



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103378300 B

(45)授权公告日 2017.04.12

(21)申请号 201310127784.X

(22)申请日 2013.04.12

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 103378300 A

(43)申请公布日 2013.10.30

(30)优先权数据
2012-091615 2012.04.13 JP
2013-048051 2013.03.11 JP

(73)专利权人 株式会社半导体能源研究所
地址 日本神奈川县

(72)发明人 濑尾哲史 濑尾广美

(74)专利代理机构 上海专利商标事务所有限公司 31100
代理人 胡嘉倩

(51)Int.Cl.

H01L 51/50(2006.01)

H01L 51/54(2006.01)

C09K 11/06(2006.01)

H05B 33/14(2006.01)

(56)对比文件

US 2005/0221121 A1,2005.10.06,

US 2010/0117068 A1,2010.05.13,

CN 1543659 A,2004.11.03,

US 2005/0048310 A1,2005.03.03,

US 2005/0064237 A1,2005.03.24,

审查员 李纯菊

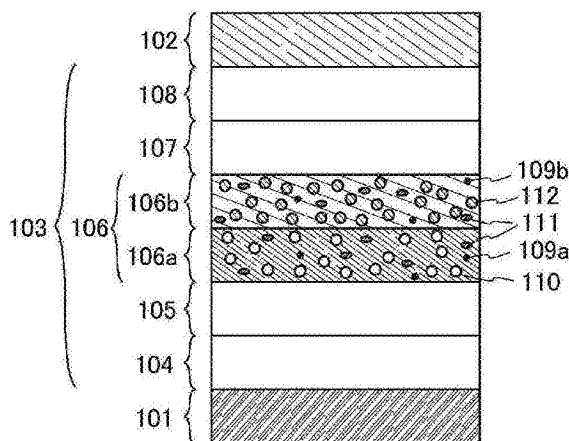
权利要求书3页 说明书29页 附图14页

(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

本发明提供一种外部量子效率高的发光元件。另外,本发明提供一种寿命长的发光元件。本发明的一个方式是一种发光元件,包括:阳极与阴极之间的发光层,其中,发光层至少包含将三重激发态能转换为发光的第一发光物质、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,并具有第一发光层和第二发光层的叠层结构,该第一发光层形成在阳极一侧,且该第二发光层至少包含将三重激发态能转换为发光的第二发光物质、第二有机化合物及具有电子传输性的第三有机化合物,第一有机化合物的LUMO能级高于第三有机化合物的LUMO能级,且第一发光物质是其波长比从第二发光物质发射的光的波长短的物质,并且,第一有机化合物和第二有机化合物以及第二有机化合物和第三有机化合物分别形成激基复合物。



1. 一种发光元件,包括:
阳极与阴极之间的发光层,
其中,所述发光层是第一发光层和第二发光层的叠层,
所述第一发光层位于所述阳极一侧,
所述第一发光层包含将三重激发态能转换为发光的第一发光物质、具有电子传输性的第一有机化合物和具有空穴传输性的第二有机化合物,
所述第二发光层包含将三重激发态能转换为发光的第二发光物质、所述第二有机化合物和具有电子传输性的第三有机化合物,
所述第一有机化合物具有比所述第三有机化合物高的最低空分子轨道能级,
所述第一发光物质发射比从所述第二发光物质发射的光的波长短的波长的光,
所述第一有机化合物和所述第二有机化合物形成第一激基复合物,
所述第二有机化合物和所述第三有机化合物形成第二激基复合物,
所述第一激基复合物的发射光谱与将三重激发态能转换为发光的所述第一发光物质的吸收光谱重叠,并且
所述第二激基复合物的发射光谱与将三重激发态能转换为发光的所述第二发光物质的吸收光谱重叠。
2. 根据权利要求1所述的发光元件,其中所述第一激基复合物的能量转移至所述第一发光物质,并且所述第二激基复合物的能量转移至所述第二发光物质。
3. 根据权利要求1所述的发光元件,其中所述第一激基复合物具有比所述第二激基复合物高的激发能量。
4. 根据权利要求1所述的发光元件,
其中由所述第一有机化合物的阴离子和所述第二有机化合物的阳离子形成所述第一激基复合物,
并且由所述第三有机化合物的阴离子和所述第二有机化合物的阳离子形成所述第二激基复合物。
5. 根据权利要求1所述的发光元件,
其中所述第一发光物质是磷光化合物或热活化延迟荧光材料,
所述第二发光物质是磷光化合物或热活化延迟荧光材料,
所述第一有机化合物是缺 π 电子型杂芳族化合物,
所述第二有机化合物是富 π 电子型杂芳族化合物或芳香胺化合物,
并且,所述第三有机化合物是缺 π 电子型杂芳族化合物。
6. 一种包括根据权利要求1所述的发光元件的发光装置。
7. 一种包括根据权利要求6所述的发光装置的电子设备。
8. 一种包括根据权利要求6所述的发光装置的照明装置。
9. 一种发光元件,包括:
阳极与阴极之间的发光层;
所述阳极与所述发光层之间的空穴传输层;以及
所述阴极与所述发光层之间的电子传输层,
其中,所述发光层是第一发光层和第二发光层的叠层,

所述第一发光层接触于所述空穴传输层，

所述第一发光层包含将三重激发态能转换为发光的第一发光物质、具有电子传输性的第一有机化合物和具有空穴传输性的第二有机化合物，

所述第二发光层接触于所述电子传输层，

所述第二发光层包含将三重激发态能转换为发光的第二发光物质、所述第二有机化合物和具有电子传输性的第三有机化合物，

所述第一有机化合物具有比所述第三有机化合物高的最低空分子轨道能级，

所述第一发光物质发射比从所述第二发光物质发射的光的波长短的波长的光，

所述第一有机化合物和所述第二有机化合物形成第一激基复合物，

所述第二有机化合物和所述第三有机化合物形成第二激基复合物，

所述第一激基复合物的发射光谱与将三重激发态能转换为发光的所述第一发光物质的吸收光谱重叠，并且

所述第二激基复合物的发射光谱与将三重激发态能转换为发光的所述第二发光物质的吸收光谱重叠。

10. 根据权利要求9所述的发光元件，其中所述第一激基复合物的能量转移至所述第一发光物质，并且所述第二激基复合物的能量转移至所述第二发光物质。

11. 根据权利要求9所述的发光元件，其中所述第一激基复合物具有比所述第二激基复合物高的激发能量。

12. 根据权利要求9所述的发光元件，

其中由所述第一有机化合物的阴离子和所述第二有机化合物的阳离子形成所述第一激基复合物，

并且由所述第三有机化合物的阴离子和所述第二有机化合物的阳离子形成所述第二激基复合物。

13. 根据权利要求9所述的发光元件，

其中所述第一发光物质是磷光化合物或热活化延迟荧光材料，

所述第二发光物质是磷光化合物或热活化延迟荧光材料，

所述第一有机化合物是缺 π 电子型杂芳族化合物，

所述第二有机化合物是富 π 电子型杂芳族化合物或芳香胺化合物，

并且，所述第三有机化合物是缺 π 电子型杂芳族化合物。

14. 一种包括根据权利要求9所述的发光元件的发光装置。

15. 一种包括根据权利要求14所述的发光装置的电子设备。

16. 一种包括根据权利要求14所述的发光装置的照明装置。

17. 一种发光元件，包括：

阳极；

所述阳极上的第一发光层；

所述第一发光层上的第二发光层；以及

所述第二发光层上的阴极，

其中，所述第一发光层包含4,6-双[3-(9H-咪唑-9-基)苯基]嘧啶、N-(1,1'-联苯-4-基)-N-[4-(9-苯基-9H-咪唑-3-基)苯基]-9,9-二甲基-9H-芴-2-胺和将三重激发态能转换

为发光的第一发光物质，

并且，所述第二发光层包含2-[3'-(二苯并噻吩-4-基)联苯-3-基]二苯并[f,h]喹啉、N-(1,1'-联苯-4-基)-N-[4-(9-苯基-9H-咪唑-3-基)苯基]-9,9-二甲基-9H-芴-2-胺和将三重激发态能转换为发光的第二发光物质，

所述4,6-双[3-(9H-咪唑-9-基)苯基]嘧啶和N-(1,1'-联苯-4-基)-N-[4-(9-苯基-9H-咪唑-3-基)苯基]-9,9-二甲基-9H-芴-2-胺形成第一激基复合物，

所述2-[3'-(二苯并噻吩-4-基)联苯-3-基]二苯并[f,h]喹啉和N-(1,1'-联苯-4-基)-N-[4-(9-苯基-9H-咪唑-3-基)苯基]-9,9-二甲基-9H-芴-2-胺形成第二激基复合物，

所述第一激基复合物的发射光谱与将三重激发态能转换为发光的所述第一发光物质的吸收光谱重叠，并且

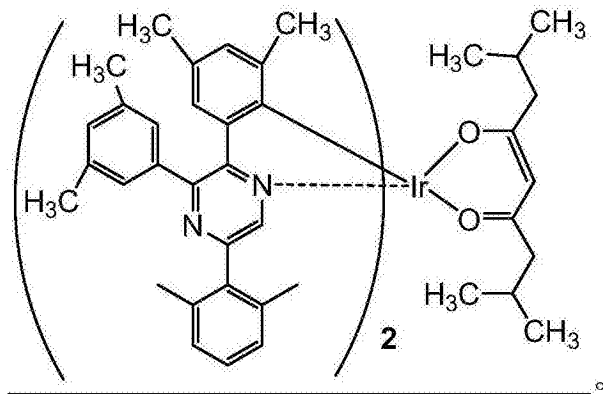
所述第二激基复合物的发射光谱与将三重激发态能转换为发光的所述第二发光物质的吸收光谱重叠。

18. 根据权利要求17所述的发光元件，其中，所述第一激基复合物的能量转移至所述第一发光物质，并且

所述第二激基复合物的能量转移至所述第二发光物质。

19. 根据权利要求17所述的发光元件，其中所述第一发光物质是三(2-苯基吡啶)铱(III)。

20. 根据权利要求17所述的发光元件，其中所述第二发光物质由下式表示



21. 一种包括根据权利要求17所述的发光元件的发光装置。

22. 一种包括根据权利要求21所述的发光装置电子设备。

23. 一种包括根据权利要求21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通过施加电场来获得发光的有机化合物被夹在一对电极之间的发光元件。另外，本发明的一个方式涉及一种具有这种发光元件的发光装置、电子设备及照明装置。

背景技术

[0002] 具有薄型轻量、高速响应性及直流低电压驱动等的特征的有机化合物用作发光体的发光元件被期待应用于下一代平板显示器。一般认为：尤其是将发光元件配置为矩阵状的显示装置与现有的液晶显示装置相比具有视角宽且可见度优异的优点。

[0003] 一般认为发光元件的发光机理是如下：通过在一对电极之间夹着包含发光体的EL层并对该一对电极施加电压，从阴极注入的电子和从阳极注入的空穴在EL层的发光中心复合而形成分子激子，当该分子激子返回到基态时释放出能量而发光。已知激发态有单重激发态和三重激发态，并且无论经过上述任一种激发态都可以实现发光。

[0004] 关于这种发光元件，为了提高其元件特性，积极地进行元件结构的改进、材料的开发等(例如，参照专利文献1)。

[0005] [专利文献1]日本专利申请公开2010-182699号公报

[0006] 然而，被认为现状的发光元件的光取出效率为20%至30%左右，即使考虑到反射电极或透明电极吸收光，也被认为使用磷光化合物的发光元件的外部量子效率的极限为25%左右。

发明内容

[0007] 于是，本发明的一个方式提供一种外部量子效率高的发光元件。另外，本发明的一个方式提供一种寿命长的发光元件。

[0008] 本发明的一个方式是一种发光元件，该发光元件在一对电极(阳极与阴极)之间具有发光层，其中，发光层至少包含将三重激发态能转换为发光的第一发光物质(客体材料)、具有电子传输性的第一有机化合物(主体材料)及具有空穴传输性的第二有机化合物(辅助材料)，并具有第一发光层和第二发光层的叠层结构，该第一发光层形成在阳极一侧，且该第二发光层至少包含将三重激发态能转换为光的第二发光物质(客体材料)、具有电子传输性的第三有机化合物(主体材料)及具有空穴传输性的第二有机化合物(辅助材料)，在第一发光层中，第一有机化合物(主体材料)和第二有机化合物(辅助材料)的组合是形成激基复合物的组合，并且，在第二发光层中，第三有机化合物(主体材料)和第二有机化合物(辅助材料)的组合是形成激基复合物的组合。

[0009] 此外，本发明的其他方式是一种发光元件，该发光元件在阳极与阴极之间具有发光层，在阳极与发光层之间具有空穴传输层，在阴极与发光层之间具有电子传输层，其中，发光层至少包含将三重激发态能转换为光的第一发光物质、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，并具有第一发光层和第二发光层的叠层结

构,该第一发光层接触于空穴传输层地形成,且该第二发光层至少包含将三重激发态能转换为发光的第二发光物质、具有电子传输性的第三有机化合物及具有空穴传输性的第二有机化合物并接触于电子传输层地形成,在第一发光层中,第一有机化合物(主体材料)和第二有机化合物(辅助材料)的组合是形成激基复合物的组合,并且,在第二发光层中,第三有机化合物(主体材料)和第二有机化合物(辅助材料)的组合是形成激基复合物的组合。

[0010] 另外,在上述各结构中,与第一有机化合物(主体材料)和第二有机化合物(辅助材料)的每一个的发光波长(荧光波长)相比,由第一发光层的第一有机化合物(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光波长位于长波长一侧。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)的荧光光谱及第二有机化合物(辅助材料)的荧光光谱变换为位于更长波长一侧的发射光谱。此外,与第三有机化合物(主体材料)和第二有机化合物(辅助材料)的每一个的发光波长(荧光波长)相比,由第二发光层的第三有机化合物(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光波长位于长波长一侧。因此,通过形成激基复合物,可以将第三有机化合物(主体材料)的荧光光谱及第二有机化合物(辅助材料)的荧光光谱变换为位于更长波长一侧的发射光谱。

[0011] 另外,在上述各结构中,在第一发光层中,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激基复合物,在第二发光层中,由第三有机化合物的阴离子及第二有机化合物的阳离子形成激基复合物。

[0012] 另外,在上述结构中,第一发光层和第二发光层的每一个包含相同的第二有机化合物(辅助材料),并且,包含在第一发光层中的第一有机化合物(主体材料)的最低空分子轨道能级(LUMO能级)高于包含在第二发光层中的第三有机化合物(主体材料)的最低空分子轨道能级(LUMO能级)。

[0013] 再者,在上述结构中,包含在第一发光层中的第一发光物质是其波长比从包含在第二发光层中的第二发光物质发射的光的波长短的物质。

[0014] 另外,在上述结构中,第一发光物质及第二发光物质是将三重激发态能转换为发光的发光物质,可以使用有机金属配合物等磷光化合物、显示热活化延迟荧光的材料,即热活化延迟荧光(TADF:Thermally Activated Delayed Fluorescence)材料。此外,第一有机化合物及第三有机化合物主要是电子迁移率为 $10^{-6}\text{cm}^2/\text{Vs}$ 以上的电子传输材料,具体而言,是缺 π 电子型杂芳族化合物,第二有机化合物主要是空穴迁移率为 $10^{-6}\text{cm}^2/\text{Vs}$ 以上的空穴传输材料,具体而言,是富 π 电子型杂芳族化合物或芳香胺化合物。

[0015] 此外,本发明的一个方式不仅包括具有发光元件的发光装置,而且还包括具有发光装置的电子设备及照明装置。因此,本说明书中的发光装置是指图像显示装置或光源(包括照明装置)。另外,发光装置还包括如下模块:在发光装置中安装有连接器诸如FPC(Flexible printed circuit:柔性印刷电路)或TCP(Tape Carrier Package:载带封装)的模块;在TCP端部中设置有印刷线路板的模块;或者IC(集成电路)通过COG(Chip On Glass:玻璃上芯片)方式直接安装在发光元件上的模块。

[0016] 另外,在本发明的一个方式的发光元件中,可以在构成发光层的第一发光层和第二发光层的每一个中形成激基复合物,由此可以实现能量转移效率高且外部量子效率高的发光元件。

[0017] 此外,通过作为本发明的一个方式的发光元件采用上述元件结构,在第一发光层

中形成的激基复合物具有比在第二发光层中形成的激基复合物高的激发能,所以通过作为包含在第一发光层中的将三重激发态能转换为发光的第一发光物质(客体材料)使用其波长比从包含在第二发光层中的将三重激发态能转换为发光的第二发光物质(客体材料)发射的光的波长短的物质,可以同时得到来自第一发光层及第二发光层的发光,并且,作为对于第二发光层中的将三重激发态能转换为发光的第二发光物质(客体材料)的激发能可以利用在第一发光层中形成的激基复合物的激发能中的没有助于发光的一部分的能量,由此可以进一步提高发光元件中的发光效率。

附图说明

- [0018] 图1A和图1B是说明本发明的一个方式的概念的图;
- [0019] 图2是说明本发明的一个方式的概念的图;
- [0020] 图3是示出根据本发明的一个方式的计算结果的图;
- [0021] 图4A1和图4A2、图4B1和图4B2以及图4C1和图4C2是示出根据本发明的一个方式的计算结果的图;
- [0022] 图5是说明发光元件的结构图;
- [0023] 图6A和图6B是说明发光元件的结构图;
- [0024] 图7是说明发光装置的图;
- [0025] 图8A和图8B是说明发光装置的图;
- [0026] 图9A至图9D是说明电子设备的图;
- [0027] 图10A至图10C是说明电子设备的图;
- [0028] 图11是说明照明装置的图;
- [0029] 图12是说明发光元件的图;
- [0030] 图13是示出发光元件1的电流密度-亮度特性的图;
- [0031] 图14是示出发光元件1的电压-亮度特性的图;
- [0032] 图15是示出发光元件1的亮度-电流效率特性的图;
- [0033] 图16是示出发光元件1的电压-电流特性的图;
- [0034] 图17是示出发光元件1的发射光谱的图;
- [0035] 图18是示出用于发光元件1的物质的发射光谱的图;
- [0036] 图19是示出用于发光元件1的物质的发射光谱的图。

具体实施方式

[0037] 下面,参照附图详细地说明本发明的实施方式。但是,本发明不局限于以下说明的内容,其方式及详细内容在不脱离本发明的宗旨及其范围的情况下可以被变换为各种各样的形式。因此,本发明不应该被解释为仅限定在下面所示的实施方式所记载的内容中。

[0038] (发光元件中的发光的基本过程)

[0039] 首先,对作为客体材料使用将三重激发态能转换为发光的发光物质(包括磷光化合物和热活化延迟荧光(TADF)材料)的发光元件中的发光的一般的基本过程进行说明。另外,在此,将赋予激发能量的分子记为主体分子,而将接受激发能量的分子记为客体分子。

[0040] (1)在客体分子中电子和空穴复合,客体分子处于激发态的情况(直接复合过程)。

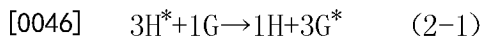
[0041] (1-1) 在客体分子的激发态为三重激发态时, 客体分子发射磷光。

[0042] (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系间跨越 (intersystem crossing) 到三重激发态而发射磷光。

[0043] 换言之, 在上述 (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。此外, 主体分子的 T_1 能级优选高于客体分子的 T_1 能级。

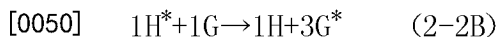
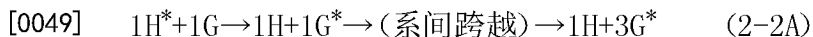
[0044] (2) 在主体分子中电子和空穴复合, 主体分子处于激发态的情况 (能量转移过程)。

[0045] (2-1) 在主体分子的激发态为三重激发态时, 在主体分子的 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, 而客体分子处于三重激发态。处于三重激发态的客体分子发射磷光。此外, 除非主体分子发射磷光, 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) 的能量转移才是禁戒跃迁, 不容易成为主要能量转移过程, 因此在此省略说明。就是说, 如下述算式 (2-1) 所示, 从主体分子的三重激发态 ($3H^*$) 到客体分子的三重激发态 ($3G^*$) 的能量转移是重要的 (在算式中, $1G$ 表示客体分子的单重基态, $1H$ 表示主体分子的单重基态)。



[0047] (2-2) 在主体分子的激发态为单重激发态时, 在主体分子的 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, 客体分子处于单重激发态或三重激发态。处于三重激发态的客体分子发射磷光。此外, 处于单重激发态的客体分子系间跨越到三重激发态而发射磷光。

[0048] 就是说, 可以举出如下过程: 如下述算式 (2-2A) 所示, 能量从主体分子的单重激发态 ($1H^*$) 转移到客体分子的单重激发态 ($1G^*$), 然后通过系间跨越产生客体分子的三重激发态 ($3G^*$) 的过程; 以及如下述算式 (2-2B) 所示, 能量从主体分子的单重激发态 ($1H^*$) 直接转移到客体分子的三重激发态 ($3G^*$) 的过程。



[0051] 如果上述 (2) 所示的所有能量转移过程高效地产生, 则使主体分子的三重激发态能及单重激发态能的双方高效地转换为客体分子的三重激发态 ($3G^*$), 所以可以实现高效率的发光。与此相反, 若在激发能量从主体分子转移到客体分子之前, 主体分子本身将该激发能量作为光或热释放而失活, 则使发光效率降低。

[0052] 接着, 对上述主体分子和客体分子的分子间的能量转移过程的控制因素进行说明。作为分子间的能量转移机理, 提出了以下两个机理。

[0053] 首先, 第一机理的福斯特 (Förster) 机理 (偶极-偶极相互作用) 是在能量转移中不需要分子间的直接接触, 通过主体分子和客体分子间的偶极振荡的共振现象发生能量转移的机理。通过偶极振荡的共振现象, 主体分子给客体分子供应能量, 主体分子处于基态, 且客体分子处于激发态。另外, 算式 (1) 示出福斯特机理的速度常数 k_{12}^* 。

[0054] [算式1]

$$[0055] \quad k_{h^* \rightarrow g} = \frac{9000 c^4 K^2 \phi \ln 10}{128 \pi^5 n^4 N \tau R^6} \int \frac{f'_h(\nu) \varepsilon'_g(\nu)}{\nu^4} d\nu \quad (1)$$

[0056] 在算式(1)中, ν 表示振荡数, $f'_h(\nu)$ 表示主体分子的被标准化的发射光谱(从单重激发态的能量转移中的荧光光谱,从三重激发态的能量转移中的磷光光谱), $\varepsilon'_g(\nu)$ 表示客体分子的摩尔吸光系数, N 表示阿伏伽德罗数, n 表示介质的折射率, R 表示主体分子和客体分子的分子间距离, 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,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的跃迁偶极矩的取向的系数(0至4)。此外,在无规取向中 $K^2=2/3$ 。

[0057] 接着,在第二机理的德克斯特(Dexter)机理(电子交换相互作用)中,主体分子和客体分子接近于产生轨道的重叠的接触有效距离,通过交换激发态的主体分子的电子和基态的客体分子的电子,发生能量转移。另外,算式2示出德克斯特机理的速度常数 $k_{h^* \rightarrow g}$ 。

[0058] [算式2]

$$[0059] \quad k_{h^* \rightarrow g} = \left(\frac{2\pi}{h} \right) K'^2 \exp\left(-\frac{2R}{L} \right) \int f'_h(\nu) \varepsilon'_g(\nu) d\nu \quad (2)$$

[0060] 在算式(2)中, h 表示普朗克常数, K' 表示具有能量维数(energy dimension)的常数, ν 表示振荡数, $f'_h(\nu)$ 表示主体分子的被标准化的发射光谱(从单重激发态的能量转移中的荧光光谱,从三重激发态的能量转移中的磷光光谱), $\varepsilon'_g(\nu)$ 表示客体分子的被标准化的吸收光谱, L 表示有效分子半径, R 表示主体分子和客体分子的分子间距离。

[0061] 在此,可以认为以算式(3)表示从主体分子到客体分子的能量转移效率 Φ_{ET} 。 k_r 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,从三重激发态的能量转移中的磷光)的速度常数, k_n 表示主体分子的非发光过程(热失活或系间跨越)的速度常数, τ 表示所检测出的主体分子的激发态的寿命。

[0062] [算式3]

$$[0063] \quad \Phi_{ET} = \frac{k_{h^* \rightarrow g}}{k_r + k_n + k_{h^* \rightarrow g}} = \frac{k_{h^* \rightarrow g}}{\left(\frac{1}{\tau} \right) + k_{h^* \rightarrow g}} \quad (3)$$

[0064] 从算式(3)可知,为了提高能量转移效率 Φ_{ET} ,增大能量转移的速度常数 $k_{h^* \rightarrow g}$,其他竞争的速度常数 $k_r+k_n(=1/\tau)$ 相对变小,即可。

[0065] ((2-1)的能量转移效率)

[0066] 在此,首先,考虑(2-1)的能量转移过程。在此情况下,福斯特型(算式(1))不允许,所以只考虑德克斯特型(算式(2))即可。从算式(2)可知,为了增大速度常数 $k_{h^* \rightarrow g}$,主体分子的发射光谱(考虑从三重激发态的能量转移,所以在此是磷光光谱)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)的重叠优选为大。

[0067] 在本实施方式中,作为客体材料使用将三重激发态能转换为发光的发光物质(包括磷光化合物和热活化延迟荧光(TADF)材料),但是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,这是呈现在最长波长一侧的吸收带。尤其是在发光铱配合物中,在很多情况下,最长波长一侧的吸收带在500nm至600nm附近出现宽吸收带(当然,根据发光波长有时出现在更短波长一侧或更长波长一侧)。该吸收带主要来自三重MLCT(从金属到配体的电荷转移: Metal to Ligand Charge Transfer)跃迁。但是,可以认为在该吸收带的一部分中也包括来自三重 $\pi-\pi^*$ 跃迁及单重MLCT跃迁的吸收,这些吸收彼此重叠,在吸收光谱的最长波长一侧形成宽吸收带。换言之,可以认为最低单重激发态与最低三重激发态之间的差异小,来自这些激发态的吸收重叠,在吸收光谱的最长波长一侧形成宽吸收带。从而,在作为客体材料使用有机金属配合物(尤其是铱配合物)时,如上所述那样,通过存在于最长波长一侧的宽吸收带与主体材料的磷光光谱重叠得多,可以增大速度常数 k_{ET}^* ,而可以提高能量转移效率。

[0068] 再者,一般而言,由于作为主体材料使用荧光化合物,所以磷光寿命(τ)非常长,即毫秒以上(k_r+k_n 小)。这是因为从三重激发态到基态(单重)的跃迁为禁戒跃迁的缘故。从算式(3)可知,这有利于能量转移效率 Φ_{ET} 。

[0069] 当考虑到上述情况时,只要使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,容易发生从主体材料的三重激发态到客体材料的三重激发态的能量转移,即算式(2-1)的过程。

[0070] ((2-2)的能量转移效率)

[0071] 接着,考虑(2-2)的能量转移过程。算式(2-2A)的过程受到客体材料的系间跨越效率的影响。因此,为了使发光效率提高到极限,被认为算式(2-2B)的过程是重要的。在此情况下,德克斯特型(算式(2))不允许,所以只考虑福斯特型(算式(1))即可。

[0072] 当在算式(1)和算式(3)中删掉 τ 时,可以说:当量子产率 ϕ (考虑从单重激发态的能量转移,所以在此是荧光量子产率)高时,能量转移效率 Φ_{ET} 高。但是,实际上,作为更重要的因素,主体分子的发射光谱(考虑从单重激发态的能量转移,所以在此是荧光光谱)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)的重叠大也是重要的(另外,客体分子的摩尔吸光系数也优选为高)。这意味着主体材料的荧光光谱和客体材料的磷光化合物的呈现在最长波长一侧的吸收带重叠。

[0073] 然而,以往,实现上述情况是非常困难的。这是因为如下缘故:当高效地进行上述(2-1)的过程和(2-2)的过程时,从上述说明可知,除了主体材料的磷光光谱以外,还需要将荧光光谱与客体材料的最长波长一侧的吸收带重叠而设计。换言之,需要以主体材料的荧光光谱位于与磷光光谱大致相同的位置的方式设计主体材料。

[0074] 但是,一般而言,由于 S_1 能级与 T_1 能级大不相同(S_1 能级 $>$ T_1 能级),所以荧光的发光波长与磷光的发光波长也大不相同(荧光的发光波长 $<$ 磷光的发光波长)。例如,在使用磷光化合物的发光元件中,通常用于主体材料的4,4'-二(N-咔唑基)联苯(简称:CBP)在500nm附近具有磷光光谱,另一方面,荧光光谱位于400nm附近,两者之间具有100nm的间隔。从上述例子来看,以主体材料的荧光光谱位于与磷光光谱大致相同的位置的方式设计主体材料是极为困难的。因此,从主体材料的单重激发态到客体材料的能量转移效率的提高是非常重

要的。

[0075] 因此,本发明的一个方式提供可以克服关于这种从主体材料的单重激发态到客体材料的能量转移效率的问题的有用的方法。以下,说明其具体方式。

[0076] 实施方式1

[0077] 在本实施方式中,对构成本发明的一个方式的发光元件时的概念及发光元件的具体结构进行说明。另外,本发明的一个方式的发光元件是一种发光元件,该发光元件在一对电极(阳极与阴极)之间夹着包括发光层的EL层地形成,其中,发光层至少包含将三重激发态能转换为发光的第一发光物质(客体材料)、具有电子传输性的第一有机化合物(主体材料)及具有空穴传输性的第二有机化合物(辅助材料),并具有第一发光层和第二发光层的叠层结构,该第一发光层形成在阳极一侧,且该第二发光层至少包含将三重激发态能转换为光的第二发光物质(客体材料)、具有电子传输性的第三有机化合物(主体材料)及具有空穴传输性的第二有机化合物(辅助材料)。

[0078] 另外,包含在第一发光层中的第一有机化合物(主体材料)的最低空分子轨道能级(LUMO能级)高于包含在第二发光层中的第三有机化合物(主体材料)的最低空分子轨道能级(LUMO能级)。因此,可以将第一发光层中形成的激基复合物的激发能量(E_A)设计为大于在第二发光层中形成的激基复合物的激发能量(E_B)。

[0079] 另外,包含在第一发光层中的第一发光物质是其波长比从包含在第二发光层中的第二发光物质发射的光的波长短的物质。

[0080] 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。

[0081] 图1A所示的元件具有如下结构:在一对电极(阳极101、阴极102)之间夹着包括发光层106的EL层103,在EL层103中,从阳极101一侧依次层叠空穴注入层104、空穴传输层105、发光层106(106a、106b)、电子传输层107、电子注入层108等。

[0082] 另外,如图1A所示,本发明的一个方式中的发光层106至少包含将三重激发态能转换为光的第一发光物质(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及具有空穴传输性的第二有机化合物(辅助材料)111,并具有第一发光层106a和第二发光层106b的叠层结构,该第一发光层106a形成在阳极一侧,且该第二发光层106b至少包含将三重激发态能转换为光的第二发光物质(客体材料)109b、具有电子传输性的第三有机化合物(主体材料)112及具有空穴传输性的第二有机化合物(辅助材料)111,作为第一有机化合物110及第三有机化合物112,主要使用电子迁移率为 $10^{-6}\text{cm}^2/\text{Vs}$ 以上的电子传输材料,作为第二有机化合物111,主要使用空穴迁移率为 $10^{-6}\text{cm}^2/\text{Vs}$ 以上的空穴传输材料。另外,在本说明书中,将第一有机化合物110及第三有机化合物112称为主体材料,将第二有机化合物111称为辅助材料。

[0083] 另外,第一发光层106a中的第一有机化合物(主体材料)110和第二有机化合物(辅助材料)111的组合是形成激基复合物(也称为exciplex)的组合。再者,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的每一个的发光波长(荧光波长)相比,由第一有机化合物(主体材料)110和第二有机化合物(辅助材料)111形成的激基复合物的发光波长位于长波长一侧。因此,可以将第一有机化合物(主体材料)110的荧光光谱及第二有机化合物(辅助材料)111的荧光光谱变换为位于更长波长一侧的发射光谱。

[0084] 这在第二发光层106b中也同样。因此,第二发光层106b中的第三有机化合物(主体

材料)112和第二有机化合物(辅助材料)111的组合是形成激基复合物(也称为exciplex)的组合。再者,与第三有机化合物(主体材料)112和第二有机化合物(辅助材料)111的每一个的发光波长(荧光波长)相比,由第三有机化合物(主体材料)112和第二有机化合物(辅助材料)111形成的激基复合物的发光波长位于长波长一侧。因此,可以将第三有机化合物(主体材料)112的荧光光谱及第二有机化合物(辅助材料)111的荧光光谱变换为位于更长波长一侧的发射光谱。

[0085] 另外,在上述结构中,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的每一个的三重激发态能级(T_1 能级)优选高于将三重激发态能转换为发光的第一发光物质(客体材料)109a的 T_1 能级。这是因为如下缘故:如果第一有机化合物110(或第二有机化合物111)的 T_1 能级低于第一发光物质(客体材料)109a的 T_1 能级,则第一有机化合物110(或第二有机化合物111)使有助于发光的第一发光物质(客体材料)109a的三重激发态能猝灭(quench),而导致发光效率的降低。

[0086] 与此同样,第三有机化合物(主体材料)112及第二有机化合物(辅助材料)111的每一个的三重激发态能级(T_1 能级)优选高于将三重激发态能转换为发光的第二发光物质(客体材料)109b的 T_1 能级。这是因为如下缘故:如果第三有机化合物112(或第二有机化合物111)的 T_1 能级低于第二发光物质(客体材料)109b的 T_1 能级,则第三有机化合物112(或第二有机化合物111)使有助于发光的第二发光物质(客体材料)109b的三重激发态能猝灭,而导致发光效率的降低。

[0087] 另外,在构成发光层106的第一发光层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中的任一方的比例高,并且在构成发光层106的第二发光层106b中,第三有机化合物(主体材料)112和第二有机化合物(辅助材料)111中的任一方的比例高,本发明包括双方的情况。

[0088] 另外,图1B示出:说明上述结构的发光层106(第一发光层106a及第二发光层106b)中的第一有机化合物(主体材料)110、第二有机化合物(辅助材料)111、第三有机化合物(主体材料)112的能量关系的带图。

[0089] 如图1B所示,在第一发光层106a中,根据第二有机化合物(辅助材料)111的HOMO能级和第一有机化合物(主体材料)110的LUMO能级,决定由第一有机化合物(主体材料)110和第二有机化合物(辅助材料)111形成的激基复合物的激发能量(E_A)。另外,在第二发光层106b中,根据第二有机化合物(辅助材料)111的HOMO能级和第三有机化合物(主体材料)112的LUMO能级,决定由第三有机化合物(主体材料)112和第二有机化合物(辅助材料)111形成的激基复合物的激发能量(E_B)。此外,包含在第一发光层106a中的第一有机化合物(主体材料)110的LUMO能级高于包含在第二发光层106b中的第三有机化合物(主体材料)112的LUMO能级,由此可知:可以将第一发光层106a中形成的激基复合物的激发能量(E_A)设计为大于在第二发光层106b中形成的激基复合物的激发能量(E_B)。

[0090] 此外,通过采用上述元件结构,在第一发光层106a中形成的激基复合物具有比在第二发光层106b中形成的激基复合物高的激发能,所以通过作为包含在第一发光层106a中的将三重激发态能转换为发光的第一发光物质(客体材料)109a使用其波长比从包含在第二发光层106b中的将三重激发态能转换为发光的第二发光物质(客体材料)109b发射的光的波长短的物质,可以同时得到来自第一发光层106a及第二发光层106b的发光。再者,作为

对于第二发光层106b中的将三重激发态能转换为发光的第二发光物质(客体材料)109b的激发能可以利用在第一发光层106a中形成的激基复合物的激发能中的没有助于发光的一部分的能量,由此可以进一步提高发光元件中的发光效率。

[0091] 本实施方式所说明的发光元件具有在发光层106(第一发光层106a、第二发光层106b)中分别形成激基复合物的结构。可以将第一有机化合物(主体材料)110的荧光光谱、第三有机化合物(主体材料)112的荧光光谱或第二有机化合物(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,这意味着如下情况:如图2所示,即使与将三重激发态能转换为发光的发光物质109(第一发光物质(客体材料)109a及第二发光物质(客体材料)109b)的位于最长波长一侧的吸收带相比,第一有机化合物110、第二有机化合物111或第三有机化合物112的荧光光谱位于短波长一侧,不与将三重激发态能转换为发光的发光物质109(第一发光物质(客体材料)109a及第二发光物质(客体材料)109b)的位于最长波长一侧的吸收带重叠,也可以增大激基复合物的发射光谱与吸收带的重叠。由此,可以提高上述算式(2-2B)的能量转移效率。

[0092] 再者,可以认为激基复合物的单重激发态能与三重激发态能之间的差异极小。换言之,激基复合物的起因于单重态的发射光谱与起因于三重激发态的发射光谱极为接近。从而,如上所述那样,在将激基复合物的发射光谱(一般认为,起因于激基复合物的单重态的发射光谱)设计为与将三重激发态能转换为发光的发光物质109的位于最长波长一侧的吸收带重叠时,起因于激基复合物的三重态的发射光谱(在常温下观察不到,在很多情况下在低温下也观察不到)也与将三重激发态能转换为发光的发光物质109的位于最长波长一侧的吸收带重叠。就是说,不但从单重激发态的能量转移((2-2)),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,可以将单重、三重激发态双方的能量高效地转换为发光。

[0093] 于是,关于激基复合物实际上是否具有上述特性,以下使用分子轨道计算来检查。一般而言,杂芳族化合物和芳香胺的组合在很多情况下受到比芳香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(电子容易进入的性质)和比杂芳族化合物的最高占据分子轨道(HOMO:Highest Occupied Molecular Orbital)能级浅的芳香胺的HOMO能级(空穴容易进入的性质)的影响而形成激基复合物。于是,作为本发明的一个方式中的第一有机化合物110(或第三有机化合物112)的模型使用构成杂芳族化合物的LUMO能级的典型的骨架的二苯并[f,h]喹啉(简称:DBq),作为本发明的一个方式中的第二有机化合物111的模型使用构成芳香胺的HOMO能级的典型的骨架的三苯胺(简称:TPA),组合它们而进行计算。

[0094] 首先,使用时间依赖密度泛函法(TD-DFT)计算出DBq(简称)的一个分子和TPA(简称)的一个分子的最低激发单重态(S_1)和最低激发三重态(T_1)中的最佳分子结构及激发能量。再者,计算出DBq(简称)和TPA(简称)的二聚体的激发能量。

[0095] 以电势能、电子间静电能、电子的运动能及包括所有的其他复杂的电子间的互相作用的交换相关能的总和表示DFT(密度泛函理论)的总能量。在DFT中,由于使用以电子密度表示的单电子势的泛函(函数的函数之意)来近似表示交换相关作用,所以计算速度快且精度高。在此,利用作为混合泛函的B3LYP来规定涉及交换和相关能的各参数的权重。

[0096] 此外,作为基底函数使用6-311(对每个原子价轨道使用三个缩短函数的三重分裂

价层(triple split valence)基底类的基底函数)而将它应用到所有原子上。

[0097] 通过上述基底函数,例如关于氢原子,考虑1s至3s的轨道,而关于碳原子,考虑1s至4s、2p至4p的轨道。再者,为了提高计算精度,作为极化基底类,对氢原子加上p函数,对氢原子以外的原子加上d函数。

[0098] 此外,作为量子化学计算程序,使用Gaussian09。使用高性能计算机(SGI株式会社制造,Altix4700)来进行计算。

[0099] 首先,关于DBq(简称)的一个分子、TPA(简称)的一个分子及DBq(简称)和TPA(简称)的二聚体算出了HOMO能级及LUMO能级。图3示出HOMO能级及LUMO能级,并且图4A1至图4C2示出HOMO能级及LUMO能级的分布。

[0100] 图4A1示出DBq(简称)的一个分子的LUMO能级的分布,图4A2示出DBq(简称)的一个分子的HOMO能级的分布,图4B1示出TPA(简称)的一个分子的LUMO能级的分布,图4B2示出TPA(简称)的一个分子的HOMO能级的分布,图4C1示出DBq(简称)和TPA(简称)的二聚体的LUMO能级的分布,图4C2示出DBq(简称)和TPA(简称)的二聚体的HOMO能级的分布。

[0101] 如图3所示,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4C1和图4C2可知,DBq(简称)和TPA(简称)的二聚体的LUMO能级分布在DBq(简称)一侧,而HOMO能级分布在TPA(简称)一侧。

[0102] 接着,示出从DBq(简称)的一个分子的S₁能级和T₁能级的最佳分子结构获得的激发能量。在此,S₁能级和T₁能级的激发能量分别相当于DBq(简称)的一个分子发射的荧光和磷光的波长。DBq(简称)的一个分子的S₁能级的激发能量为3.294eV,荧光波长为376.4nm。此外,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。

[0103] 另外,示出从TPA(简称)的一个分子的S₁能级和T₁能级的最佳分子结构获得的激发能量。在此,S₁能级和T₁能级的激发能量分别相当于TPA(简称)的一个分子发射的荧光和磷光的波长。TPA(简称)的一个分子的S₁能级的激发能量为3.508eV,荧光波长为353.4nm。此外,TPA(简称)的一个分子的T₁能级的激发能量为2.610eV,磷光波长为474.7nm。

[0104] 再者,示出从DBq(简称)和TPA(简称)的二聚体的S₁能级和T₁能级的最佳分子结构获得的激发能量。S₁能级和T₁能级的激发能量分别相当于DBq(简称)和TPA(简称)的二聚体发射的荧光和磷光的波长。DBq(简称)和TPA(简称)的二聚体的S₁能级的激发能量为2.036eV,荧光波长为609.1nm。此外,DBq(简称)和TPA(简称)的二聚体的T₁能级的激发能量为2.030eV,磷光波长为610.0nm。

[0105] 从如上所述可知,在DBq(简称)的一个分子和TPA(简称)的一个分子的任一个中,也磷光波长向长波长移动100nm左右。这有与上述CBP(简称)(实际测量值)相同的倾向,这结果支持了计算的有效性。

[0106] 另一方面,DBq(简称)和TPA(简称)的二聚体的荧光波长与DBq(简称)的一个分子或TPA(简称)的一个分子的荧光波长相比位于长波长一侧。另外,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,并为几乎相等的波长。

[0107] 从上述结果,可以说:激基复合物的单重激发态能和三重激发态能为大致相同的能量。从而,如上所述,激基复合物可以从单重激发态及三重激发态的双方,高效地将能量

转移到将三重激发态能转换为发光的发光物质(包含上述第一发光物质及第二发光物质的客体材料)。

[0108] 如此,本发明的一个方式的发光元件由于利用形成在发光层中的激基复合物的发射光谱与将三重激发态能转换为发光的发光物质(包含上述第一发光物质及第二发光物质的客体材料)的吸收光谱的重叠并进行能量转移,所以能量转移效率高。从而,可以实现外部量子效率高的发光元件。

[0109] 此外,激基复合物由于只在激发态下存在,所以没有吸收能量的基态。因此,可以认为在原理上不发生如下现象,即:由于从将三重激发态能转换为发光的发光物质(客体材料)的单重激发态及三重激发态到激基复合物的能量转移,在发光之前将三重激发态能转换为发光的发光物质(客体材料)发生失活(就是说,使发光效率降低)。这也是可以提高外部量子效率的原因之一。

[0110] 另外,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。此外,一般已知激基复合物在具有相对深的LUMO能级的材料和具有相对浅的HOMO能级的材料之间容易形成。

[0111] 激基复合物的发光波长依赖于HOMO能级与LUMO能级之间的能量差。作为一般倾向,在能量差较大时发光波长变短,而在能量差较小时发光波长变长。

[0112] 因此,如图1B所示,本实施方式中的第一有机化合物(主体材料)110、第二有机化合物(辅助材料)111、第三有机化合物(主体材料)112的HOMO能级及LUMO能级彼此不同。具体而言,能级按如下顺序不同:第一有机化合物110的HOMO能级及第三有机化合物112的HOMO能级<第二有机化合物111的HOMO能级<第三有机化合物112的LUMO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。

[0113] 并且,在各发光层中,在由两个有机化合物(第一发光层106a中的第一有机化合物110和第二有机化合物111,第二发光层106b中的第三有机化合物112和第二有机化合物111)形成激基复合物的情况下,第一发光层106a及第二发光层106b中的激基复合物的HOMO能级来源于第二有机化合物(辅助材料)111,第一发光层106a中的激基复合物的LUMO能级来源于第一有机化合物(主体材料)110,第二发光层106b中的激基复合物的LUMO能级来源于第三有机化合物(主体材料)112的LUMO能级。因此,第一发光层106a中的激基复合物的激发能量(E_A)大于第二发光层106b中的激基复合物的激发能量(E_B)。就是说,通过作为包含在第一发光层中的将三重激发态能转换为发光的第一发光物质109a,使用其波长比从包含在第二发光层中的将三重激发态能转换为发光的第二发光物质109b发射的光的波长短的物质,可以形成发光效率高的发光元件。另外,可以使发光波长不同的发光材料同时高效地发光。

[0114] 另外,作为本发明的一个方式中的激基复合物的形成过程可以举出以下两个过程。

[0115] 第一形成过程是:使用具有载流子的状态(具体而言,阳离子)的第二有机化合物(辅助材料)形成激基复合物的形成过程。

[0116] 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,客体材料处于激发态,而发光。但是,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,因此激发能量的一部分失活。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。

[0117] 但是,在本发明的一个方式中,由于使用具有载流子的状态(阳离子或阴离子)的第一有机化合物(或第三有机化合物)(主体材料)及第二有机化合物(辅助材料)形成激基复合物,所以可以抑制第一有机化合物(或第三有机化合物)(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,还可以抑制上述单重激发态能的失活。从而,可以实现寿命长的发光元件。

[0118] 例如,在第一有机化合物(或第三有机化合物)为在电子传输材料中具有容易俘获电子(载流子)的性质(LUMO能级深)的具有电子俘获性的化合物,且第二有机化合物为在空穴传输材料中具有容易俘获空穴(载流子)的性质(HOMO能级浅)的具有空穴俘获性的化合物时,使用第一有机化合物(或第三有机化合物)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。将通过这种过程形成的激基复合物特别称为电致激基复合物(electroplex)。如此,通过抑制第一有机化合物(或第三有机化合物)(主体材料)的单重激发态的发生,且能量从电致激基复合物转移到将三重激发态能转换为发光的发光物质(客体材料),可以得到发光效率高的发光元件。此外,在此情况下,可以认为由于同样地抑制第一有机化合物(或第三有机化合物)(主体材料)的三重激发态的发生,直接形成激基复合物,所以能量从激基复合物转移到将三重激发态能转换为发光的发光物质(客体材料)。

[0119] 第二形成过程是:在主体材料(第一有机化合物或第三有机化合物)和辅助材料(第二有机化合物)中的任一个形成单重态激子之后,与基态的另一方相互作用而形成激基复合物的基本过程。与电致激基复合物不同,在此情况下,一旦生成第一有机化合物(主体材料)、第二有机化合物(辅助材料)或第三有机化合物(主体材料)的单重激发态,但是由于该单重激发态迅速地变换为激基复合物,所以可以抑制单重激发态能的失活。从而,可以抑制第一有机化合物(主体材料)、第二有机化合物(辅助材料)或第三有机化合物(主体材料)的激发能量的失活。此外,在此情况下,可以认为主体材料的三重激发态也同样地迅速转换为激基复合物,能量从激基复合物转移到将三重激发态能转换为发光的发光物质(客体材料)。

[0120] 另外,在第一有机化合物(或第三有机化合物)(主体材料)为具有电子俘获性的化合物,而第二有机化合物(辅助材料)为具有空穴俘获性的化合物,这些化合物的HOMO能级的差异及LUMO能级的差异大(具体而言,差异为0.3eV以上)时,电子选择性地进入第一有机化合物(或第三有机化合物)(主体材料),且空穴选择性地进入第二有机化合物(辅助材料)。在此情况下,可以认为与经过单重态激子形成激基复合物的过程相比,优先进行形成电致激基复合物的过程。

[0121] 另外,为了使激基复合物的发射光谱与将三重激发态能转换为发光的发光物质(客体材料)的吸收光谱充分地重叠,优选发射光谱的峰值的能值和吸收光谱的最低能量一侧的吸收带的峰值的能值之间的差异为0.3eV以内。更优选为0.2eV以内,最优选为0.1eV以内。

[0122] 此外,在本发明的一个方式的发光元件中,优选激基复合物的激发能量充分地转移到将三重激发态能转换为发光的发光物质(客体材料),实质上观察不到来自激基复合物的发光。因此,优选通过激基复合物将能量转移到将三重激发态能转换为发光的发光物质,

而将三重激发态能转换为发光的发光物质发光。另外,作为将三重激发态能转换为发光的发光物质,优选使用磷光化合物(有机金属配合物等)、热活化延迟荧光(TADF)材料等。

[0123] 此外,在本发明的一个方式的发光元件的第一发光层106a中,当作为第一有机化合物(在第二发光层106b的情况下,第三有机化合物)(主体材料)使用将三重激发态能转换为发光的发光物质时,第一有机化合物(在第二发光层106b的情况下,第三有机化合物)(主体材料)本身容易发光,能量不容易转移到将三重激发态能转换为发光的发光物质(客体材料)。在此情况下,第一有机化合物(在第二发光层106b的情况下,第三有机化合物)若能高效地发光就好,但是由于主体材料产生浓度猝灭的问题,所以难以实现高发光效率。因此,第一有机化合物(在第二发光层106b的情况下,第三有机化合物)(主体材料)和第二有机化合物(辅助材料)中的至少一方为荧光化合物(即,容易产生由单重激发态的发光或热失活的化合物)的情况是有效的。因此,优选的是,第一有机化合物(在第二发光层106b的情况下,第三有机化合物)(主体材料)和第二有机化合物(辅助材料)中的至少一方为荧光化合物,并且激基复合物用于能量转移的介质。

[0124] 另外,本实施方式所示的结构可以与其他实施方式所示的结构适当地组合而实施。

[0125] 实施方式2

[0126] 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一个例子进行说明。

[0127] 在本实施方式所示的发光元件中,如图5所示,在一对电极(第一电极(阳极)201和第二电极(阴极)202)之间夹着包括发光层206的EL层203,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。

[0128] 另外,本实施方式所示的发光层206具有第一发光层206a和第二发光层206b的叠层结构。在发光层206中的第一发光层206a中,包含将三重激发态能转换为发光的第一发光物质(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及具有空穴传输性的第二有机化合物(辅助材料)211,在发光层206中的第二发光层206b中,包含将三重激发态能转换为发光的第二发光物质(客体材料)209b、具有电子传输性的第三有机化合物(主体材料)212及具有空穴传输性的第二有机化合物(辅助材料)211。

[0129] 另外,包含在第一发光层中的第一有机化合物(主体材料)的最低空分子轨道能级(LUMO能级)高于包含在第二发光层中的第三有机化合物(主体材料)的最低空分子轨道能级(LUMO能级)。因此,可以将第一发光层中形成的激基复合物的激发能量(E_A)设计为大于在第二发光层中形成的激基复合物的激发能量(E_B)。

[0130] 另外,在发光层206(第一发光层206a及第二发光层206b)中,在第一发光层206a的情况下,将三重激发态能转换为发光的第一发光物质209a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,在第二发光层206b的情况下,将三重激发态能转换为发光的第二发光物质209b分散在第三有机化合物(主体材料)212和第二有机化合物(辅助材料)211中,由此可以抑制发光层206(第一发光层206a及第二发光层206b)的结晶化。此外,可以抑制由于发光物质209(209a、209b)的浓度高而导致的浓度猝灭,从而提高发光元件的发光效率。

[0131] 另外,第一有机化合物210、第二有机化合物211和第三有机化合物212的每一个的

三重激发态能级(T_1 能级)优选高于将三重激发态能转换为发光的发光物质209(209a、209b)的 T_1 能级。这是因为如下缘故:如果第一有机化合物210、第二有机化合物211和第三有机化合物212的 T_1 能级低于将三重激发态能转换为发光的发光物质209(209a、209b)的 T_1 能级,则第一有机化合物210(或第二有机化合物211、第三有机化合物212)使有助于发光的将三重激发态能转换为发光的发光物质209(209a、209b)的三重激发态能猝灭,而导致发光效率的降低。

[0132] 在本实施方式中,在发光层206中的第一发光层206a中,当从两个电极分别注入的载流子(电子和空穴)复合时,使用第一有机化合物210和第二有机化合物211形成激基复合物(exciplex),在发光层206中的第二发光层206b中,使用第三有机化合物212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,第二发光层206b中的第三有机化合物212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,为了最大限度地提高由单重激发态的能量转移,以激基复合物的发射光谱与将三重激发态能转换为发光的发光物质(客体材料)209的吸收光谱的重叠大的方式,在第一发光层206a中选择第一有机化合物210和第二有机化合物211,在第二发光层206b中选择第三有机化合物212和第二有机化合物211。就是说,在此,关于三重激发态,也认为产生来自激基复合物的能量转移,而不产生来自主体材料的能量转移。

[0133] 此外,作为将三重激发态能转换为发光的发光物质209(第一发光物质209a、第二发光物质209b),优选使用磷光化合物(有机金属配合物等)、热活化延迟荧光(TADF)材料等。另外,作为第一有机化合物(主体材料)210及第三有机化合物(主体材料)212,优选使用电子传输材料。此外,作为第二有机化合物(辅助材料)211,优选使用空穴传输材料。

[0134] 另外,作为上述有机金属配合物,例如可以举出:双[2-(4',6'-二氟苯基)吡啶-N, C^2]铱(III)四(1-吡啶基)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(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(简称:Ir(ppy)₂(acac))、双(苯并[h]喹啉)铱(III)乙酰丙酮(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(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(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(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(简称:Ir(btp)₂(acac))、双(1-苯基异喹啉-N, C^2)铱(III)乙酰丙酮(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(2,3,5-三苯基吡嗪根合)铱(III)(简称:Ir(tppr)₂(acac))、2,3,7,8,12,13,17,18-八乙基-21H,23H-卟啉合铂(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-噁吩甲酰基)-3,3,3-三氟丙酮](一菲咯啉)铈(III)(简称:Eu(TTA)₃(Phen))等。

[0135] 另外,作为上述电子传输材料,优选使用缺 π 电子型杂芳族化合物诸如含氮杂芳族

化合物,例如可以举出喹啉衍生物或二苯并喹啉衍生物诸如2-[3-(二苯并噻吩-4-基)苯基]二苯并[f,h]喹啉(简称:2mDBTPDBq-II)、2-[3'-(二苯并噻吩-4-基)联苯-3-基]二苯并[f,h]喹啉(简称:2mDBTPDBq-III)、2-[4-(3,6-二苯基-9H-咔唑-9-基)苯基]二苯并[f,h]喹啉(简称:2CzPDBq-III)、7-[3-(二苯并噻吩-4-基)苯基]二苯并[f,h]喹啉(简称:7mDBTPDBq-II)和6-[3-(二苯并噻吩-4-基)苯基]二苯并[f,h]喹啉(简称:6mDBTPDBq-II)等。

[0136] 另外,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,咔唑衍生物或吡啶衍生物)或芳香胺化合物,例如可以举出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)。

[0137] 但是,分别可以用于上述将三重激发态能转换为发光的发光物质(客体材料)209(第一发光物质209a、第二发光物质209b)、第一有机化合物(主体材料)210、第二有机化合物(辅助材料)211及第三有机化合物(主体材料)212的材料不局限于此,只要是能够形成激基复合物的组合,激基复合物的发射光谱与将三重激发态能转换为发光的发光物质(客体材料)209(第一发光物质209a或第二发光物质209b)的吸收光谱重叠,与将三重激发态能转换为发光的发光物质(客体材料)209(第一发光物质209a或第二发光物质209b)的吸收光谱的峰值相比,激基复合物的发射光谱的峰值位于长波长,即可。

[0138] 另外,在将电子传输材料用于第一有机化合物210,将空穴传输材料用于第二有机化合物211时,可以根据其混合比控制载流子平衡。具体而言,优选设定为第一有机化合物210:第二有机化合物211=1:9至9:1。

[0139] 下面,对制造本实施方式所示的发光元件时的具体例子进行说明。

[0140] 作为第一电极(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。具体而言,除了氧化铟-氧化锡(ITO:Indium Tin Oxide)、包含硅或氧化硅的氧化铟-氧化锡、氧化铟-氧化锌(Indium Zinc Oxide)、包含氧化钙及氧化锌的氧化

铟、金(Au)、铂(Pt)、镍(Ni)、钨(W)、铬(Cr)、钼(Mo)、铁(Fe)、钴(Co)、铜(Cu)、钯(Pd)、钛(Ti)之外,还可以使用属于元素周期表中第1族或第2族的元素,即碱金属诸如锂(Li)和铯(Cs)等、碱土金属诸如镁(Mg)、钙(Ca)和锶(Sr)等、包含它们的合金(MgAg、AlLi)、稀土金属诸如铕(Eu)和镱(Yb)等、包含它们的合金及石墨烯等。另外,第一电极(阳极)201及第二电极(阴极)202可以通过溅射法或蒸镀法(包括真空蒸镀法)等来形成。

[0141] 作为用于空穴注入层204及空穴传输层205的空穴传输性高的物质,例如可以举出4,4'-双[N-(1-萘基)-N-苯胺]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(咔唑-9-基)三苯胺(简称:TCTA)、4,4',4''-三(N,N-二苯胺)三苯胺(简称:TDATA)、4,4',4''-三[N-(3-甲基苯基)-N-苯胺]三苯胺(简称:MTDATA)、4,4'-双[N-(螺-9,9'-二芴-2-基)-N-苯胺]联苯(简称:BSPB)等芳香胺化合物;3-[N-(9-苯基咔唑-3-基)-N-苯胺]-9-苯基咔唑(简称:PCzPCA1)、3,6-双[N-(9-苯基咔唑-3-基)-N-苯胺]-9-苯基咔唑(简称:PCzPCA2)、3-[N-(1-萘基)-N-(9-苯基咔唑-3-基)氨基]-9-苯基咔唑(简称:PCzPCN1)等。除上述以外,还可以使用4,4'-二(N-咔唑基)联苯(简称:CBP)、1,3,5-三[4-(N-咔唑基)苯基]苯(简称:TCPB)、9-[4-(10-苯基-9-蒽基)苯基]-9H-咔唑(简称:CzPA)等的咔唑衍生物等。在此所述的物质主要是空穴迁移率为 $10^{-6}\text{cm}^2/\text{Vs}$ 以上的物质。但是,只要是空穴传输性比电子传输性高的物质,就可以使用上述物质之外的物质。

[0142] 再者,还可以使用聚(N-乙烯咔唑)(简称:PVK)、聚(4-乙烯三苯胺)(简称:PVTPA)、聚[N-(4-{N'-[4-(4-二苯胺)苯基]苯基-N'-苯胺}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)等高分子化合物。

[0143] 另外,作为能够用于空穴注入层204的受主物质,可以举出过渡金属氧化物或属于元素周期表中第4族至第8族的金属的氧化物。具体地说,氧化钼是特别优选的。

[0144] 如上所述,在发光层206(206a、206b)中,第一发光层206a至少包含第一发光物质209a、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,第二发光层206b至少包含第二发光物质209b、第三有机化合物(主体材料)212及第二有机化合物(辅助材料)211。

[0145] 电子传输层207是包含电子传输性高的物质的层。作为电子传输层207,可以使用金属配合物诸如 Alq_3 、三(4-甲基-8-羟基喹啉合)铝(简称: Almq_3)、双(10-羟基苯并[h]-喹啉合)铍(简称: BeBq_2)、 BA1q 、 $\text{Zn}(\text{BOX})_2$ 或双[2-(2-羟基苯基)-苯并噻唑]锌(简称: $\text{Zn}(\text{BTZ})_2$)等。此外,也可以使用杂芳族化合物诸如2-(4-联苯基)-5-(4-叔丁基苯基)-1,3,4-噁二唑(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)、4,4'-双(5-甲基苯并噻唑-2-基)二苯乙烯(简称:BzOs)等。另外,还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)、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电子迁移率为 $10^{-6}\text{cm}^2/\text{Vs}$ 以上的物质。另外,只要是电子传输性比空穴传输性高的物质,就可以将上述物质之外的物质用作电子传输层207。

[0146] 另外,作为电子传输层207,不仅采用单层,而且可以采用由上述物质构成的层的两层以上的叠层。

[0147] 电子注入层208是包含电子注入性高的物质的层。作为电子注入层208,可以使用氟化锂(LiF)、氟化铯(CsF)、氟化钙(CaF₂)及锂氧化物(LiO_x)等碱金属、碱土金属或它们的化合物。此外,可以使用氟化铪(ErF₃)等稀土金属化合物。另外,也可以使用上述构成电子传输层207的物质。

[0148] 或者,也可以将有机化合物与电子给体(供体)混合而成的复合材料用于电子注入层208。这种复合材料的电子注入性及电子传输性高,因为电子给体使得电子产生在有机化合物中。在此情况下,有机化合物优选是在传输所产生的电子方面性能优异的材料。具体而言,例如,可以使用如上所述的构成电子传输层207的物质(金属配合物和杂芳族化合物等)。作为电子给体,只要使用对有机化合物呈现电子给体性的物质,即可。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、铷、铯等。另外,优选使用碱金属氧化物或碱土金属氧化物,例如可以举出锂氧化物、钙氧化物、钡氧化物等。此外,可以使用氧化镁等路易斯碱。或者,也可以使用四硫富瓦烯(简称:TTF)等有机化合物。

[0149] 另外,上述空穴注入层204、空穴传输层205、发光层206(206a、206b)、电子传输层207、电子注入层208分别可以通过蒸镀法(包括真空蒸镀法)、喷墨法、涂敷法等的方法形成。

[0150] 在上述发光元件的发光层206中得到的发光穿过第一电极201和第二电极202中的任一方或双方取出到外部。因此,本实施方式中的第一电极201和第二电极202中的任一方或双方为具有透光性的电极。

[0151] 因为本实施方式所示的发光元件能够由于利用激基复合物的发射光谱与将三重激发态能转换为发光的发光物质(客体材料)的吸收光谱的重叠的能量转移而提高能量转移效率,所以可以实现外部量子效率高的发光元件。

[0152] 另外,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,通过应用本实施方式所示的结构,可以制造被动矩阵型发光装置和主动矩阵型发光装置等,上述发光装置都包括在本发明中。

[0153] 另外,在主动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衬底上的驱动电路可以由N型TFT和P型TFT中的一方或双方形成。并且,对于用于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、结晶半导体膜和氧化物半导体膜等。

[0154] 另外,本实施方式所示的结构可以与其他实施方式所示的结构适当地组合而实施。

[0155] 实施方式3

[0156] 在本实施方式中,作为本发明的一个方式,对隔着电荷产生层具有多个EL层的结构的发光元件(以下,称为串联型发光元件)进行说明。

[0157] 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与第二电极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。

[0158] 在本实施方式中,第一电极301是用作阳极的电极,第二电极304是用作阴极的电极。另外,作为第一电极301及第二电极304,可以采用与实施方式1相同的结构。此外,多个

EL层(第一EL层302(1)和第二EL层302(2))中的任一方或双方可以具有与实施方式1或实施方式2所示的结构相同的结构。换言之,第一EL层302(1)和第二EL层302(2)既可以具有相同结构,又可以具有不同的结构,作为其结构,可以应用与实施方式1或实施方式2相同的结构。

[0159] 另外,在多个EL层(第一EL层302(1)和第二EL层302(2))之间设置有电荷产生层(I)305。电荷产生层(I)305具有如下功能:当对第一电极301和第二电极304施加电压时,将电子注入到一方的EL层中,且将空穴注入到另一方的EL层中。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,电子从电荷产生层(I)305被注入到第一EL层302(1)中,且空穴被注入到第二EL层302(2)中。

[0160] 另外,从光提取效率的观点来看,电荷产生层(I)305优选具有透射可见光的性质(具体而言,电荷产生层(I)305所具有的可见光的透射率为40%以上)。另外,电荷产生层(I)305即使在其电导率小于第一电极301或第二电极304也发挥作用。

[0161] 电荷产生层(I)305既可以具有对空穴传输性高的有机化合物添加有电子受体(受体)的结构,又可以具有对电子传输性高的有机化合物添加有电子给体(供体)的结构。或者,也可以层叠有这两种结构。

[0162] 在采用对空穴传输性高的有机化合物添加有电子受体的结构的情况下,作为空穴传输性高的有机化合物,例如可以使用芳族胺化合物诸如NPB、TPD、TDATA、MTDATA或4,4'-双[N-(螺-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空穴迁移率为 $10^{-6}\text{cm}^2/\text{Vs}$ 以上的物质。但是,只要是空穴传输性比电子传输性高的有机化合物,就可以使用上述物质之外的物质。

[0163] 另外,作为电子受体,可以举出7,7,8,8-四氰基-2,3,5,6-四氟喹啉并二甲烷(简称:F₄-TCNQ)、氯醌等。另外,还可以举出过渡金属氧化物。另外,可以举出属于元素周期表中第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、氧化锰和氧化铈,这是因为它们具有高电子接受性。尤其,优选使用氧化钼,因为氧化钼在大气中稳定、其吸湿性低,并且容易进行处理。

[0164] 另一方面,在采用对电子传输性高的有机化合物添加有电子给体的结构的情况下,作为电子传输性高的有机化合物,例如可以使用具有喹啉骨架或苯并喹啉骨架的金属配合物诸如Alq₃、Almq₃、BeBq₂或BA1q等。此外,除此之外,还可以使用具有噻唑基配体或噻唑基配体的金属配合物诸如Zn(BOX)₂或Zn(BTZ)₂等。再者,除了金属配合物之外,还可以使用PBD、OXD-7、TAZ、BPhen、BCP等。在此所述的物质主要是电子迁移率为 $10^{-6}\text{cm}^2/\text{Vs}$ 以上的物质。另外,只要是电子传输性比空穴传输性高的有机化合物,就可以使用上述物质之外的物质。

[0165] 另外,作为电子给体,可以使用碱金属、碱土金属、稀土金属、属于元素周期表中第13族的金属及它们的氧化物和碳酸盐。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。此外,也可以将如四硫萘并萘(tetrathianaphthacene)的有机化合物用作电子给体。

[0166] 另外,通过使用上述材料形成电荷产生层(I)305,可以抑制层叠EL层造成的驱动电压的增大。

[0167] 虽然在本实施方式中,对具有两个EL层的发光元件进行说明,但是,如图6B所示那

样,本发明的一个方式可以同样地应用于层叠 n 个(注意, n 是3以上)EL层的发光元件。如根据本实施方式的发光元件那样,当在一对电极之间具有多个EL层时,通过将电荷产生层(I)设置在EL层与EL层之间,可以在保持低电流密度的同时实现高亮度区域中的发光。因为可以保持低电流密度,所以可以实现长寿命元件。另外,当作为应用例子采用照明时,因为可以减少由于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,可以实现能够进行低电压驱动且耗电量低的发光装置。

[0168] 此外,通过使各EL层发射互不相同颜色的光,可以使发光元件整体发射所需颜色的光。例如,在具有两个EL层的发光元件中,使第一EL层的发光颜色和第二EL层的发光颜色处于补色关系,因此作为整体发光元件可以得到发射白色发光的发光元件。注意,词语“补色关系”表示当颜色混合时得到非彩色的颜色关系。也就是说,通过将发射具有补色关系的颜色的光的物质得到的光混合,可以得到白色发光。

[0169] 另外,具有三个EL层的发光元件的情况也与此同样,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,发光元件作为整体可以得到白色发光。

[0170] 注意,本实施方式所示的结构可以与其他实施方式所示的结构适当地组合而实施。

[0171] 实施方式4

[0172] 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。

[0173] 本实施方式所示的发光装置具有利用一对电极之间的光的共振效应的光学微谐振腔(micro optical resonator)(微腔)结构,如图7所示具有多个发光元件,该发光元件包括在一对电极(反射电极401与半透射·半反射电极402)之间至少具有EL层405的结构。另外,EL层405至少具有用作发光区域的发光层404(404R、404G、404B),除此之外,EL层405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。另外,发光层404(404R、404G、404B)可以具有如实施方式1或2所说明的本发明的一个方式的发光层的结构。

[0174] 在本实施方式中,如图7所示,对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)而构成的发光装置进行说明。

[0175] 第一发光元件(R)410R具有在反射电极401上依次层叠有如下层的结构:第一透明导电层403a;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。另外,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。另外,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。

[0176] 另外,上述发光元件(第一发光元件(R)410R、第二发光元件(G)410G、第三发光元件(B)410B)都具有反射电极401、EL层405以及半透射·半反射电极402。此外,在第一发光层(B)404B中发射在420nm以上且480nm以下的波长区域中具有峰值的光(λ_B),在第二发光层(G)404G中发射在500nm以上且550nm以下的波长区域中具有峰值的光(λ_G),而在第三发光层(R)404R中发射在600nm以上且760nm以下的波长区域中具有峰值的光(λ_R)。由此,可以使任何发光元件(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)

都发射将来自第一发光层(B) 404B、第二发光层(G) 404G及第三发光层(R) 404R的发光重叠而成的光,即及于可见光区的宽(broad)的光。注意,根据上述记载,波长的长度满足 $\lambda_B < \lambda_G < \lambda_R$ 的关系。

[0177] 本实施方式所示的各发光元件分别具有在反射电极401与半透射·半反射电极402之间夹有EL层405的结构,并且从包括在EL层405中的各发光层向全方向射出的发光由具有光学微谐振腔(微腔)的功能的反射电极401和半透射·半反射电极402共振。另外,反射电极401使用具有反射性的导电材料形成,可见光的对该膜的反射率为40%至100%,优选为70%至100%,并且该膜的电阻率为 $1 \times 10^{-2} \Omega \text{ cm}$ 以下。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,可见光的对该膜的反射率为20%至80%,优选为40%至70%,并且该膜的电阻率为 $1 \times 10^{-2} \Omega \text{ cm}$ 以下。

[0178] 另外,在本实施方式中,通过使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、第二透明导电层403b)的厚度彼此不同,来根据每个发光元件改变反射电极401与半透射·半反射电极402之间的光程。换言之,在反射电极401与半透射·半反射电极402之间,可以使从各发光元件的各发光层发射的宽的光中的共振的波长的光变强并可以使其中的不共振的波长的光衰减,所以通过根据每个元件改变反射电极401与半透射·半反射电极402之间的光程,可以取出不同波长的光。

[0179] 另外,光程(也称为光径长)是指实际上的距离乘以折射率而求得的值,在本实施方式中其是指实际上的厚度乘以 n (折射率)而求得的值。换言之,“光程=实际上的厚度 $\times n$ ”。

[0180] 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的总厚度为 $m\lambda_R/2$ (注意, 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的总厚度为 $m\lambda_G/2$ (注意, m 是自然数),并且在第三发光元件(B) 410B中从反射电极401到半透射·半反射电极402的总厚度为 $m\lambda_B/2$ (注意, m 是自然数)。

[0181] 如上所述,从第一发光元件(R) 410R主要取出在包括于EL层405中的第三发光层(R) 404R中发射的光(λ_R),从第二发光元件(G) 410G主要取出在包括于EL层405中的第二发光层(G) 404G中发射的光(λ_G),并且从第三发光元件(B) 410B主要取出在包括于EL层405中的第一发光层(B) 404B中发射的光(λ_B)。另外,从各发光元件取出的光分别从半透射·半反射电极402一侧射出。

[0182] 另外,在上述结构中,严格而言,可以将从反射电极401到半透射·半反射电极402的总厚度称为从反射电极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,难以严格地决定反射电极401或半透射·半反射电极402中的反射区域的位置,所以通过假定反射电极401和半透射·半反射电极402中的任意位置为反射区域来可以充分地获得上述效果。

[0183] 接着,在第一发光元件(R) 410R中,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厚度($(2m' + 1)\lambda_R/4$ (注意, m' 是自然数)),可以放大来自第三发光层(R) 404R的发光。因为来自第三发光层(R) 404R的发光中的由反射电极401反射而回来的光(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,所以通过将反射电极401到第三发光层(R) 404R的光程调节为所希望的值($(2m' + 1)\lambda_R/4$ (注意, m' 是自然数)),可以使第一反射光与第一入射光的相位一致,从而可

以放大来自第三发光层(R) 404R的发光。

[0184] 另外,严格而言,可以将反射电极401与第三发光层(R) 404R之间的光程称为反射电极401中的反射区域与第三发光层(R) 404R中的发光区域之间的光程。但是,难以严格地决定反射电极401中的反射区域或第三发光层(R) 404R中的发光区域的位置,所以通过假定反射电极401中的任意的位置为反射区域且假定第三发光层(R) 404R中的任意的位置为发光区域,来可以充分地获得上述效果。

[0185] 接着,在第二发光元件(G) 410G中,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厚度 $((2m' + 1)\lambda_G/4$ (注意, m' 是自然数)),可以放大来自第二发光层(G) 404G的发光。因为来自第二发光层(G) 404G的发光中的由反射电极401反射而回来的光(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,所以通过将反射电极401到第二发光层(G) 404G的光程调节为所希望的值 $((2m' + 1)\lambda_G/4$ (注意, m' 是自然数)),可以使第二反射光与第二入射光的相位一致,从而可以放大来自第二发光层(G) 404G的发光。

[0186] 另外,严格而言,可以将反射电极401与第二发光层(G) 404G之间的光程称为反射电极401中的反射区域与第二发光层(G) 404G中的发光区域之间的光程。但是,难以严格地决定反射电极401中的反射区域或第二发光层(G) 404G中的发光区域的位置,所以通过假定反射电极401中的任意的位置为反射区域且假定第二发光层(G) 404G中的任意的位置为发光区域,来可以充分地获得上述效果。

[0187] 接着,在第三发光元件(B) 410B中,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厚度 $((2m'' + 1)\lambda_B/4$ (注意, m'' 是自然数)),可以放大来自第一发光层(B) 404B的发光。因为来自第一发光层(B) 404B的发光中的由反射电极401反射而回来的光(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,所以通过将反射电极401到第一发光层(B) 404B的光程调节为所希望的值 $((2m'' + 1)\lambda_B/4$ (注意, m'' 是自然数)),可以使第三反射光与第三入射光的相位一致,从而可以放大来自第一发光层(B) 404B的发光。

[0188] 另外,在第三发光元件中,严格而言,可以将反射电极401与第一发光层(B) 404B之间的光程称为反射电极401中的反射区域与第一发光层(B) 404B中的发光区域之间的光程。但是,难以严格地决定反射电极401中的反射区域或第一发光层(B) 404B中的发光区域的位置,所以通过假定反射电极401中的任意的位置为反射区域且假定第一发光层(B) 404B中的任意的位置为发光区域,来可以充分地获得上述效果。

[0189] 另外,在上述结构中,示出每个发光元件具有在EL层中包括多个发光层的结构,但是本发明不局限于此。例如,也可以采用如下结构:将上述结构与实施方式3所说明的串联型发光元件组合,在一个发光元件中隔着电荷产生层设置多个EL层,且在各EL层中形成一个或多个发光层。

[0190] 本实施方式所示的发光装置具有微腔结构,即使具有相同的EL层,也能够提取根据发光元件不同的波长的光,因此不需要RGB的分别涂敷。从而,根据容易实现高精细化等的理由,从实现全彩色化的角度来看上述结构是有利的。另外,也可以与着色层(滤色片)组合。另外,因为能够加强特定波长的正面方向的发光强度,所以可以实现低耗电量化。该结构是当将其应用于使用三种颜色以上的像素的彩色显示器(图像显示装置)时特别有效的,

但是也可以将其用于照明等的用途。

[0191] 实施方式5

[0192] 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。

[0193] 另外,上述发光装置既可以是被动矩阵型发光装置,又可以是主动矩阵型发光装置。此外,可以将其他实施方式所说明的发光元件应用于本实施方式所示的发光装置。

[0194] 在本实施方式中,参照图8A和图8B对主动矩阵型发光装置进行说明。

[0195] 另外,图8A是示出发光装置的俯视图,图8B是沿图8A中的虚线A-A'切割的截面图。根据本实施方式的主动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)。将像素部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。

[0196] 此外,在元件衬底501上设置用来连接对驱动电路部503及驱动电路部504传达来自外部的信号(例如,视频信号、时钟信号、起始信号或复位信号等)或电位的外部输入端子的引导布线507。在此,示出作为外部输入端子设置FPC(柔性印刷电路)508的例子。另外,虽然在此只表示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不仅包括发光装置主体,而且还包括安装有FPC或PWB的发光装置。

[0197] 接着,参照图8B说明截面结构。在元件衬底501上形成有驱动电路部及像素部,但是在此示出源极线驱动电路的驱动电路部503及像素部502。

[0198] 驱动电路部503示出形成有组合n沟道型TFT509和p沟道型TFT510的CMOS电路的例子。另外,形成驱动电路部的电路也可以使用各种CMOS电路、PMOS电路或NMOS电路形成。此外,在本实施方式中,虽然示出将驱动电路形成在衬底上的驱动器一体型,但是不一定需要如此,也可以将驱动电路形成在外部而不形成在衬底上。

[0199] 此外,像素部502由包括开关用TFT511、电流控制用TFT512及与电流控制用TFT512的布线(源电极或漏电极)电连接的第一电极(阳极)513的多个像素形成。另外,以覆盖第一电极(阳极)513的端部的方式形成有绝缘物514。在此,使用正型的光敏丙烯酸树脂形成绝缘物514。

[0200] 另外,为了提高层叠在绝缘物514上的膜的覆盖率,优选在绝缘物514的上端部或下端部形成具有曲率的曲面。例如,在作为绝缘物514的材料使用正型的光敏丙烯酸树脂的情况下,优选使绝缘物514的上端部具备具有曲率半径(0.2 μm 至3 μm)的曲面。此外,作为绝缘物514,可以使用负型感光性树脂或正型感光性树脂,不局限于有机化合物,而还可以使用无机化合物诸如氧化硅、氧氮化硅等。

[0201] 在第一电极(阳极)513上层叠形成有EL层515及第二电极(阴极)516。在EL层515中至少设置有发光层,且发光层具有实施方式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。

[0202] 另外,由第一电极(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。作为用于第一电极(阳极)513、EL层515及第二电极(阴极)516的材料,可以使用实施方式2所示的材料。此外,虽然在此未图示,但是第二电极(阴极)516与作为外部输入端子的FPC508电连接。

[0203] 此外,虽然在图8B所示的截面图中仅示出一个发光元件517,但是在像素部502中以矩阵形状配置有多个发光元件。在像素部502中分别选择性地形成能够得到三种(R、G、B)发光的发光元件,以可以形成能够进行全彩色显示的发光装置。此外,也可以通过与着色层(滤色片)组合来实现能够进行全彩色显示的发光装置。

[0204] 再者,通过利用密封剂505将密封衬底506与元件衬底501贴合在一起,得到在由元件衬底501、密封衬底506及密封剂505围绕的空间518中具备有发光元件517的结构。另外,除了空间518填充有惰性气体(氮、氩等)的结构以外,还有空间518填充有密封剂505的结构。

[0205] 另外,作为密封剂505,优选使用环氧类树脂或低熔点玻璃等。另外,这些材料优选是尽量不透过水分、氧的材料。此外,作为用于密封衬底506的材料,除了玻璃衬底、石英衬底之外,还可以使用由FRP(Fiberglass-Reinforced Plastics:玻璃纤维增强塑料)、PVF(聚氟乙烯)、聚酯或丙烯酸树脂等构成的塑料衬底。

[0206] 通过上述步骤,可以得到主动矩阵型的发光装置。

[0207] 另外,本实施方式所示的结构可以与其他实施方式所示的结构适当地组合而实施。

[0208] 实施方式6

[0209] 在本实施方式中,参照图9A至图10C对使用应用本发明的一个方式的发光元件来制造的发光装置的各种各样的电子设备的一个例子进行说明。

[0210] 作为应用发光装置的电子设备,例如可以举出电视装置(也称为电视或电视接收机)、用于计算机等的显示器、数码相机、数码摄像机、数码相框、移动电话机(也称为移动电话、移动电话装置)、便携式游戏机、便携式信息终端、音频再现装置、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。

[0211] 图9A示出电视装置的一个例子。在电视装置7100中,框体7101组装有显示部7103。由显示部7103能够显示图像,并可以将发光装置用于显示部7103。此外,在此示出利用支架7105支撑框体7101的结构。

[0212] 可以通过利用框体7101所具备的操作开关、另外提供的遥控操作机7110进行电视装置7100的操作。通过利用遥控操作机7110所具备的操作键7109,可以进行频道及音量的操作,并可以对在显示部7103上显示的图像进行操作。此外,也可以采用在遥控操作机7110中设置显示从该遥控操作机7110输出的信息的显示部7107的结构。

[0213] 另外,电视装置7100采用具备接收机及调制解调器等结构。可以通过利用接收机接收一般的电视广播。再者,通过调制解调器将电视装置7100连接到有线或无线方式的通信网络,从而进行单向(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)的信息通信。

[0214] 图9B示出计算机,包括主体7201、框体7202、显示部7203、键盘7204、外部连接端口7205、指向装置7206等。此外,该计算机是通过将发光装置用于其显示部7203来制造的。

[0215] 图9C示出便携式游戏机,包括框体7301和框体7302的两个框体,并且通过连接部7303可以开闭地连接。框体7301组装有显示部7304,而框体7302组装有显示部7305。此外,图9C所示的便携式游戏机还具备扬声器部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(包括测定如下因素的功能:力量、位移、位置、

速度、加速度、角速度、转动数、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、流量、湿度、斜率、振动、气味或红外线)、麦克风7312)等。当然,便携式游戏机的结构不局限于上述结构,只要在显示部7304及显示部7305的双方或一方中使用发光装置,即可。此外,还可以采用适当地设置其他辅助设备的结构。图9C所示的便携式游戏机具有如下功能:读出储存在记录介质中的程序或数据并将其显示在显示部上;以及通过与其他便携式游戏机进行无线通信而实现信息共享。另外,图9C所示的便携式游戏机的功能不局限于此,而可以具有各种各样的其他功能。

[0216] 图9D示出移动电话机的一个例子。移动电话机7400除了组装在框体7401中的显示部7402之外还具备操作按钮7403、外部连接端口7404、扬声器7405、麦克风7406等。另外,移动电话机7400将发光装置用于显示部7402来制造。

[0217] 图9D所示的移动电话机7400可以用手指等触摸显示部7402来输入信息。此外,可以用手指等触摸显示部7402来进行打电话或制作电子邮件的操作。

[0218] 显示部7402的屏幕主要有如下三个模式:第一是以图像显示为主的显示模式;第二是以文字等信息输入为主的输入模式;第三是混合显示模式与输入模式的两个模式的显示及输入模式。

[0219] 例如,在打电话或制作电子邮件的情况下,将显示部7402设定为以文字输入为主的文字输入模式,并进行显示在屏幕的文字的输入操作,即可。在此情况下,优选的是,在显示部7402的屏幕的大多部分上显示键盘或号码按钮。

[0220] 另外,通过在移动电话机7400内部设置具有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,判断移动电话机7400的方向(纵向或横向),而可以对显示部7402的屏幕显示进行自动切换。

[0221] 此外,通过触摸显示部7402或对框体7401的操作按钮7403进行操作,切换屏幕模式。也可以根据显示在显示部7402上的图像种类切换屏幕模式。例如,当显示在显示部上的图像信号为动态图像的数据时,将屏幕模式切换成显示模式,而当显示在显示部上的图像信号为文字数据时,将屏幕模式切换成输入模式。

[0222] 另外,当在输入模式下通过检测出显示部7402的光传感器所检测的信号得知在一定期间内没有显示部7402的触摸操作输入时,也可以控制为将屏面模式从输入模式切换成显示模式。

[0223] 还可以将显示部7402用作图像传感器。例如,通过用手掌或手指触摸显示部7402,来拍摄掌纹、指纹等,而可以进行身份识别。此外,通过在显示部中使用发射近红外光的背光灯或发射近红外光的感测光源,也可以拍摄手指静脉、手掌静脉等。

[0224] 图10A和图10B是能够进行折叠的平板终端。图10A是打开的状态,并且平板终端包括框体9630、显示部9631a、显示部9631b、显示模式切换开关9034、电源开关9035、省电模式切换开关9036、夹子9033以及操作开关9038。此外,将发光装置用于显示部9631a和显示部9631b的一方或双方来制造该平板终端。

[0225] 在显示部9631a中,可以将其一部分用作触摸屏的区域9632a,并且可以通过触摸所显示的操作键9637来输入数据。此外,作为一个例子示出显示部9631a的一半只具有显示的功能,并且另一半具有触摸屏的功能的结构,但是不局限于该结构。也可以采用使显示部9631a的所有的区域具有触摸屏的功能的结构。例如,可以使显示部9631a的整个面显示键

盘按钮来将其用作触摸屏,并且将显示部9631b用作显示屏面。

[0226] 此外,在显示部9631b中与显示部9631a同样,也可以将其一部分用作触摸屏的区域9632b。此外,通过使用手指或触屏笔等触摸触摸屏上的键盘显示切换按钮9639的位置上,可以在显示部9631b上显示键盘按钮。

[0227] 此外,也可以对触摸屏的区域9632a和触摸屏的区域9632b同时进行触摸输入。

[0228] 另外,显示模式切换开关9034能够选择切换竖屏显示和横屏显示等显示的方向以及黑白显示和彩色显示等。省电模式切换开关9036可以根据平板终端所内置的光传感器所检测的使用时的外光的光量,将显示的亮度设定为最合适的亮度。平板终端除了光传感器以外还可以内置陀螺仪和加速度传感器等检测倾斜度的传感器等的其他检测装置。

[0229] 此外,图10A示出显示部9631b的显示面积与显示部9631a的显示面积相同的例子,但是不局限于此,可以使一方的尺寸和另一方的尺寸不同,也可以使它们的显示质量有差异。例如可以采用显示部9631a和9631b中的一方与另一方相比可以进行高精细的显示的结构。

[0230] 图10B是合上的状态,并且平板终端包括框体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。此外,在图10B中,作为充放电控制电路9634的一个例子示出具有电池9635和DCDC转换器9636的结构。

[0231] 此外,平板终端能够进行折叠,因此不使用时可以合上框体9630。因此,可以保护显示部9631a和显示部9631b,而可以提供一种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。

[0232] 此外,图10A和图10B所示的平板终端还可以具有如下功能:显示各种各样的信息(静态图像、动态图像、文字图像等);将日历、日期或时刻等显示在显示部上;对显示在显示部上的信息进行操作或编辑的触摸输入;通过各种各样的软件(程序)控制处理等。

[0233] 通过利用安装在平板终端的表面上的太阳能电池9633,可以将电力供应到触摸屏、显示部或图像信号处理部等。另外,可以将太阳能电池9633设置在框体9630的单面或双面,由此可以高效地对电池9635进行充电。另外,当作为电池9635使用锂离子电池时,有可以实现小型化等的优点。

[0234] 另外,参照图10C所示的方框图对图10B所示的充放电控制电路9634的结构和工作进行说明。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。

[0235] 首先,说明在利用外光使太阳能电池9633发电时的工作的例子。使用DCDC转换器9636对太阳能电池9633所产生的电力进行升压或降压以使它成为用来对电池9635进行充电的电压。并且,当利用来自太阳能电池9633的电力使显示部9631工作时使开关SW1导通,并且,利用转换器9638将该电力升压或降压到显示部9631所需要的电压。另外,当不进行显示部9631中的显示时,使开关SW1截止且使开关SW2导通来对电池9635进行充电。

[0236] 注意,作为发电单元的一个例子示出太阳能电池9633,但是不局限于此,也可以使用压电元件(piezoelectric element)或热电转换元件(珀耳帖元件(Peltier element))等其他发电单元进行电池9635的充电。例如,也可以使用以无线(不接触)的方式能够收发电力来进行充电的无线电力传输模块或组合其他充电方法进行充电。

[0237] 另外,如果具备上述实施方式所说明的显示部,则当然不局限于图10A至图10C所示的电子设备。

[0238] 通过上述步骤,可以应用本发明的一个方式的发光装置而得到电子设备。发光装置的应用范围极为宽,而可以应用于所有领域的电子设备。

[0239] 另外,本实施方式所示的结构可以与其他实施方式所示的结构适当地组合而实施。

[0240] 实施方式7

[0241] 在本实施方式中,参照图11对应用包括本发明的一个方式的发光元件的发光装置的照明装置的一个例子进行说明。

[0242] 图11是将发光装置用于室内照明装置8001的例子。另外,因为发光装置可以实现大面积化,所以也可以形成大面积的照明装置。此外,也可以通过使用具有曲面的框体来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,框体的设计的自由度高。因此,可以形成精心设计的照明装置。再者,室内的墙面也可以具备大型的照明装置8003。

[0243] 另外,通过将发光装置用于桌子的表面,可以提供具有桌子的功能的照明装置8004。此外,通过将发光装置用于其他家具的一部分,可以提供具有家具的功能的照明装置。

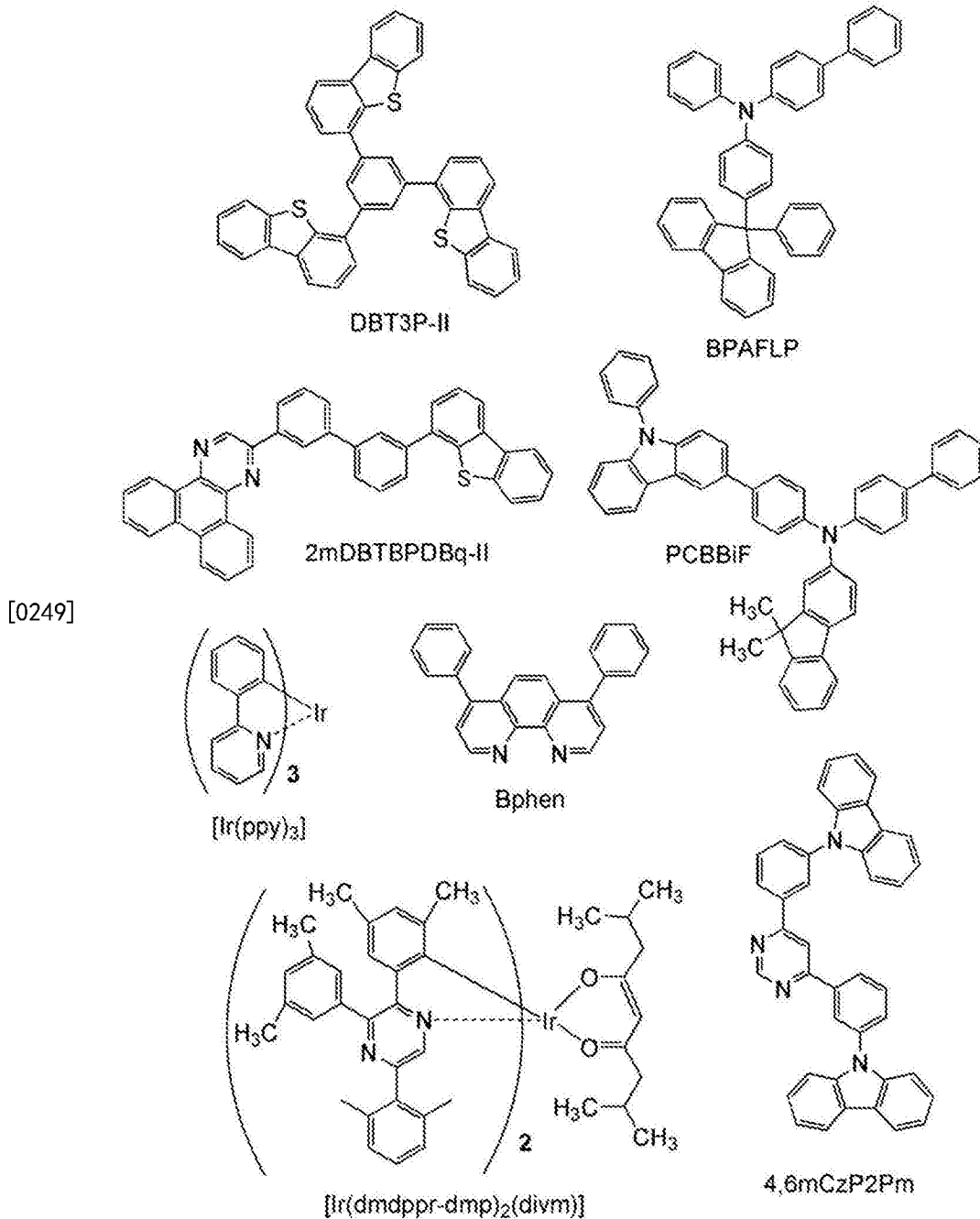
[0244] 如上所述,可以得到应用发光装置的各种各样的照明装置。另外,这种照明装置包括在本发明的一个方式中。

[0245] 另外,本实施方式所示的结构可以与其他实施方式所示的结构适当地组合而实施。

[0246] 实施例1

[0247] 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。另外,下面示出在本实施例中使用的材料的化学式。

[0248] [化学式1]



[0250] 《发光元件1的制造》

[0251] 首先,在由玻璃制造的衬底1100上通过溅射法形成包含氧化硅的铟锡氧化物(ITSO),由此形成用作阳极的第一电极1101。另外,将其厚度设定为110nm,且将其电极面积设定为2mm×2mm。

[0252] 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。

[0253] 然后,在将衬底放入到其内部被减压到 10^{-4} Pa左右的真空蒸镀装置中,并在真空蒸镀装置内的加热室中,在170℃下进行30分钟的真空焙烧之后,对衬底1100进行30分钟左右的冷却。

[0254] 接着,以使形成有第一电极1101的面朝下的方式将衬底1100固定到设置在真空蒸镀装置内的支架。在本实施例中,说明如下情况,即通过真空蒸镀法,依次形成构成EL层

1102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。

[0255] 在使真空装置的内部减压到 10^{-4} Pa之后,通过共蒸镀1,3,5-三(二苯并噻吩-4-基)苯(简称:DBT3P-II)和氧化钼(VI)以满足DBT3P-II(简称):氧化钼=4:2(质量比)的关系,在第一电极1101上形成空穴注入层1111。将其厚度设定为20nm。另外,共蒸镀是指使不同的多个物质从不同的蒸发源同时蒸发的蒸镀法。

[0256] 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。

[0257] 接着,在空穴传输层1112上形成发光层1113。共蒸镀4,6-双[3-(9H-咔唑-9-基)苯基]嘧啶(简称:4,6mCzP2Pm)、N-(1,1'-联苯-4-基)-N-[4-(9-苯基-9H-咔唑-3-基)苯基]-9,9-二甲基-9H-芴-2-胺(简称:PCBBiF)、三(2-苯基吡啶)铱(III)(简称:[Ir(ppy)₃]),以满足4,6mCzP2Pm(简称):PCBBiF(简称):[Ir(ppy)₃](简称)=0.7:0.3:0.05(质量比)的关系,形成20nm厚的第一发光层1113a,然后共蒸镀2-[3'-(二苯并噻吩-4-基)联苯-3-基]二苯并[f,h]喹喔啉(简称:2mDBTBPDq-II)、PCBBiF(简称)、双{4,6-二甲基-2-[5-(2,6-二甲基苯基)-3-(3,5-二甲基苯基)-2-吡嗪基-κN]苯基-κC}(2,8-二甲基-4,6-壬烷二酮基(nonanedionato)-κ²O,O')铱(III)(简称:[Ir(dmdppr-dmp)₂(divm)]),以满足2mDBTBPDq-II(简称):PCBBiF(简称):[Ir(dmdppr-dmp)₂(divm)](简称)=0.9:0.1:0.05(质量比)的关系,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。

[0258] 接着,通过在发光层1113上蒸镀15nm厚的2mDBTBPDq-II(简称)之后,蒸镀10nm厚的红菲绕啉(简称:BPhen),由此形成电子传输层1114。再者,通过在电子传输层1114上蒸镀1nm厚的氟化锂,形成电子注入层1115。

[0259] 最后,在电子注入层1115上蒸镀200nm厚的铝膜来形成用作阴极的第二电极1103,而得到发光元件1。另外,作为上述蒸镀过程中的蒸镀,都采用电阻加热法。

[0260] 表1示出通过上述步骤得到的发光元件1的元件结构。

[0261] [表1]

[0262]

	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
发光元件1	ITO (110nm)	DBT3P-II:MoO _x (4:2 20nm)	BPAFLP (20nm)	*	**	2mDBTBPDq-II (15nm)	BPhen (10nm)	LiF (1nm)	Al (200nm)

[0263] *4,6mCzP2Pm:PCBBiF:[Ir(ppy)₃](0.7:0.3:0.0520nm)

[0264] **2mDBTBPDq-II:PCBBiF:[Ir(dmdppr-dmp)₂(divm)](0.9:0.1:0.0520nm)

[0265] 此外,在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暴露于大气(具体地说,将密封材料涂敷在元件的周围,并且,当密封时以80℃进行1小时的热处理)。

[0266] 《发光元件1的工作特性》

[0267] 对所制造的发光元件1的工作特性进行测量。另外,在室温(保持为25℃的气氛)下进行测量。

[0268] 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/

m^2), 横轴表示电流密度 (mA/cm^2)。此外, 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/m^2), 横轴表示电压 (V)。此外, 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/m^2)。此外, 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)。

[0269] 从图15可知, 本发明的一个方式的发光元件1是高效率的元件。此外, 下面的表2示出 $1000\text{cd}/\text{m}^2$ 附近的发光元件1的主要初期特性值。

[0270] [表2]

[0271]

	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	3.2	0.056	1.4	(0.48, 0.50)	1000	72	70	27

[0272] 以上述结果可知, 因为在本实施例中制造的发光元件1表示高外部量子效率, 所以表示高发光效率。

[0273] 此外, 图17示出以 $25\text{mA}/\text{cm}^2$ 的电流密度使电流流到发光元件1时的发射光谱。如图17所示, 发光元件1的发射光谱在 519nm 和 615nm 附近具有两个峰值, 由此可知, 该发射光谱的峰值分别来源于磷光有机金属铱配合物 $[\text{Ir}(\text{ppy})_3]$ 的发光和 $[\text{Ir}(\text{dmdppr-dmp})_2(\text{divm})]$ 的发光。

[0274] 另外, 通过循环伏安法测量, 估算出: 具有电子传输性的第一有机化合物的 $4,6\text{mCzP2Pm}$ 的 LUMO 能级为 -2.88eV , 具有电子传输性的第三有机化合物的 2mDBTBPDq-II 的 LUMO 能级为 -2.94eV 。因此, 第一有机化合物的 LUMO 能级高于第三有机化合物的 LUMO 能级。

[0275] 在此, 图18示出具有电子传输性的第一有机化合物的 $4,6\text{mCzP2Pm}$ 的薄膜的发射光谱、具有空穴传输性的第二有机化合物的 PCBBiF 的薄膜的发射光谱以及 $4,6\text{mCzP2Pm}$ 和 PCBBiF 的混合膜 (共蒸镀膜) 的发射光谱。另外, 图19示出具有电子传输性的第三有机化合物的 2mDBTBPDq-II 的薄膜的发射光谱、具有空穴传输性的第二有机化合物的 PCBBiF 的薄膜的发射光谱以及 2mDBTBPDq-II 和 PCBBiF 的混合膜 (共蒸镀膜) 的发射光谱。

[0276] 从图18及图19可知: 与各材料的单膜的发光波长相比, 混合膜的发光波长位于长波长一侧, 由此, 第一有机化合物 ($4,6\text{mCzP2Pm}$) 和第二有机化合物 (PCBBiF) 以及第三有机化合物 (2mDBTBPDq-II) 和第二有机化合物 (PCBBiF) 分别形成激基复合物。

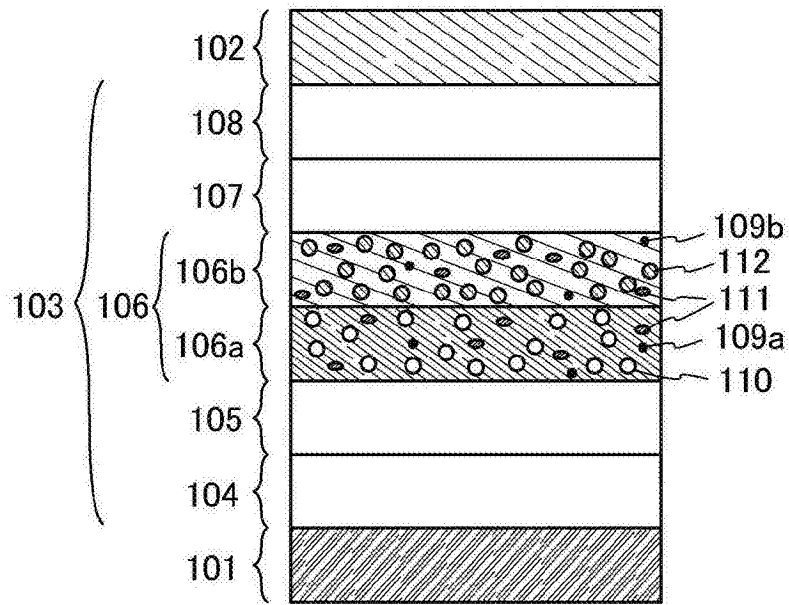


图1A

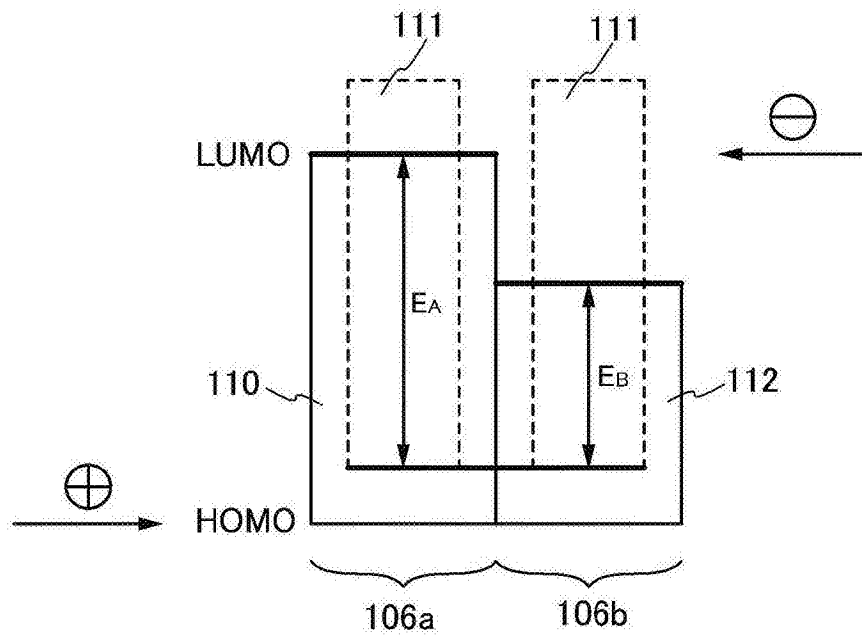
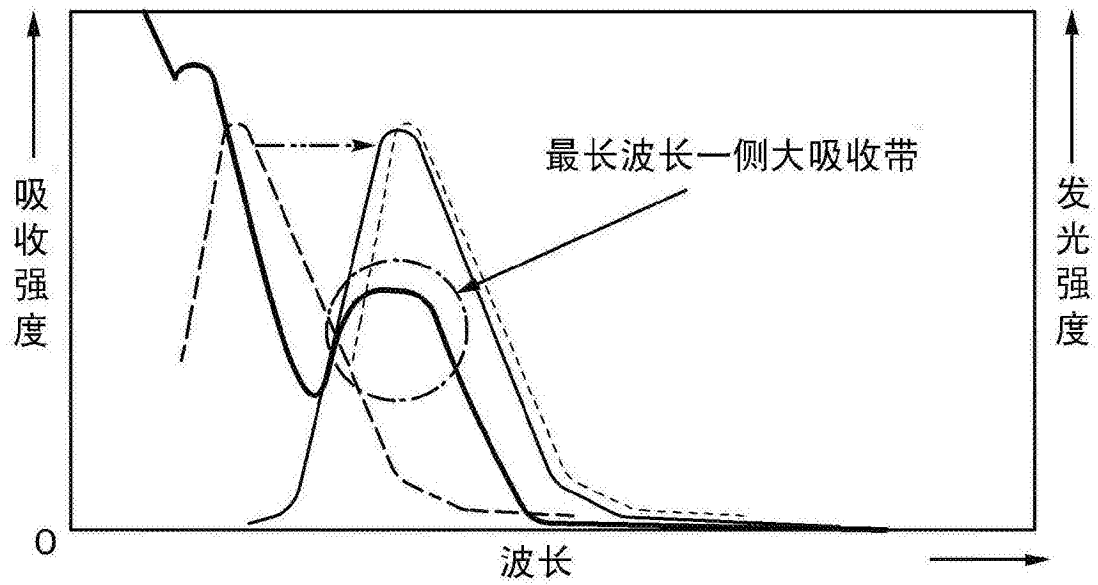


图1B



- 第一、第二或第三有机化合物的荧光光谱
- 第一、第二或第三有机化合物的磷光光谱
- 将三重激发态能转换为发光的第一或第二发光物质的吸收光谱
- 激基复合物的发射光谱

图2

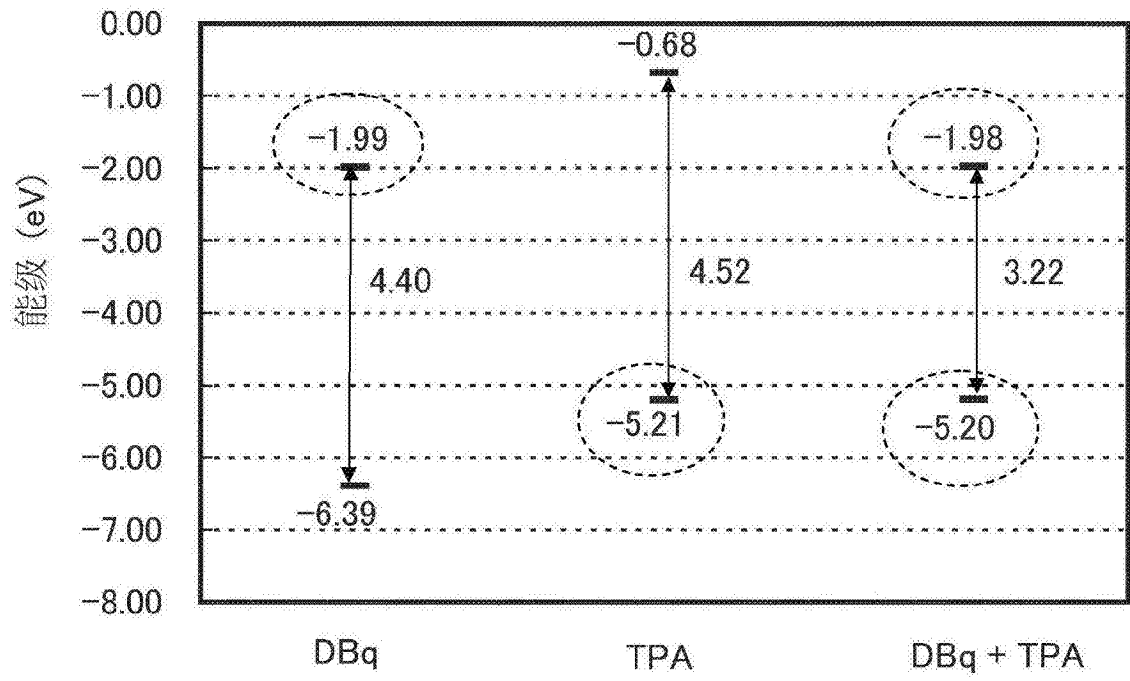


图3

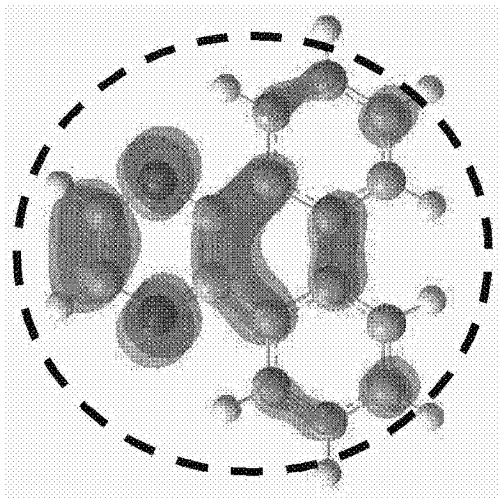


图4A1

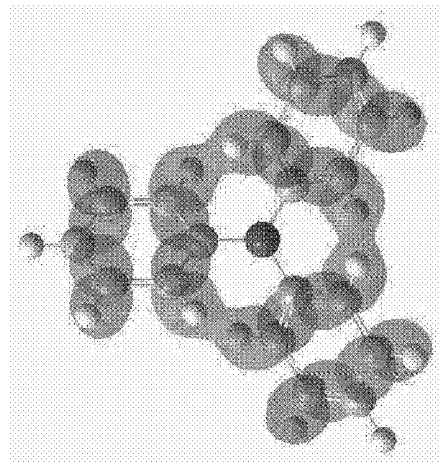


图4B1

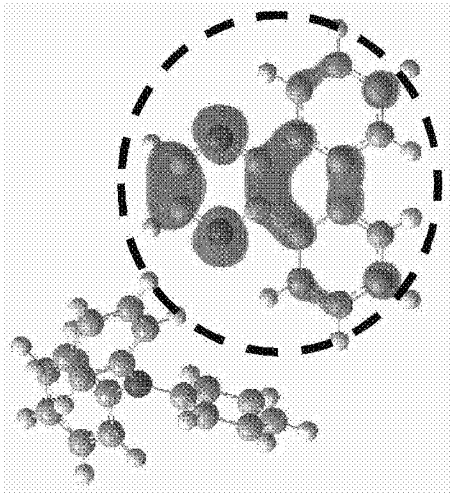


图4C1

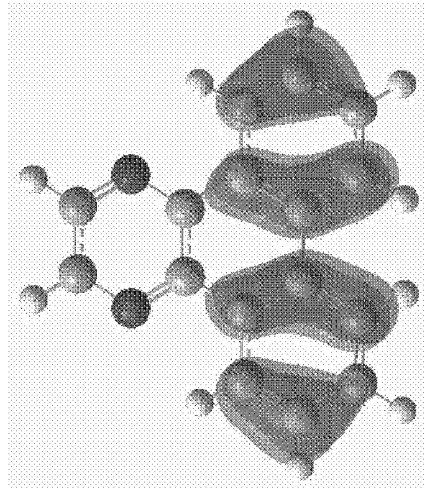


图4A2

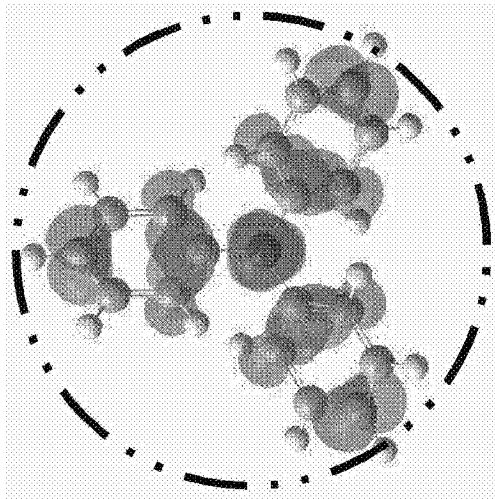


图4B2

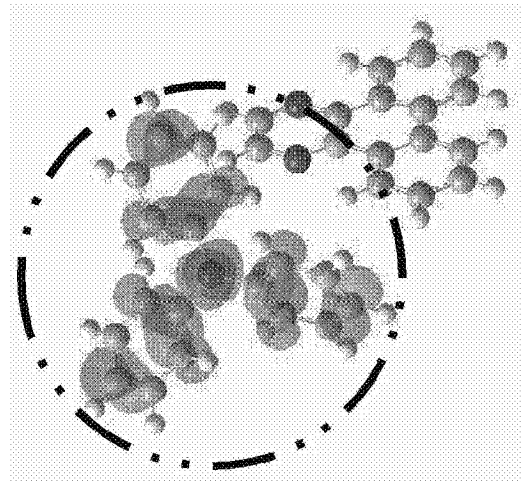


图4C2

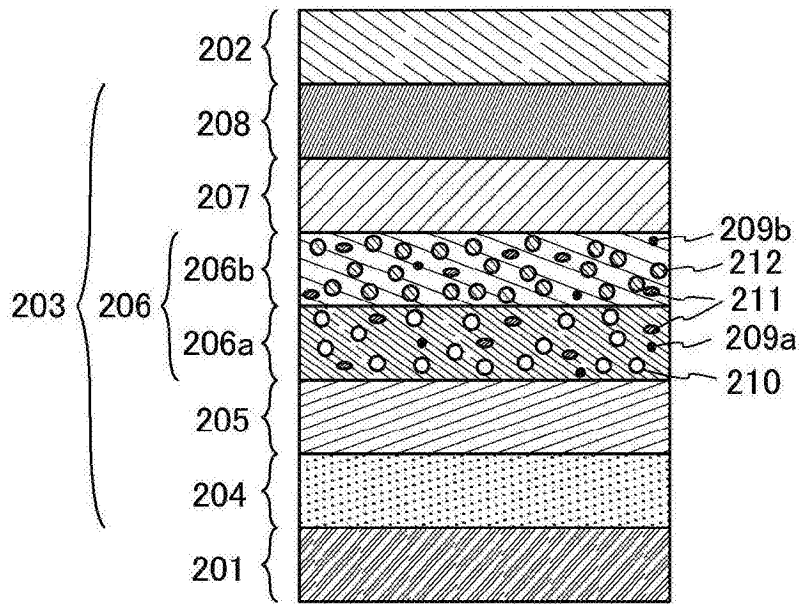


图5

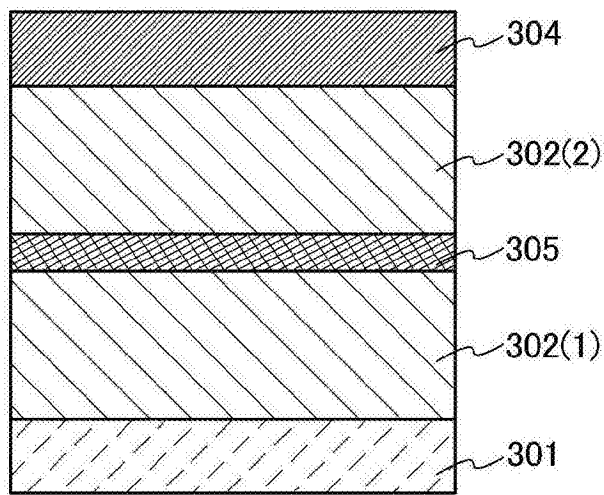


图6A

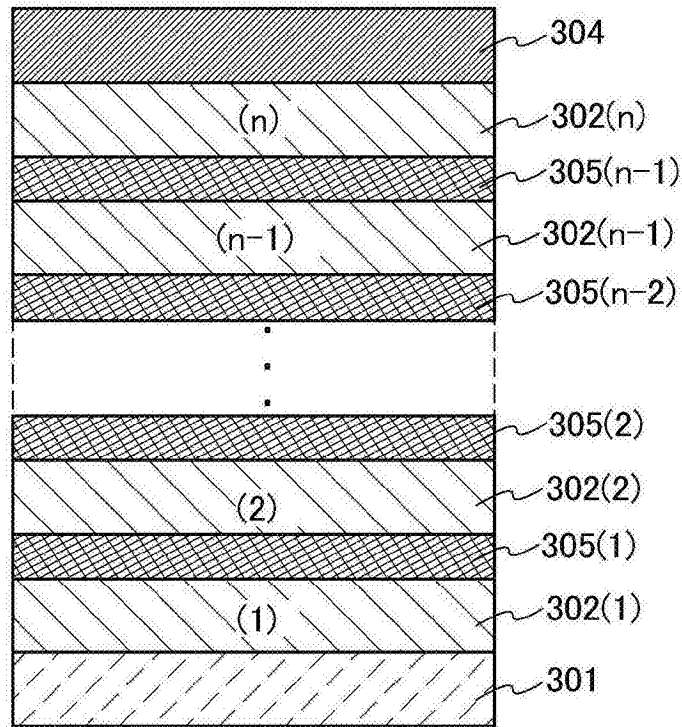


图6B

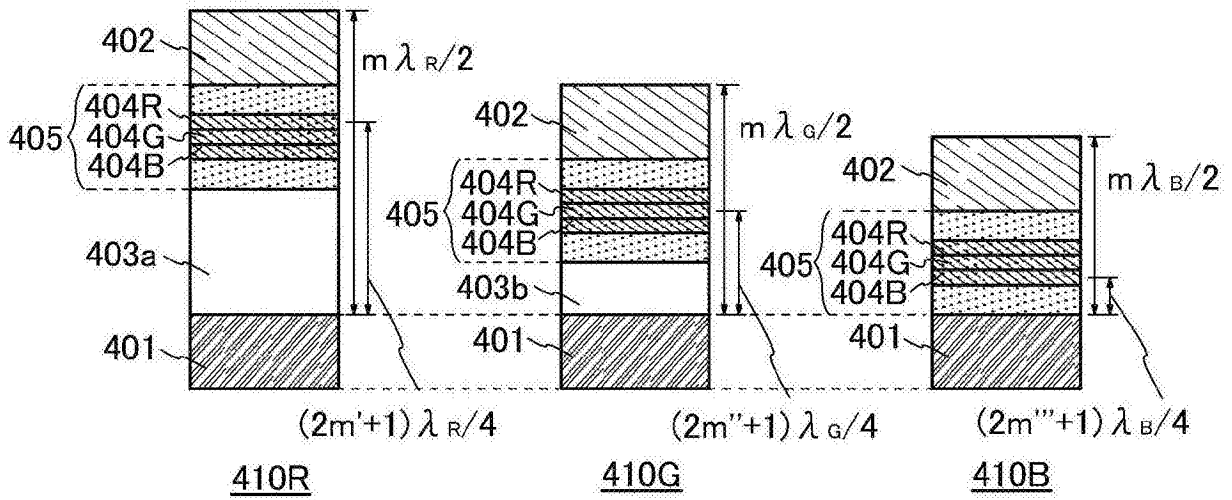


图7

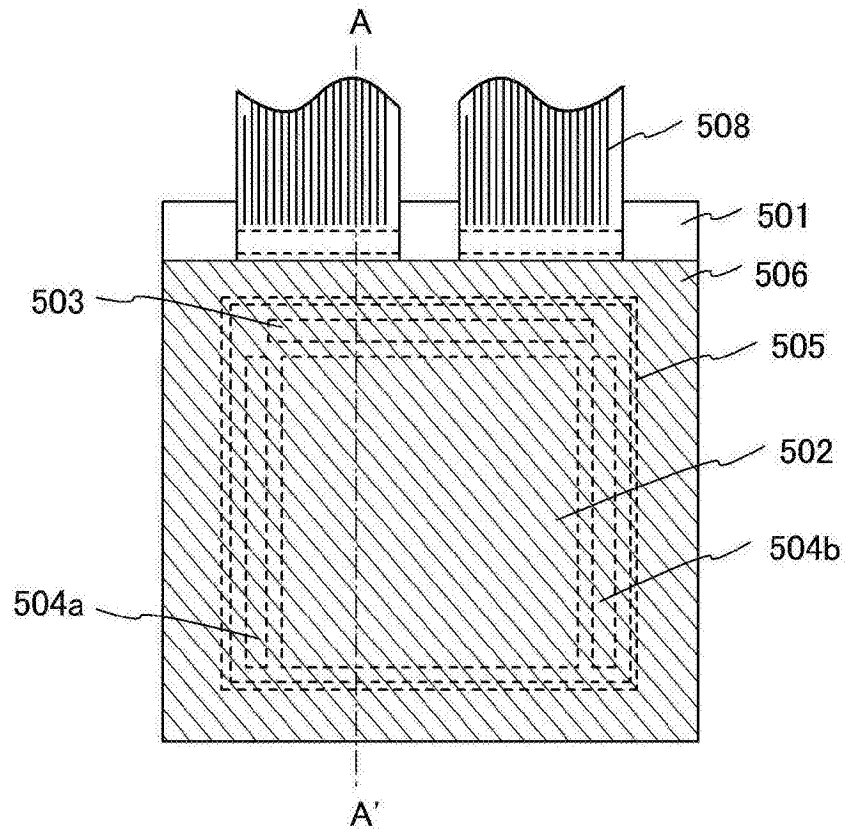


图8A

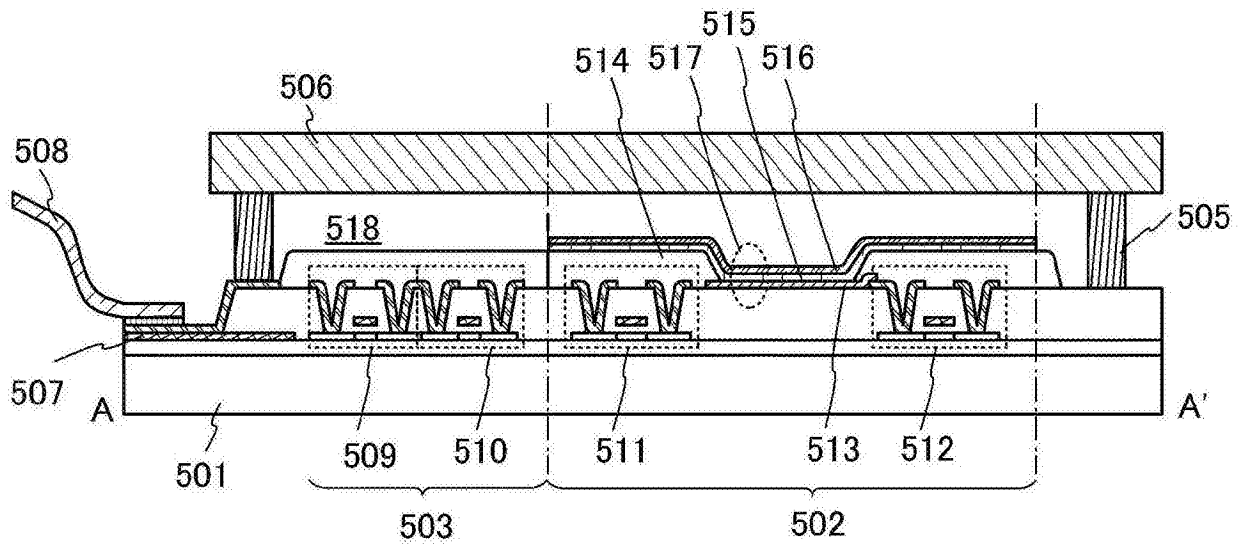


图8B

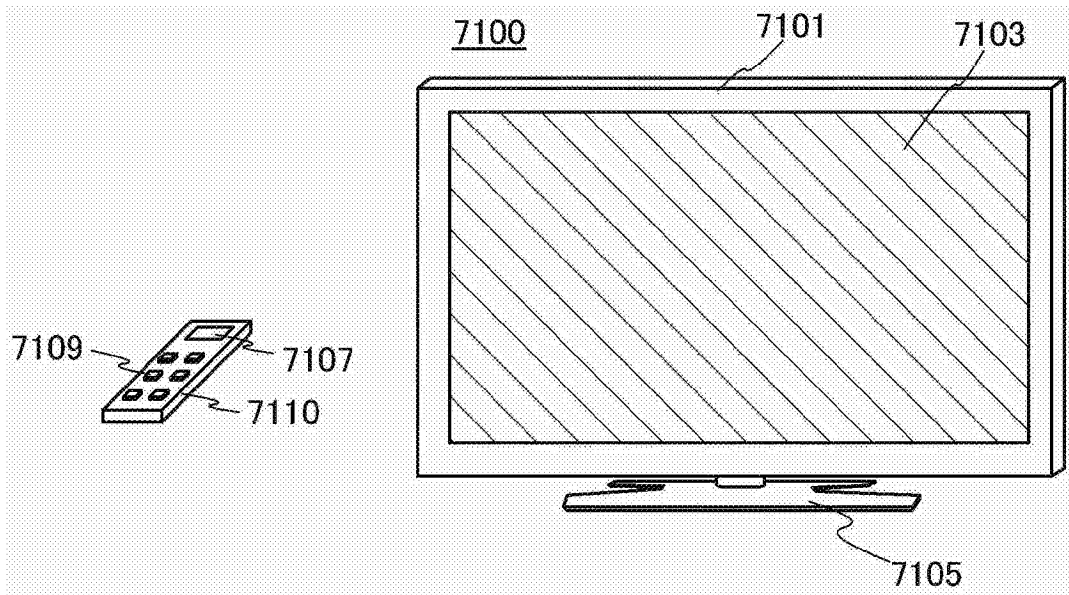


图9A

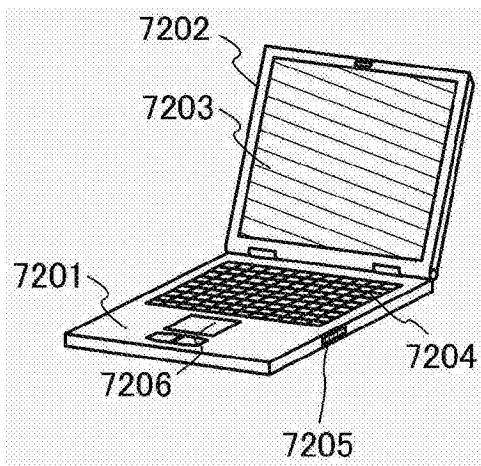


图9B

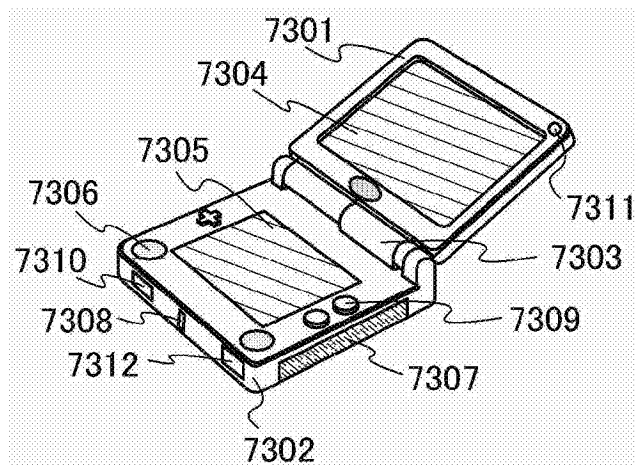


图9C

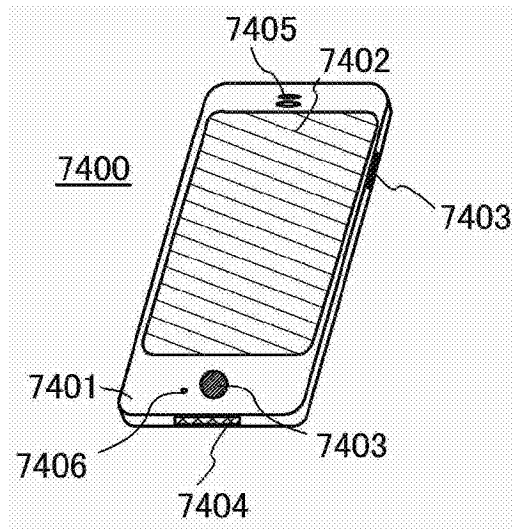


图9D

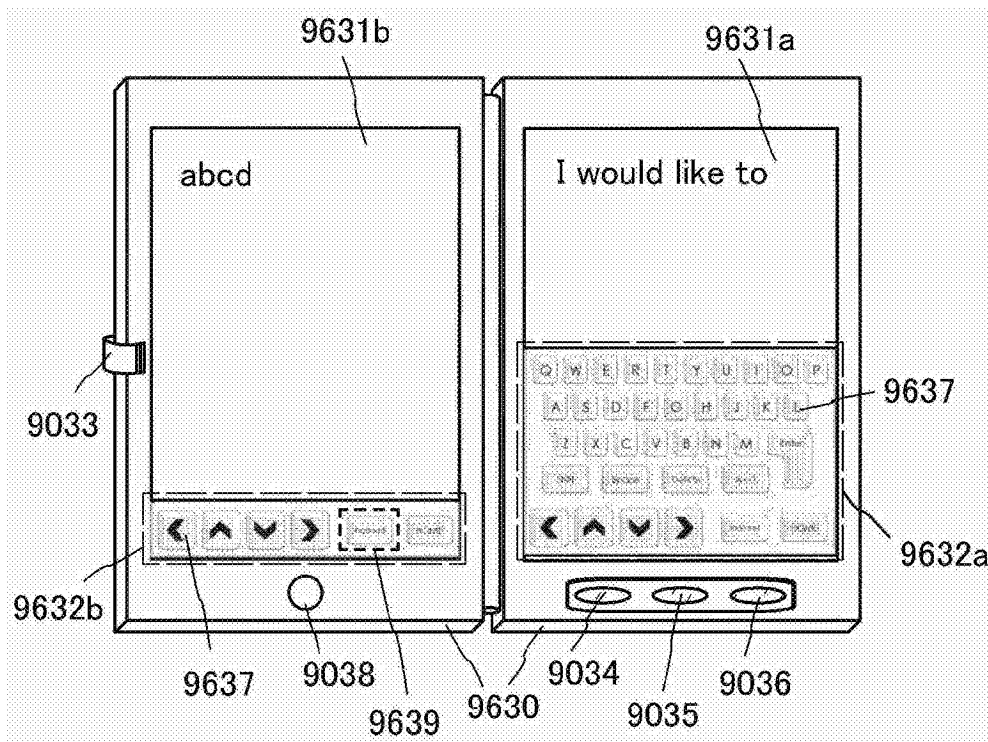


图10A

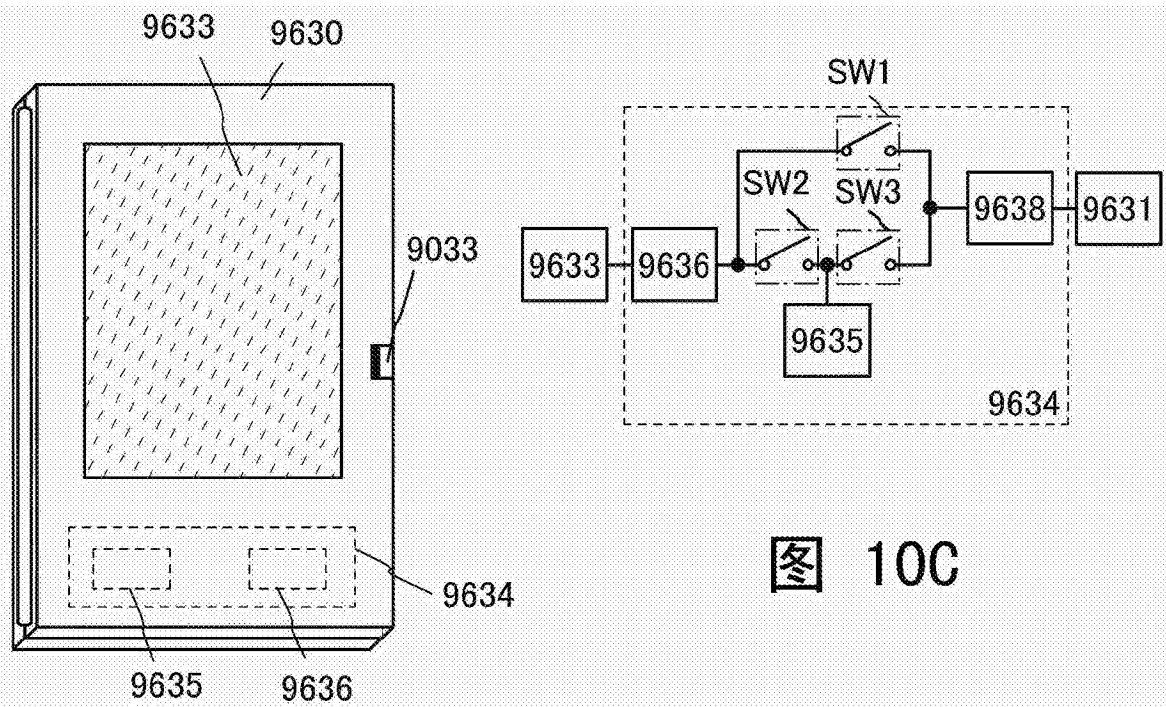


图 10C

图 10B

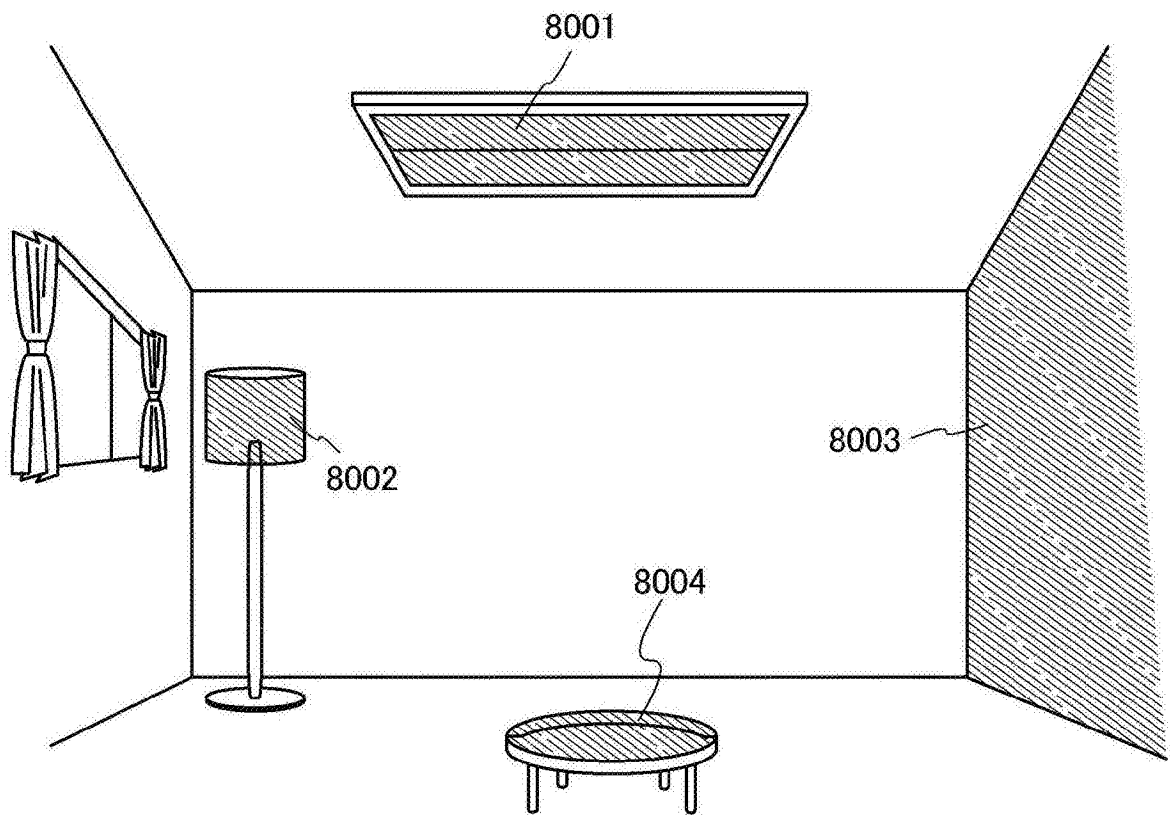


图11

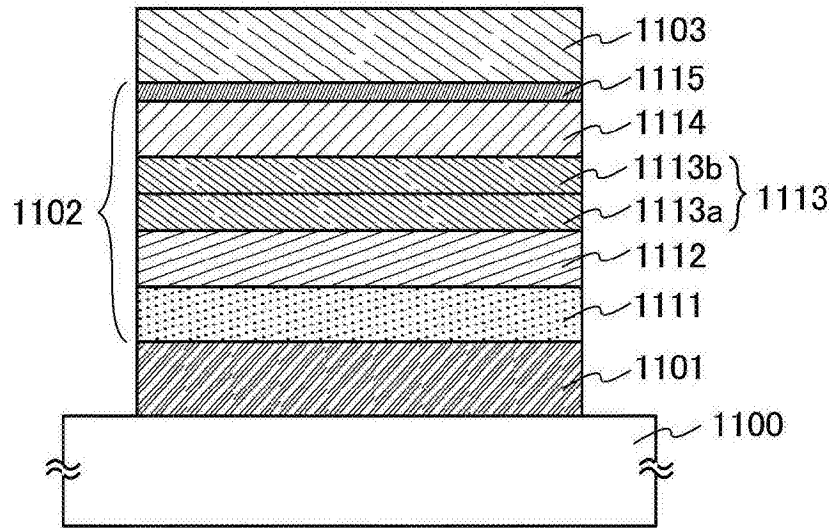


图12

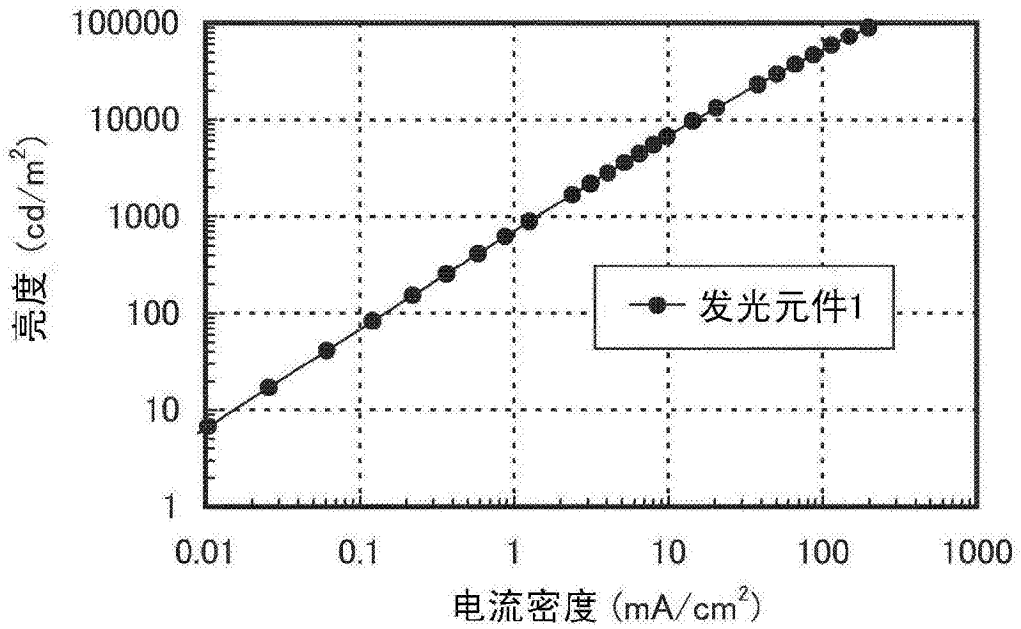


图13

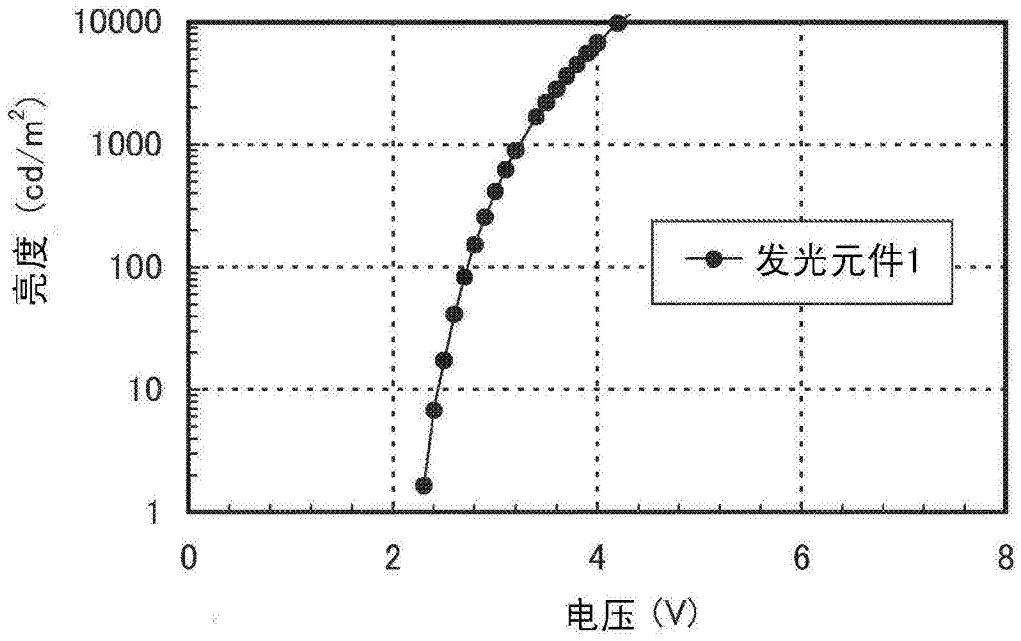


图14

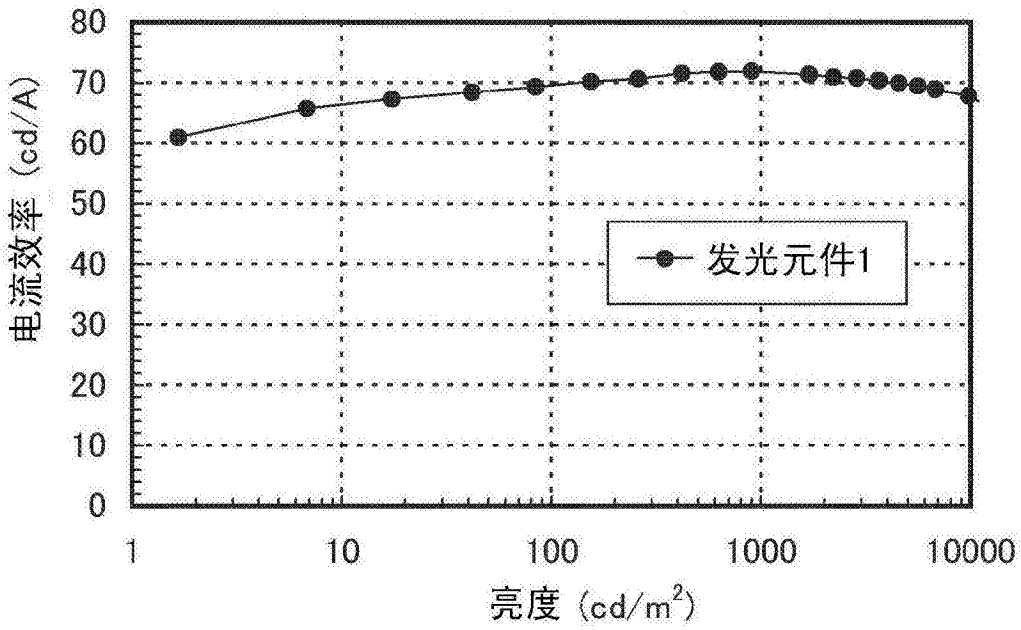


图15

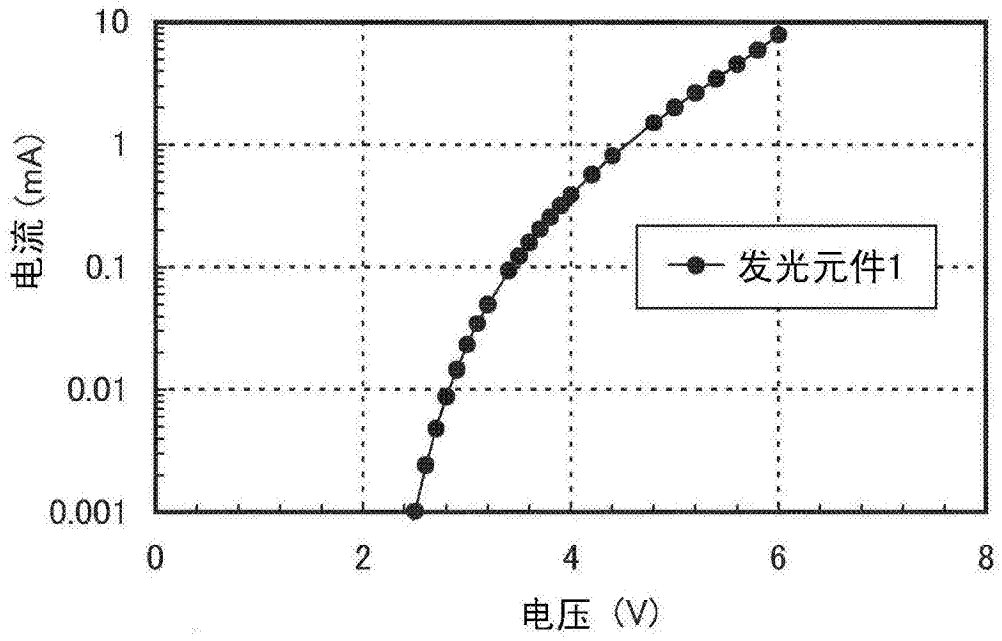


图16

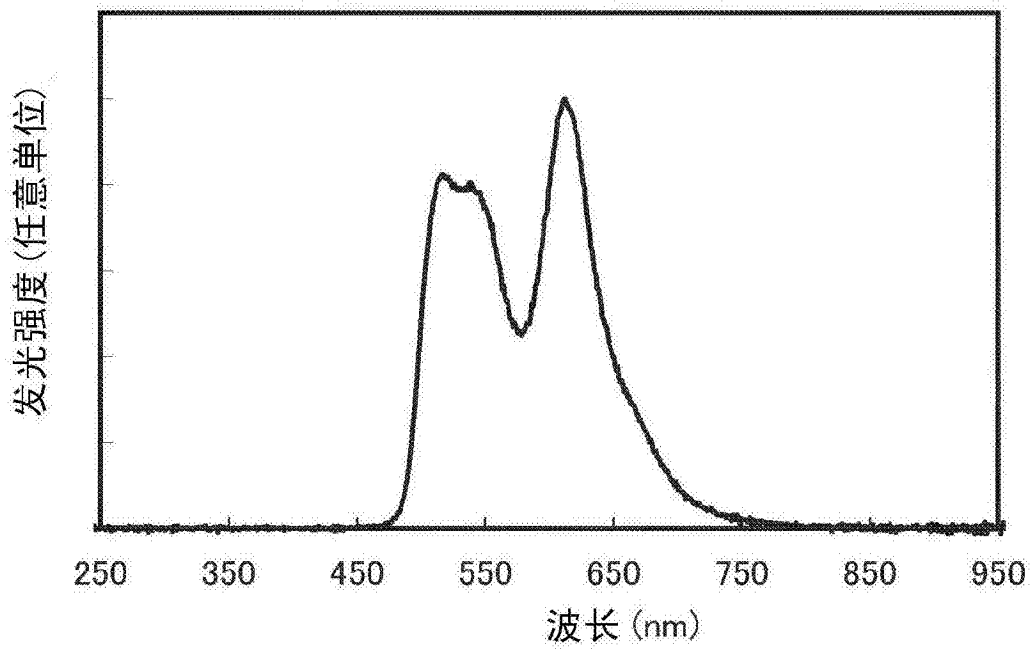


图17

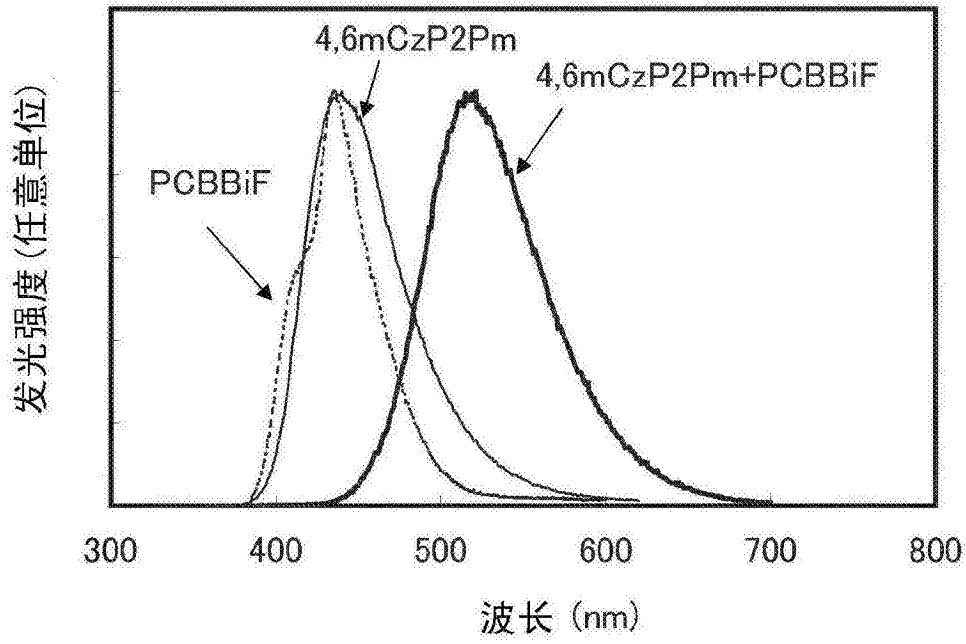


图18

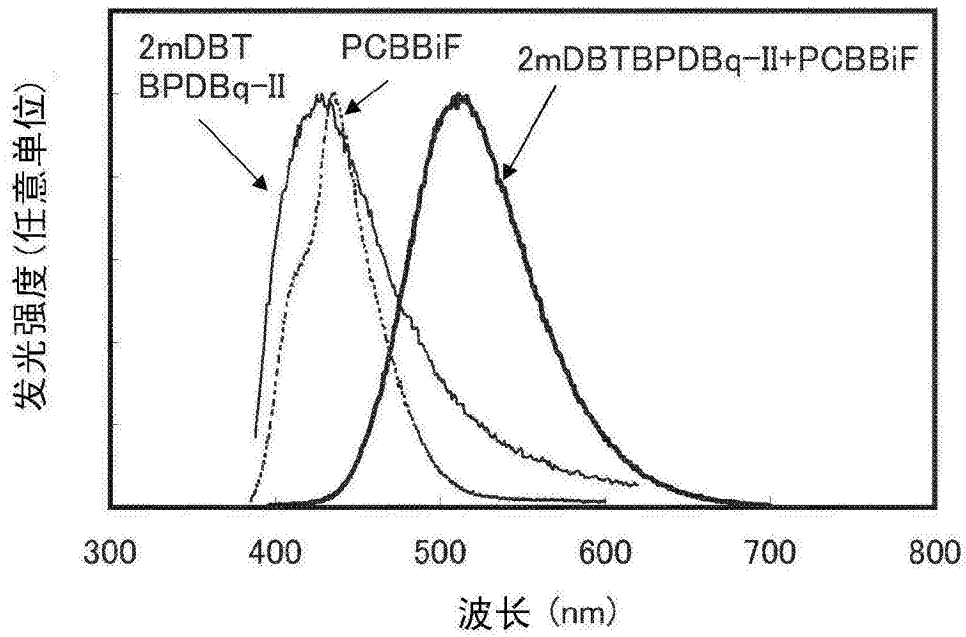


图19