比第一有机化合物(主体材料)110的能量差及第二有机化合物(辅助材料)111的能量差小。换言之,激基复合物的发射波长长于第一有机化合物(主体材料)110及第二有机化合物(辅助材料)111的发射波长。

[0125] 注意,本发明的一个方式中的激基复合物的形成过程可以是下述两个过程中的任一个。

[0126] 一个形成过程是,由具有载流子(阳离子或阴离子)的第一有机化合物(主体材料)及第二有机化合物(辅助材料)形成激基复合物。

[0127] 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材料转移到客体材料,由此,客体材料成为激发态,而发光。在激发能量从主体材料转移到客体材料之前,主体材料本身发光或激发能量转换为热能量,这导致激发能量的部分失活。尤其是,在主体材料处于单重激发态时,如(2-2)所述,不容易发生能量转移。这种激发能量的失活是导致发光元件的寿命降低的原因之一。

[0128] 但是,在本发明的一个方式中,由具有载流子(阳离子或阴离子)的第一有机化合物(主体材料)及第二有机化合物(辅助材料)形成激基复合物;因此,可以抑制第一有机化合物(主体材料)的单重态激子的形成。换言之,可能存在直接形成激基复合物而不形成单重态激子的过程。由此,可以抑制单重激发态能的失活。因此,可以获得寿命长的发光元件。

[0129] 例如,在第一有机化合物110为电子传输材料中的具有容易俘获电子(载流子)的

性质(LUMO能级深)的电子俘获化合物,且第二有机化合物111为空穴传输材料中的具有容易俘获空穴(载流子)的性质(HOMO能级浅)的空穴俘获化合物的情况下,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。通过这种过程形成的激基复合物特别被称为电致激基复合物(electroplex)。以上述方式,通过抑制第一有机化合物(主体材料)的单重激发态的产生,和将能量从电致激基复合物转移到磷光化合物(客体材料),可以得到具有高发光效率的发光元件。注意,在此情况下,同样地抑制第一有机化合物(主体材料)的三重激发态的产生,直接形成激基复合物;由此,能量转移被认为从激基复合物向第一磷光化合物(客体材料)发生。

[0130] 另一形成过程是基本过程,其中,第一和第二有机化合物(主体和辅助材料)中的一个形成单重态激子,然后,与基态的另一个相互作用而形成激基复合物。与电致激基复合物不同,在此情况下暂时生成第一有机化合物(主体材料)或第二有机化合物(辅助材料)的单重激发态,但是该单重激发态迅速地变换为激基复合物,由此,可以抑制单重激发态能的失活。因此,可以抑制第一有机化合物(主体材料)或第二有机化合物(辅助材料)的激发能量的失活。注意,在此情况下,可认为主体材料的三重激发态同样地迅速转换为激基复合物,并且能量从激基复合物转移到磷光化合物(客体材料)。

[0131] 注意,在第一有机化合物(主体材料)为电子俘获化合物,第二有机化合物(辅助材料)为空穴俘获化合物,且这些化合物的HOMO能级之间的差异及LUMO能级之间的差异大(具体而言,0.3eV或更大)的情况下,电子选择性地注入第一有机化合物(主体材料),并且空穴选择性地注入第二有机化合物(辅助材料)。在此情况下,可认为形成电致激基复合物的过程优先于经过单重态激子形成激基复合物的过程。

[0132] 为了使激基复合物的发射光谱与第一磷光化合物(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与吸收光谱中最低能量一侧的吸收带的峰值的能量之间的差异优选为0.3eV或更小。该差异更优选为0.2eV或更小,进一步优选为0.1eV或更小。

[0133] 在本发明的一个方式的发光元件中,还优选激基复合物的激发能量充分地转移到第一磷光化合物(客体材料),且实质上观察不到来自激基复合物的发光。因此,能量优选通过激基复合物转移到第一磷光化合物(客体材料),使得第一磷光化合物(客体材料)发射磷光。注意,第一磷光化合物(客体材料)优选为有机金属配合物。

[0134] 当在本发明的一个方式的发光元件中的第一发光层106a中使用磷光化合物作为第一有机化合物(主体材料)时,第一有机化合物(主体材料)本身容易发光,并且不容易允许能量转移到磷光化合物(客体材料)。在此情况下,第一有机化合物若能高效地发光是有利的,但是由于第一有机化合物(主体材料)(注意,对第二有机化合物(辅助材料)也同样)引起浓度猝灭的问题,所以难以实现高发光效率。因此,优选的是第一有机化合物(主体材料)及第二有机化合物(辅助材料)中至少其一为荧光化合物(即,容易产生从单重激发态的发光或热失活的化合物)且激基复合物被用作能量转移的介质。

[0135] 注意,本实施方式所示的结构可以与其他实施方式所示的任何结构适当地组合。

[0136] 实施方式2

[0137] 在本实施方式中,参照图5对本发明的一个方式的发光元件的例子进行说明。

[0138] 在本实施方式所示的发光元件中,如图5所示,包括发光层206的EL层203设置在一对电极(第一电极(阳极)201和第二电极(阴极)202)之间,该EL层203除了具有第一发光层

206a和第二发光层206b的叠层结构的发光层206之外,还包括空穴注入层204、空穴传输层205、电子传输层207、电子注入层208等。

[0139] 注意,本实施方式所示的发光层206具有包括第一发光层206a和第二发光层206b的叠层结构。在发光层206中,第一发光层206a包括第一磷光化合物(客体材料)209a、具有电子传输性的第一有机化合物(主体材料)210以及具有空穴传输性的第二有机化合物(辅助材料)211,第二发光层206b包括第二磷光化合物(客体材料)209b以及具有电子传输性的第一有机化合物(主体材料)210。

[0140] 当采用在发光层206(第一发光层206a及第二发光层206b)中磷光化合物(第一磷光化合物209a和第二磷光化合物209b)分散在第一有机化合物(主体材料)210和第二有机化合物(辅助材料)211中的任一或两者中的结构时,可以抑制发光层206的结晶化。此外,可以抑制因磷光化合物的高浓度导致的浓度猝灭,由此该发光元件可以具有更高的发光效率。

[0141] 优选的是,第一有机化合物210及第二有机化合物211的每一个的三重激发态的能级(T_1 能级)高于第一磷光化合物209a的 T_1 能级。这是因为,当第一有机化合物210(或第二有机化合物211)的 T_1 能级低于第一磷光化合物209a的 T_1 能级时,有助于发光的第一磷光化合物209a的三重激发态能被第一有机化合物210(或第二有机化合物211)猝灭,由此发光效率降低。

[0142] 在本实施方式的发光层206的第一发光层206a中,当从各个电极注入的载流子(电子和空穴)复合时,第一有机化合物210和第二有机化合物211形成激基复合物。由此,第一发光层206a中的第一有机化合物210的荧光光谱及第二有机化合物211的荧光光谱可以转换为位于更长波长一侧的激基复合物的发射光谱。由此,为了使从单重激发态的能量转移最大化,以激基复合物的发射光谱与第一磷光化合物209a的吸收光谱大幅度重叠的方式选择第一有机化合物210和第二有机化合物211。在此,假设在三重激发态的情况下也发生来自激基复合物的能量转移,而不是来自主体材料的能量转移。

[0143] 注意,磷光化合物(第一磷光化合物209a和第二磷光化合物209b)优选为有机金属配合物。优选将电子传输材料用作第一有机化合物(主体材料)210。优选将空穴传输材料用作第二有机化合物(辅助材料)211。

[0144] 注意,上述有机金属配合物的例子包括双[2-(4',6'-二氟苯基)吡啶-N, $C^{2'}$]铱(III)四(1-吡唑基)硼酸盐(简称:FIr6)、双[2-(4',6'-二氟苯基)吡啶-N, $C^{2'}$]铱(III)吡啶甲酸盐(简称:FIrpic)、双[2-(3',5'-双三氟甲基苯基)吡啶-N, $C^{2'}$]铱(III)吡啶甲酸盐(简称:Ir(CF₃ppy)₂(pic))、双[2-(4',6'-二氟苯基)吡啶-N, $C^{2'}$]铱(III)乙酰丙酮化物(简称:FIracac)、三(2-苯基吡啶)铱(III)(简称:Ir(ppy)₃)、双(2-苯基吡啶)铱(III)乙酰丙酮化物(简称:Ir(ppy)₂(acac))、双(苯并[h]喹啉)铱(III)乙酰丙酮化物(简称:Ir(bzq)₂(acac))、双(2,4-二苯基-1,3-噁唑-N, $C^{2'}$)铱(III)乙酰丙酮化物(简称:Ir(dpo)₂(acac))、双{2-[4'-(全氟苯基)苯基]吡啶-N, $C^{2'}$ }铱(III)乙酰丙酮化物(简称:Ir(p-PF-ph)₂(acac))、双(2-苯基苯并噁唑-N, $C^{2'}$)铱(III)乙酰丙酮化物(简称:Ir(bt)₂(acac))、双[2-(2'-苯并[4,5- α]噻吩基)吡啶-N, $C^{3'}$]铱(III)乙酰丙酮化物(简称:Ir(btp)₂(acac))、双(1-苯基异喹啉-N, $C^{2'}$)铱(III)乙酰丙酮化物(简称:Ir(piq)₂(acac))、(乙酰基丙酮)双[2,3-双(4-氟苯基)喹喔啉]铱(III)(简称:Ir(Fdpq)₂(acac))、(乙酰基丙酮)双(2,3,5-三苯基

吡嗪)铱(III)(简称:Ir(tppr)₂(acac))、2,3,7,8,12,13,17,18-八乙基-21H,23H-卟啉铂(II)(简称:PtOEP)、三(乙酰丙酮)(一菲咯啉)铽(III)(简称:Tb(acac)₃(Phen))、三(1,3-二苯基-1,3-丙二酮)(一菲咯啉)铈(III)(简称:Eu(DBM)₃(Phen))、三[1-(2-噻吩甲酰基)-3,3,3-三氟丙酮](一菲咯啉)铈(III)(简称:Eu(TTA)₃(Phen))等。

[0145] 作为上述电子传输材料,优选缺π电子型杂芳族化合物诸如含氮杂芳族化合物,其例子包括喹喔啉衍生物和二苯并喹喔啉衍生物,诸如2-[3-(二苯并噻吩-4-基)苯基]二苯并[f,h]喹喔啉(简称:2mDBTPDBq-II)、2-[3'-(二苯并噻吩-4-基)联苯-3-基]二苯并[f,h]喹喔啉(简称:2mDBTBPDBq-II)、2-[4-(3,6-二苯基-9H-咔唑-9-基)苯基]二苯并[f,h]喹喔啉(简称:2CzPDBq-III)、7-[3-(二苯并噻吩-4-基)苯基]二苯并[f,h]喹喔啉(简称:7mDBTPDBq-II)和6-[3-(二苯并噻吩-4-基)苯基]二苯并[f,h]喹喔啉(简称:6mDBTPDBq-II)。

[0146] 作为上述空穴传输材料,优选使用富π电子型杂芳族化合物(例如,咔唑衍生物或吲哚衍生物)或芳族胺化合物,其例子包括4-苯基-4'-(9-苯基-9H-咔唑-3-基)三苯胺(简称:PCBA1BP)、4,4'-二(1-萘基)-4''-(9-苯基-9H-咔唑-3-基)三苯胺(简称:PCBNBB)、3-[N-(1-萘基)-N-(9-苯基咔唑-3-基)氨基]-9-苯基咔唑(简称:PCzPCN1)、4,4',4''-三[N-(1-萘基)-N-苯基氨基]三苯胺(简称:1'-TNATA)、2,7-双[N-(4-二苯基氨基苯基)-N-苯基氨基]-螺环-9,9'-联苄(简称:DPA2SF)、N,N'-双(9-苯基咔唑-3-基)-N,N'-二苯基苯-1,3-二胺(简称:PCA2B)、N-(9,9-二甲基-2-二苯基氨基-9H-苄-7-基)二苯基胺(简称:DPNF)、N,N',N''-三苯基-N,N',N''-三(9-苯基咔唑-3-基)苯-1,3,5-三胺(简称:PCA3B)、2-[N-(9-苯基咔唑-3-基)-N-苯基氨基]螺环-9,9'-联苄(简称:PCASF)、2-[N-(4-二苯基氨基苯基)-N-苯基氨基]螺环-9,9'-联苄(简称:DPASF)、N,N'-双[4-(咔唑-9-基)苯基]-N,N'-二苯基-9,9-二甲基苄-2,7-二胺(简称:YGA2F)、4,4'-双[N-(3-甲基苯基)-N-苯基氨基]联苯(简称:TPD)、4,4'-双[N-(4-二苯基氨基苯基)-N-苯基氨基]联苯(简称:DPAB)、N-(9,9-二甲基-9H-苄-2-基)-N-{9,9-二甲基-2-[N'-苯基-N'-(9,9-二甲基-9H-苄-2-基)氨基]-9H-苄-7-基}苯基胺(简称:DFLADFL)、3-[N-(9-苯基咔唑-3-基)-N-苯基氨基]-9-苯基咔唑(简称:PCzPCA1)、3-[N-(4-二苯基氨基苯基)-N-苯基氨基]-9-苯基咔唑(简称:PCzDPA1)、3,6-双[N-(4-二苯基氨基苯基)-N-苯基氨基]-9-苯基咔唑(简称:PCzDPA2)、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(简称:DNTPD)、3,6-双[N-(4-二苯基氨基苯基)-N-(1-萘基)氨基]-9-苯基咔唑(简称:PCzTPN2)、3,6-双[N-(9-苯基咔唑-3-基)-N-苯基氨基]-9-苯基咔唑(简称:PCzPCA2)。

[0147] 注意,可以用于上述磷光化合物209、第一有机化合物(主体材料)210及第二有机化合物(辅助材料)211的材料不局限于上述例子。确定组合,以便能够形成激基复合物,激基复合物的发射光谱与第一磷光化合物209a的吸收光谱重叠,并且,激基复合物的发射光谱的峰值具有比第一磷光化合物209a的吸收光谱的峰值更长的波长。

[0148] 在电子传输材料用作第一有机化合物210,且空穴传输材料用作第二有机化合物211的情况下,可以通过化合物的混合比控制载流子平衡。具体而言,第一有机化合物210与第二有机化合物211的比率优选为1:9至9:1。

[0149] 注意,也可以使用呈现热活化的延迟荧光的材料(即热活化型延迟荧光(Thermally Activated Delayed Fluorescence:TADF)材料)代替磷光化合物(第一磷光化

合物209a和第二磷光化合物209b)。在此,“延迟荧光”是指在具有与通常的荧光类似的光谱及极长的寿命的发光。其寿命为 10^{-6} 秒以上,优选为 10^{-3} 秒以上。作为热活化型延迟荧光材料的具体例子,可以举出富勒烯及其衍生物、普鲁黄等的吡啶衍生物以及伊红等。另外,可以举出含金属卟啉,诸如包含镁(Mg)、锌(Zn)、镉(Cd)、锡(Sn)、铂(Pt)、铟(In)或钯(Pd)的卟啉。作为该含金属卟啉,例如,可以使用原卟啉-氟化锡配合物($\text{SnF}_2(\text{Proto IX})$)、中卟啉-氟化锡配合物($\text{SnF}_2(\text{Meso IX})$)、血卟啉-氟化锡配合物($\text{SnF}_2(\text{Hemato IX})$)、粪卟啉四甲酯-氟化锡配合物($\text{SnF}_2(\text{Copro III-4Me})$)、八乙基卟啉-氟化锡配合物($\text{SnF}_2(\text{OEP})$)、初卟啉-氟化锡配合物($\text{SnF}_2(\text{Etio I})$)以及八乙基卟啉-氯化铂配合物($\text{PtCl}_2(\text{OEP})$)等。再者,也可以使用具有富 π 电子型杂芳环和缺 π 电子型杂芳环的杂环化合物,诸如2-(联苯-4-基)-4,6-双(12-苯基吡啶并[2,3- α]咪唑-11-基)-1,3,5-三嗪(PIC-TRZ)等。注意,特别优选使用富 π 电子型杂芳环和缺 π 电子型杂芳环直接键合的材料,因为富 π 电子型杂芳环的给体的性质和缺 π 电子型杂芳环的受体的性质都增加而 S_1 能级与 T_1 能级之间的能量差变小。

[0150] 下面,对制造本实施方式所示的发光元件的具体例子进行说明。

[0151] 第一电极(阳极)201及第二电极(阴极)202可以使用金属、合金、导电化合物及它们的混合物等。具体而言,可以使用氧化铟-氧化锡(ITO:Indium Tin Oxide,氧化铟锡)、包含硅或氧化硅的氧化铟-氧化锡、氧化铟-氧化锌(Indium Zinc Oxide,氧化铟锌)、包含氧化钨及氧化锌的氧化铟、金(Au)、铂(Pt)、镍(Ni)、钨(W)、铬(Cr)、钼(Mo)、铁(Fe)、钴(Co)、铜(Cu)、钯(Pd)或钛(Ti)。此外,可以使用属于元素周期表的第1族或第2族的元素,例如,碱金属诸如锂(Li)或铯(Cs)、碱土金属诸如镁(Mg)、钙(Ca)或锶(Sr)、包含这类元素的合金(例如,MgAg或AlLi)、稀土金属诸如铕(Eu)或镱(Yb)、包含这类元素的合金、石墨烯等。第一电极(阳极)201及第二电极(阴极)202例如可以通过溅射法或蒸镀法(包括真空蒸镀法)等形成。

[0152] 用于空穴注入层204及空穴传输层205的具有高空穴传输性的物质的例子包括芳族胺化合物诸如4,4'-双[N-(1-萘基)-N-苯基氨基]联苯(简称: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(简称:TPD)、4,4',4''-三(咪唑-9-基)三苯胺(简称:TCTA)、4,4',4''-三(N,N-二苯基氨基)三苯胺(简称:TDATA)、4,4',4''-三[N-(3-甲基苯基)-N-苯基氨基]三苯胺(简称:MTDATA)以及4,4'-双[N-(螺环-9,9'-联苄-2-基)-N-苯基氨基]联苯(简称:BSPB)、3-[N-(9-苯基咪唑-3-基)-N-苯基氨基]-9-苯基咪唑(简称:PCzPCA1)、3,6-双[N-(9-苯基咪唑-3-基)-N-苯基氨基]-9-苯基咪唑(简称:PCzPCA2)、3-[N-(1-萘基)-N-(9-苯基咪唑-3-基)氨基]-9-苯基咪唑(简称:PCzPCN1)。其他例子包括咪唑衍生物诸如4,4'-二(N-咪唑基)联苯(简称:CBP)、1,3,5-三[4-(N-咪唑基)苯基]苯(简称:TCPB)、9-[4-(10-苯基-9-蒽基)苯基]-9H-咪唑(简称:CzPA)。在此所述的物质主要是具有 $10^{-6}\text{cm}^2/\text{Vs}$ 或更高的空穴迁移率的物质。注意,除了上述物质之外,也可以使用空穴传输性比电子传输性高的任何物质。

[0153] 其它例子包括高分子化合物诸如聚(N-乙基咪唑)(简称:PVK)、聚(4-乙基三苯胺)(简称:PVTPA)、聚[N-(4-{N'-[4-(4-二苯基氨基)苯基]苯基-N'-苯基氨基}苯基)甲基丙烯酰胺](简称:PTPDMA)、聚[N,N'-双(4-丁基苯基)-N,N'-双(苯基)联苯胺](简称:Poly-TPD)。

[0154] 另外,能够用于空穴注入层204的受体物质的例子包括过渡金属氧化物、属于元素

周期表中第4族至第8族的金属的氧化物等。具体地说,氧化钼是特别优选的。

[0155] 如上所述,在发光层206(206a及206b)中,第一发光层206a至少包含磷光化合物209、第一有机化合物(主体材料)210和第二有机化合物(辅助材料)211,第二发光层206b至少包含磷光化合物209和第一有机化合物(主体材料)210。

[0156] 电子传输层207是包含具有高电子传输性的物质的层。电子传输层207可以使用金属配合物诸如 Alq_3 、三(4-甲基-8-羟基喹啉)铝(简称: $Almq_3$)、双(10-羟基苯并[h]-喹啉)铍(简称: $BeBq_2$)、 $BAlq$ 、 $Zn(BOX)_2$ 或双[2-(2-羟基苯基)-苯并噻唑]锌(简称: $Zn(BTZ)_2$)。或者,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(简称:PBD)、1,3-双[5-(对叔丁基苯基)-1,3,4-噁二唑-2-基]苯(简称:OXD-7)、3-(4-叔丁基苯基)-4-苯基-5-(4-联苯基)-1,2,4-三唑(简称:TAZ)、3-(4-叔丁基苯基)-4-(4-乙基苯基)-5-(4-联苯基)-1,2,4-三唑(简称:p-EtTAZ)、红菲咯啉(简称:BPhen)、浴铜灵(简称:BCP)或4,4'-双(5-甲基苯并噻唑-2-基)均二苯代乙烯(简称:BzOs)。另外,可以使用高分子化合物诸如聚(2,5-吡啶-二基)(简称:PPy)、聚[(9,9-二己基芴-2,7-二基)-共-(吡啶-3,5-二基)](简称:PF-Py)或聚[(9,9-二辛基芴-2,7-二基)-共-(2,2'-联吡啶-6,6'-二基)](简称: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,除了上述物质之外,还可以将电子传输性比空穴传输性高的任何物质用于电子传输层207。

[0157] 电子传输层207不局限于单层,也可以为包括任何上述物质的两层以上的叠层。

[0158] 电子注入层208是包含具有高电子注入性的物质的层。作为可以用于电子注入层208的物质的例子包括碱金属、碱土金属及它们的化合物诸如氟化锂(LiF)、氟化铯(CsF)、氟化钙(CaF_2)及锂氧化物(LiO_x)、以及稀土金属化合物,例如氟化铒(ErF_3)。或者,可以使用上述用来形成电子传输层207的物质。

[0159] 或者,其中混合有机化合物和电子给体(供体)的复合材料也可以用于电子注入层208。这种复合材料,其中电子给体使电子产生在有机化合物中,电子注入性及电子传输性高。在此,有机化合物优选是在传输所产生的电子的方面上优异的材料,具体而言,可以使用任何上述用于电子传输层207的物质(例如,金属配合物和杂芳族化合物)。作为电子给体,可以使用对有机化合物呈现给电子性的物质。具体而言,优选使用碱金属、碱土金属和稀土金属,可以举出锂、铯、镁、钙、钪、镱等。优选使用任何碱金属氧化物和碱土金属氧化物,诸如锂氧化物、钙氧化物、钡氧化物等,也可以使用如氧化镁等路易斯碱或者四硫富瓦烯(简称:TTF)等有机化合物。

[0160] 注意,上述空穴注入层204、空穴传输层205、发光层206(206a及206b)、电子传输层207以及电子注入层208都可以通过如蒸镀法(包括真空蒸镀法)、喷墨法或涂布法的方法形成。

[0161] 在上述发光元件的发光层206中得到的发光经由第一电极201和第二电极202中的任一或两者提取到外部。因此,本实施方式中的第一电极201和第二电极202中的任一或两者为具有透光性的电极。

[0162] 在本实施方式所示的发光元件中,由于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的能量转移而能够提高能量转移效率;因此,该发光元件可以实现高外部量子效率。

[0163] 注意,本实施方式所示的发光元件是本发明的一个方式,尤其是其特征在于发光

层的结构。因此,当采用本实施方式所示的结构时,可以制造无源矩阵型发光装置和有源矩阵型发光装置等。上述发光装置都包括在本发明中。

[0164] 注意,在制造有源矩阵型发光装置的情况下,对TFT的结构没有特别的限制。例如,可以适当地使用交错型TFT或反交错型TFT。此外,形成在TFT衬底上的驱动电路也可以使用n型TFT和p型TFT的任一或两者而形成。并且,对用于TFT的半导体膜的结晶性也没有特别的限制。例如,可以使用非晶半导体膜、结晶半导体膜或氧化物半导体膜等。

[0165] 注意,本实施方式所示的结构可以与其他实施方式所示的任何结构适当地组合。

[0166] 实施方式3

[0167] 在本实施方式中,作为本发明的一个方式,对在多个EL层之间设置有电荷产生层的发光元件(以下,称为串联型(tandem)发光元件)进行说明。

[0168] 本实施方式所示的发光元件是如图6A所示那样的在一对电极(第一电极301和第二电极304)之间具有多个EL层(第一EL层302(1)和第二EL层302(2))的串联型发光元件。

[0169] 在本实施方式中,第一电极301用作阳极,第二电极304用作阴极。注意,第一电极301及第二电极304可以具有与实施方式1类似的结构。此外,多个EL层(第一EL层302(1)和第二EL层302(2))中的全部或任一个也可以具有与实施方式1或2所示的结构类似的结构。换言之,第一EL层302(1)和第二EL层302(2)的结构彼此既可以相同,又可以不同,并且可以与实施方式1或2所示的EL层的结构类似。

[0170] 另外,电荷产生层(I)305设置在多个EL层(第一EL层302(1)和第二EL层302(2))之间。电荷产生层(I)305具有当电压施加在第一电极301和第二电极304之间时,将电子注入一个EL层中,且将空穴注入另一个EL层中的功能。在本实施方式中,当以第一电极301的电位高于第二电极304的电位的方式施加电压时,电荷产生层(I)305将电子注入第一EL层302(1)中,且将空穴注入第二EL层302(2)中。

[0171] 注意,从光提取效率的观点来看,电荷产生层(I)305优选对可见光具有光透射性(具体而言,电荷产生层(I)305优选具有40%或更高的可见光透射性)。另外,电荷产生层(I)305即使在具有小于第一电极301或第二电极304的电导率的情况下也发挥作用。

[0172] 电荷产生层(I)305也可以具有对空穴传输性高的有机化合物添加电子受体(受体)的结构或者对电子传输性高的有机化合物添加电子给体(供体)的结构。或者,也可以层叠这两种结构。

[0173] 在对空穴传输性高的有机化合物添加电子受体的情况下,空穴传输性高的有机化合物的例子包括芳族胺化合物诸如NPB、TPD、TDATA、MTDATA及4,4'-双[N-(螺环-9,9'-联芴-2-基)-N-苯基氨基]联苯(简称:BSPB)等。在此所述的物质主要是具有 $10^{-6}\text{cm}^2/\text{Vs}$ 或更高的空穴迁移率的物质。注意,除了这些物质之外,也可以使用空穴传输性比电子传输性高的任何有机化合物。

[0174] 电子受体的例子包括7,7,8,8-四氰基-2,3,5,6-四氟醌二甲烷(简称:F₄-TCNQ)、氯醌、过渡金属氧化物、属于元素周期表的第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,因为它们具有高受电子性。此中,尤其优选使用氧化钼,因为氧化钼在大气中稳定,具有低吸湿性,并且容易进行处理。

[0175] 另一方面,在对电子传输性高的有机化合物添加电子给体的情况下,可使用的电

子传输性高的有机化合物的例子是具有喹啉骨架或苯并喹啉骨架的金属配合物诸如Alq、Almq₃、BeBq₂及BAIq等。其它例子为具有噁唑基配体或噻唑基配体的金属配合物,诸如Zn(BOX)₂及Zn(BTZ)₂。除了金属配合物之外,可以使用PBD、OXD-7、TAZ、BPhen或BCP等。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,除了这些物质之外,也可以使用电子传输性比空穴传输性高的任何有机化合物。

[0176] 可使用的电子给体的例子是碱金属、碱土金属、稀土金属、属于元素周期表的第13族的金属及它们的氧化物或碳酸盐。具体而言,优选使用锂(Li)、铯(Cs)、镁(Mg)、钙(Ca)、镱(Yb)、铟(In)、氧化锂、碳酸铯等。也可以使用如四硫萘并萘(tetrathianaphthacene)的有机化合物作为电子给体。

[0177] 注意,通过使用任何上述材料形成电荷产生层(I)305,可以抑制因EL层的层叠导致的驱动电压的增大。

[0178] 虽然本实施方式示出具有两个EL层的发光元件,但是,本发明可以同样地应用于如图6B所示的层叠有n个EL层(n是3以上)(302(1)、302(2)···302(n-1)、302(n))的发光元件。如根据本实施方式的发光元件那样,当多个EL层包括在一对电极之间时,通过将电荷产生层(I)(305(1)、305(2)···305(n-2)、305(n-1))设置在EL层之间,可以在保持低电流密度的同时获得高亮度区域中的发光。因为可以保持低电流密度,所以该元件可以具有长寿命。当该发光元件应用于照明时,因为可以减少由电极材料的电阻导致的电压下降,所以可以实现大面积的均匀发光。此外,可以实现以低电压能够驱动且耗电量低的发光装置。

[0179] 此外,通过使EL层的发射颜色互不相同,可以从整个发光元件获得所需颜色的光。例如,在具有两个EL层的发光元件中,通过使第一EL层和第二EL层的发光颜色处于互补,可以使整个发光元件发射白色光。注意,词语“互补”意味着当颜色混合时得到非彩色的颜色关系。也就是说,通过混合其发射颜色为互补色的物质所发射的光,可以得到白色发光。

[0180] 另外,上述内容可应用于具有三个EL层的发光元件。例如,当第一EL层的发光颜色是红色,第二EL层的发光颜色是绿色,第三EL层的发光颜色是蓝色时,整个发光元件可以发射白色光。

[0181] 注意,本实施方式所示的结构可以与其他实施方式所示的任何结构适当地组合。

[0182] 实施方式4

[0183] 在本实施方式中,对本发明的一个方式的发光装置进行说明。

[0184] 本实施方式所示的发光装置具有利用一对电极之间的光共振效应的光学微谐振腔(micro optical resonator)(微腔:microcavity)结构。如图7所示,发光装置具有多个发光元件,该发光元件的每一个在一对电极(反射电极401与半透射·半反射电极402)之间至少具有EL层405。另外,EL层405至少具有各自用作发光区域的发光层404(404R、404G和404B),并还可以包括空穴注入层、空穴传输层、电子传输层、电子注入层、电荷产生层(E)等。注意,发光层404(404R、404G、404B)可以包括实施方式1及实施方式2所说明的本发明的一个方式的发光层的结构。

[0185] 在本实施方式中,将说明如下发光装置:如图7所示的包括具有不同结构的发光元件(第一发光元件(R)410R、第二发光元件(G)410G和第三发光元件(B)410B)的发光装置。

[0186] 第一发光元件(R)410R具有在反射电极401上依次层叠有第一透明导电层403a;在其一部分包括第一发光层(B)404B、第二发光层(G)404G和第三发光层(R)404R的EL层405;

以及半透射·半反射电极402的结构。第二发光元件(G)410G具有在反射电极401上依次层叠有第二透明导电层403b、EL层405以及半透射·半反射电极402的结构。第三发光元件(B)410B具有在反射电极401上依次层叠有EL层405及半透射·半反射电极402的结构。

[0187] 注意,上述发光元件(第一发光元件(R)410R、第二发光元件(G)410G及第三发光元件(B)410B)的反射电极401、EL层405以及半透射·半反射电极402是共同的。第一发光层(B)404B发射在420nm至480nm的波长区域中具有峰值的光(λ_B)。第二发光层(G)404G发射在500nm至550nm的波长区域中具有峰值的光(λ_G)。第三发光层(R)404R发射在600nm至760nm的波长区域中具有峰值的光(λ_R)。由此,在发光元件(第一发光元件(R)410R、第二发光元件(G)410G及第三发光元件(B)410B)的每一个中,从第一发光层(B)404B发射的光、从第二发光层(G)404G发射的光及从第三发光层(R)404R发射的光彼此重叠;因此,可以发射具有覆盖可见光区的宽(broad)发射光谱的光。注意,上述波长满足 $\lambda_B < \lambda_G < \lambda_R$ 的关系。

[0188] 本实施方式所示的发光元件的每一个具有EL层405设置在反射电极401与半透射·半反射电极402之间的结构。从包括在EL层405中的发光层向全方向射出的发光由起光学微谐振腔(微腔)作用的反射电极401和半透射·半反射电极402而共振。注意,反射电极401使用具有反射性的导电材料形成,并且使用可见光反射率为40%至100%,优选为70%至100%,并且电阻率为 $1 \times 10^{-2} \Omega \text{ cm}$ 或更低的膜。另外,半透射·半反射电极402使用具有反射性的导电材料和具有透光性的导电材料形成,并且使用可见光反射率为20%至80%,优选为40%至70%,并且电阻率为 $1 \times 10^{-2} \Omega \text{ cm}$ 或更低的膜。

[0189] 在本实施方式中,分别设置在第一发光元件(R)410R和第二发光元件(G)410G中的透明导电层(第一透明导电层403a及第二透明导电层403b)的厚度彼此不同,由此,使各发光元件的从反射电极401到半透射·半反射电极402的光程彼此不同。换言之,在从各发光元件的发光层发射的具有宽发射光谱的光中,可以加强具有在反射电极401与半透射·半反射电极402之间被共振的波长的光并可以衰减具有在其间不被共振的波长的光。因此,当元件从反射电极401到半透射·半反射电极402的光程彼此不同时,可以提取不同波长的光。

[0190] 注意,光程(也称为光学距离)是由实际上的距离与折射率的积表示,在本实施方式中,由实际上的厚度与n(折射率)的积表示。换言之,光程=实际上的厚度 $\times n$ 。

[0191] 另外,在第一发光元件(R)410R中从反射电极401到半透射·半反射电极402的总厚度设定为 $m\lambda_R/2$ (m是自然数);在第二发光元件(G)410G中从反射电极401到半透射·半反射电极402的总厚度设定为 $m\lambda_G/2$ (m是自然数);在第三发光元件(B)410B中从反射电极401到半透射·半反射电极402的总厚度设定为 $m\lambda_B/2$ (m是自然数)。

[0192] 以此方式,从包括于EL层405中的第三发光层(R)404R发射的光(λ_R)主要从第一发光元件(R)410R中提取,从包括于EL层405中的第二发光层(G)404G发射的光(λ_G)主要从第二发光元件(G)410G中提取,并且从包括于EL层405中的第一发光层(B)404B发射的光(λ_B)主要从第三发光元件(B)410B中提取。注意,从各发光元件提取的光从半透射·半反射电极402一侧射出。

[0193] 另外,严格而言,从反射电极401到半透射·半反射电极402的总厚度可以从反射电极401中的反射区域到半透射·半反射电极402中的反射区域的总厚度。但是,难以准确地确定反射电极401及半透射·半反射电极402中的反射区域的位置;由此,假设将反射

电极401和半透射·半反射电极402中的任何位置设定为反射区域也可以充分地获得上述效果。

[0194] 接着,在第一发光元件(R)410R中,将从反射电极401到第三发光层(R)404R的光程调节为所希望的厚度($(2m'+1)\lambda_R/4$, m' 是自然数);由此,可以放大从第三发光层(R)404R发射的光。从第三发光层(R)404R发射的光中的由反射电极401反射的光(第一反射光)与从第三发光层(R)404R直接入射到半透射·半反射电极402的光(第一入射光)发生干涉。因此,通过将反射电极401到第三发光层(R)404R的光程调节为所希望的值($(2m'+1)\lambda_R/4$, m' 是自然数),第一反射光与第一入射光的相位可以互相匹配,可以放大从第三发光层(R)404R发射的光。

[0195] 注意,严格而言,从反射电极401到第三发光层(R)404R的光程可以从反射电极401中的反射区域到第三发光层(R)404R中的发光区域的光程。但是,难以准确地确定反射电极401中的反射区域及第三发光层(R)404R中的发光区域的位置;由此,假设将反射电极401及第三发光层(R)404R中的任何位置分别设定为反射区域及发光区域也可以充分地获得上述效果。

[0196] 接着,在第二发光元件(G)410G中,将从反射电极401到第二发光层(G)404G的光程调节为所希望的厚度($(2m''+1)\lambda_G/4$, m'' 是自然数);由此,可以放大从第二发光层(G)404G发射的光。从第二发光层(G)404G发射的光中的由反射电极401反射的光(第二反射光)与从第二发光层(G)404G直接入射到半透射·半反射电极402的光(第二入射光)发生干涉。因此,通过将反射电极401到第二发光层(G)404G的光程调节为所希望的值($(2m''+1)\lambda_G/4$, m'' 是自然数),第二反射光与第二入射光的相位可以互相匹配,可以放大从第二发光层(G)404G发射的光。

[0197] 注意,严格而言,从反射电极401到第二发光层(G)404G的光程可以从反射电极401中的反射区域到第二发光层(G)404G中的发光区域的光程。但是,难以准确确定反射电极401中的反射区域及第二发光层(G)404G中的发光区域的位置;由此,假设将反射电极401及第二发光层(G)404G中的任何位置分别设定为反射区域及发光区域也可以充分地获得上述效果。

[0198] 接着,在第三发光元件(B)410B中,将从反射电极401到第一发光层(B)404B的光程调节为所希望的厚度($(2m''' + 1)\lambda_B/4$, m''' 是自然数);由此,可以放大从第一发光层(B)404B发射的光。从第一发光层(B)404B发射的光中的由反射电极401反射的光(第三反射光)与从第一发光层(B)404B直接入射到半透射·半反射电极402的光(第三入射光)发生干涉。因此,通过将反射电极401到第一发光层(B)404B的光程调节为所希望的值($(2m''' + 1)\lambda_B/4$, m''' 是自然数),第三反射光与第三入射光的相位可以互相匹配,可以放大从第一发光层(B)404B发射的光。

[0199] 注意,严格而言,在第三发光元件中的从反射电极401到第一发光层(B)404B的光程可以从反射电极401中的反射区域到第一发光层(B)404B中的发光区域的光程。但是,难以准确确定反射电极401中的反射区域及第一发光层(B)404B中的发光区域的位置;由此,假设将反射电极401及第一发光层(B)404B中的任何位置分别设定为反射区域及发光区域也可以充分地获得上述效果。

[0200] 注意,虽然在上述结构中的发光元件的每一个在EL层中包括多个发光层,但是本

发明不局限于此；例如，可以组合实施方式3所说明的串联型发光元件的结构，此时，多个EL层和夹在该多个EL层之间的电荷产生层设置在一个发光元件中，并且一个或多个发光层形成在各EL层中。

[0201] 本实施方式所示的发光装置具有微腔结构，其中，即使具有相同的EL层，也能够根据发光元件提取不同波长的光，因此不需要形成用于R、G和B颜色的发光元件。因此，由于容易实现高分辨率显示器等的理由，从实现全彩色显示的角度来看上述结构是有利的。注意，也可以与着色层(滤色片)组合。另外，能够增加正面方向的预定波长的发光强度，由此可以降低耗电量。上述结构在应用于包括三种或更多种颜色的像素的彩色显示器(图像显示装置)时特别有效的，但是也可以应用于照明等。

[0202] 实施方式5

[0203] 在本实施方式中，对具有本发明的一个方式的发光元件的发光装置进行说明。

[0204] 上述发光装置可以是无源矩阵型发光装置或有源矩阵型发光装置。注意，其他实施方式所说明的任何发光元件可以应用于本实施方式所示的发光装置。

[0205] 在本实施方式中，参照图8A和图8B对有源矩阵型发光装置进行说明。

[0206] 注意，图8A是示出发光装置的俯视图，图8B是沿着图8A中的点划线A-A'取的截面图。根据本实施方式的有源矩阵型发光装置具有设置在元件衬底501上的像素部502、驱动电路部(源极线驱动电路)503以及驱动电路部(栅极线驱动电路)504(504a及504b)。像素部502、驱动电路部503及驱动电路部504由密封剂505密封在元件衬底501与密封衬底506之间。

[0207] 此外，在元件衬底501上设置有引线507。该引线507设置用来连接外部输入端子，通过该外部输入端子对驱动电路部503及驱动电路部504传输来自外部的信号(例如，视频信号、时钟信号、起始信号或复位信号)或电位。在此示出作为外部输入端子设置柔性印刷电路(FPC)508的例子。虽然只示出FPC，但是该FPC也可以安装有印刷线路板(PWB)。本说明书中的发光装置在其范围内不仅包括发光装置本身，而且还包括安装有FPC或PWB的发光装置。

[0208] 接着，参照图8B说明截面结构。驱动电路部及像素部形成在元件衬底501上；在此示出为源极线驱动电路的驱动电路部503及像素部502。

[0209] 驱动电路部503是形成CMOS电路的例子，其为n沟道型TFT509和p沟道型TFT510的组合。注意，包括在驱动电路部中的电路可以使用任意的各种电路诸如CMOS电路、PMOS电路或NMOS电路形成。虽然在本实施方式中示出驱动电路形成在衬底上的驱动器一体型，但是本发明不局限于该类型，驱动电路也可以形成在衬底的外部。

[0210] 像素部502包括多个像素，该多个像素中的每一个包括开关TFT511、电流控制TFT512及与电流控制TFT512的布线(源电极或漏电极)电连接的第一电极(阳极)513。注意，绝缘物514以覆盖第一电极(阳极)513的端部的方式形成。在本实施方式中，绝缘物514使用正型光敏丙烯酸树脂形成。

[0211] 绝缘物514优选在其上端部或下端部具备具有曲率的曲面，以便获得层叠在绝缘物514上的膜的有利覆盖。例如，在使用正型光敏丙烯酸树脂作为绝缘物514的材料的情况下，绝缘物514优选在上端部具备具有曲率半径(0.2 μm 至3 μm)的曲面。绝缘物514可以使用负型光敏树脂和正型光敏树脂的任一种形成。不局限于有机化合物，可以使用有机化合物

或无机化合物诸如氧化硅或氮化硅。

[0212] EL层515及第二电极(阴极)516层叠在第一电极(阳极)513上。在EL层515中,至少设置有发光层。该发光层具有如实施方式1所示的叠层结构。另外,在EL层515中,除了发光层之外,可以适当地设置空穴注入层、空穴传输层、电子传输层、电子注入层、电荷产生层等。

[0213] 包括第一电极(阳极)513、EL层515及第二电极(阴极)516的叠层结构形成发光元件517。第一电极(阳极)513、EL层515及第二电极(阴极)516可以使用实施方式2所示的材料。虽然未图示,但是第二电极(阴极)516与外部输入端子的FPC508电连接。

[0214] 虽然在图8B中的截面图仅示出一个发光元件517,但是在像素部502中多个发光元件被配置为矩阵状。提供三种发光(R、G和B)的发光元件选择性地形成在像素部502中,由此,可以制造能够进行全彩色显示的发光装置。或者,也可以通过与着色层(滤色片)组合来制造能够进行全彩色显示的发光装置。

[0215] 再者,密封衬底506与元件衬底501由密封剂505连接,由此发光元件517设置在由元件衬底501、密封衬底506及密封剂505围绕的空间518中。空间518也可以填充有惰性气体(如氮或氩)或密封剂505。

[0216] 优选使用环氧类树脂或低熔点玻璃作为密封剂505。优选的是,这类材料尽量不使水分或氧透过。作为密封衬底506,可以使用玻璃衬底、石英衬底或者由玻璃纤维增强塑料(Fiberglass-Reinforced Plastics:FRP)、聚氟乙烯(PVF)、聚酯或丙烯酸树脂等形成的塑料衬底。

[0217] 如上所述,可以得到有源矩阵型的发光装置。

[0218] 注意,本实施方式所示的结构可以与其他实施方式所示的任何结构适当地组合。

[0219] 实施方式6

[0220] 在本实施方式中,参照图9A至9D及图10A至10C对使用发光装置而完成的各种各样的电子设备的例子进行说明。该发光装置使用本发明的一个方式的发光元件来制造。

[0221] 应用发光装置的电子设备的例子是电视装置(也称为电视(TV)或电视接收机)、用于计算机等的监视器、影像拍摄装置诸如数码相机及数码摄像机、数码相框、移动电话机(也称为移动电话装置)、便携式游戏机、便携式信息终端、音频重放装置、如弹珠机等的大型游戏机等。图9A至图9D示出这些电子设备的具体例子。

[0222] 图9A示出电视装置的例子。在电视装置7100中,显示部7103组装在外壳7101中。显示部7103能够显示图像,可以将发光装置用于显示部7103。此外,在此,外壳7101由支架7105支撑。

[0223] 电视装置7100可以使用设置在外壳7101中的操作开关或分开的遥控器7110而操作。通过使用遥控器7110的操作键7109,可以控制频道及音量,并可以控制在显示部7103上显示的图像。此外,遥控器7110也可以设有用来显示从该遥控器7110输出的信息的显示部7107。

[0224] 注意,电视装置7100具备接收机及调制解调器等。通过使用接收机,能够接收一般的电视广播。再者,当电视装置7100通过调制解调器以有线或无线的方式连接到通信网络时,可以进行单向(从发送者到接收者)或双向(发送者和接收者之间或接收者之间等)数据通信。

[0225] 图9B示出计算机,该计算机包括主体7201、外壳7202、显示部7203、键盘7204、外部连接端口7205、点击装置(pointing device)7206等。注意,该计算机将发光装置用于显示部7203而制造。

[0226] 图9C示出便携式游戏机,该便携式游戏机包括两个外壳,即,外壳7301和外壳7302,该两个外壳通过接合部7303彼此连接,使得便携式游戏机可以开闭。显示部7304组装在外壳7301中,而显示部7305组装在外壳7302中。此外,图9C所示的便携式游戏机包括扬声器部7306、记录介质插入部7307、LED灯7308、输入单元(操作键7309、连接端子7310、传感器7311(具有测定力、位移、位置、速度、加速度、角速度、转动频率、距离、光、液、磁、温度、化学物质、声音、时间、硬度、电场、电流、电压、电力、辐射线、流率、湿度、梯度、振动、气味或红外线的功能的传感器)以及麦克风7312)等。当然,便携式游戏机的结构不局限于上述结构,只要发光装置用于显示部7304或显示部7305的至少其一或两者中,并且可以适当地包括其他辅助设备。图9C所示的便携式游戏机具有读出储存在储存介质中的程序或数据以将其显示在显示部上的功能、以及通过无线通信与其他便携式游戏机共享信息的功能。注意,图9C所示的便携式游戏机所具有的功能不局限于上述这些功能,可以具有各种各样的功能。

[0227] 图9D示出移动电话机的例子。移动电话机7400设置有组装在外壳7401中的显示部7402、操作按钮7403、外部连接端口7404、扬声器7405、麦克风7406等。注意,移动电话机7400将发光装置用于显示部7402而制造。

[0228] 当用手指等触摸图9D所示的移动电话机7400的显示部7402时,可以将数据输入该移动电话机7400。此外,可以通过用手指等触摸显示部7402来进行如打电话及制作电子邮件的操作。

[0229] 显示部7402主要有三种屏幕模式。第一模式是以图像显示为主的显示模式。第二模式是以如文字等信息输入为主的输入模式。第三模式是混合显示模式与输入模式这两个模式的显示及输入模式。

[0230] 例如,在打电话或制作电子邮件的情况下,将显示部7402选定为以文字输入为主的文字输入模式,使得可以输入显示在屏幕上的文字。在此情况下,优选的是,在显示部7402的几乎整个屏幕上显示键盘或号码按钮。

[0231] 当具有如陀螺仪和加速度传感器等检测倾斜度的传感器的检测装置设置在移动电话机7400内部时,通过判断移动电话机7400的朝向,可以自动更换显示部7402的屏幕上的显示(根据移动电话机被水平或垂直放置而决定横屏模式(landscape mode)或竖屏模式(portrait mode))。

[0232] 通过触摸显示部7402或对外壳7401的操作按钮7403进行操作,更换屏幕模式。或者,可以根据显示在显示部7402上的图像种类来更换屏幕模式。例如,当显示在显示部上的图像信号为活动图像的数据时,屏幕模式更换成显示模式。当该信号为文字数据时,屏幕模式更换成输入模式。

[0233] 另外,在输入模式中,如果检测出显示部7402的光传感器所检测的信号并且在一定期间内没有对显示部7402的触摸输入,可以控制屏幕模式从输入模式更换成显示模式。

[0234] 显示部7402也可以用作图像传感器。例如,通过用手掌或手指触摸显示部7402,拍摄掌纹、指纹等的图像,由此,可以进行身份识别。此外,当发射近红外光的背光灯或感测光源设置在显示部时,还可以拍摄手指静脉、手掌静脉等的图像。

[0235] 图10A和10B示出能够折叠的平板终端。在图10A中该平板终端被打开。平板终端包括外壳9630、显示部9631a、显示部9631b、显示模式用开关9034、电源开关9035、省电开关9036、夹子9033以及操作开关9038。将发光装置用于显示部9631a和显示部9631b的任一或两者来制造该平板终端。

[0236] 显示部9631a的一部分可以为触摸屏区域9632a,并且当触摸所显示的操作键9637时可以输入数据。虽然示出显示部9631a的一半区域仅具有显示功能,另一半区域还具有触摸面板功能的结构作为例子,但是显示部9631a不局限于该结构。显示部9631a的整个区域可以具有触摸面板功能。例如,可以在显示部9631a的整个区域中显示键盘按钮以用作触摸面板,并将显示部9631b用作显示屏幕。

[0237] 如显示部9631a同样,显示部9631b的一部分可以为触摸面板区域9632b。当使用手指或触屏笔等触摸显示在触摸面板上的键盘显示切换按钮9639时,可以将键盘显示在显示部9631b上。

[0238] 可以在触摸面板区域9632a和触摸面板区域9632b同时进行触摸输入。

[0239] 显示模式用开关9034例如能够进行竖屏显示与横屏显示等之间的显示的切换以及单色显示与彩色显示之间的切换。省电开关9036可以根据平板终端所内置的光传感器所检测到的使用平板终端时的外光量来控制显示亮度。除了光传感器以外,包括如陀螺仪或加速度传感器等检测倾斜度的传感器等的其他检测装置也可以内置在平板终端中。

[0240] 图10A示出显示部9631a和显示部9631b具有相同的显示面积的例子;但是,不局限于此,一个显示部的尺寸和显示质量也可以与另一个显示部的尺寸和显示质量不同。例如,一个显示面板可能可以进行比另一个显示面板更高清晰度的显示。

[0241] 在图10B中该平板终端被合上。平板终端包括外壳9630、太阳能电池9633、充放电控制电路9634、电池9635以及DCDC转换器9636。在图10B中,示出具有电池9635和DCDC转换器9636的结构作为充放电控制电路9634的例子。

[0242] 由于平板终端能够折叠,因此当不使用时可以合上外壳9630。其结果,可以保护显示部9631a和显示部9631b;由此,可以提供具有良好的耐久性且从长期使用的观点来看具有良好的可靠性的平板终端。

[0243] 此外,图10A和10B所示的平板终端可以具有显示各种各样的数据(例如,静止图像、活动图像及文字图像)的功能、在显示部上显示日历、日期或时间等的功能、通过触摸输入对显示在显示部上的数据进行操作或编辑的触摸输入功能、通过各种各样的软件(程序)控制处理的功能等。

[0244] 设置在平板终端的表面上的太阳能电池9633可以将电力供应给触摸面板、显示部或视频信号处理部等。注意,太阳能电池9633可以设置在外壳9630的一个或两个表面上,并且,电池9635可以高效地进行充电。当使用锂离子电池作为电池9635时,在小型化等方面有优点。

[0245] 参照图10C的方框图对图10B所示的充放电控制电路9634的结构和操作进行说明。图10C示出太阳能电池9633、电池9635、DCDC转换器9636、转换器9638、开关SW1至SW3以及显示部9631,电池9635、DCDC转换器9636、转换器9638、开关SW1至SW3对应于图10B所示的充放电控制电路9634。

[0246] 首先,将说明在使用外光通过太阳能电池9633产生电力时的操作的例子。太阳能

电池9633所产生的电力的电压通过DCDC转换器9636进行逐步升压或降压,以使该电力具有用来对电池9635进行充电的电压。然后,当来自太阳能电池9633的电力用于显示部9631的操作时,开关SW1开启,并且该电力通过转换器9638逐步升压或降压以成为显示部9631所需要的电压。另外,当不进行显示部9631上的显示时,开关SW1关闭并且开关SW2开启,使得电池9635能够进行充电。

[0247] 注意,作为电力产生单元的例子示出太阳能电池9633;但是不局限于此,电池9635也可以使用其他电力产生单元诸如压电元件(piezoelectric element)或热电转换元件(珀耳帖元件(Peltier element))进行充电。例如,也可以使用以无线(不接触)的方式传送和接收电力来对电池9635进行充电的非接触电力传输模块,也可以组合太阳能电池9633与其他充电单元。

[0248] 当然,只要包括上述实施方式所说明的显示部,本发明的一个方式不局限于图10A至10C所示的电子设备。

[0249] 如上所述,通过使用本发明的一个方式的发光装置可以得到电子设备。发光装置的应用范围极宽,可以应用于各种领域的电子设备。

[0250] 注意,本实施方式所示的结构可以与其他实施方式所示的任何结构适当地组合。

[0251] 实施方式7

[0252] 在本实施方式中,参照图11说明照明装置的例子。包括本发明的一个方式的发光元件的发光装置应用于该照明装置。

[0253] 图11示出发光装置用于室内照明装置8001的例子。因为发光装置可以具有大面积,所以也可以形成具有大面积的照明装置。此外,通过使用具有曲面的外壳也可以形成发光区域具有曲面的照明装置8002。包括在本实施方式所示的发光装置中的发光元件为薄膜状,这使得外壳设计更为自由。因此,可以多种方式精巧地设计照明装置。再者,室内的墙面也可以具备大型的照明装置8003。

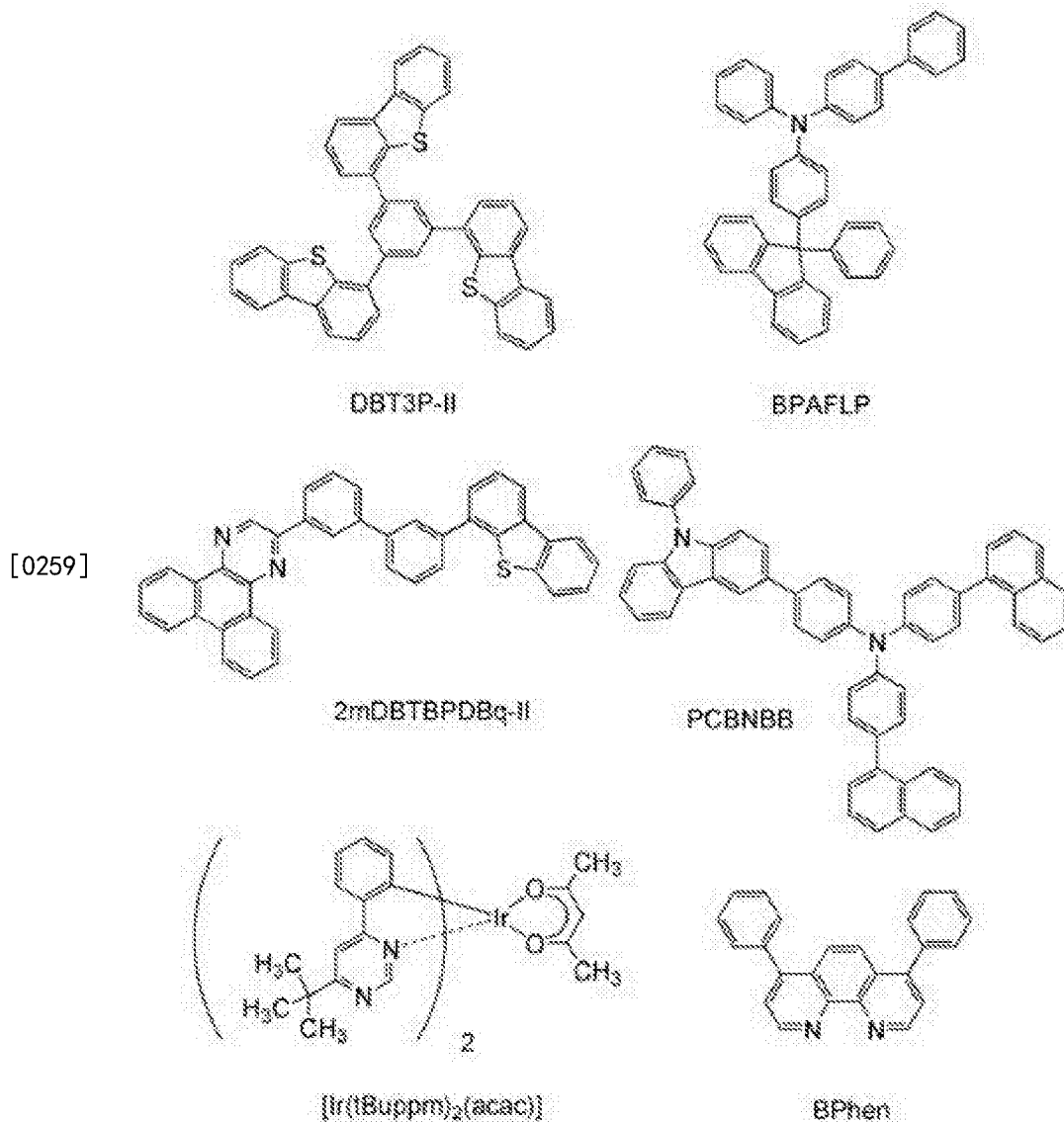
[0254] 另外,当发光装置作为桌面用于桌子时,可以获得具有桌子的功能的照明装置8004。当发光装置用于其他家具的一部分时,可以获得具有该家具的功能的照明装置。

[0255] 通过上述方式,可以得到应用发光装置的各种各样的照明装置。注意,这种照明装置也是本发明的实施方式。

[0256] 本实施方式所示的结构可以与其他实施方式所示的任何结构适当地组合。

[0257] 实施例1

[0258] 在本实施例中,参照图12对本发明的一个方式的发光元件1进行说明。下面示出在本实施例中使用的材料的化学式。



[0260] 《发光元件1的制造》

[0261] 首先,在玻璃衬底1100上通过溅射法形成包含氧化硅的氧化铟锡(ITSO)膜,由此形成用作阳极的第一电极1101。注意,将其厚度设定为110nm,且将其电极面积设定为2mm×2mm。

[0262] 接着,作为用来在衬底1100上形成发光元件1的预处理,使用水对衬底表面进行洗涤,在200℃下进行1小时的焙烧,然后进行370秒钟的UV臭氧处理。

[0263] 然后,将衬底转移入被减压到 10^{-4} Pa左右的真空蒸镀装置中,并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1100进行30分钟左右的冷却。

[0264] 接着,以使设置有第一电极1101的面朝下的方式将衬底1100固定到真空蒸镀装置内的支架。在本实施例中,说明如下情况,其中通过真空蒸镀法依次形成包含在EL层1102中的空穴注入层1111、空穴传输层1112、发光层1113、电子传输层1114及电子注入层1115。

[0265] 将真空蒸镀装置中的压力减到 10^{-4} Pa左右。然后,将1,3,5-三(二苯并噻吩-4-基)苯(简称:DBT3P-II)和氧化钼(VI)以DBT3P-II(简称)和氧化钼的质量比为4:2共蒸镀,由此在第一电极1101上形成空穴注入层1111。将空穴注入层1111的厚度设定为40nm。注意,共蒸镀是指使多个不同的物质从各自不同的蒸发源同时蒸发的蒸镀法。

[0266] 接着,通过蒸镀20nm厚的4-苯基-4'-(9-苯基芴-9-基)三苯胺(简称:BPAFLP),来形成空穴传输层1112。

[0267] 接着,在空穴传输层1112上形成发光层1113。通过将2-[3'-(二苯并噻吩-4-基)联苯-3-基]二苯并[f,h]喹啉(简称:2mDBTBPDBq-II)、4,4'-二(1-萘基)-4''-(9-苯基-9H-咔唑-3-基)三苯胺(简称:PCBNBB)和(乙酰丙酮)双(6-叔丁基-4-苯基嘧啶)铱(III)(简称:[Ir(tBuppm)₂(acac)])以2mDBTBPDBq-II(简称)、PCBNBB(简称)和[Ir(tBuppm)₂(acac)](简称)的质量比为0.8:0.2:0.05共蒸镀,来形成20nm厚的第一发光层1113a,然后通过将2mDBTBPDBq-II(简称)和[Ir(tBuppm)₂(acac)](简称)以质量比为1:0.05共蒸镀,来形成20nm厚的第二发光层1113b,由此形成具有叠层结构的发光层1113。

[0268] 接着,在发光层1113上蒸镀形成10nm厚的2mDBTBPDBq-II(简称)膜,然后蒸镀形成20nm厚的红菲咯啉(简称:BPhen)膜,由此形成电子传输层1114。再者,在电子传输层1114上蒸镀形成1nm厚的氟化锂膜,来形成电子注入层1115。

[0269] 最后,在电子注入层1115上蒸镀形成200nm厚的铝膜作为用作阴极的第二电极1103。由此制造发光元件1。注意,在上述全部蒸镀步骤中,蒸镀都采用电阻加热法进行。

[0270] 表1示出通过上述得到的发光元件1的元件结构。

[表 1]

	第一电极	空穴注入层	空穴传输层	发光层	电子传输层	电子注入层	第二电极
[0271] 发光元件 1	ITO (110nm)	DBTBP-II:MoO ₃ (4:2, 40nm)	BPAFLP (20nm)	* **	2mDBTBPDBq-II (10nm) BPhen (20nm)	LiF (1nm)	Al (200nm)

* 2mDBTBPDBq-II:PCBNBB:[Ir(tBuppm)₂(acac)] (0.8:0.2:0.05, 20nm)

** 2mDBTBPDBq-II:[Ir(tBuppm)₂(acac)] (1:0.05, 20nm)

[0272] 在包含氮气氛的手套箱中密封所制造的发光元件1,以不使发光元件1暴露于空气(具体地说,当密封时,将密封剂涂布在元件的外缘,以80℃进行1小时的热处理)。

[0273] 《发光元件1的工作特性》

[0274] 对所制造的发光元件1的工作特性进行测量。注意,该测量在室温(保持为25℃的气氛)下进行。

[0275] 首先,图13示出发光元件1的电流密度-亮度特性。在图13中,纵轴表示亮度(cd/m²),横轴表示电流密度(mA/cm²)。图14示出发光元件1的电压-亮度特性。在图14中,纵轴表示亮度(cd/m²),横轴表示电压(V)。图15示出发光元件1的亮度-电流效率特性。在图15中,纵轴表示电流效率(cd/A),横轴表示亮度(cd/m²)。图16示出发光元件1的电压-电流特性。在图16中,纵轴表示电流(mA),横轴表示电压(V)。

[0276] 图14表明本发明的一个方式的发光元件1的高效率。以下表2示出约1000cd/m²的亮度下的发光元件1的主要特性初期值。

[表 2]

[0277]

	电压 (V)	电流 (mA)	电流密度 (mA/cm ²)	色度 (x, y)	亮度 (cd/m ²)	电流效率 (cd/A)	功率效率 (lm/W)	外部量子效率 (%)
发光 元件 1	2.9	0.05	1.3	(0.44, 0.53)	1100	90	97	25

[0278] 上述结果示出在本实施例中制造的发光元件1具有高外部量子效率,这意味着发光元件1具有高发光效率。并且,关于色纯度可知该发光元件呈现色纯度优良的黄绿色发光。

[0279] 图17示出以25mA/cm²的电流密度对发光元件1供应电流时的发射光谱。如图17所示,发光元件1的发射光谱在550nm附近具有峰值,这表示该峰值来源于磷光有机金属铱配合物[Ir(tBuppm)₂(acac)]的发光。

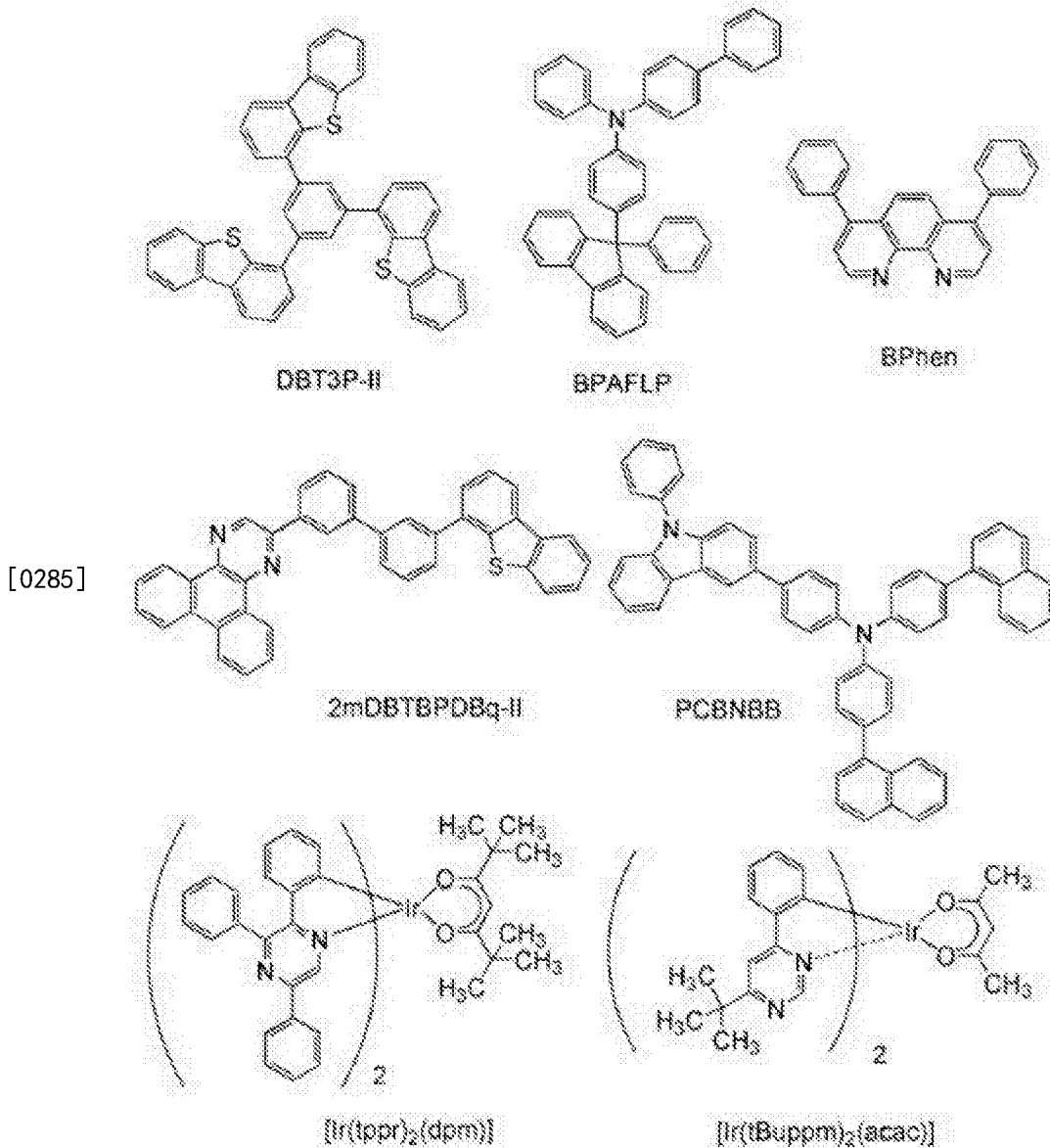
[0280] 图18示出发光元件1的可靠性测试的结果。在图18中,纵轴表示以起始亮度为100%时的归一化亮度(%),横轴表示元件的驱动时间(h)。注意,在可靠性测试中,在起始亮度设为5000cd/m²且电流密度恒定的条件下驱动发光元件1。其结果,经过400小时后发光元件1保持起始亮度的88%左右。

[0281] 因此,上述可靠性测试表明发光元件1的可靠性高且使用寿命长。

[0282] 注意,制造2mDBTPDBq-II(简称)膜、PCBNBB(简称)膜以及2mDBTPDBq-II(简称)和PCBNBB(简称)的混合膜,测量各膜的光致发光(PL: photoluminescence)。其结果,2mDBTPDBq-II(简称)的蒸镀膜的光致发光(PL)峰值波长为428nm,PCBNBB(简称)的蒸镀膜的光致发光(PL)峰值波长为428nm;另一方面,通过共蒸镀这些物质来形成的混合膜的PL峰值波长为501nm,向更长波长一侧大幅度地偏移。由此可知,2mDBTPDBq-II(简称)和PCBNBB(简称)的组合形成激基复合物。

[0283] 实施例2

[0284] 在本实施例中,对本发明的一个方式的发光元件2进行说明。注意,当在本实施例中说明发光元件2时,参照在实施例1的发光元件1的说明中使用的图12。下面示出在本实施例中使用的材料的化学式。



[0286] 《发光元件2的制造》

[0287] 首先,在玻璃衬底1100上通过溅射法形成包含氧化硅的氧化铟锡(ITSO)膜,由此形成用作阳极的第一电极1101。注意,将其厚度设定为110nm,且将其电极面积设定为2mm×2mm。

[0288] 接着,作为用来在衬底1100上形成发光元件2的预处理,使用水对衬底表面进行洗涤,在200℃下进行1小时的焙烧,然后进行370秒钟的UV臭氧处理。

[0289] 然后,将衬底转移入被减压到 10^{-4} Pa左右的真空蒸镀装置中,并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1100进行30分钟左右的冷却。

[0290] 接着,以使设置有第一电极1101的面朝下的方式将衬底1100固定到真空蒸镀装置内的支架。在本实施例中,说明如下情况,其中通过真空蒸镀法依次形成包含在EL层1102中的空穴注入层1111、空穴传输层1112、发光层1113、电子传输层1114及电子注入层1115。

[0291] 将真空蒸镀装置中的压力减到 10^{-4} Pa左右。然后,通过将1,3,5-三(二苯并噻吩-4-基)-苯(简称:DBT3P-II)和氧化钼(VI)以DBT3P-II(简称)和氧化钼的质量比为4:2共蒸镀,由此在第一电极1101上形成空穴注入层1111。将空穴注入层1111的厚度设定为33nm。注意,

共蒸镀是指使多个不同的物质从各自不同的蒸发源同时蒸发的蒸镀法。

[0292] 接着,通过蒸镀20nm厚的BPAFLP(简称),来形成空穴传输层1112。

[0293] 接着,在空穴传输层1112上形成发光层1113。通过将2-[3'-(二苯并噻吩-4-基)联苯-3-基]二苯并[f,h]喹啉(简称:2mDBTBPDBq-II)、4,4'-二(1-萘基)-4''-(9-苯基-9H-咪唑-3-基)三苯胺(简称:PCBNBB)和(乙酰丙酮)双(6-叔丁基-4-苯基嘧啶)铱(III)(简称:[Ir(tBuppm)₂(acac)])以2mDBTBPDBq-II(简称)、PCBNBB(简称)和[Ir(tBuppm)₂(acac)](简称)的质量比为0.8:0.2:0.05共蒸镀,来形成20nm厚的第一发光层1113a,然后将2mDBTBPDBq-II(简称)和双(2,3,5-三苯基吡嗪)(二新戊酰基甲烷)铱(III)(简称:[Ir(tppr)₂(dpm)])以2mDBTBPDBq-II(简称)和[Ir(tppr)₂(dpm)](简称)的质量比为1:0.06共蒸镀,来形成20nm厚的第二发光层1113b,由此形成具有叠层结构的发光层1113。

[0294] 接着,在发光层1113上通过蒸镀形成15nm厚的2mDBTBPDBq-II(简称)膜,然后通过蒸镀形成15nm厚的红菲咯啉(简称:BPhen)膜,由此形成电子传输层1114。再者,通过在电子传输层1114上通过蒸镀形成1nm厚的氟化锂膜,来形成电子注入层1115。

[0295] 最后,在电子注入层1115上通过蒸镀形成200nm厚的铝膜作为用作阴极的第二电极1103。由此制造发光元件2。注意,在上述全部蒸镀步骤中,蒸镀都采用电阻加热法进行。

[0296] 表3示出如上得到的发光元件2的元件结构。

[表 3]

	第一电极	空穴注入层	空穴传输层	发光层	电子传输层	电子注入层	第二电极
[0297] 发光元件 2	ITO (110nm)	DBTTP-IL:MoO ₃ (42, 33nm)	BPAFLP (20nm)	* **	2mDBTBPDBq-II (15nm) BPhen (15nm)	LiF (1nm)	Al (200nm)

* 2mDBTBPDBq-II:PCBNBB:[Ir(tBuppm)₂(acac)] (0.8:0.2:0.05, 20nm)

** 2mDBTBPDBq-II:[Ir(tppr)₂(dpm)] (1:0.06, 20nm)

[0298] 在包含氮气氛的手套箱中密封所制造的发光元件2,以不使发光元件2暴露于空气(具体地说,当密封时,将密封剂涂布在元件的外缘,以80℃进行1小时的热处理)。

[0299] 《发光元件2的工作特性》

[0300] 对所制造的发光元件2的工作特性进行测量。注意,测量在室温(保持为25℃的气氛)下进行。

[0301] 首先,图19示出发光元件2的电流密度-亮度特性。在图19中,纵轴表示亮度(cd/m²),横轴表示电流密度(mA/cm²)。图20示出发光元件2的电压-亮度特性。在图20中,纵轴表示亮度(cd/m²),横轴表示电压(V)。图21示出发光元件2的亮度-电流效率特性。在图21中,纵轴表示电流效率(cd/A),横轴表示亮度(cd/m²)。图22示出发光元件2的电压-电流特性。在图22中,纵轴表示电流(mA),横轴表示电压(V)。

[0302] 图21表明本发明的一个方式的发光元件2的高效率。以下表4示出约1000cd/m²的亮度下的发光元件2的主要特性初期值。

[表 4]

[0303]

	电压 (V)	电流 (mA)	电流密度 (mA/cm ²)	色度 (x, y)	亮度 (cd/m ²)	电流效率 (cd/A)	功率效率 (lm/W)	外部量子 效率 (%)
发光 元件 2	3.1	0.059	1.5	(0.50, 0.49)	890	60	61	22

[0304] 上述结果示出在本实施例中制造的发光元件2具有高外部量子效率,这意味着发光元件2具有高发光效率。

[0305] 图23示出以25mA/cm²的电流密度对发光元件2供应电流时的发射光谱。如图23所示,发光元件2的发射光谱在550nm及617nm附近具有峰值,这表示这些峰值来源于磷光有机金属铱配合物[Ir(tBuppm)₂(acac)](简称)及[Ir(tppr)₂(dpm)](简称)的发光。

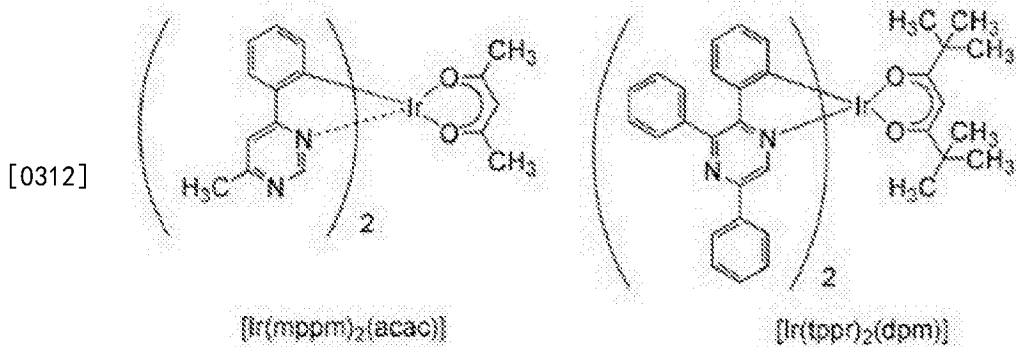
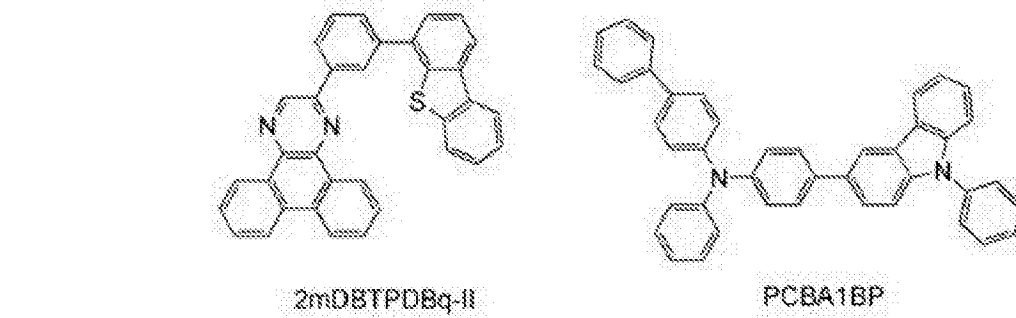
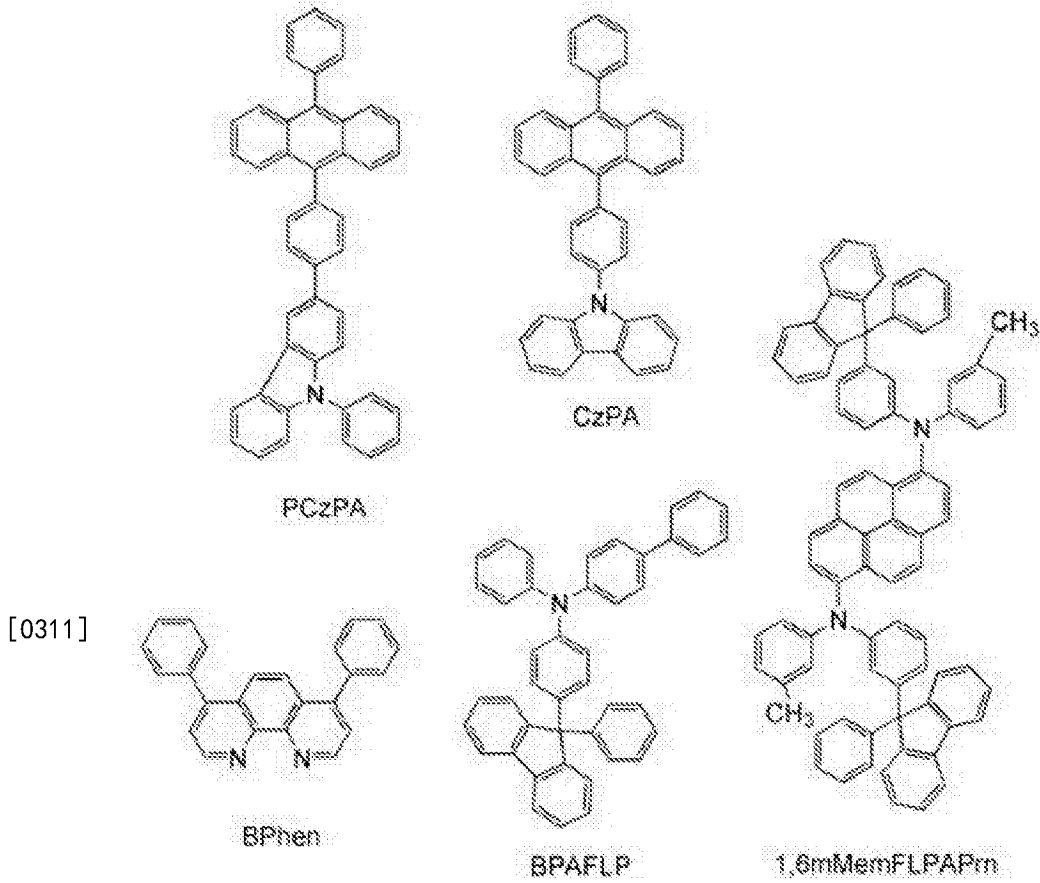
[0306] 图24示出发光元件2的可靠性测试的结果。在图24中,纵轴表示以起始亮度为100%时的归一化亮度(%),横轴表示元件的驱动时间(h)。注意,在可靠性测试中,在起始亮度设为5000cd/m²且电流密度恒定的条件下驱动发光元件2。其结果,经过48小时后发光元件2保持起始亮度的97%左右。

[0307] 因此,上述可靠性测试表明发光元件2的可靠性高且使用寿命长。

[0308] 注意,如在实施例1中所述,2mDBTBPDq-II(简称)和PCBNBB(简称)的组合形成激基复合物。

[0309] 实施例3

[0310] 在本实施例中,制造图25所示的发光元件3,并测量其工作特性和可靠性。注意,在本实施例中制造的发光元件3是实施方式3所说明的在多个EL层之间设置有电荷产生层的发光元件(以下,称为串联型发光元件)。下面示出在本实施例中使用的材料的化学式。



[0313] 《发光元件3的制造》

[0314] 首先,在玻璃衬底3000上通过溅射法形成包含氧化硅的氧化铟锡(ITSO)膜,由此形成用作阳极的第一电极3001。注意,将其厚度设定为110nm,且将其电极面积设定为2mm²。

[0315] 接着,作为用来在衬底3000上形成发光元件3的预处理,使用水对衬底表面进行洗涤,在200℃下进行1小时的焙烧,然后进行370秒钟的UV臭氧处理。

[0316] 然后,将衬底转移入被减压到 10^{-4} Pa左右的真空蒸镀装置中,并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3000进行30分钟左右的冷却。

[0317] 接着,以使设置有第一电极3001的面朝下的方式将衬底3000固定到真空蒸镀装置内的支架。在本实施例中,说明如下情况,其中通过真空蒸镀法,依次形成包含在第一EL层3002a中的第一空穴注入层3011a、第一空穴传输层3012a、发光层(A)3013a、第一电子传输层3014a及第一电子注入层3015a,形成电荷产生层3004,然后形成包含在第二EL层3002b中的第二空穴注入层3011b、第二空穴传输层3012b、发光层(B)3013b、第二电子传输层3014b及第二电子注入层3015b。

[0318] 将真空蒸镀装置中的压力减到 10^{-4} Pa左右。然后,通过将9-[4-(9-苯基咔唑-3-基)]苯基-10-苯基蒽(简称:PCzPA)和氧化钼(VI)以PCzPA(简称)和氧化钼的质量比为1:0.5共蒸镀,由此在第一电极3001上形成第一空穴注入层3011a。将第一空穴注入层3011a的厚度设定为60nm。注意,共蒸镀是指使多个不同的物质从各自不同的蒸发源同时蒸发的蒸镀法。

[0319] 接着,通过蒸镀30nm厚的PCzPA(简称),来形成第一空穴传输层3012a。

[0320] 接着,在第一空穴传输层3012a上形成发光层(A)3013a。通过将9-[4-(10-苯基-9-蒽基)苯基]-9H-咔唑(简称:CzPA)和N,N'-双(3-甲基苯基)-N,N'-双[3-(9-苯基-9H-蒽-9-基)苯基]-苝-1,6-二胺(简称:1,6mMemFLPAPrn)以CzPA(简称)和1,6mMemFLPAPrn(简称)的质量比为1:0.05共蒸镀,来形成发光层(A)3013a。将发光层(A)3013a的厚度设定为30nm。

[0321] 接着,通过在发光层(A)3013a上蒸镀形成5nm厚的CzPA(简称)膜,并蒸镀形成15nm厚的红菲咯啉(简称:BPhen)膜,由此形成第一电子传输层3014a。再者,通过在第一电子传输层3014a上蒸镀形成0.1nm厚的氧化锂(Li₂O)膜,来形成第一电子注入层3015a。

[0322] 接着,通过在第一电子注入层3015a上蒸镀2nm厚的酞菁铜(简称:CuPc),来形成电荷产生层3004。

[0323] 接着,将4-苯基-4'-(9-苯基蒽-9-基)三苯胺(简称:BPAFLP)和氧化钼(VI)以BPAFLP(简称)和氧化钼的质量比为1:0.5共蒸镀,由此在电荷产生层3004上形成第二空穴注入层3011b。将第二空穴注入层3011b的厚度设定为40nm。

[0324] 接着,通过蒸镀20nm厚的BPAFLP(简称),来形成第二空穴传输层3012b。

[0325] 接着,在第二空穴传输层3012b上形成发光层(B)3013b。通过将2-[3-(二苯并噻吩-4-基)苯基]二苯并[f,h]喹喔啉(简称:2mDBTPDBq-II)、4-苯基-4'-(9-苯基-9H-咔唑-3-基)三苯胺(简称:PCBA1BP)和(乙酰丙酮)双(6-甲基-4-苯基嘧啶)铱(III)(简称:[Ir(mppm)₂(acac)])以2mDBTPDBq-II(简称)、PCBA1BP(简称)和[Ir(mppm)₂(acac)](简称)的质量比为0.8:0.2:0.06共蒸镀,来形成20nm厚的第一发光层3013(b1),然后通过将2mDBTPDBq-II(简称)和双(2,3,5-三苯基吡嗪)(二新戊酰基甲烷)铱(III)(简称:[Ir(tppr)₂(dpm)])以2mDBTPDBq-II(简称)和[Ir(tppr)₂(dpm)](简称)的质量比为1:0.02共蒸镀,来形成20nm厚的第二发光层3013(b2),由此形成具有叠层结构的发光层(B)3013b。

[0326] 接着,在发光层(B)3013b上蒸镀形成15nm厚的2mDBTPDBq-II(简称)膜,并蒸镀形成15nm厚的BPhen(简称)膜,由此形成第二电子传输层3014b。再者,通过第二电子传输层

3014b上蒸镀形成1nm厚的氟化锂(LiF)膜,来形成第二电子注入层3015b。

[0327] 最后,在第二电子注入层3015b上蒸镀形成200nm厚的铝膜来形成用作阴极的第二电极3003。由此制造发光元件3。注意,在上述全部蒸镀步骤中,蒸镀都采用电阻加热法进行。

[0328] 表5示出通过上述得到的发光元件3的元件结构。

[0329] [表5]

	第一电极	第一空穴注入层	第一空穴传输层	发光层(A)	第一电子传输层		第一电子注入层	电荷产生层
发光元件3	ITO (110nm)	PCzPA-MeO (1.0.5.5) (60nm)	PCzPA (30nm)	CzPA-1, 6mMcnFLP APm (1.0.05.30nm)	CzPA (5nm)	BPhen (15nm)	Li ₂ O (0.1nm)	CuPe (2nm)

[0330]

第二空穴注入层	第二空穴传输层	发光层(B)	第二电子传输层		第二电子注入层	第二电极
BPAFLP-MeO (1.0.5.40nm)	BPAFLP (20nm)	*	2mDBT PDBq-H (15nm)	BPhen (15nm)	LiF (1nm)	Al (200nm)

* 2mDBTPDBq-H-PCBA1BP {r (mgpm) } { acac } { (0.8.0.2.0.06, 20nm) } \ 2mDBTPDBq-H {r (pppr) } { (qms) } { (1.0.02, 20nm) }

[0331] 在包含氮气氛的手套箱中密封所制造的发光元件3,以不使发光元件3暴露于空气(具体地说,当密封时,将密封剂涂布在元件的外缘,以80℃进行1小时的热处理)。

[0332] 《发光元件3的工作特性》

[0333] 对所制造的发光元件3的工作特性进行测量。注意,测量在室温(保持为25℃的气氛)下进行。

[0334] 首先,图26示出发光元件3的电流密度-亮度特性。在图26中,纵轴表示亮度(cd/m²),横轴表示电流密度(mA/cm²)。图27示出发光元件3的电压-亮度特性。在图27中,纵轴表示亮度(cd/m²),横轴表示电压(V)。图28示出发光元件3的亮度-电流效率特性。在图28中,纵轴表示电流效率(cd/A),横轴表示亮度(cd/m²)。图29示出发光元件3的电压-电流特性。在图29中,纵轴表示电流(mA),横轴表示电压(V)。

[0335] 图28表明本发明的一个方式的发光元件3的高效率。以下表6示出约1000cd/m²的亮度下的发光元件3的主要特性初期值。

[表 6]

[0336]

	电压 (V)	电流 (mA)	电流密度 (mA/cm ²)	色度 (x, y)	亮度 (cd/m ²)	电流效率 (cd/A)	功率效率 (lm/W)	外部量子 效率 (%)
发光 元件 3	6.2	0.065	1.6	(0.37, 0.37)	1100	69	35	29

[0337] 上述结果示出在本实施例中制造的发光元件3具有高外部量子效率,这意味着发光元件3具有高发光效率。

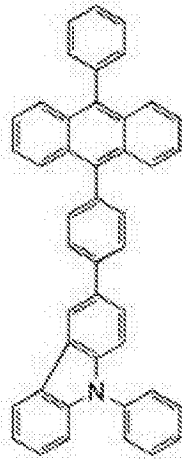
[0338] 图30示出以25mA/cm²的电流密度对发光元件3供应电流时的发射光谱。如图30所示,发光元件3的发射光谱在465nm、552nm及604nm附近具有峰值,这表示该峰值来源于包含在发光层中的磷光有机金属铱配合物的发光。

[0339] 注意,制造2mDBTPDBq-II(简称)膜、PCBA1BP(简称)膜以及2mDBTPDBq-II(简称)和PCBA1BP(简称)的混合膜,测量各膜的光致发光(PL)。其结果,2mDBTPDBq-II(简称)的蒸镀膜的光致发光(PL)峰值波长为426nm,PCBA1BP(简称)的蒸镀膜的PL峰值波长为416nm;另一方面,通过共蒸镀这些物质来形成的混合膜的PL峰值波长为519nm,向更长波长一侧大幅度地偏移。由此可知,2mDBTPDBq-II(简称)和PCBA1BP(简称)的组合形成激基复合物。

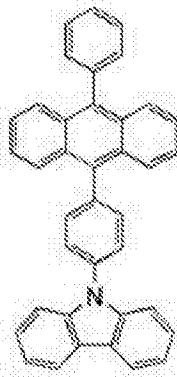
[0340] 实施例4

[0341] 在本实施例中,制造图31A至图31C所示的发光元件4至6(图31A示出发光元件4,图31B示出发光元件5,图31C示出发光元件6),并对其工作特性和可靠性进行测量。另外,当将在本实施例中制造的发光元件4至6形成在同一衬底上时,可以获得如下结构:组合实施方式3所说明的在多个EL层之间设置有电荷产生层的结构与实施方式4所说明的光学微谐振腔(微腔)结构。下面示出在本实施例中使用的材料的化学式。

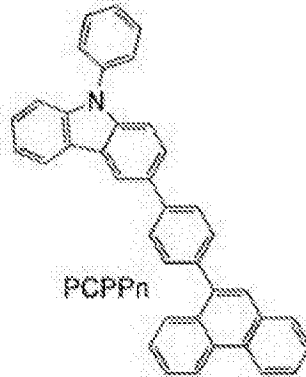
[0342]



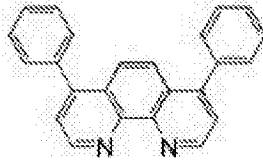
PCzPA



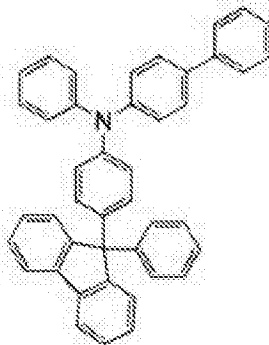
CzPA



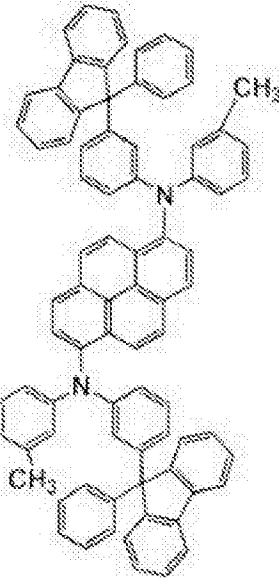
PCPPn



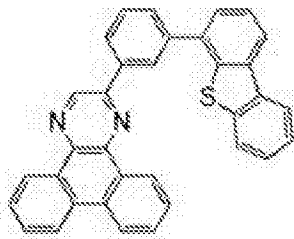
BPhen



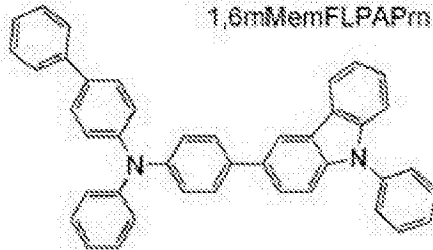
BPAFLP



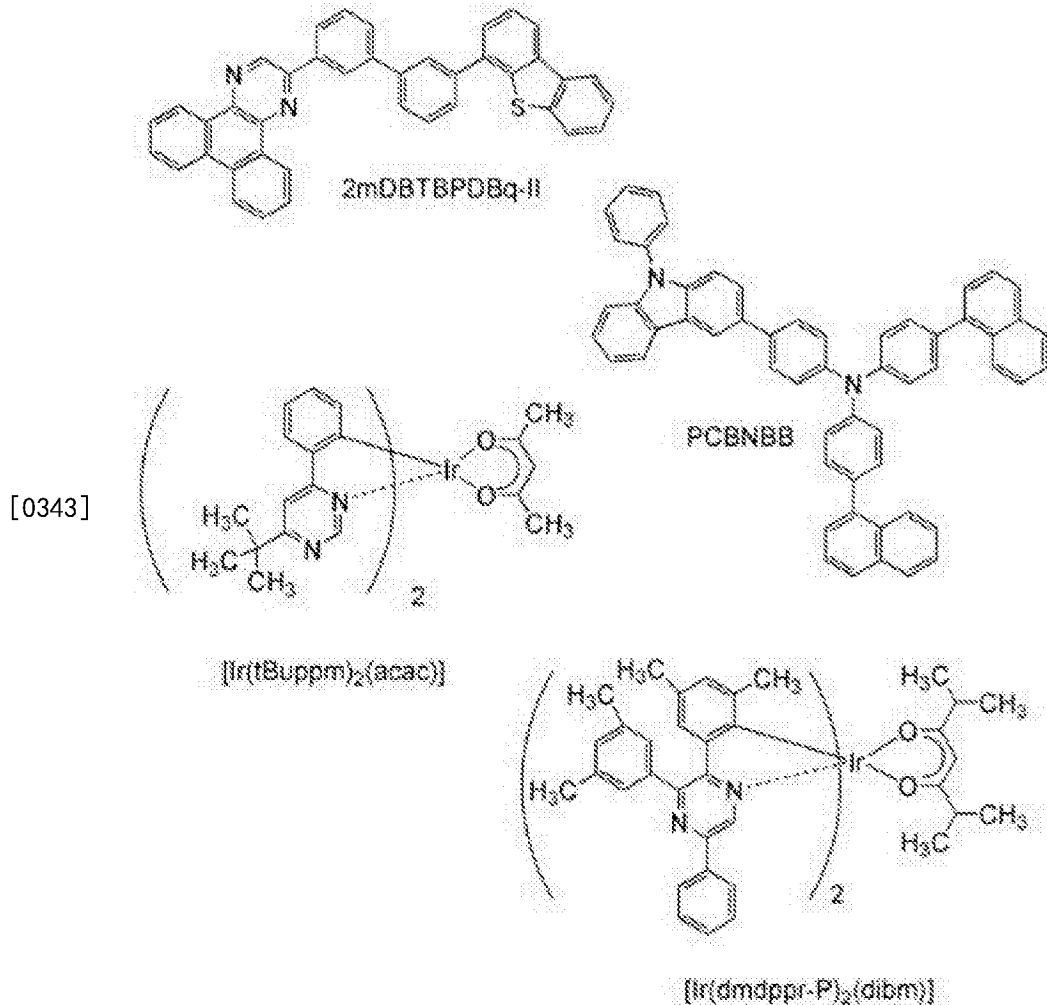
1,6mMemFLPAPrn



2mDBTPDBq-II



PCBA1BP



[0344] 《发光元件4至6的制造》

[0345] 本实施例中的发光元件4至6的不同点仅在于第一电极及着色层的结构,因此关于其他构成要素共同地进行说明。

[0346] 首先,在各玻璃衬底(4000、4000'、4000'')上通过溅射法形成200nm厚的铝(Al)和钛(Ti)的合金膜(Al-Ti),然后通过溅射法形成6nm厚的Ti膜。由此,形成用作发光元件4的阳极的第一电极4001。注意,通过溅射法在Ti膜上进一步形成40nm厚的包含氧化硅的氧化铟锡(ITSO)膜,来形成用作发光元件5的阳极的第一电极4001'。通过溅射法在Ti膜上进一步形成80nm厚的包含氧化硅的氧化铟锡(ITSO)膜,来形成用作发光元件6的阳极的第一电极4001''。此时,Ti膜的一部分或全部被氧化而包含氧化钛。注意,将电极面积设定为 $2\text{mm} \times 2\text{mm}$ 。

[0347] 接着,对形成在各衬底(4000、4000'、4000'')上的发光元件4至6的第一电极(4001、4001'、4001'')进行预处理,其中使用水对衬底表面进行洗涤,在 200°C 下进行1小时的焙烧,然后进行370秒钟的UV臭氧处理。

[0348] 然后,将衬底转移入被减压到 10^{-4}Pa 左右的真空蒸镀装置中,并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(4000、4000'、4000'')进行30分钟左右的冷却。

[0349] 接着,以使设置有第一电极(4001、4001'、4001'')的面朝下的方式将衬底(4000、

4000'、4000''')固定到真空蒸镀装置内的支架。在本实施例中,说明如下情况,其中通过真空蒸镀法,依次形成包含在第一EL层(4002a、4002a'、4002a'')中的第一空穴注入层(4011a、4011a'、4011a'')、第一空穴传输层(4012a、4012a'、4012a'')、发光层(A)(4013a、4013a'、4013a'')、第一电子传输层(4014a、4014a'、4014a'')及第一电子注入层(4015a、4015a'、4015a''),形成电荷产生层(4004、4004'、4004''),然后形成包含在第二EL层(4002b、4002b'、4002b'')中的第二空穴注入层(4011b、4011b'、4011b'')、第二空穴传输层(4012b、4012b'、4012b'')、发光层(B)(4013b、4013b'、4013b'')、第二电子传输层(4014b、4014b'、4014b'')及第二电子注入层(4015b、4015b'、4015b'')。

[0350] 将真空蒸镀装置中的压力减到 10^{-4} Pa左右。然后,通过将9-[4-(9-苯基咪唑-3-基)苯基-10-苯基葱(简称:PCzPA)和氧化钼(VI)以PCzPA(简称)和氧化钼的质量比为1:0.5共蒸镀,由此在第一电极(4001、4001'、4001'')上形成第一空穴注入层(4011a、4011a'、4011a'')。将各第一空穴注入层(4011a、4011a'、4011a'')的厚度设定为13nm。注意,共蒸镀是指使多个不同的物质从各自不同的蒸发源同时蒸发的蒸镀法。

[0351] 接着,通过蒸镀20nm厚的9-{4-(9-H-9-苯基咪唑-3-基)-苯基}菲(简称:PCPPn),各自形成第一空穴传输层(4012a、4012a'、4012a'')。

[0352] 接着,在第一空穴传输层(4012a、4012a'、4012a'')上形成发光层(A)(4013a、4013a'、4013a'')。通过将9-[4-(10-苯基-9-葱基)苯基]-9H-咪唑(简称:CzPA)和N,N'-双(3-甲基苯基)-N,N'-双[3-(9-苯基-9H-芴-9-基)苯基]-茈-1,6-二胺(简称:1,6mMemFLPAPrn)以CzPA(简称)和1,6mMemFLPAPrn(简称)的质量比为1:0.05共蒸镀,来各自形成发光层(A)(4013a、4013a'、4013a'')。将各发光层(A)(4013a、4013a'、4013a'')的厚度设定为30nm。

[0353] 接着,通过在发光层(A)(4013a、4013a'、4013a'')上蒸镀形成5nm厚的CzPA(简称)膜并蒸镀形成15nm厚的红菲咯啉(简称:BPhen)膜,由此形成第一电子传输层(4014a、4014a'、4014a'')。再者,通过在第一电子传输层(4014a、4014a'、4014a'')上蒸镀形成0.1nm厚的氧化锂(Li₂O)膜,来形成第一电子注入层(4015a、4015a'、4015a'')。

[0354] 接着,通过在第一电子注入层(4015a、4015a'、4015a'')上蒸镀2nm厚的铜酞菁(简称:CuPc),形成电荷产生层(4004、4004'、4004'')。

[0355] 接着,将PCzPA(简称)和氧化钼(VI)以PCzPA(简称)和氧化钼的质量比为1:0.5共蒸镀,由此在电荷产生层(4004、4004'、4004'')上形成第二空穴注入层(4011b、4011b'、4011b'')。将各第二空穴注入层(4011b、4011b'、4011b'')的厚度设定为13nm。

[0356] 接着,通过蒸镀20nm厚的BPAFLP(简称),来各自形成第二空穴传输层(4012b、4012b'、4012b'')。

[0357] 接着,在第二空穴传输层(4012b、4012b'、4012b'')上形成发光层(B)(4013b、4013b'、4013b'')。通过将2-[3'-(二苯并噻吩-4-基)联苯-3-基]二苯并[f,h]喹啉(简称:2mDBTBPDq-II)、4,4'-二(1-萘基)-4''-(9-苯基-9H-咪唑-3-基)三苯胺(简称:PCBNBB)和(乙酰丙酮)双(6-叔丁基-4-苯基嘧啶)铱(III)(简称:[Ir(tBuppm)₂(acac)])以2mDBTBPDq-II(简称)、PCBNBB(简称)和[Ir(tBuppm)₂(acac)](简称)的质量比为0.8:0.2:0.06共蒸镀,来形成各20nm厚的第一发光层(4013(b1)、4013(b'1)、4013(b''1)),然后通过将2mDBTBPDq-II(简称)和双{4,6-二甲基-2-[3-(3,5-二甲基苯基)-5-苯基-2-吡嗪基-

kN]苯基-kC}(2,6-二甲基-3,5-庚二酮-k²O,0')铱(III)(简称:[Ir(dmdppr-P)₂(dibm)])以2mDBTBPDBq-II(简称)和[Ir(dmdppr-P)₂(dibm)](简称)的质量比为1:0.02共蒸镀,来形成各20nm厚的第二发光层(4013(b2)、4013(b'2)、4013(b''2)),由此形成具有叠层结构的发光层(B)(4013b、4013b'、4013b'')。

[0358] 接着,在发光层(B)(4013b、4013b'、4013b'')上蒸镀形成15nm厚的2mDBTBPDBq-II(简称)膜,并蒸镀形成15nm厚的BPhen(简称)膜,由此形成第二电子传输层(4014b、4014b'、4014b'')。再者,通过在第二电子传输层(4014b、4014b'、4014b'')上蒸镀形成1nm厚的氟化锂(LiF)膜,来形成第二电子注入层(4015b、4015b'、4015b'')。

[0359] 最后,通过在第二电子注入层(4015b、4015b'、4015b'')上形成各15nm厚的Ag-Mg合金膜,然后利用溅射法形成各70nm厚的氧化铟锡(ITO)膜,来形成用作阴极的第二电极(4003、4003'、4003'')。由此制造发光元件4至6。此时,通过以Ag和Mg的质量比为10:1的方式共蒸镀Ag和Mg,来各自形成Ag-Mg合金膜。注意,在上述全部蒸镀步骤中,蒸镀都采用电阻加热法进行。

[0360] 表7示出通过上述得到的发光元件4至6的元件结构。

[表7]

	第一电极		第一 空穴注入层	第一 空穴传 输层	发光层 (A)	第一 电子传输层		第一 电子注 入层	电致发 光层
发光元 件4	Al-Ti\Ti (200nm\6nm)								
发光元 件5	Al-Ti\Ti (200nm\ 6nm)	ITSO(40nm)	PCzPA:MoO x (1:0.5, 13nm)	PCPPa (20nm)	CzPA:Liq MemFLPA Pm (1:6:0.5, 30nm)	CzPA (5nm)	Bpiscs (15nm)	Li ₂ O (0.1nm)	CuPc (2nm)
发光元 件6	Al-Ti\Ti (200nm\ 6nm)	ITSO(60nm)							

[0361]

第二 空穴注入层	第二 空穴传 输层	发光 层 (B)	第二电子传输层	第二 电子注 入层	第二电极		CF	
PCzPA:MoO x (1:0.5, 13nm)	BPAPLP (20nm)	x	2mDBTBPDB Bq-II (15nm)	Bpiscs (15nm)	LiF (1nm)	Ag:Mg (1:0.1:1, 5nm)	ITO (70nm)	B G R

[0362] * 2mDBTBPDBq-II : PCBNBB : [Ir(tBuppm)₂(acac)] (0.8:0.2:0.06,20nm)\2mDBTBPDBq-II : [Ir(dmdppr-P)₂(dibm)] (1:0.02,20nm)

[0363] 注意,如表7所示那样,在发光元件4的对置衬底上设置有蓝色着色层(B);在发光元件5的对置衬底上设置有绿色着色层(G);在发光元件6的对置衬底上设置有红色着色层

(R)。通过在包含氮气氛的手套箱中连接到这些对置衬底来密封以上步骤制造的发光元件4至6,以不使发光元件4至6暴露于空气(具体地说,当密封时,将密封剂涂布在各元件的外缘,以80℃进行1小时的热处理)。

[0364] 《发光元件4至6的工作特性》

[0365] 对所制造的发光元件4至6的工作特性进行测量。注意,测量在室温(保持为25℃的气氛)下进行。

[0366] 首先,图32示出发光元件4至6的电压-亮度特性。在图32中,纵轴表示亮度(cd/m^2),横轴表示电压(V)。图33示出发光元件4至6的亮度-电流效率特性。在图33中,纵轴表示电流效率(cd/A),横轴表示亮度(cd/m^2)。图34示出发光元件4至6的CIE色度图。在图34中,纵轴表示x坐标,横轴表示y坐标。图34所示的实线表示NTSC(National Television Standards Committee,国家电视标准委员会)所规定的颜色再现范围。

[0367] 以下表8示出在约 $1000\text{cd}/\text{m}^2$ 亮度下的发光元件4至6的主要特性初期值。

[表 8]

	电压 (V)	电流 (mA)	电流密度 (mA/cm^2)	色度 (x,y)	亮度 (cd/m^2)	功率效率 (lm/W)
发光 元件 4	7.8	1.000	26	(0.14,0.07)	920	1.4
发光 元件 5	5.9	0.076	1.9	(0.24,0.74)	1100	30
发光 元件 6	6.7	0.450	11	(0.66,0.34)	1100	4.5

[0369] 上述结果示出在本实施例中制造的发光元件4至6呈现彼此截然不同的红色(R)、绿色(G)和蓝色(B)的发光。在本实施例中,虽然将发光元件4至6形成在彼此不同的衬底上,但是也可以形成在同一衬底上。上述结果示出当将发光元件4至6形成在同一衬底上时,适用于全彩色显示。

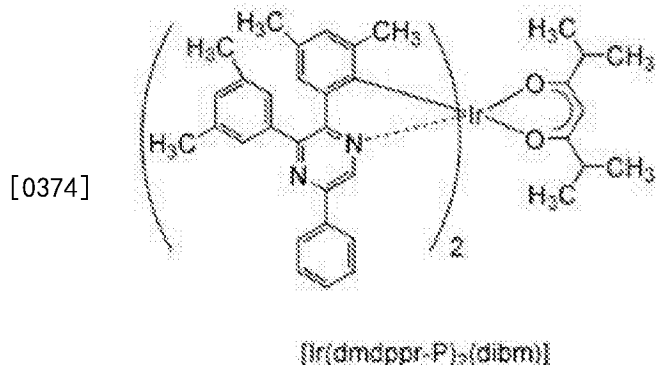
[0370] 图35示出以 $25\text{mA}/\text{cm}^2$ 的电流密度对发光元件4至6供应电流时的发射光谱。如图35所示,发光元件4的发射光谱在460nm附近具有峰值,发光元件5的发射光谱在537nm附近具有峰值,发光元件6的发射光谱在617nm附近具有峰值,这表示发光元件5和发光元件6的峰值来源于包含在发光层中的磷光有机金属铱配合物的发光。

[0371] 注意,如实施例1所述,2mDBTBPDq-II(简称)和PCBNBB(简称)的组合形成激基复合物。

[0372] 《参考合成例》

[0373] 在本实施例中,说明在本实施例中使用的有机金属铱配合物双{4,6-二甲基-2-

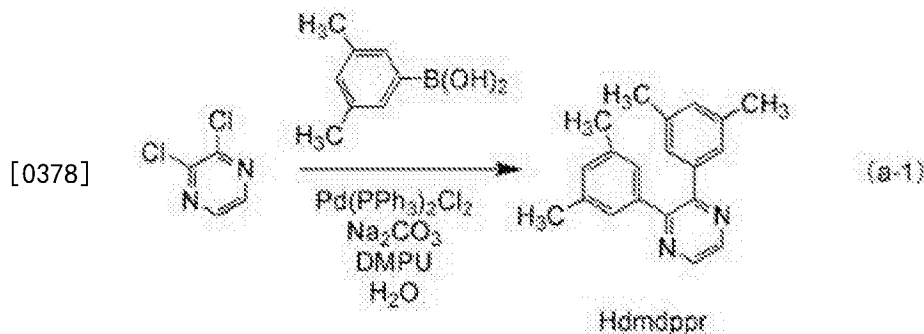
[3-(3,5-二甲基苯基)-5-苯基-2-吡嗪基-kN]苯基-kC}(2,6-二甲基-3,5-庚二酮-k²O,0')
铱(III)(简称:[Ir(dmdppr-P)₂(dibm)])的合成方法。下面示出[Ir(dmdppr-P)₂(dibm)](简称)
的结构。



[0375] 〈步骤1:2,3-双(3,5-二甲基苯基)吡嗪(简称:Hdmdppr)的合成〉

[0376] 首先,将5.00g的2,3-二氯吡嗪、10.23g的3,5-二甲基苯基亚硼酸、7.19g的碳酸钠、0.29g的双(三苯基膦)二氯化钯(II)(简称: Pd(PPh₃)₂Cl₂)、20mL的水以及20mL的乙腈放入安装有回流管的回收烧瓶中,并用氩气置换烧瓶内的空气。对该反应容器照射微波(2.45GHz,100W)60分钟来进行加热。在此,再将2.55g的3,5-二甲基苯基亚硼酸、1.80g的碳酸钠、0.070g的Pd(PPh₃)₂Cl₂、5mL的水、5mL的乙腈放入到烧瓶中,再次照射微波(2.45GHz,100W)60分钟来进行加热。

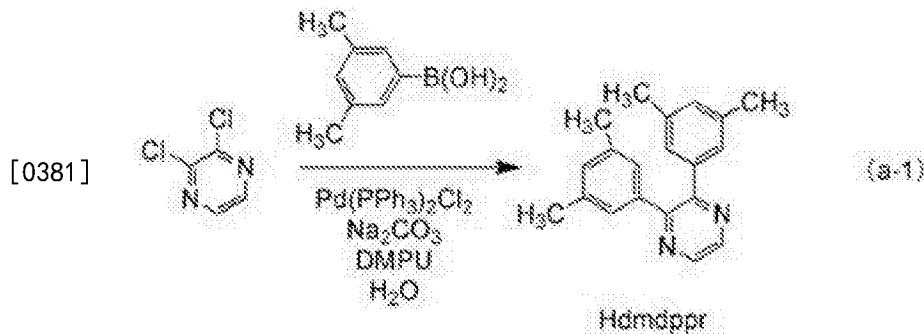
[0377] 然后,对该溶液添加水,使用二氯甲烷萃取有机层。对所得到的有机层使用饱和碳酸氢钠水溶液、水、饱和食盐水进行洗涤且使用硫酸镁进行干燥。干燥之后,过滤该溶液。在蒸馏出该溶液的溶剂之后,利用以己烷和乙酸乙酯(体积比为5:1)为展开溶剂的快速柱层析法使所得到的残渣纯化。蒸馏出溶剂,利用以二氯甲烷和乙酸乙酯(体积比为10:1)为展开溶剂的快速柱层析法使所得到的固体纯化,由此得到要制造的吡嗪衍生物Hdmdppr(简称)(白色粉末,收率为44%)。注意,微波的照射使用微波合成系统(CEM公司制造,Discover)进行。下述(a-1)示出步骤1的合成方案。



[0379] 〈步骤2:2,3-双(3,5-二甲基苯基)-5-苯基吡嗪(简称:Hdmdppr-P)的合成〉

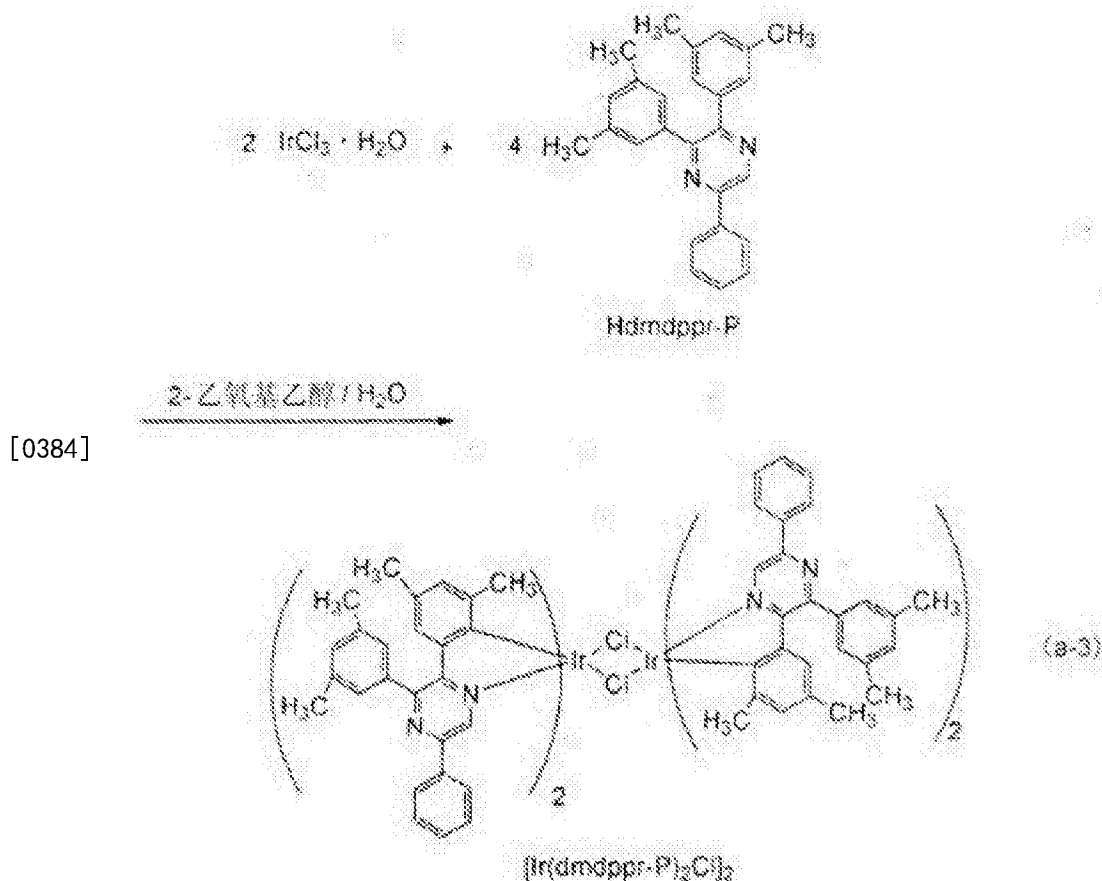
[0380] 首先,将4.28g的以上述步骤1得到的Hdmdppr(简称)和80mL的干燥THF放入三口烧瓶中,并用氩气置换烧瓶内的空气。在用冰冷却烧瓶之后,滴加9.5mL的苯基锂(1.9M苯基锂的丁基醚溶液),并且在室温下搅拌混合物23.5小时。将反应溶液注入水中,并利用氯仿萃取溶液。对所得到的有机层使用水和饱和食盐水进行洗涤且利用硫酸镁进行干燥。对所得到的混合物添加氧化镁,搅拌该混合物30分钟。然后,过滤溶液,蒸馏出溶剂。利用以二氯甲烷为展开溶剂的硅胶柱色谱法使所得到的残渣纯化,由此得到要制造的吡嗪衍生物

Hdmdppr-P(简称)(橙色油,收率为26%)。下述(a-2)示出步骤2的合成方案。



[0382] 〈步骤3:二- μ -氯-四{4,6-二甲基-2-[3-(3,5-二甲基苯基)-5-苯基-2-吡嗪基- κ N]苯基- κ C}二铱(III)(简称:[Ir(dmdppr-P)₂Cl]₂)的合成〉

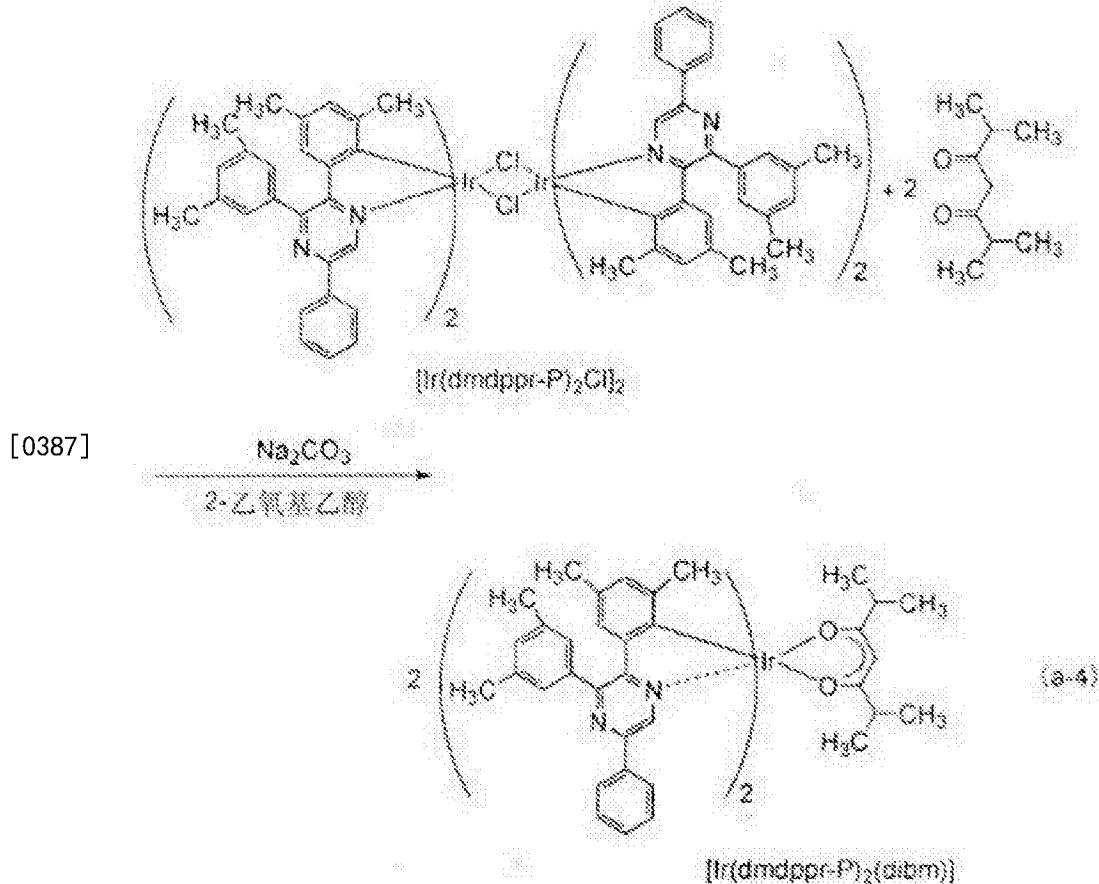
[0383] 接着,将15mL的2-乙氧基乙醇、5mL的水、1.40g的通过上述步骤2得到的Hdmdppr-P(简称)和0.51g的氯化铱水合物(IrCl₃·H₂O)(西格玛奥德里奇公司制造)放入安装有回流管的回收烧瓶中,并用氩气置换烧瓶内的空气。然后,照射微波(2.45GHz,100W)1小时,来使其起反应。在蒸馏出溶剂之后,对所得到的残渣使用乙醇进行抽滤及洗涤,由此得到双核配合物[Ir(dmdppr-P)₂Cl]₂(简称)(红褐色粉末,收率为58%)。下述(a-3)示出步骤3的合成方案。



[0385] 〈步骤4:双{4,6-二甲基-2-[3-(3,5-二甲基苯基)-5-苯基-2-吡嗪基- κ N]苯基- κ C}(2,6-二甲基-3,5-庚二酮- κ^2 O,0')铱(III)(简称:[Ir(dmdppr-P)₂(dibm)])的合成〉

[0386] 进而,将30mL的2-乙氧基乙醇、0.94g的通过上述步骤3得到的双核配合物[Ir(dmdppr-P)₂Cl]₂、0.23g的二异丁酰甲烷(简称:Hdibm)和0.52g的碳酸钠放入安装有回流管

的回收烧瓶中,并利用氩气置换烧瓶内的空气。然后,混合物照射微波(2.45GHz,120W)60分钟来进行加热。在蒸馏出溶剂之后,使用乙醇对所得到的残渣进行抽滤。通过使用水、乙醇对所得到的固体进行洗涤并使用二氯甲烷和乙醇的混合溶剂使该固体重结晶,得到本发明的一个方式的有机金属配合物 $[\text{Ir}(\text{dmdppr-P})_2(\text{dibm})]$ (简称)(深红色粉末,收率为75%)。下述(a-4)示出步骤4的合成方案。



[0388] 以下示出以上述合成方法得到的深红色粉末的核磁共振($^1\text{H-NMR}$)光谱法分析结果。该结果示出在本合成例中得到了有机金属配合物 $[\text{Ir}(\text{dmdppr-P})_2(\text{dibm})]$ (简称)。

[0389] $^1\text{H-NMR}$. δ (CDCl_3): 0.79(d, 6H), 0.96(d, 6H), 1.41(s, 6H), 1.96(s, 6H), 2.24-2.28(m, 2H), 2.41(s, 12H), 5.08(s, 1H), 6.46(s, 2H), 6.82(s, 2H), 7.18(s, 2H), 7.39-7.50(m, 10H), 8.03(d, 4H), 8.76(s, 2H)。

[0390] 附图标记说明

[0391] 101:阳极;102:阴极;103:EL层;104:空穴注入层;105:空穴传输层;106:发光层;106a:第一发光层;106b:第二发光层;107:电子传输层;108:电子注入层;109a:第一磷光化合物;109b:第二磷光化合物;110:第一有机化合物;111:第二有机化合物;201:第一电极(阳极);202:第二电极(阴极);203:EL层;204:空穴注入层;205:空穴传输层;206:发光层;206a:第一发光层;206b:第二发光层;207:电子传输层;208:电子注入层;209a:第一磷光化合物;209b:第二磷光化合物;210:第一有机化合物;211:第二有机化合物;301:第一电极;302(1):第一EL层;302(2):第二EL层;304:第二电极;305:电荷产生层(I);305(1):第一电荷产生层(I);305(2):第二电荷产生层(II);401:反射电极;402:半透射·半反射电极;403a:第一透明导电层;403b:第二透明导电层;404B:第一发光层(B);404G:第二发光层

(G);404R:第三发光层(R);405:EL层;410R:第一发光元件(R);410G:第二发光元件(G);410B:第三发光元件(B);501:元件衬底;502:像素部;503:驱动电路部(源极线驱动电路);504a、504b:驱动电路部(栅极线驱动电路);505:密封剂;506:密封衬底;507:引线;508:FPC(柔性印刷电路);509:n沟道型TFT;510:p沟道型TFT;511:开关TFT;512:电流控制TFT;513:第一电极(阳极);514:绝缘物;515:EL层;516:第二电极(阴极);517:发光元件;518:空间;1100:衬底;1101:第一电极;1102:EL层;1103:第二电极;1111:空穴注入层;1112:空穴传输层;1113:发光层;1114:电子传输层;1115:电子注入层;3000:衬底;3001:第一电极;3002a:第一EL层;3002b:第二EL层;3011a:第一空穴注入层;3011b:第二空穴注入层;3012a:第一空穴传输层;3012b:第二空穴传输层;3013a:发光层(A);3013b:发光层(B);3013(b1):第一发光层;3013(b2):第二发光层;3014a:第一电子传输层;3014b:第二电子传输层;3015a:第一电子注入层;3015b:第二电子注入层;3003:第二电极;3004:电荷产生层;4000、4000'、4000'' :衬底;4001、4001'、4001'' :第一电极;4002a:第一EL层;4002b:第二EL层;4003、4003'、4003'' :第二电极;4004、4004'、4004'' :电荷产生层;4011a、4011a'、4011a'' :第一空穴注入层;4011b、4011b'、4011b'' :第二空穴注入层;4012a、4012a'、4012a'' :第一空穴传输层;4012b、4012b'、4012b'' :第二空穴传输层;4013a、4013a'、4013a'' :发光层(A);4013b、4013b'、4013b'' :发光层(B);4013(b1)、4013(b1)'、4013(b1)'' :第一发光层;4013(b2)、4013(b2)'、4013(b2)'' :第二发光层;4014a、4014a'、4014a'' :第一电子传输层;4014b、4014b'、4014b'' :第二电子传输层;4015a、4015a'、4015a'' :第一电子注入层;4015b、4015b'、4015b'' :第二电子注入层;7100:电视装置;7101:外壳;7103:显示部;7105:支架;7107:显示部;7109:操作键;7110:遥控器;7201:主体;7202:外壳;7203:显示部;7204:键盘;7205:外部连接端口;7206:点击装置;7301:外壳;7302:外壳;7303:接合部;7304:显示部;7305:显示部;7306:扬声器部;7307:记录介质插入部;7308:LED灯;7309:操作键;7310:连接端子;7311:传感器;7312:麦克风;7400:移动电话机;7401:外壳;7402:显示部;7403:操作按钮;7404:外部连接端口;7405:扬声器;7406:麦克风;8001:照明装置;8002:照明装置;8003:照明装置;8004:照明装置;9033:夹子;9034:显示模式用开关;9035:电源开关;9036:省电开关;9038:操作开关;9630:外壳;9631:显示部;9631a:显示部;9631b:显示部;9632a:触摸面板区域;9632b:触摸面板区域;9633:太阳能电池;9634:充放电控制电路;9635:电池;9636:DCDC转换器;9637:操作键;9638:转换器;9639:按钮。

[0392] 本申请基于2012年4月6日提交到日本专利局的日本专利申请序号2012-087050,通过引用将其完整内容并入在此。

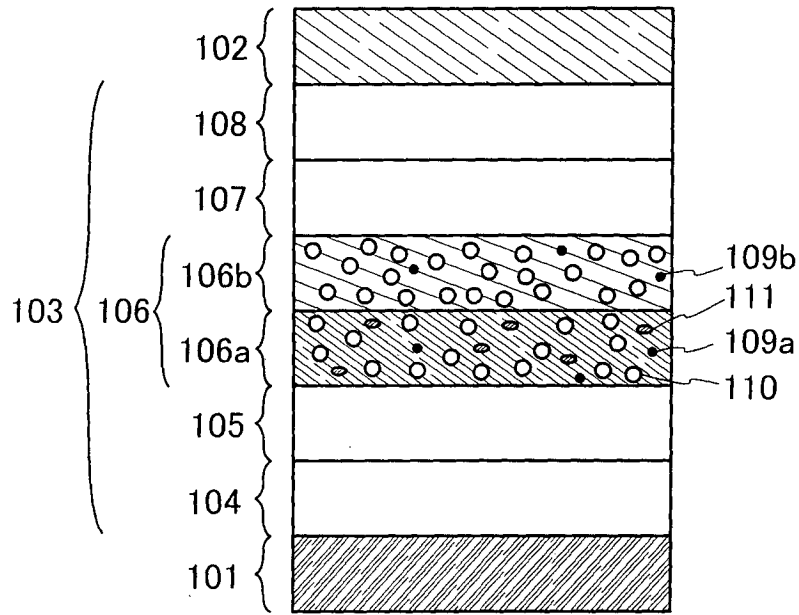


图 1A

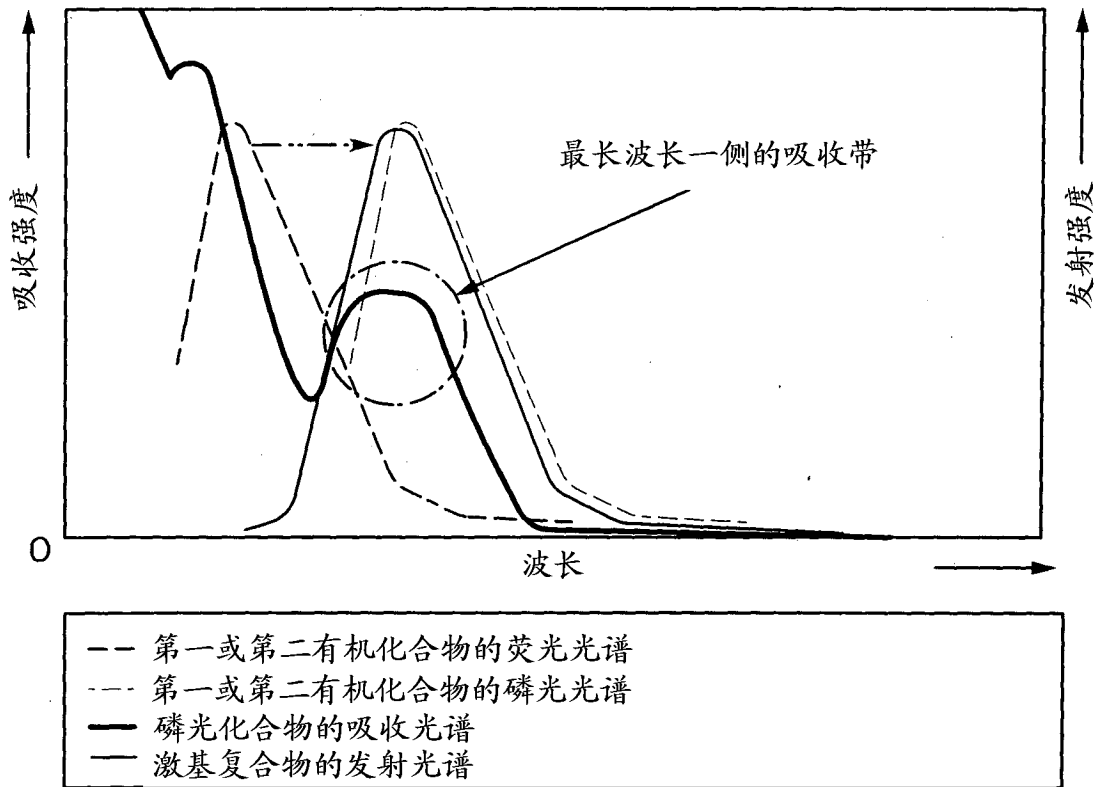


图 1B

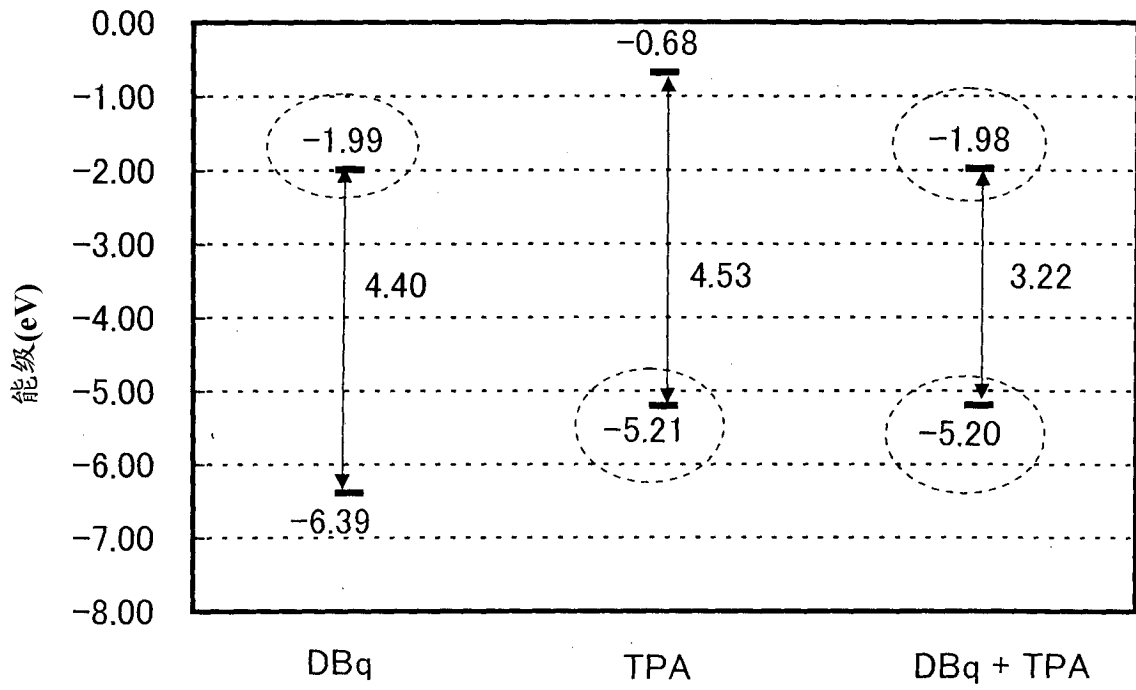


图 2

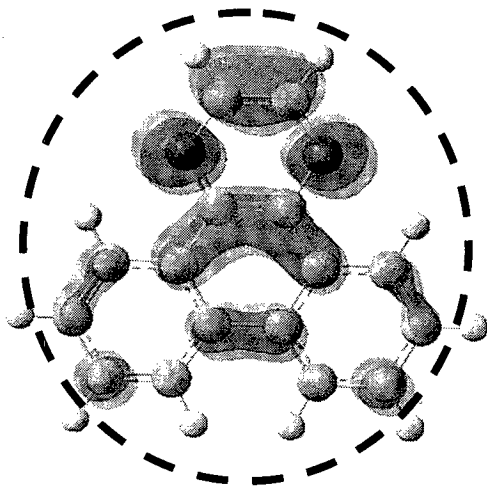


图 3A1

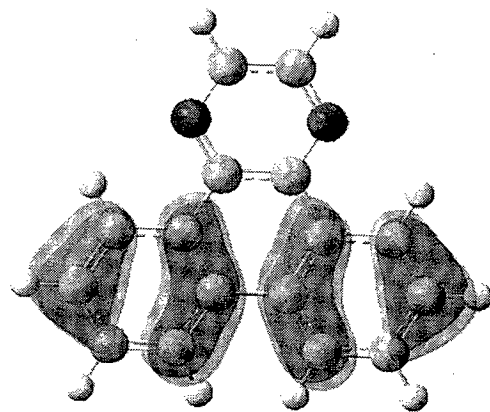


图 3A2

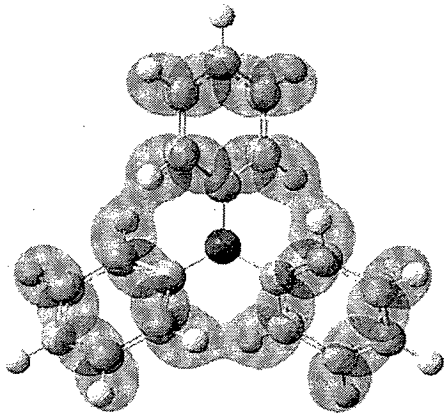


图 3B1

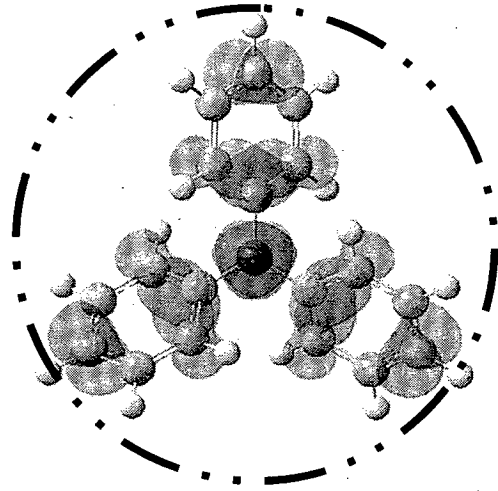


图 3B2

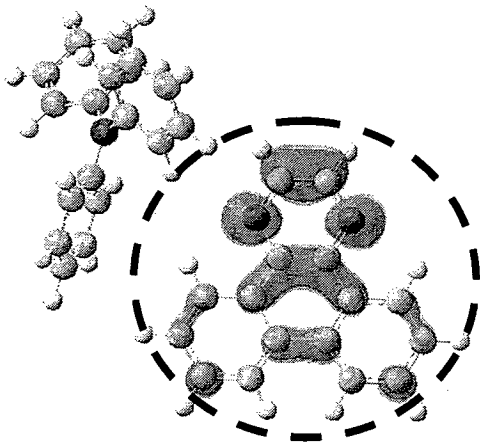


图 3C1

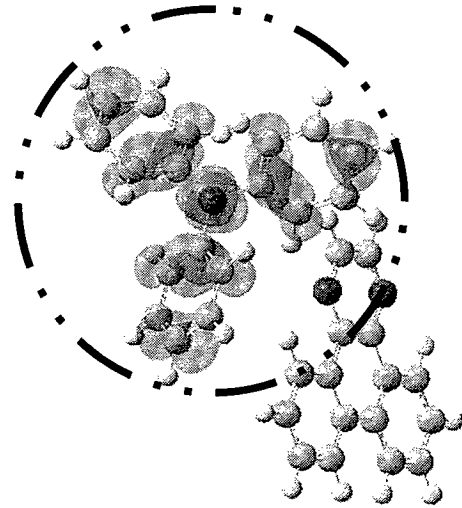


图 3C2

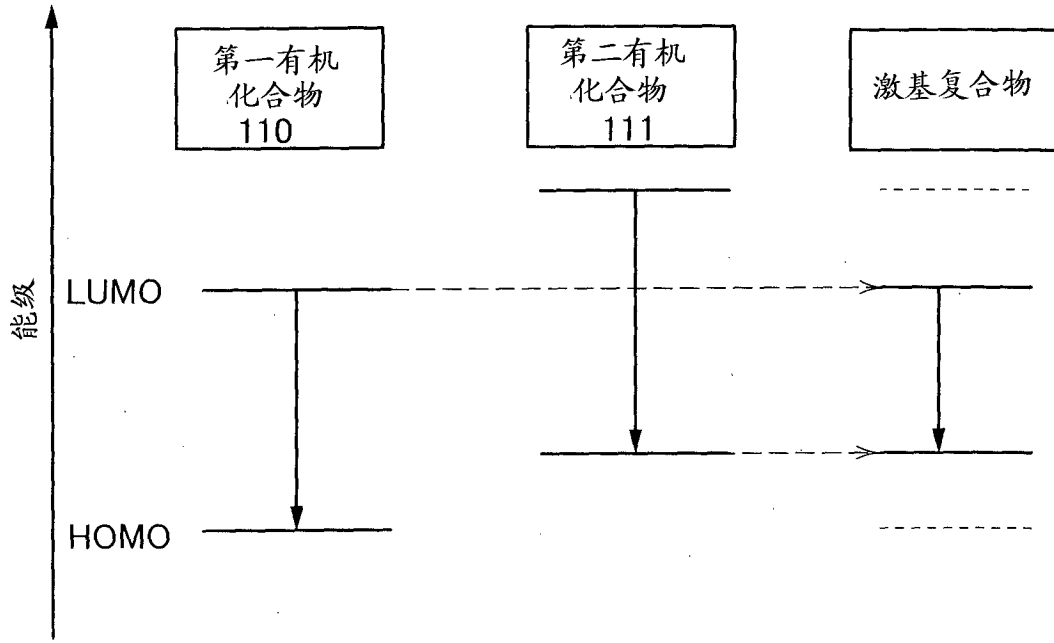


图 4

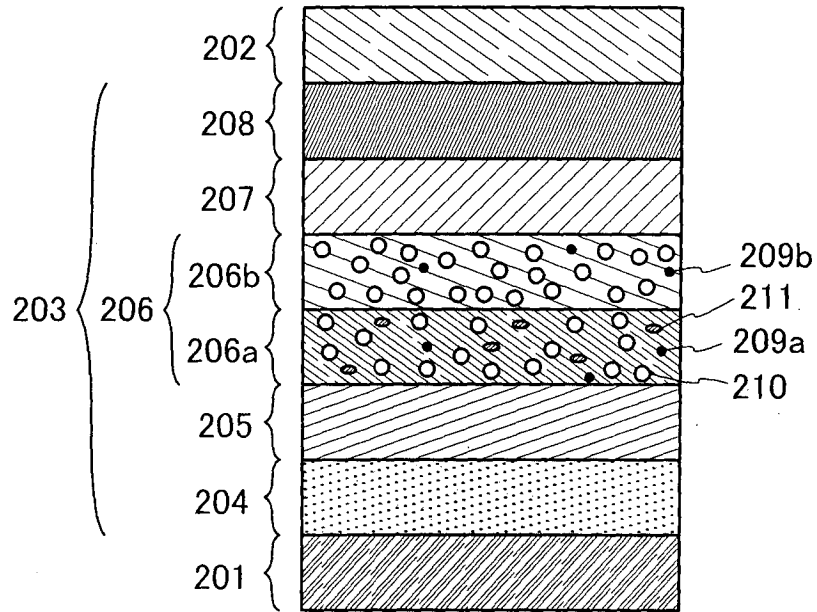


图 5

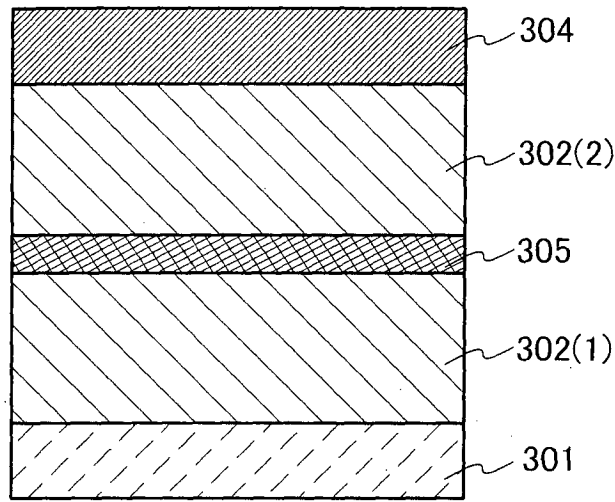


图 6A

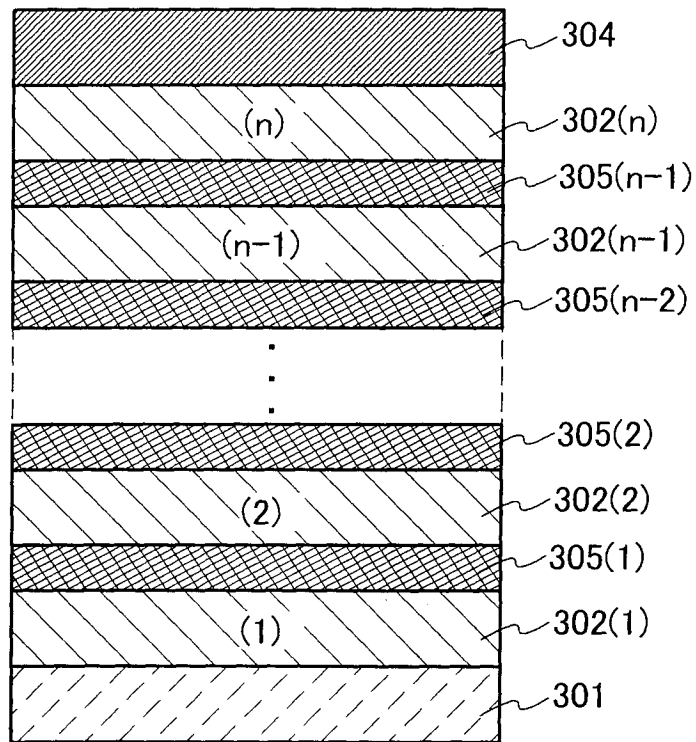


图 6B

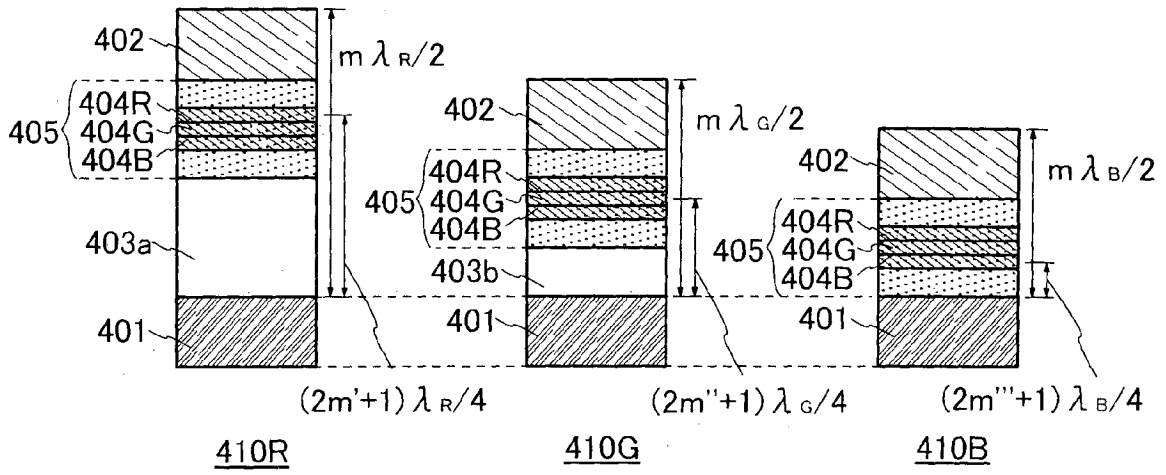


图 7

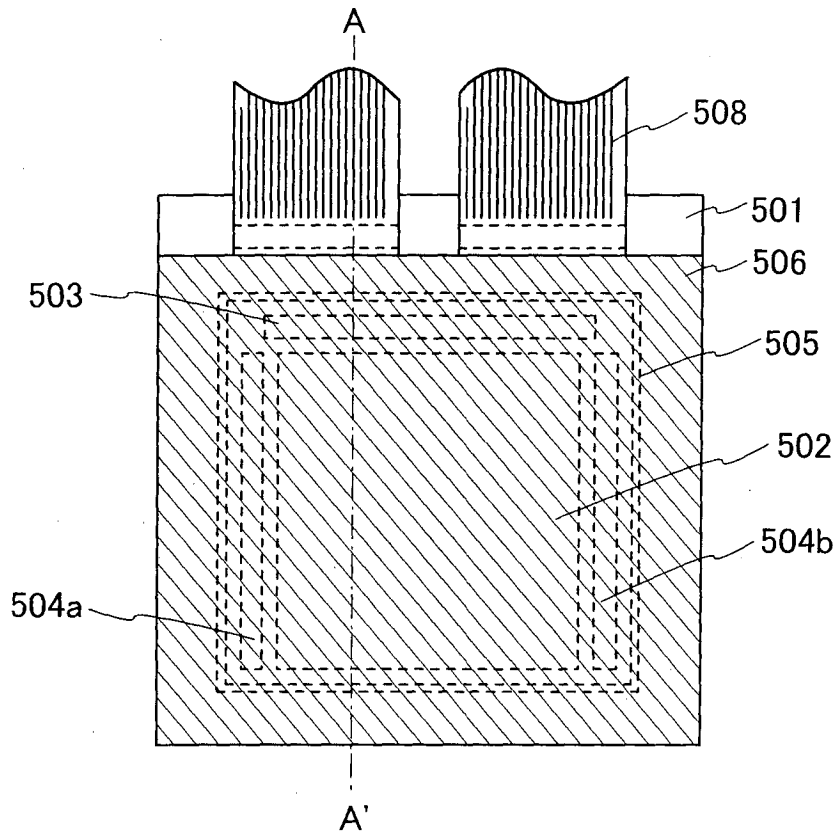


图 8A

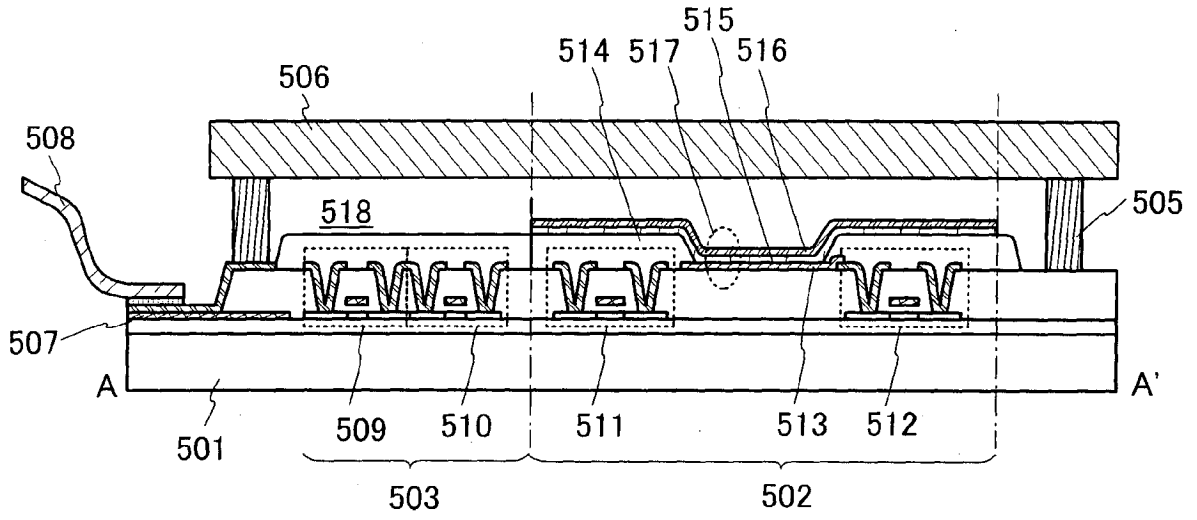


图 8B

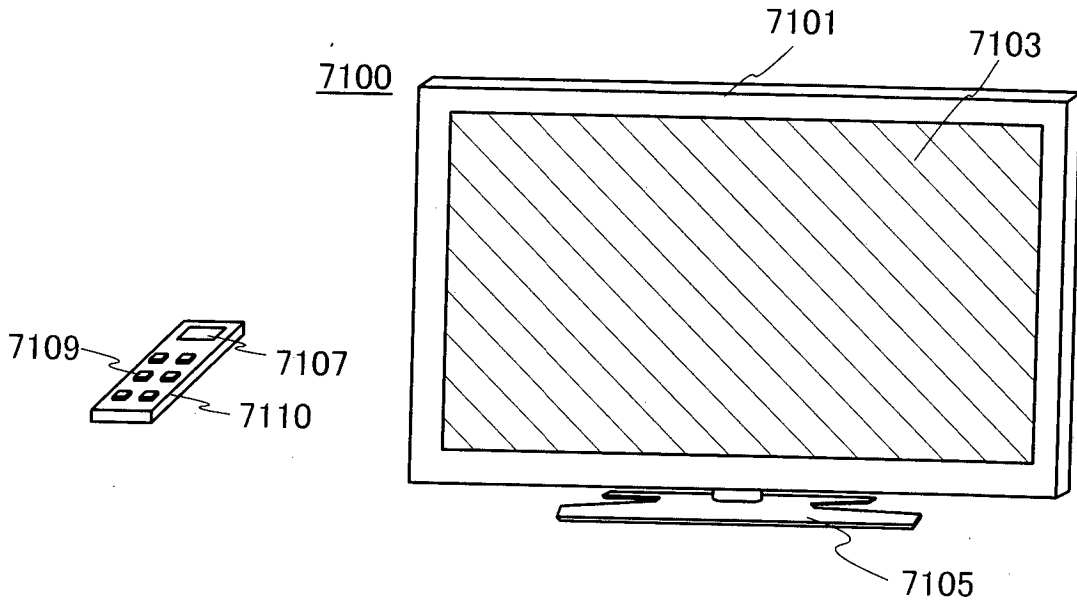


图 9A

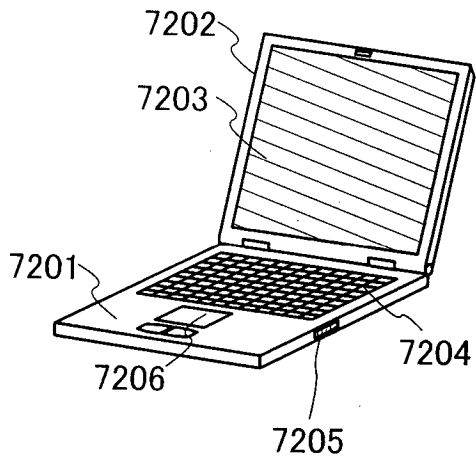


图 9B

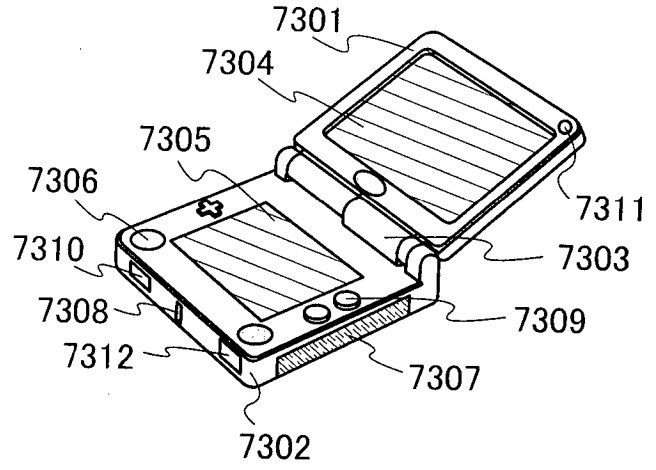


图 9C

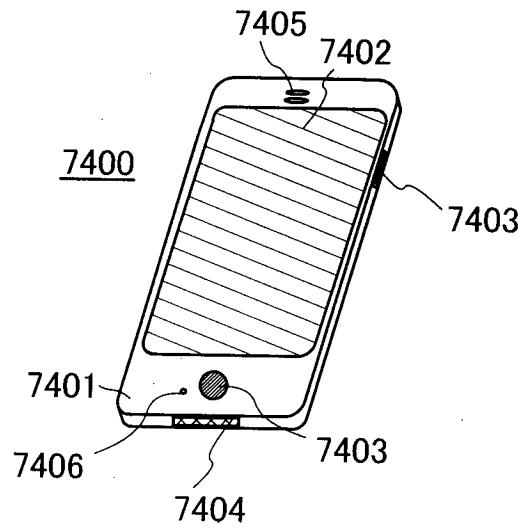


图 9D

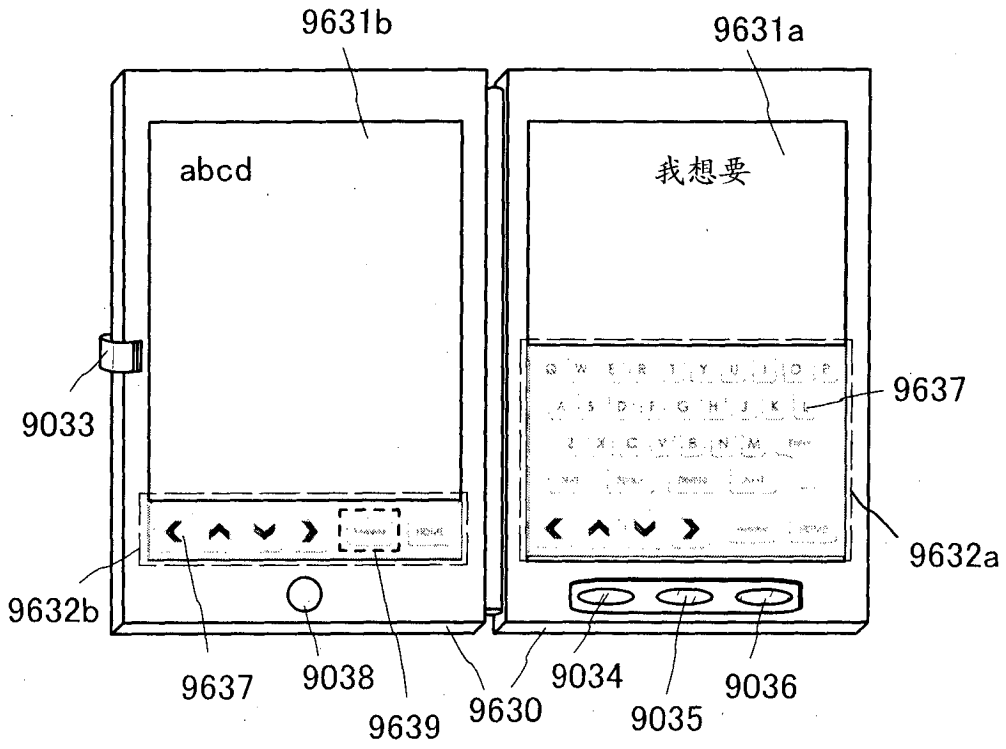


图 10A

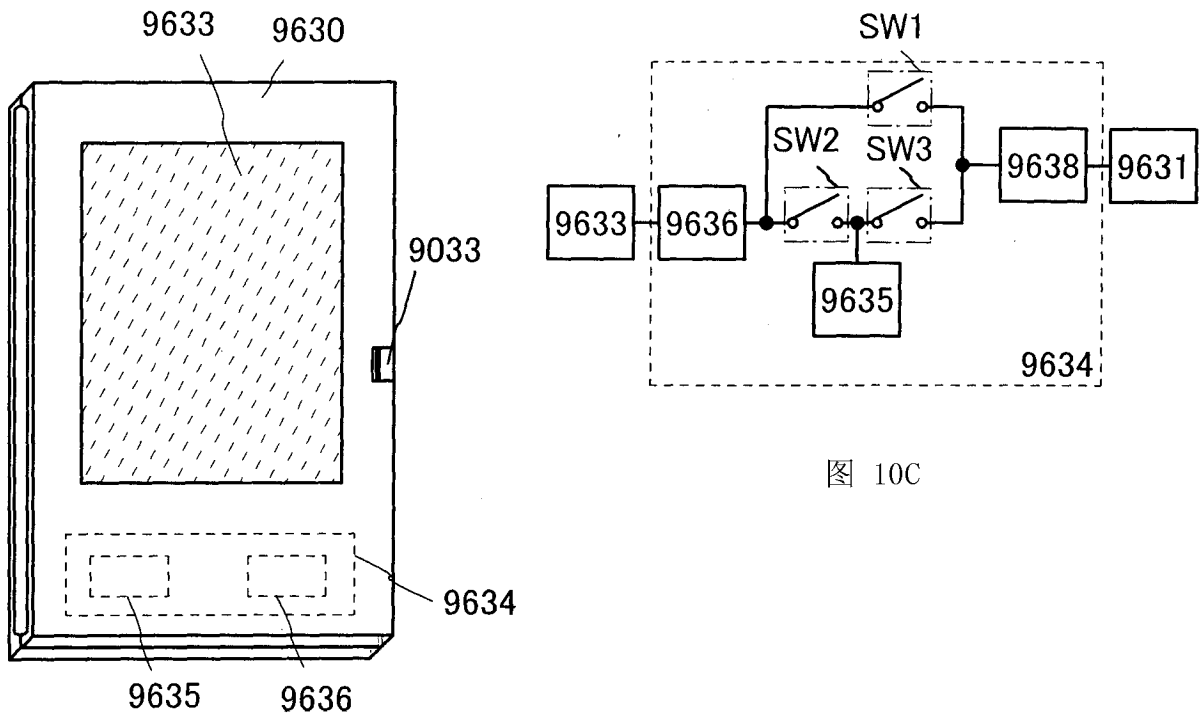


图 10C

图 10B

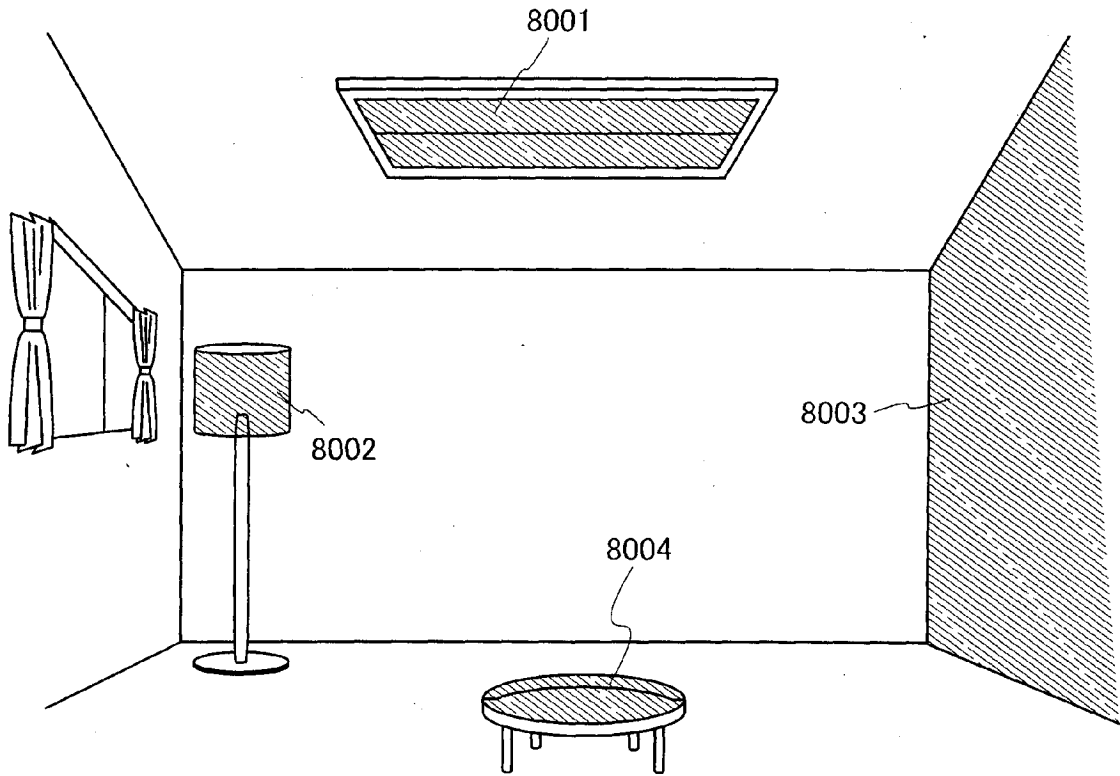


图 11

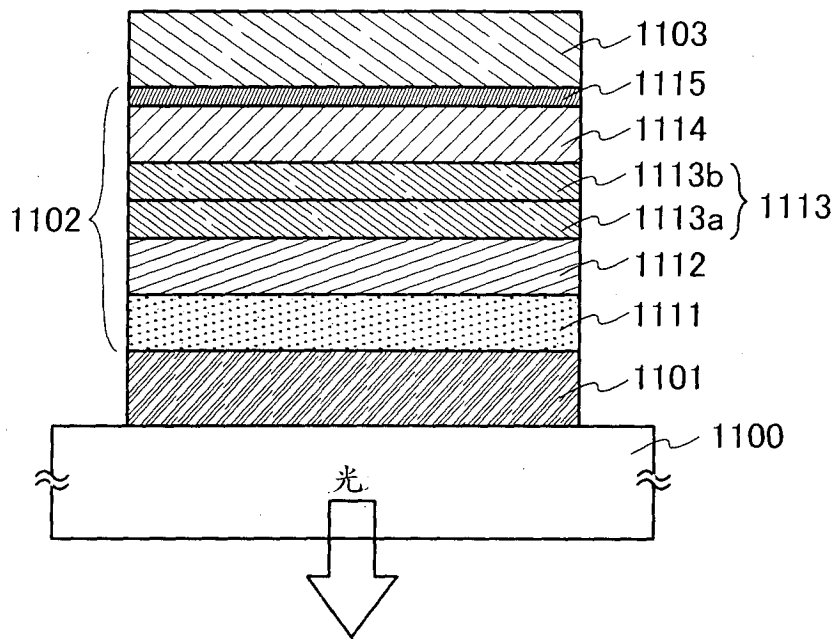


图 12

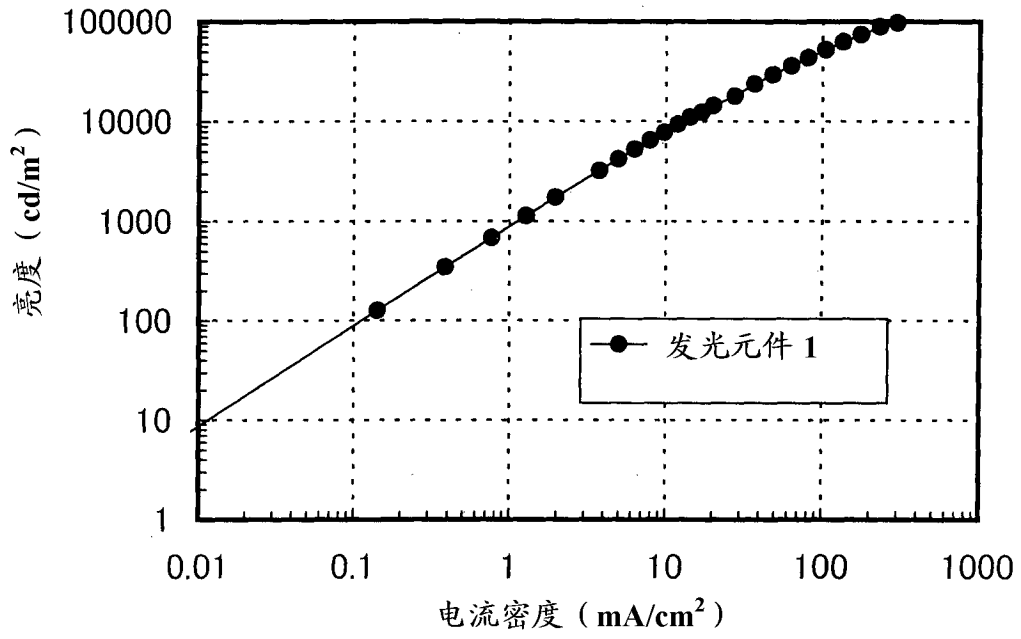


图 13

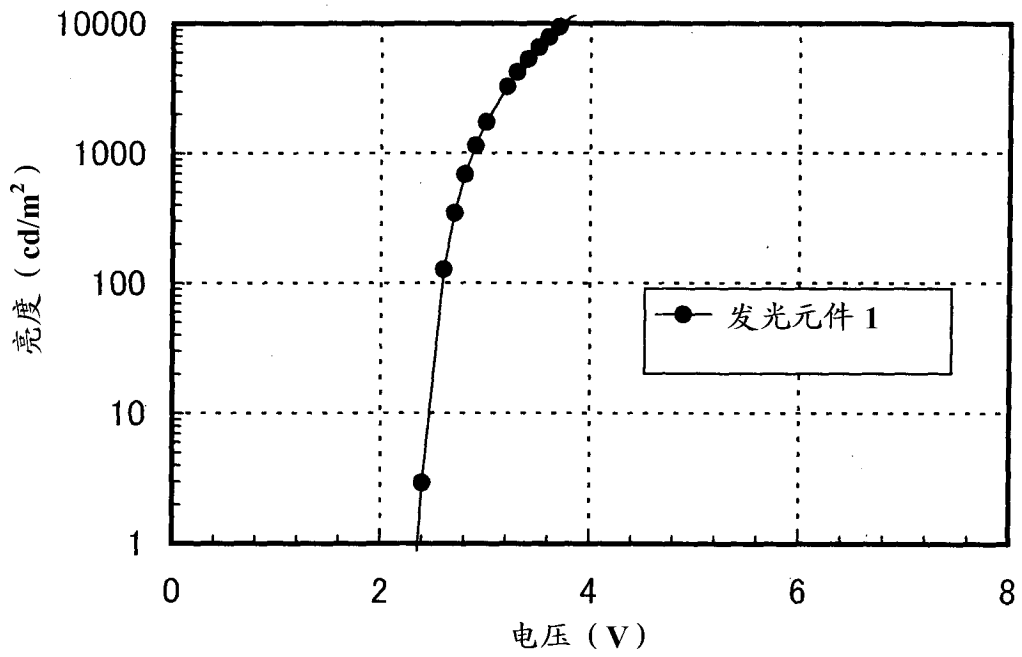


图 14

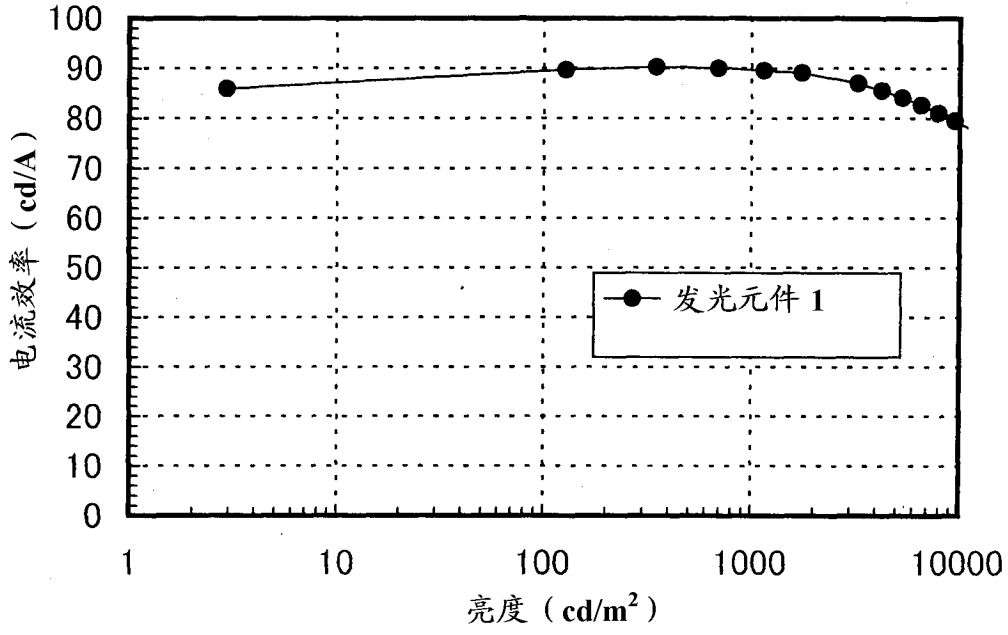


图 15

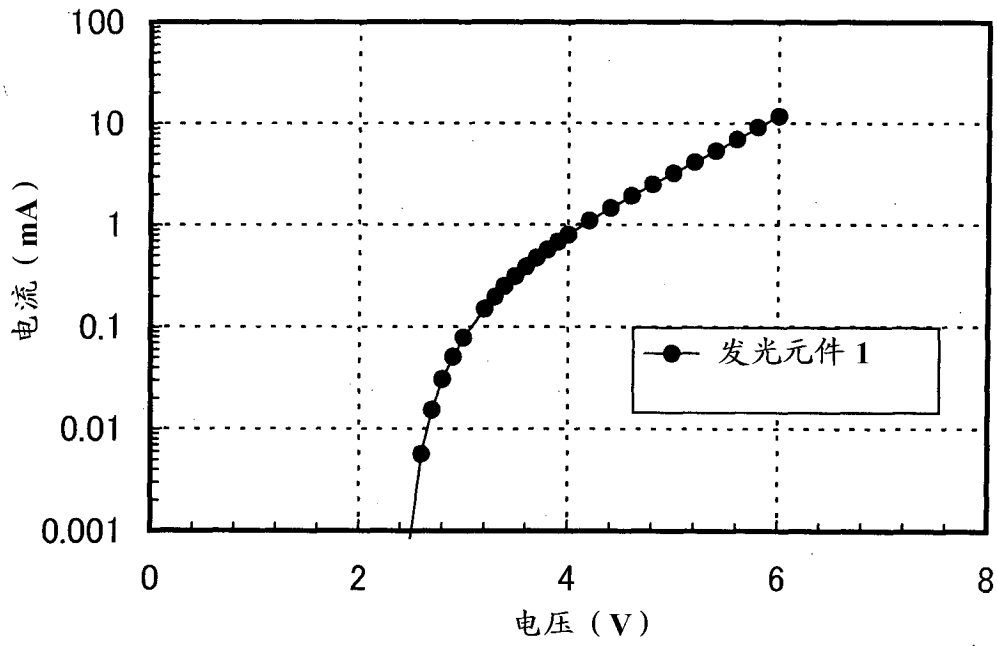


图 16

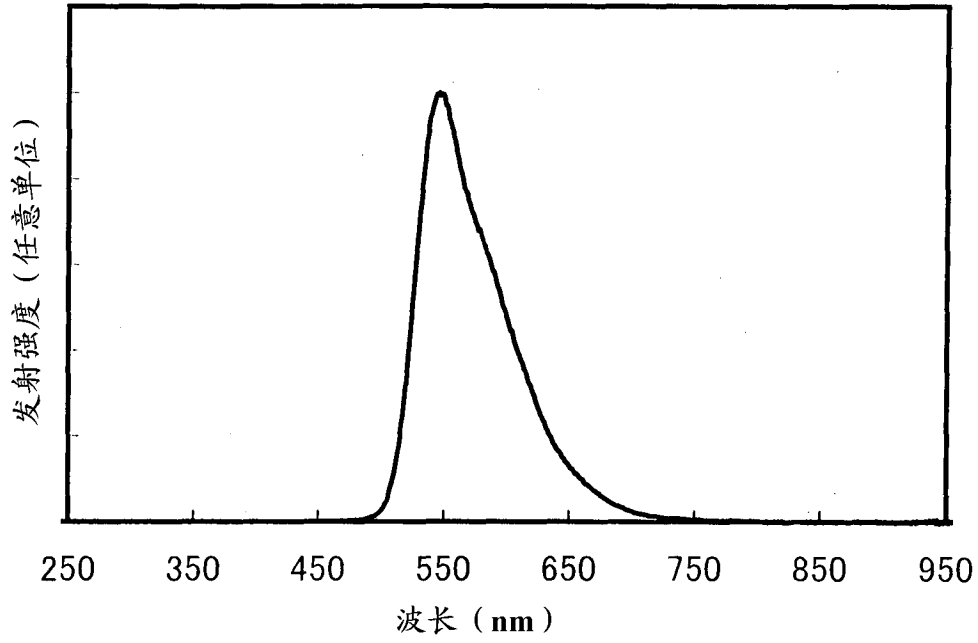


图 17

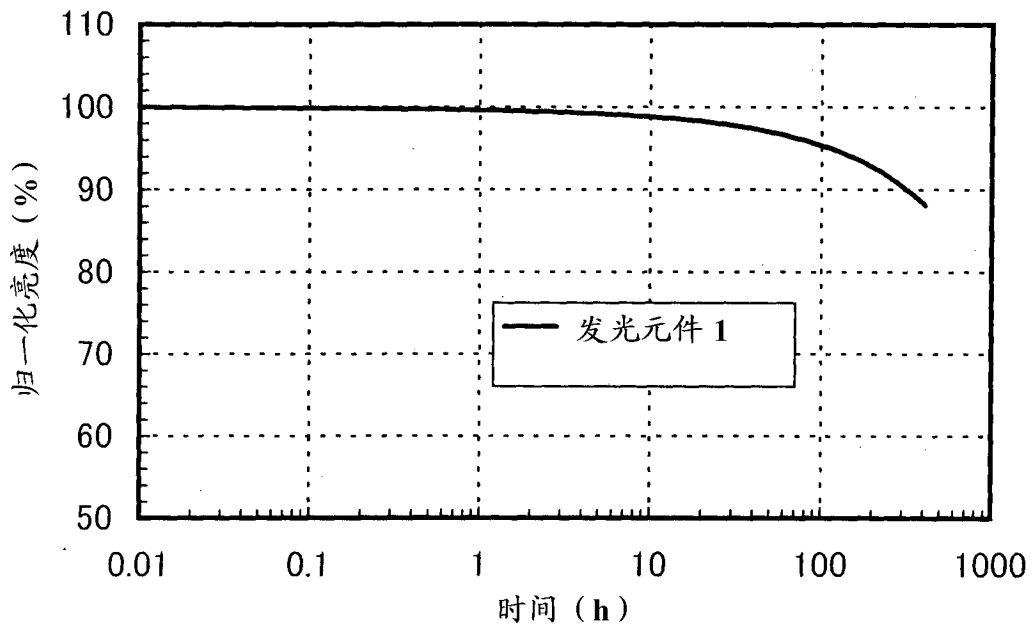


图 18

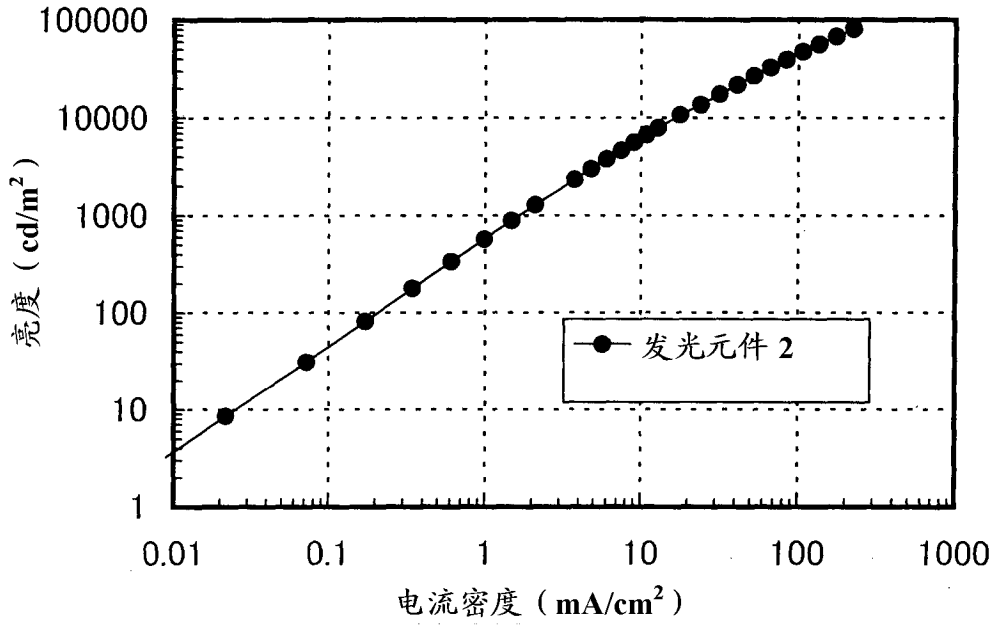


图 19

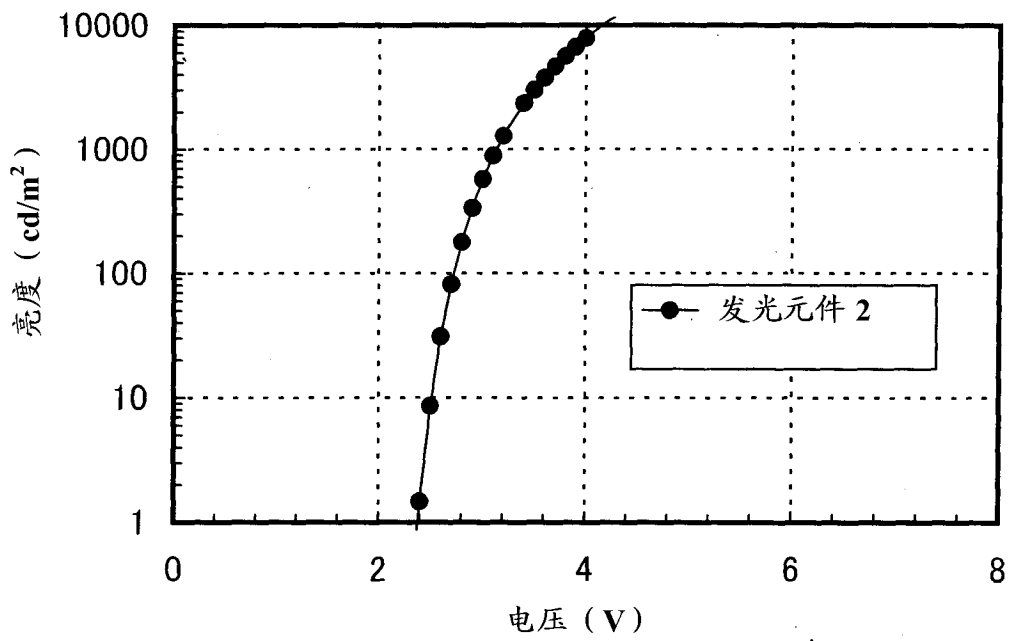


图 20

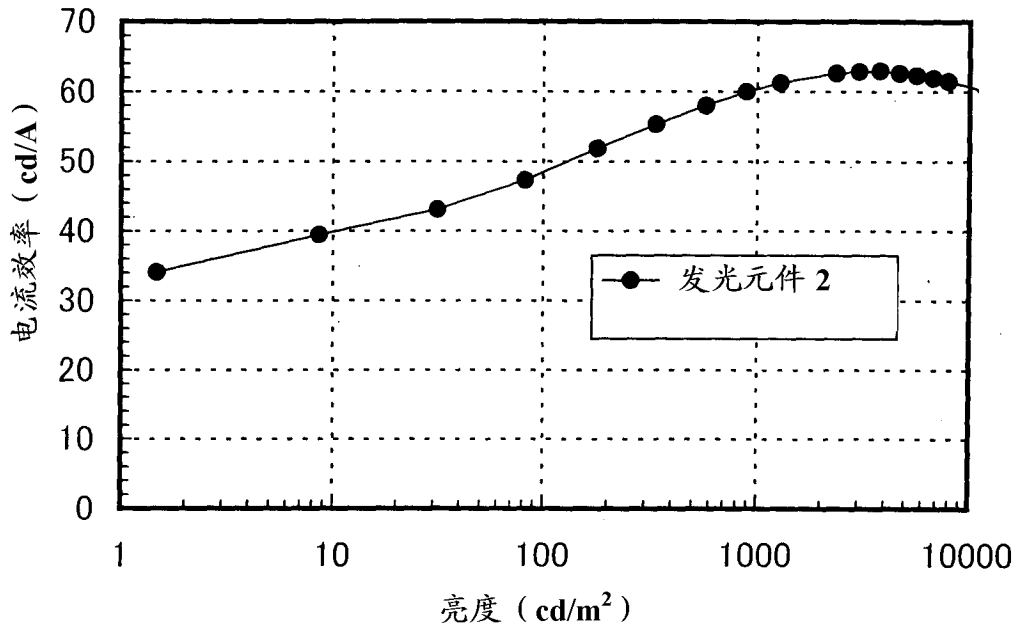


图 21

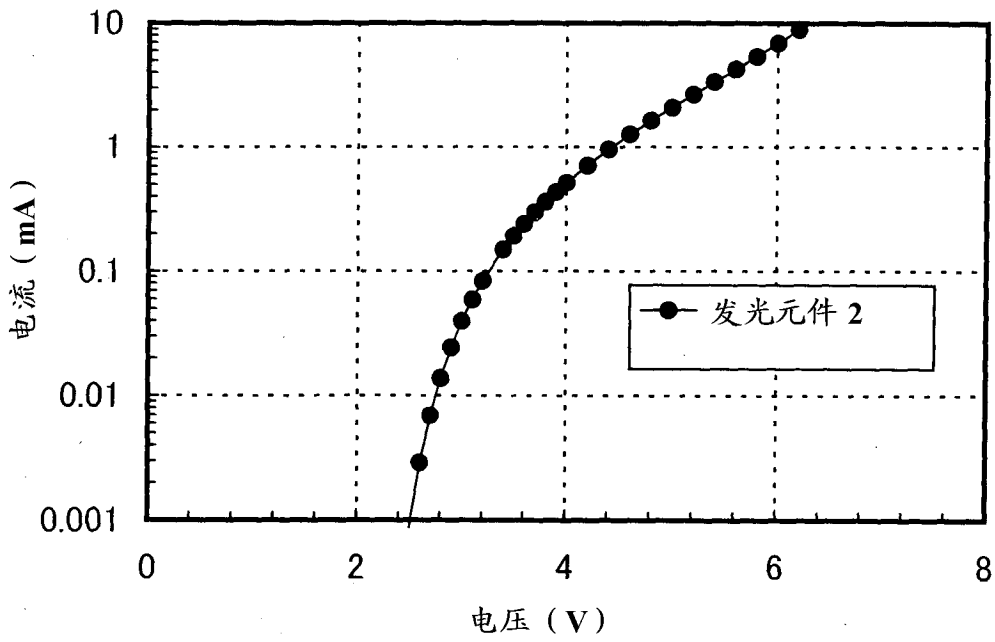


图 22

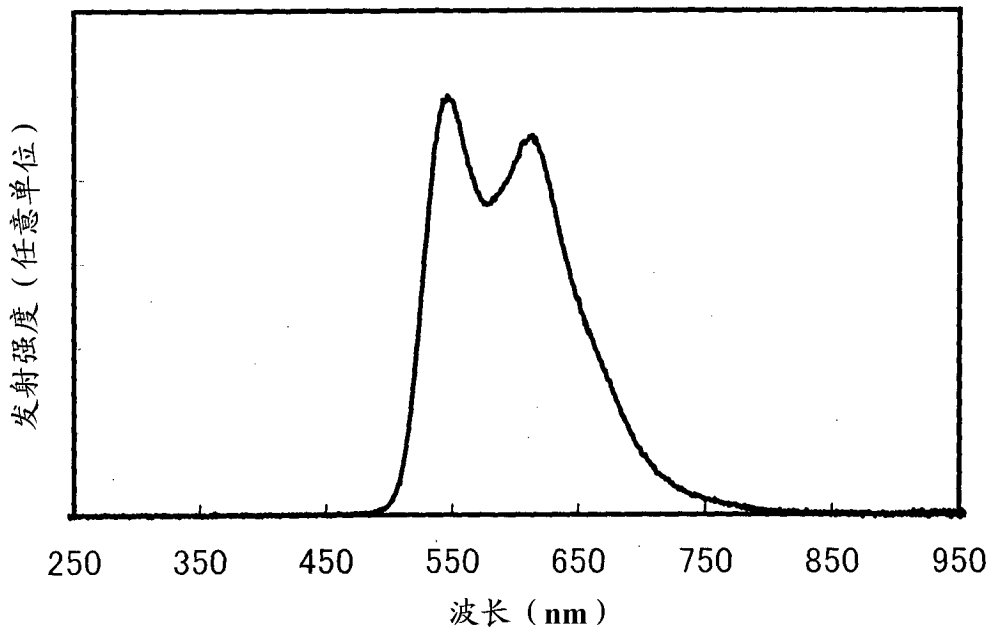


图 23

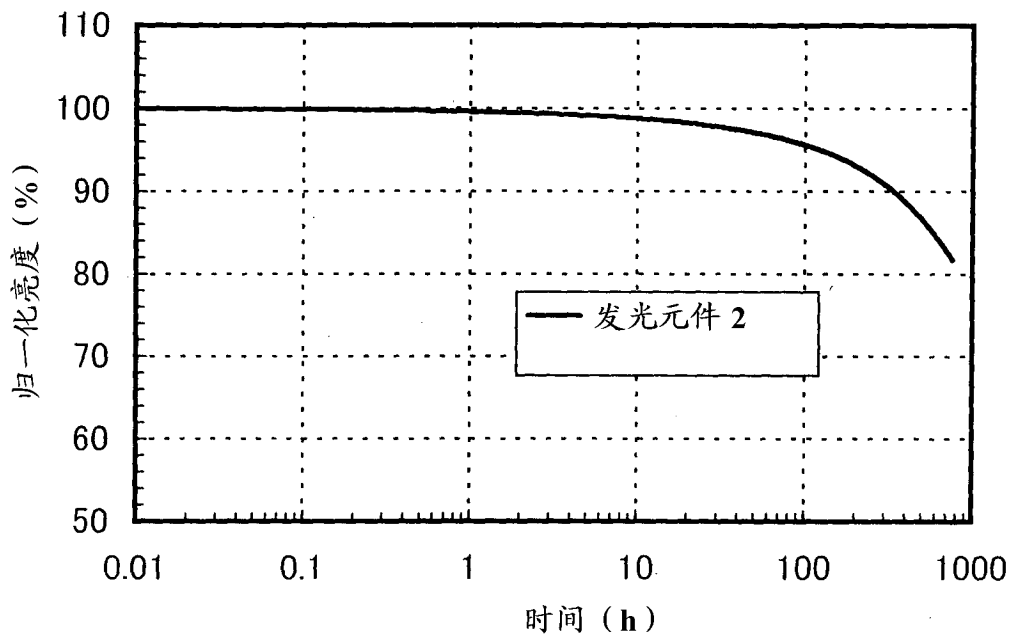


图 24

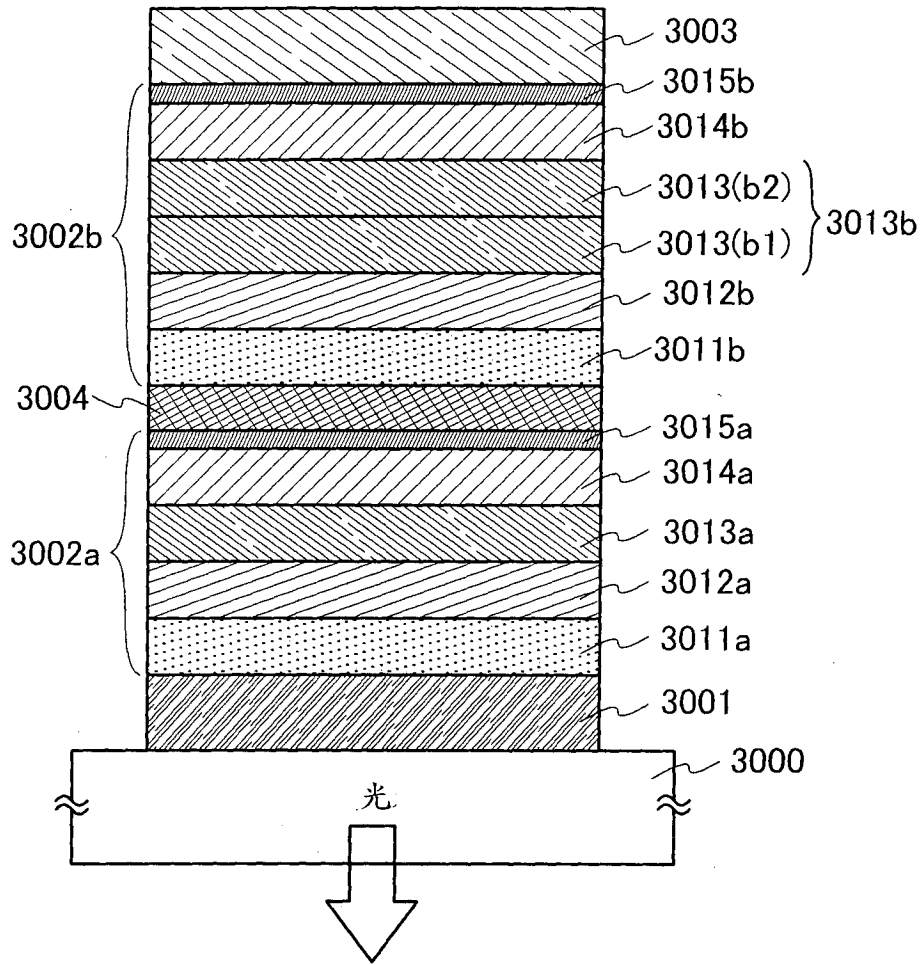


图 25

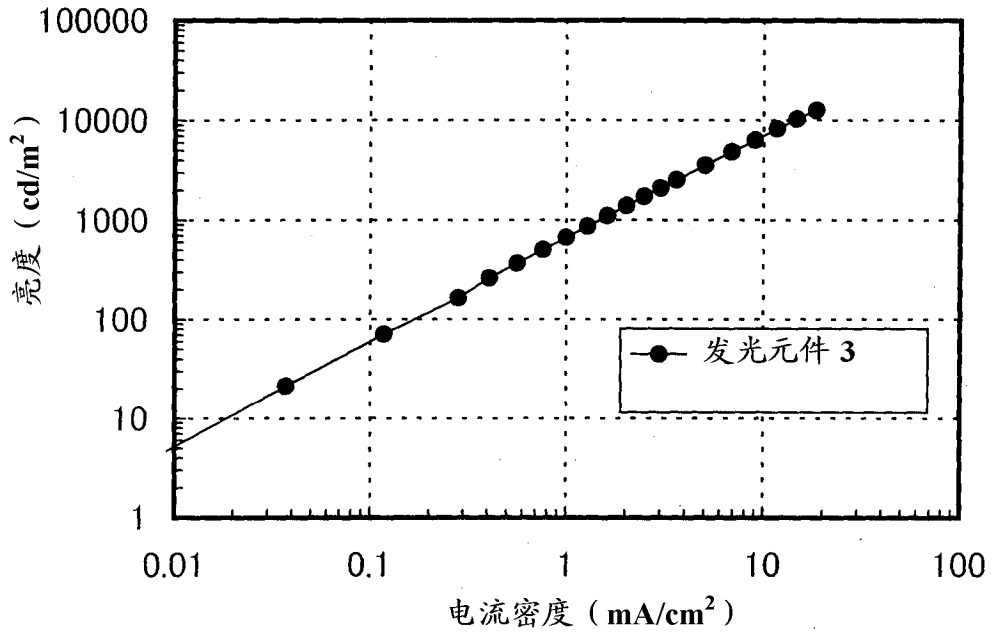


图 26

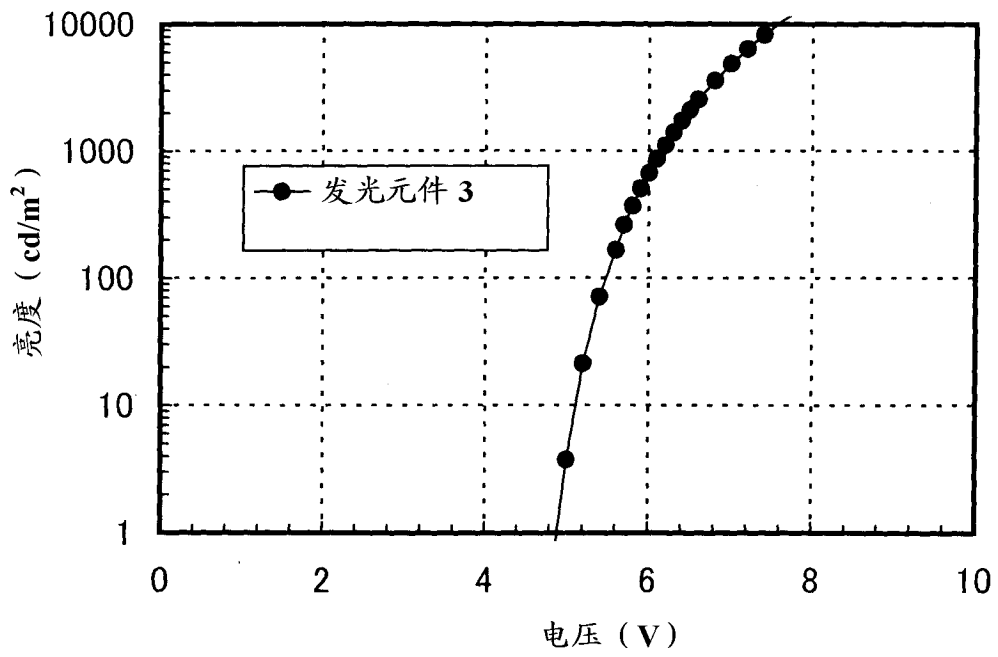


图 27

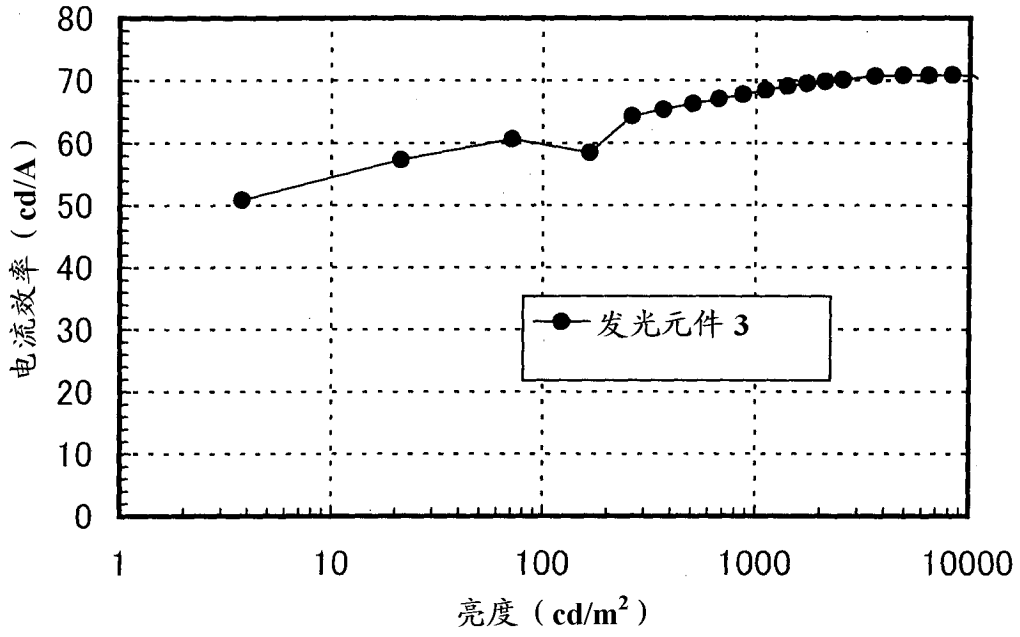


图 28

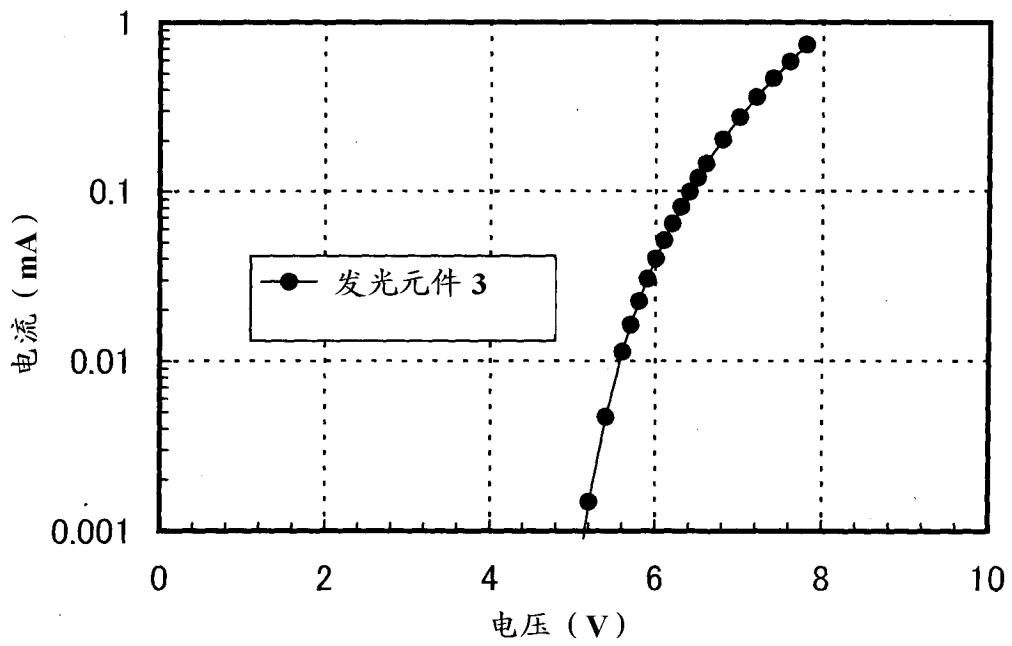


图 29

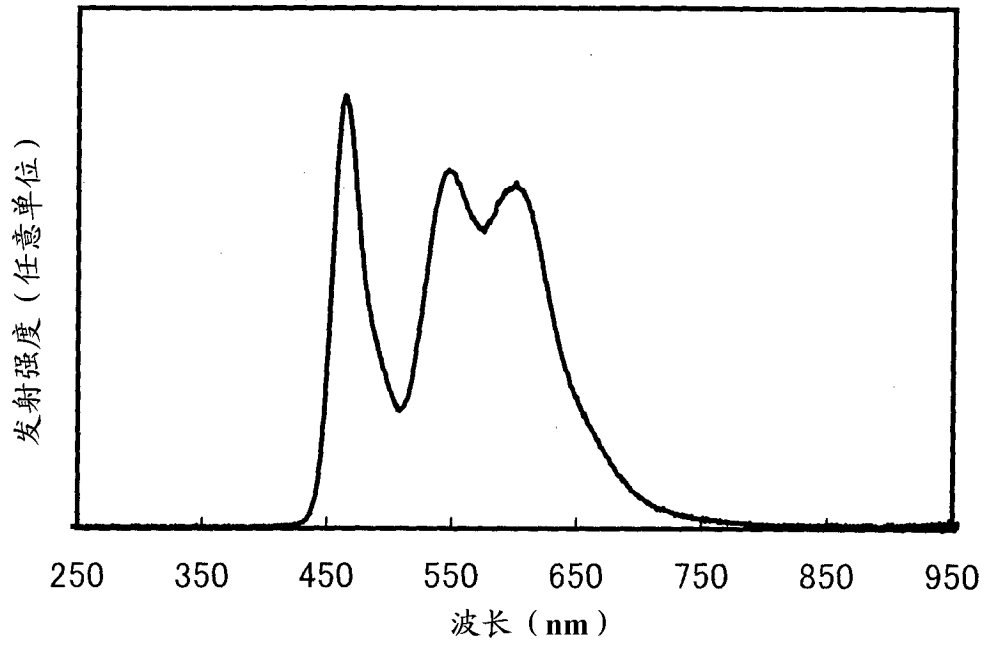
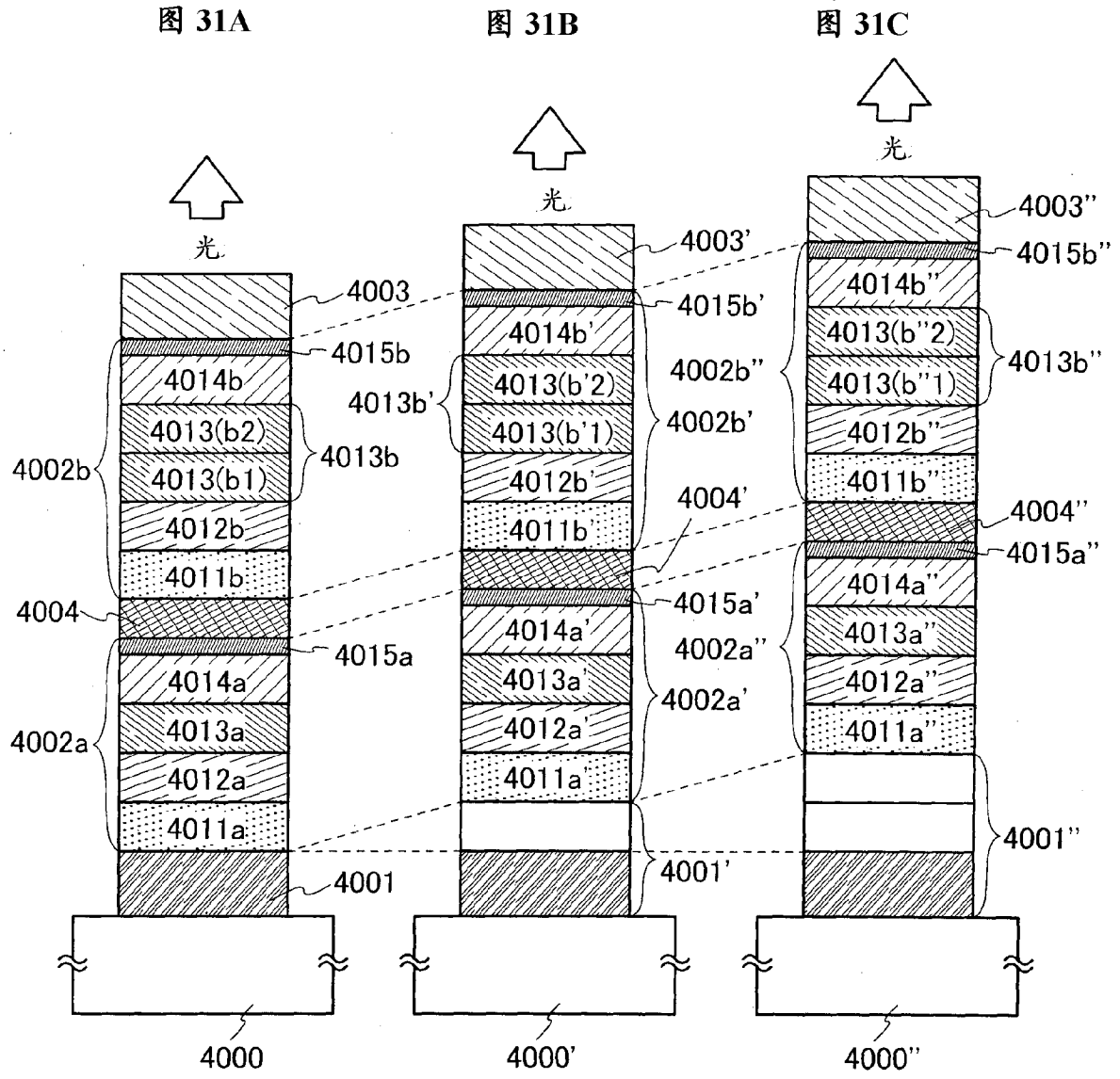


图 30



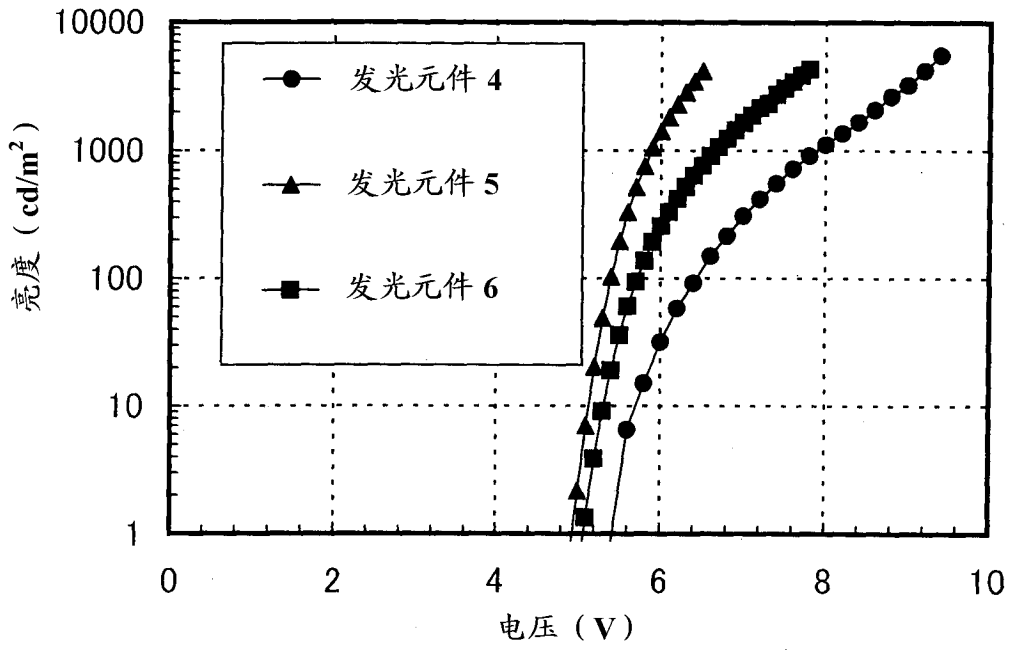


图 32

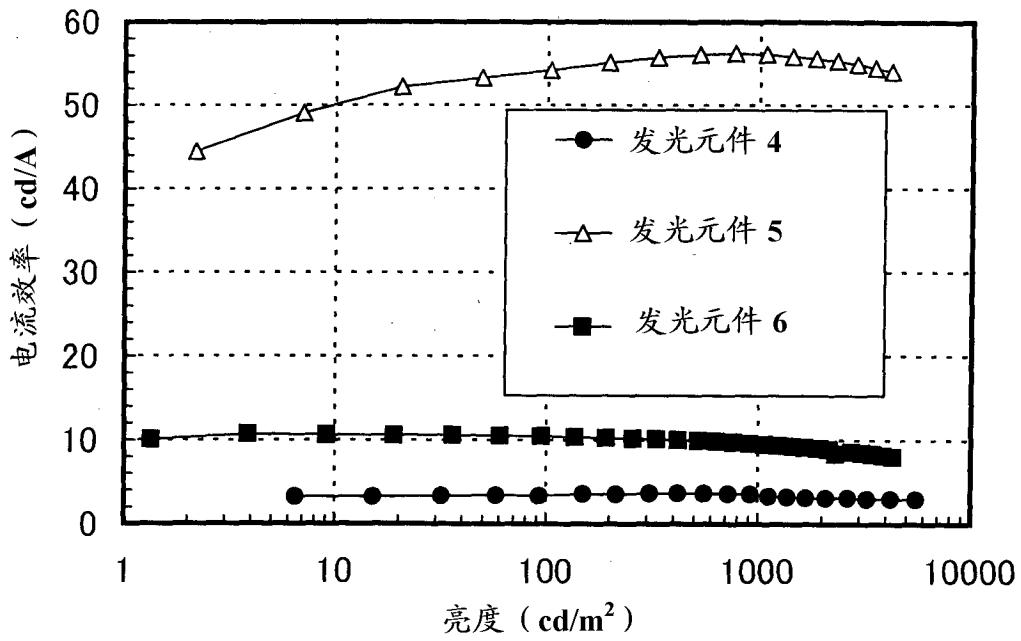


图 33

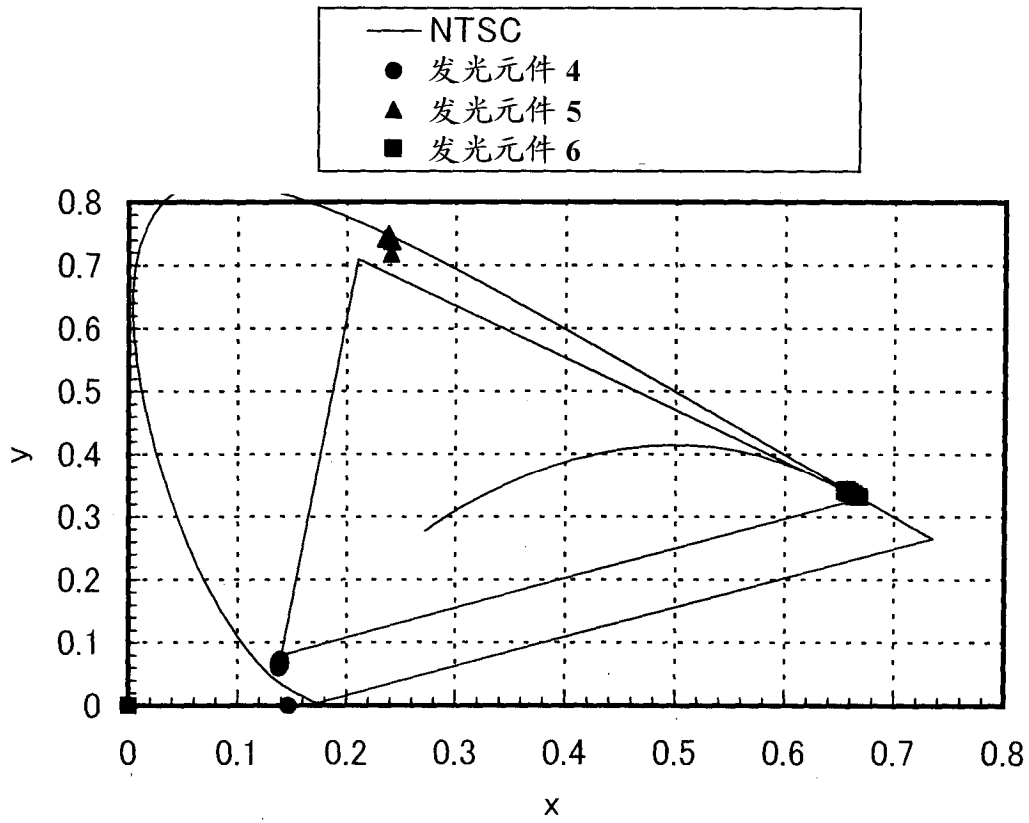


图 34

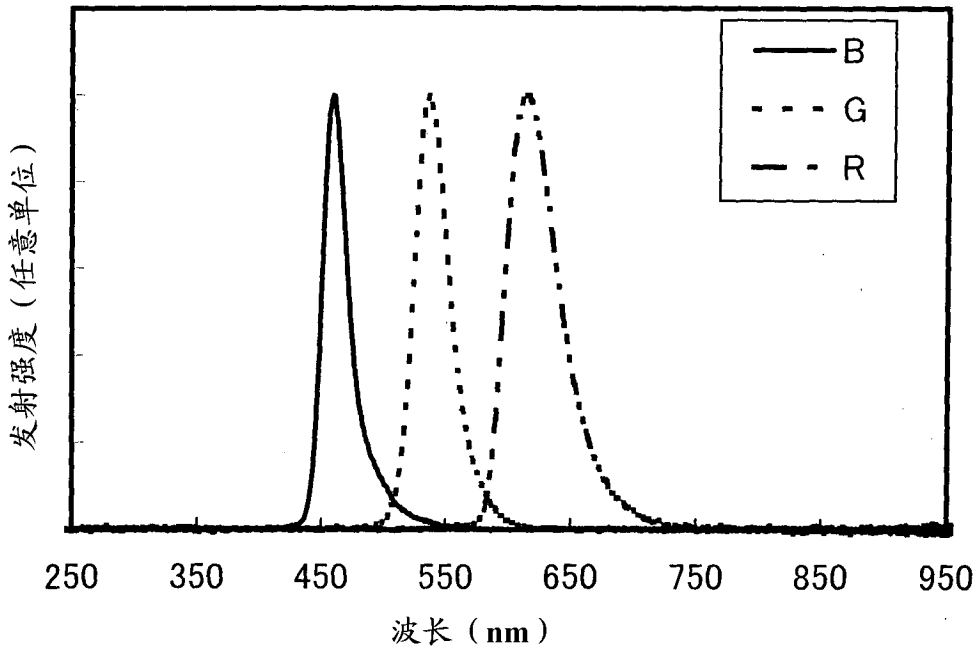


图 35