



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 119894227 A

(43) 申请公布日 2025. 04. 25

(21) 申请号 202510041921.0

H10K 85/30 (2023.01)

(22) 申请日 2018.10.23

H10K 85/60 (2023.01)

(30) 优先权数据

H10K 101/10 (2023.01)

2017-213080 2017.11.02 JP

H10K 101/25 (2023.01)

H10K 101/40 (2023.01)

(62) 分案原申请数据

201880068480.1 2018.10.23

(71) 申请人 株式会社半导体能源研究所

地址 日本神奈川县

(72) 发明人 大泽信晴 濑尾哲史

(74) 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公

司 31100

专利代理师 熊风

(51) Int. Cl.

H10K 50/11 (2023.01)

H10K 85/20 (2023.01)

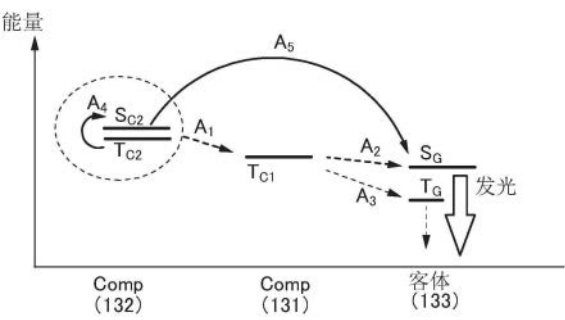
权利要求书1页 说明书69页 附图35页

(54) 发明名称

发光元件、显示装置、电子设备及照明装置

(57) 摘要

提供一种发光效率高的发光元件、显示装置、电子设备及照明装置。发光元件包含第一至第三有机化合物。第一有机化合物具有将三重激发能转换为发光的功能。第二有机化合物优选为TADF材料。第三有机化合物为荧光化合物。发光元件所发射的光从第三有机化合物得到。发光层中的三重激发能由于第二有机化合物所引起的反系间窜越或者通过第一有机化合物转移到第三有机化合物。



1.一种发光装置,包括:
第一电极;
所述第一电极上的发光层,该发光层包括:
构成为将三重激发能转换为发光的第一有机化合物;
第二有机化合物;以及
构成为将单重激发能转换为发光的第三有机化合物;以及所述发光层上的第二电极,
其中,所述第二有机化合物的最低单重激发能级与所述第二有机化合物的最低三重激发能级之差为0eV以上且0.2eV以下,
并且,从所述发光层发射的光包括从所述第三有机化合物发射的光。

发光元件、显示装置、电子设备及照明装置

本发明申请是国际申请号为PCT/IB2018/058227、国际申请日为2018年10月23日、进入中国国家阶段的申请号为201880068480.1、名称为“发光元件、显示装置、电子设备及照明装置”的发明专利申请的分案申请。

技术领域

[0001] 本发明的一个实施方式涉及一种发光元件或各自包括该发光元件的显示装置、电子设备及照明装置。

[0002] 注意,本发明的一个实施方式不局限于上述技术领域。本说明书等所公开的发明的一个方式的技术领域涉及一种物体、方法或制造方法。另外,本发明的一个实施方式涉及一种工序(process)、机器(machine)、产品(manufacture)或组合物(composition of matter)。因此,具体而言,作为本说明书所公开的本发明的一个实施方式的技术领域的例子,可以举出半导体装置、显示装置、液晶显示装置、发光装置、照明装置、蓄电装置、存储装置、这些装置的驱动方法或制造方法。

背景技术

[0003] 近年来,对利用电致发光(EL)的发光元件的研究开发日益火热。这些发光元件的基本结构是在一对电极之间夹有包含发光物质的层(EL层)的结构。通过将电压施加到该元件的电极间,可以获得来自发光物质的发光。

[0004] 因为上述发光元件是自发光型发光元件,所以使用该发光元件的显示装置具有如下优点:具有良好的可见度;不需要背光源;以及功耗低等。而且,该显示装置还具有如下优点:能够被制造得薄且轻;以及响应速度快等。

[0005] 当使用将有机化合物用作发光性物质并在一对电极间设置包含该发光性物质的EL层的发光元件(例如,有机EL元件)时,通过将电压施加到一对电极间,电子和空穴分别从阴极和阳极注入到发光性EL层,而使电流流过。而且,注入的电子与空穴重新结合而使发光性有机化合物成为激发态,而可以获得发光。

[0006] 作为有机化合物所形成的激发态的种类,有单重激发态(S^*)及三重激发态(T^*),来自单重激发态的发光被称为荧光,来自三重激发态的发光被称为磷光。另外,在该发光元件中, $S^*:T^*$ 的统计学上的产生比例是1:3。因此,与使用发射荧光的化合物(荧光化合物)的发光元件相比,使用发射磷光的化合物(磷光化合物)的发光元件的发光效率更高。因此,近年来,对使用能够将三重激发能转换为发光的磷光化合物的发光元件的研究开发日益火热。

[0007] 在使用磷光化合物的发光元件中,尤其是发射蓝光的发光元件因为难以开发具有高三重激发能级的稳定的化合物,所以尚未投入实际使用。为此,正在进行使用更稳定的荧光化合物的发光元件的开发,并且正在搜索提高使用荧光化合物的发光元件(荧光发光元件)的发光效率的技术。

[0008] 作为例子,已知有使用热活化延迟荧光(Thermally Activated Delayed

Fluorescence:TADF) 材料的荧光发光元件。在热活化延迟荧光材料中,通过反系间窜越从三重激发态产生单重激发态,并且单重激发态被转换为发光。

[0009] 另外,专利文献1公开如下方法:在包含热活化延迟荧光材料和荧光化合物的发光元件中,将热活化延迟荧光材料的单重激发能转移到荧光化合物,并从该荧光化合物获得发光。

[参考文献]

[专利文献]

[0010] [专利文献1]日本专利申请公开第2014-45179号公报

[0011] [非专利文献]

[非专利文献1]T.Sajoto等人,J.Am.Chem.Soc.,2009,131,9813

发明内容

[0012] 荧光性材料不能将三重激发能转换为发光。因此,荧光发光元件的发光效率容易比磷光发光元件低。为了得到高亮度,荧光发光元件需要大量的电流,而发热或电流负载增大。因此,在荧光发光元件中,难以得到良好的可靠性。

[0013] 为了提高荧光发光元件的发光效率,优选的是,发光层中的三重激发能高效地转换为单重激发能或者高效地移动到荧光发光材料。为此,需要开发从三重激发态高效地生成单重激发态以进一步提高发光元件的发光效率的方法及材料。另外,作为用于发光层的材料,为了降低驱动电压,需要使用具有良好的载流子传输性的材料。

[0014] 鉴于上述内容,本发明的一个实施方式的目的是提供一种发光效率高的发光元件。另外,本发明的一个实施方式的目的是提供一种驱动电压低的发光元件。另外,本发明的一个实施方式的目的是提供一种可靠性高的发光元件。另外,本发明的一个实施方式的目的是提供一种功耗得到降低的发光元件。另外,本发明的一个实施方式的目的是提供一种颜色纯度高的发光元件。另外,本发明的一个实施方式的目的是提供一种新颖的发光元件。另外,本发明的一个实施方式的目的是提供一种新颖的发光装置。另外,本发明的一个实施方式的目的是提供一种新颖的电子设备。

[0015] 注意,上述目的的记载不妨碍其他目的的存在。本发明的一个实施方式并不一定需要实现所有上述目的。另外,上述目的以外的目的可以从说明书等的记载得知并衍生。

[0016] 如上所述,需要开发在发射荧光的发光元件中能够高效地将三重激发能转换为发光的方法。为此,需要提高发光层所使用的材料间的能量转移效率。

[0017] 鉴于上述内容,本发明的一个实施方式是一种发光元件,包括一对电极之间的发光层。发光层包含第一有机化合物、第二有机化合物及第三有机化合物,第一有机化合物具有将三重激发能转换为发光的功能,第二有机化合物的单重激发能与第二有机化合物的三重激发能之差为0eV以上且0.2eV以下,第三有机化合物具有将单重激发能转换为发光的功能,从发光层发射的光具有从第三有机化合物发射的光。

[0018] 本发明的其他的一个实施方式是一种发光元件,包括一对电极之间的发光层。发光层包含第一有机化合物、第二有机化合物及第三有机化合物,第一有机化合物具有将三重激发能转换为发光的功能,第二有机化合物具有富 π 电子骨架及缺 π 电子骨架,第三有机化合物具有将单重激发能转换为发光的功能,从发光层发射的光具有从第三有机化合物发

射的光。

[0019] 本发明的其他的一个实施方式是一种发光元件,包括一对电极之间的发光层。发光层包含第一有机化合物、第二有机化合物及第三有机化合物,第一有机化合物和第二有机化合物能够形成激基复合物,第一有机化合物具有将三重激发能转换为发光的功能,第二有机化合物的单重激发能级与第二有机化合物的三重激发能级之差为0eV以上且0.2eV以下,第三有机化合物具有将单重激发能转换为发光的功能,从发光层发射的光具有从第三有机化合物发射的光。

[0020] 本发明的其他的一个实施方式是一种发光元件,包括一对电极之间的发光层。发光层包含第一有机化合物、第二有机化合物及第三有机化合物,第一有机化合物和第二有机化合物能够形成激基复合物,第一有机化合物具有将三重激发能转换为发光的功能,第二有机化合物具有富 π 电子骨架及缺 π 电子骨架,第三有机化合物具有将单重激发能转换为发光的功能,从发光层发射的光具有从第三有机化合物发射的光。

[0021] 在上述实施方式中的任意实施方式中,第一有机化合物优选具有将激发能供应到第三有机化合物的功能。

[0022] 在上述实施方式中的任意实施方式中,激基复合物优选具有将激发能供应到第三有机化合物的功能。

[0023] 在上述实施方式中的任意实施方式中,富 π 电子骨架及缺 π 电子骨架优选直接键合。

[0024] 在上述实施方式中的任意实施方式中,第一有机化合物的三重激发能级优选为第三有机化合物的单重激发能级以上。

[0025] 在上述实施方式中的任意实施方式中,第一有机化合物优选包含Ru、Rh、Pd、Os、Ir或Pt。

[0026] 在上述实施方式中的任意实施方式中,第一有机化合物优选具有发射磷光的功能。

[0027] 在上述实施方式中的任意实施方式中,第一有机化合物的最低三重激发能级优选为第二有机化合物的最低三重激发能级以下。

[0028] 在上述实施方式中的任意实施方式中,激基复合物的发射光谱优选具有与第三有机化合物的吸收光谱的最长波长一侧的吸收带重叠的区域。

[0029] 在上述实施方式中的任意实施方式中,第一有机化合物优选在室温下具有0%以上且40%以下的发光量子产率。

[0030] 在上述实施方式中的任意实施方式中,第三有机化合物优选发射荧光。

[0031] 另外,本发明的其他的一个实施方式是包括上述各结构的发光元件、以及滤色片和晶体管中的至少一方的显示装置。另外,本发明的其他的一个实施方式是包括上述显示装置、以及外壳和触摸传感器中的至少一方的电子设备。另外,本发明的其他的一个实施方式是包括上述各结构的发光元件、以及外壳和触摸传感器中的至少一方的照明装置。另外,本发明的一个实施方式是其范畴内不仅包括具有发光元件的发光装置还包括具有发光装置的电子设备。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,发光装置有时还包括如下模块:在发光元件中安装有连接器诸如FPC(Flexible Printed Circuit:柔性电路板)或TCP(Tape Carrier Package:载带封装)的显示模块;在

TCP端部中设置有印刷线路板的显示模块;或者IC(集成电路)通过COG(Chip On Glass:玻璃覆晶)方式直接安装在发光元件上的显示模块。

[0032] 根据本发明的一个实施方式可以提供一种发光效率高的发光元件。另外,根据本发明的一个实施方式可以提供一种驱动电压低的发光元件。另外,根据本发明的一个实施方式可以提供一种可靠性高的发光元件。另外,根据本发明的一个实施方式可以提供一种功耗得到降低的发光元件。另外,根据本发明的一个实施方式可以提供一种颜色纯度高的发光元件。另外,根据本发明的一个实施方式可以提供一种新颖的发光元件。另外,根据本发明的一个实施方式可以提供一种新颖的发光装置。另外,根据本发明的一个实施方式可以提供一种新颖的电子设备。

[0033] 注意,这些效果的记载不妨碍其他效果的存在。另外,本发明的一个实施方式并不一定需要具有所有上述效果。另外,上述效果以外的效果可以从说明书、附图、权利要求书等的记载得知并衍生。

附图说明

[0034] 在附图中:

图1A及图1B是本发明的一个实施方式的发光元件的截面示意图,图1C示出发光层的能级相关;

图2A和图2B示出本发明的一个实施方式的发光元件的发光层的能级相关;

图3示出本发明的一个实施方式的发光元件的发光层的能级相关;

图4A和图4B示出本发明的一个实施方式的发光元件的发光层的能级相关;

图5是本发明的一个实施方式的发光元件的截面示意图;

图6A和图6B是说明本发明的一个实施方式的显示装置的俯视图及截面示意图;

图7A和图7B是说明本发明的一个实施方式的显示装置的截面示意图;

图8A和图8B是说明本发明的一个实施方式的显示装置的截面示意图;

图9A至图9D示出本发明的一个实施方式的电子设备;

图10A至图10C示出本发明的一个实施方式的电子设备;

图11A和图11B示出本发明的一个实施方式的电子设备;

图12示出本发明的一个实施方式的照明装置;

图13示出根据实施例的发光元件的电流效率-亮度特性;

图14示出根据实施例的发光元件的电流-电压特性;

图15示出根据实施例的发光元件的外部量子效率-亮度特性;

图16示出根据实施例的发光元件的发射光谱;

图17示出根据实施例的时间分辨发光测定的结果;

图18示出根据实施例的发射光谱和吸收光谱的关系;

图19A和图19B示出根据实施例的过渡荧光特性;

图20示出根据实施例的化合物的发射光谱;

图21示出根据实施例的化合物的发射光谱;

图22示出根据实施例的发光元件的可靠性测试结果;

图23示出根据实施例的发光元件的电流效率-亮度特性;

图24示出根据实施例的发光元件的电流-电压特性；
图25示出根据实施例的发光元件的外部量子效率-亮度特性；
图26示出根据实施例的发光元件的发射光谱；
图27示出根据实施例的时间分辨发光测定的结果；
图28示出根据实施例的发光元件的可靠性测试结果；
图29示出根据实施例的发光元件的电流效率-亮度特性；
图30示出根据实施例的发光元件的电流-电压特性；
图31示出根据实施例的发光元件的外部量子效率-亮度特性；
图32示出根据实施例的发光元件的发射光谱；
图33示出根据实施例的时间分辨发光测定的结果；
图34示出根据实施例的时间分辨发光测定的结果；
图35示出根据实施例的化合物的发射光谱；
图36示出根据实施例的发光元件的可靠性测试结果；
图37示出根据实施例的发光元件的电流效率-亮度特性；
图38示出根据实施例的发光元件的电流-电压特性；
图39示出根据实施例的发光元件的外部量子效率-亮度特性；
图40示出根据实施例的发光元件的发射光谱；
图41示出根据实施例的时间分辨发光测定的结果；
图42示出根据实施例的化合物的发射光谱；
图43示出根据实施例的发光元件的可靠性测试结果；
图44示出根据实施例的发光元件的电流效率-亮度特性；
图45示出根据实施例的发光元件的电流-电压特性；
图46示出根据实施例的发光元件的外部量子效率-亮度特性；
图47示出根据实施例的发光元件的发射光谱；
图48示出根据实施例的发光元件的发射光谱；
图49示出根据实施例的时间分辨发光测定的结果；
图50示出根据实施例的发射光谱和吸收光谱的关系。

具体实施方式

[0035] 以下,参照附图详细地说明本发明的实施方式。注意,本发明不局限于以下说明,其方式及详细内容在不脱离本发明的宗旨及其范围的情况下可以被变换为各种各样的形式。因此,本发明不应该被解释为仅局限在以下所示的实施方式及实施例所记载的内容中。

[0036] 另外,为了容易理解,有时在附图等中示出的各结构的位置、大小及范围等并不表示其实际的位置、大小及范围等。因此,所公开的发明不一定局限于附图等所公开的位置、大小、范围等。

[0037] 另外,在本说明书等中,为了容易理解,附加了第一、第二等序数词,而其有时并不表示工序顺序或叠层顺序。因此,例如可以将“第一”适当地置换为“第二”或“第三”等进行说明。另外,本说明书等中所记载的序数词与用于指定本发明的一个实施方式的序数词有时不一致。

[0038] 注意,在本说明书等中,当利用附图说明发明的结构时,有时在不同的附图中共同使用表示相同的部分的符号。

[0039] 另外,在本说明书等中,可以将“膜”和“层”相互调换。例如,有时可以将“导电层”换为“导电膜”。另外,有时可以将“绝缘膜”换为“绝缘层”。

[0040] 另外,在本说明书等中,单重激发态(S^*)是指具有激发能的单重态。另外, $S1$ 能级是单重激发能级的最低能级,其是指最低单重激发态($S1$ 状态)的激发能级。另外,三重激发态(T^*)是指具有激发能的三重态。另外, $T1$ 能级是三重激发能级的最低能级,其是指最低三重激发态($T1$ 状态)的激发能级。另外,在本说明书等中,虽然有时仅记作“单重激发态”和“单重激发能级”,但是有时其分别表示 $S1$ 状态和 $S1$ 能级。另外,即便在记作“三重激发态”和“三重激发能级”的情况下,有时其分别表示 $T1$ 状态和 $T1$ 能级。

[0041] 另外,在本说明书等中,荧光化合物是指在从单重激发态返回到基态时在可见光区域发光的化合物。磷光化合物是指在从三重激发态返回到基态时在室温在可见光区域发光的化合物。换言之,磷光化合物是指能够将三重激发能转换为可见光的化合物之一。

[0042] 注意,在本说明书等中,室温是指 0°C 以上且 40°C 以下的范围内的温度。

[0043] 另外,在本说明书等中,蓝色的波长区域是指 400nm 以上且小于 490nm 的波长区域,蓝色的发光在该波长区域至少具有一个发射光谱峰值。另外,绿色的波长区域是指 490nm 以上且小于 580nm 的波长区域,绿色的发光在该波长区域至少具有一个发射光谱峰值。另外,红色的波长区域是指 580nm 以上且 680nm 以下的波长区域,红色的发光在该波长区域至少具有一个发射光谱峰值。

[0044] (实施方式1)

在本实施方式中,参照图1A至图1C、图2A及图2B、图3以及图4A及图4B说明本发明的一个实施方式的发光元件。

[0045] <发光元件的结构实例1

首先,下面将参照图1A至图1C说明本发明的一个实施方式的发光元件的结构。

[0046] 图1A是本发明的一个实施方式的发光元件150的截面示意图。

[0047] 发光元件150包括一对电极(电极101及电极102),并包括设置在该一对电极间的EL层100。EL层100至少包括发光层130。

[0048] 另外,图1A所示的EL层100除了发光层130以外还包括空穴注入层111、空穴传输层112、电子传输层118及电子注入层119等功能层。

[0049] 注意,虽然在本实施方式中以一对电极中的电极101为阳极并以电极102为阴极进行说明,但是发光元件150的结构并不局限于此。也就是说,也可以将电极101用作阴极、将电极102用作阳极,并将电极间的各层的叠层顺序倒过来。换言之,从阳极一侧依次层叠空穴注入层111、空穴传输层112、发光层130、电子传输层118及电子注入层119即可。

[0050] 注意,EL层100的结构不局限于图1A所示的结构,只要包括选自空穴注入层111、空穴传输层112、电子传输层118及电子注入层119中的至少一个即可。或者,EL层100也可以包括具有如下功能的功能层:能够减少空穴或电子的注入势垒的功能层;能够提高空穴或电子的传输性的功能层;能够阻碍空穴或电子的传输性的功能层;或者能够抑制电极所引起的猝灭现象等的功能层。功能层可以为单层也可以为叠层。

[0051] 下面说明发光层130。

[0052] 在本发明的一个实施方式中,发光元件150是发光层130中含有荧光化合物的荧光发光元件。荧光发光元件具有高可靠性,并因为发射光谱比磷光发光元件更尖所以发射颜色纯度高的光。有机EL元件的单重激子与三重激子的生成比(以下,也称为激子生成概率)的统计概率为1:3。这意味着,通常的利用单重激子发射光的荧光发光元件中仅有25%的生成激子有助于发光。所以,为了实现荧光发光元件的高效率化,使三重激子有助于发光是重要的。

[0053] 鉴于上述内容,本发明人发现,三重激子可以高效地有助于荧光发光,即,通过在发光层中使用能够将三重激发能转换为发光的有机化合物、单重激发能与三重激发能之差为0eV以上且0.2eV以下的有机化合物以及呈现荧光发光的有机化合物,可以得到高效率的荧光元件。此外,单重激发能与三重激发能之差为0eV以上且0.2eV以下的有机化合物也可以在一个分子中包括富 π 电子骨架及缺 π 电子骨架。

[0054] 作为单重激发能与三重激发能之差为0eV以上且0.2eV以下的有机化合物,可以举出热活化延迟荧光(TADF)材料。热活化延迟荧光材料是指S1能级和T1能级的差异较小且具有通过反系间窜越将三重激发能转换为单重激发能的功能的材料。因此,能够通过微小的热能量将三重激发能上转换(up-convert)为单重激发能(反系间窜越)并能够高效地产生单重激发态。由两种物质形成激基态的激基复合物因S1能级和T1能级的差异极小而具有将三重激发能转换为单重激发能的热活化延迟荧光材料的功能。

[0055] 由于在一个分子中包括富 π 电子骨架及缺 π 电子骨架的有机化合物具有双极性并具有良好的载流子(电子及空穴)传输性,所以通过将该有机化合物用于发光元件可以提高载流子平衡,并可以降低驱动电压。另外,该有机化合物有时具有TADF性。此时,富 π 电子骨架及缺 π 电子骨架优选直接键合。通过采用该结构可以提高反系间窜越,所以可以得到发光效率良好的TADF材料。

[0056] TADF材料在一个分子中包含具有富 π 电子骨架及缺 π 电子骨架的有机化合物。因此,如上所述TADF材料的载流子传输性良好,通过将TADF材料用于发光元件可以提高载流子平衡。此外,可以降低发光元件的驱动电压。

[0057] 作为上述具有将三重激发能转换为发光的功能的有机化合物,可以举出能够发射磷光的化合物(以下称为磷光化合物)。在本说明书等中,磷光化合物是指在低温(例如77K)以上且室温以下的温度范围(即,77K以上且313K以下)的温度下发射磷光而不发射荧光的化合物。为了使磷光化合物高效地将三重激发能转换为发光,优选包含重原子。另外,在磷光化合物包含重原子的情况下,由于自旋轨道相互作用(电子的自旋角运动量与轨道角运动量之间的相互作用),单重基态与三重激发态之间的跃迁被允许。由此,可以提高磷光化合物的单重基态与三重激发态之间的跃迁概率,从而可以提高与该跃迁有关的发光效率及吸收概率。另外,从该磷光化合物的三重激发能级向荧光化合物的单重激发能级的依据福斯特(Förster)机理的能量转移被允许。为了促进能量转移,优选使磷光化合物包含自旋轨道相互作用大的金属元素,具体而言,优选包含过渡金属元素。尤其优选包含铂族元素(钌(Ru)、铑(Rh)、钯(Pd)、锇(Os)、铱(Ir)或铂(Pt)),特别优选包含铱,此时可以提高单重基态与三重激发态之间的直接跃迁的概率。另外,作为具有将三重激发能转换为发光的功能的材料,可以举出上述TADF材料。

[0058] 图1B是示出图1A所示的发光层130的一个例子的截面示意图。图1B所示的发光层

130包括化合物131、化合物132和化合物133。在本发明的一个实施方式中,化合物131具有将三重激发能转换为发光的功能。另外,化合物132优选是TADF材料。化合物133是发射荧光的客体材料。

[0059] <发光层的结构实例1>

图1C示出本发明的一个实施方式的发光元件的发光层中的能级相关的一个例子。在本结构实例中,化合物131是磷光化合物。

[0060] 另外,图1C示出发光层130中的化合物131、化合物132以及化合物133的能级相关。图1C中的标记及符号为如下。

- Comp (131): 化合物131
- Comp (132): 化合物132
- 客体 (133): 化合物133
- T_{C1} : 化合物131的T1能级
- S_{C2} : 化合物132的S1能级
- T_{C2} : 化合物132的T1能级
- S_G : 化合物133的S1能级
- T_G : 化合物133的T1能级

[0061] 在图1C中,在化合物131或化合物132接收空穴和电子时形成激发态。这里,由于化合物131为磷光化合物,因此允许单重态与三重态间的系间窜跃。所以,可以使化合物132的单重激发能和三重激发能的双方快速地转移到化合物131(图1C中的路径 A_1)。这里,优选 $S_{C2} \geq T_{C1}$ 且 $T_{C2} \geq T_{C1}$ 。另外,发光层130由化合物131、化合物132和化合物133混合而成,优选该混合物中化合物132所占的比例大于化合物131所占的比例,具体地,优选化合物131与化合物132的重量比在1:9至3:7的范围内。通过采用该组成,可以高效地使化合物131激发。另外,由于化合物131是磷光化合物,化合物131的三重激发能可以被高效地转换为化合物133的单重激发能(图1C中的路径 A_2)。这里,如图1C所示,当 $S_{C2} \geq T_{C1} \geq S_G$ 时单重激发能高效地转移至为客体材料的化合物133,所以是优选的。另外,当 $T_{C2} \geq T_{C1} \geq S_G$ 时三重激发能高效地转换为单重激发能并转移至为客体材料的化合物133,所以是优选的。

[0062] 另外,从 T_{C1} 向 T_G 转移的三重激发能失活(图1C中的路径 A_3)。因此,优选经由路径 A_3 的能量转移之量少。为了抑制经由路径 A_3 的能量转移,优选的是,相对于化合物131及化合物132的总量的化合物133的重量比较低,具体而言,相对于化合物131及化合物132的化合物133的重量比优选为0.001以上且0.05以下,更优选为0.001以上且0.01以下。

[0063] 注意,当化合物133中的载流子的直接重新结合过程占优势时,在化合物133中产生多个三重激子,而热失活导致发光效率的下降。因此,优选的是,经由路径 A_2 的能量转移过程的比例高于化合物133中的载流子直接重新结合的过程的比例,此时可以降低化合物133的三重激发态的生成概率并抑制热失活。为此,相对于化合物131及化合物132的总量的化合物133的重量比优选低,具体而言,相对于化合物131及化合物132的化合物133的重量比优选为0.001以上且0.05以下,更优选为0.001以上且0.01以下。

[0064] 在本发明的一个实施方式的发光元件中,化合物132具有呈现热活化延迟荧光的功能(TADF性)。也就是说,化合物132具有通过上转换将三重激发能转换为单重激发能的功能(图1C的路径 A_4)。化合物132的单重激发能可以迅速地移动到化合物133(图1C的路径 A_5)。

此时,优选为 $S_{C2} \geq S_G$ 。

[0065] 注意,路径 A_1 即使不产生以路径 A_4 表示的反系间窜越也会产生。换言之,以路径 A_1 表示的能量移动在以路径 A_4 表示的反系间窜越产生或不产生下也都会产生。

[0066] 如上所述,在本发明的一个实施方式的发光元件中,存在有三重激发能经过图1C中的路径 A_1 及路径 A_2 移动到为客体材料的化合物133的路径以及三重激发能经过图1C中的路径 A_4 及路径 A_5 移动到化合物133的路径。三重激发能移动到荧光化合物的路径可以提高荧光发光元件的发光效率。此外,三重激发能移动到荧光化合物的多个路径可以进一步提高发光效率。

[0067] 通过使发光层130具有上述结构,可以高效地获得来自发光层130的荧光化合物的发光。

[0068] 另外, T_G 优选为2.0eV以下。通过采用该结构可以得到可靠性高的发光元件。

[0069] 由于在上述结构中磷光化合物不需要使用发光量子产率高的材料,所以容易进行材料设计,材料选择范围宽。具体地,室温或常温下的该化合物的发光量子产率可以为0%以上且50%以下、0%以上且40%以下、0%以上且25%以下、0%以上且10%以下或者0%以上且1%以下。此外,该化合物优选具有重原子。作为该重原子可以举出Ru、Rh、Pd、Os、Ir、Pt等。

[0070] <发光层的结构实例2>

图2B示出本发明的一个实施方式的发光元件150的发光层130中的能级相关的一个例子。在本结构实例中,化合物131是磷光化合物,化合物131与化合物132形成激基复合物。

[0071] 作为化合物131与化合物132的组合,只要是能够形成激基复合物的组合即可,优选其中一个是具有空穴传输性的化合物,另一个是具有电子传输性的化合物。在该情况下,容易形成供体-受体型的激基复合物,而可以高效地形成激基复合物。另外,当化合物131与化合物132的组合是具有空穴传输性的化合物与具有电子传输性的化合物的组合时,能够通过调整其混合比而容易地控制载流子的平衡。具体而言,具有空穴传输性的化合物和具有电子传输性的化合物的重量比优选在1:9至9:1的范围内。另外,由于上述组成因此可以容易地控制载流子的平衡,由此也可以容易地对载流子重新结合区域进行控制。

[0072] 激基复合物的形成例如可以通过如下方法确认:对化合物131的发射光谱、化合物132的发射光谱、以及化合物131和化合物132的混合膜的发射光谱进行比较,观察混合膜的发射光谱比化合物131和化合物132的发射光谱向长波长一侧漂移(或者在长波长一侧具有新的峰值)的现象;或者,对化合物131的瞬态光致发光(PL)、化合物132的瞬态PL及化合物131和化合物132的混合膜的瞬态PL进行比较,观察瞬态响应不同(混合膜的瞬态PL寿命与化合物131和化合物132各自的瞬态PL寿命相比具有更多的长寿命成分或者延迟成分的比率变大等现象)。此外,可以使用过渡电致发光(EL)替换上述过渡PL。换言之,通过对化合物131的过渡EL、化合物132的过渡EL及化合物131和化合物132的混合膜的过渡EL进行比较,观察过渡响应的差异,可以确认到激基复合物的形成。

[0073] 另外,作为高效地形成激基复合物的材料的组合,优选的是,化合物131及化合物132中的一个的HOMO(Highest Occupied Molecular Orbital,也称为最高占据分子轨道)能级高于另一个的HOMO能级,并且其中一个的LUMO(Lowest Unoccupied Molecular

Orbital,也称为最低空分子轨道)能级高于另一个的LUMO能级。具体而言,化合物131的HOMO能级与化合物132的HOMO能级的能量差优选为0.1eV以上,更优选为0.2eV以上,进一步优选为0.3eV以上。另外,化合物131的LUMO能级与化合物132的LUMO能级的能量差优选为0.1eV以上,更优选为0.2eV以上,进一步优选为0.3eV以上。通过这种能级相关,从一对电极(电极101及电极102)注入的作为载流子的空穴及电子分别容易注入到化合物131及化合物132,所以是优选的。另外,化合物131的HOMO能级也可以与化合物132的HOMO能级相等,或者,化合物131的LUMO能级也可以与化合物132的LUMO能级相等。

[0074] 注意,化合物的LUMO能级及HOMO能级可以从通过循环伏安(CV)测得的化合物的电化学特性(还原电位及氧化电位)求出。

[0075] 例如,当化合物131具有空穴传输性而化合物132具有电子传输性时,如图2A所示的能带图那样,优选的是,化合物131的HOMO能级高于化合物132的HOMO能级,且化合物131的LUMO能级高于化合物132的LUMO能级。通过这种能级相关,从一对电极(电极101及电极102)注入的作为载流子的空穴及电子分别容易注入到化合物131及化合物132,所以是优选的。

[0076] 另外,在图2A中,Comp(131)表示化合物131,Comp(132)表示化合物132, ΔE_{C1} 表示化合物131的LUMO能级和HOMO能级的能量差, ΔE_{C2} 表示化合物132的LUMO能级和HOMO能级的能量差,并且 ΔE_E 表示化合物132的LUMO能级和化合物131的HOMO能级的能量差。

[0077] 另外,由化合物131和化合物132形成的激基复合物在化合物131中具有HOMO并在化合物132中具有LUMO。另外,该激基复合物的激发能大致相当于化合物132的LUMO能级和化合物131的HOMO能级的能量差(ΔE_E),并小于化合物131的LUMO能级和HOMO能级的能量差(ΔE_{C1})及化合物132的LUMO能级和HOMO能级的能量差(ΔE_{C2})。因此,通过由化合物131和化合物132形成激基复合物,可以以较低的激发能形成激发态。另外,该激基复合物因具有较低的激发能而能够形成稳定的激发态。

[0078] 图2B示出发光层130中的化合物131、化合物132以及化合物133的能级相关。如下是图2B中的标记及符号,其他标记及符号与图1C所示的标记及符号相同。

- S_{C1} :化合物131的S1能级
- S_E :激基复合物的S1能级
- T_E :激基复合物的T1能级

[0079] 在本结构实例的本发明的一个实施方式的发光元件中,发光层130所包含的化合物131及化合物132形成激基复合物。激基复合物的S1能级(S_E)与激基复合物的T1能级(T_E)彼此相邻(参照图2B中的路径A₆)。

[0080] 当经上述过程形成的激基复合物因发光或者将激发能供应到其他材料等而失去激发能变为基态时,形成激基复合物的两种物质再次作为原来的两种物质存在。

[0081] 激基复合物的激发能级(S_E 及 T_E)比形成激基复合物的各物质(化合物131及化合物132)的S1能级(S_{C1} 及 S_{C2})低,所以可以以更低的激发能形成激发态。由此,可以降低发光元件150的驱动电压。

[0082] 由于激基复合物的S1能级(S_E)与T1能级(T_E)彼此相邻,因此激基复合物具有呈现热活化延迟荧光的功能。也就是说,激基复合物具有通过上转换将三重激发能转换为单重激发能的功能。因此,在发光层130中产生的三重激发能的一部分因激基复合物而转换为单

重激发能。为了引起上转换,激基复合物的S1能级(S_E)与T1能级(T_E)的能量差优选大于0eV且为0.2eV以下,更优选大于0eV且为0.1eV以下。注意,为了高效地使反系间窜越发生,激基复合物的T1能级(T_E)优选低于形成激基复合物的各物质(化合物131及化合物132)的T1能级(T_{C1} 及 T_{C2})。由此,不容易产生由化合物131及化合物132形成的激基复合物的三重激发能的猝灭,而高效地发生激基复合物的从三重激发能到单重激发能的反系间窜越。

[0083] 另外,激基复合物的单重激发能级(S_E)优选高于作为发光材料的化合物133的单重激发能级(S_G)。通过这种能级相关,所形成的激基复合物的单重激发能够能从激基复合物的单重激发能级(S_E)转移到化合物133的单重激发能级(S_G)。

[0084] 这里,化合物131与化合物132的能级相关不局限于图2B所示的。也就是说,化合物131的单重激发能级(S_{C1})可以高于化合物132的单重激发能级(S_{C2})也可以低于化合物132的单重激发能级(S_{C2})。另外,化合物131的三重激发能级(T_{C1})可以高于化合物132的三重激发能级(T_{C2})也可以低于化合物132的三重激发能级(T_{C2})。

[0085] 另外,在本发明的一个实施方式中,因为使用磷光化合物作为形成激基复合物的一个化合物,所以允许单重态与三重态之间的系间窜越。由此,可以形成能够从三重激发态跃迁到单重基态的激基复合物。在此情况下,激基复合物的三重激发能级(T_E)优选高于作为发光材料的化合物133的单重激发能级(S_G)。通过这种能级相关,可以使所形成的激基复合物的三重激发能从激基复合物的三重激发能级(T_E)向化合物133的单重激发能级(S_G)转移。注意,激基复合物的S1能级(S_E)和T1能级(T_E)彼此相邻,由此有时在发射光谱中难以明确地区分荧光和磷光。在此情况下,有时可以根据发光寿命区分荧光和磷光。

[0086] 经上述能量转移过程,化合物133变为单重激发态,由此能够发光(参照图2B中的路径 A_7)。

[0087] 另外,从 T_E 向 T_G 转移的三重激发能失活(图2B中的路径 A_8)。因此,优选经由路径 A_8 的能量转移之量少。为了抑制经由路径 A_8 的能量转移,优选的是,相对于化合物131及化合物132的总量的化合物133的重量比较低,具体而言,相对于化合物131及化合物132的化合物133的重量比优选为0.001以上且0.05以下,更优选为0.001以上且0.01以下。

[0088] 注意,当化合物133中的载流子的直接重新结合过程占优势时,在化合物133中产生多个三重激子,而热失活导致发光效率的下降。因此,优选的是,经由激基复合物的形成过程的能量转移过程(图2B中的路径 A_7)的比例高于化合物133中的载流子直接重新结合的过程的比例,此时可以降低化合物133的三重激发态的生成概率并抑制热失活。为此,如上所述,相对于化合物131及化合物132的总量的化合物133的重量比优选低,具体而言,相对于化合物131及化合物132的化合物133的重量比优选为0.001以上且0.05以下,更优选为0.001以上且0.01以下。

[0089] 另外, T_G 优选为2.0eV以下。通过采用该结构可以得到可靠性高的发光元件。

[0090] 另外,也可以采用化合物131具有电子传输性且化合物132具有空穴传输性的结构。在此情况下,化合物132的HOMO能级优选高于化合物131的HOMO能级,而化合物132的LUMO能级优选高于化合物131的LUMO能级。

[0091] 另外,优选的是,相对于化合物132的化合物131的重量比较低,具体而言,相对于化合物132的化合物131的重量比优选为0.01以上且0.5以下,更优选为0.05以上且0.3以下。

[0092] 如上所述,当经过路径 A_6 及路径 A_7 的能量转移全部高效地发生时,在发光层130中产生的单重激发能及三重激发能的双方都高效地转换为化合物133的单重激发能,所以发光元件150能够以高发光效率发光。

[0093] 另外,在本发明的一个实施方式的发光元件中,化合物132优选具有缺 π 电子骨架。由于上述组成而化合物132的LUMO能级变低,这适合于激基复合物的形成。

[0094] 在本发明的一个实施方式的发光元件中,化合物132优选具有富 π 电子骨架。由于上述组成而化合物132的HOMO能级得到提高,这适合于激基复合物的形成。

[0095] 在本发明的一个实施方式的发光元件中,化合物132具有呈现热活化延迟荧光的功能(TADF性)。因此,在没有形成激基复合物的化合物132中,如上述发光层的结构实例所示,具有通过上转换将三重激发能转换为单重激发能的功能(图2B的路径 A_9)。化合物132的单重激发能可以迅速地移动到化合物133(图2B的路径 A_{10})。此时,优选为 $S_{c2} \geq S_g$ 。

[0096] 如上所述,在本发明的一个实施方式的发光元件中,存在有三重激发能经过图2B中的路径 A_6 及路径 A_7 移动到为客体材料的化合物133的路径以及三重激发能经过图2B中的路径 A_9 及路径 A_{10} 移动到化合物133的路径。与上述发光层的结构实例同样地,三重激发能移动到荧光化合物的路径可以提高荧光发光元件的发光效率。此外,三重激发能移动到荧光化合物的多个路径可以进一步提高发光效率。

[0097] 在本说明书等中,有时将上述路径 A_6 及路径 A_7 的过程称为ExSET(Exciplex-Singlet Energy Transfer:激基复合物-单重态能量转移)或ExEF(Exciplex-Enhanced Fluorescence:激基复合物增强荧光)。换言之,在发光层130中,产生从激基复合物到荧光化合物的激发能的供应。

[0098] 通过使发光层130具有上述结构,可以高效地获得来自荧光化合物的发光。

[0099] <发光层的结构实例3>

图3示出本发明的一个实施方式的发光元件的发光层中的能级相关的一个例子。在本结构实例中,化合物131是TADF材料。 S_{c1} 表示化合物131的S1能级,图3中的标记及符号与图1C所示的标记及符号相同。

[0100] 在图3中,在化合物131或化合物132接收空穴和电子时形成激发态。另外,化合物132的激发能可以快速地转移到化合物131(图3中的路径 A_{11})。这里,优选 $S_{c2} \geq S_{c1}$ 且 $T_{c2} \geq T_{c1}$ 。这里,化合物131是热活化延迟荧光材料,因此化合物131的三重激发能在室温左右的温度下上转换为单重激发能(图3中的路径 A_{12})。另外,由于允许化合物131的单重激发能级(S_{c1})向化合物133的单重激发能级(S_g)进行能量转移(图3中的路径 A_{13}),通过路径 A_{11} 至路径 A_{13} 可以使化合物131的三重激发能转移至化合物133的单重激发能级(S_g)。这里,如图3所示,当 $T_{c2} \geq T_{c1} \geq S_g$ 时,单重激发能及三重激发能均高效地从化合物131及化合物132转移到为客体材料的化合物133,所以是优选的。

[0101] 为了高效地进行上述上转换,TADF材料的S1能级(S_{c2})与T1能级(T_{c2})的能量差优选大于0eV且为0.2eV以下,更优选大于0eV且为0.1eV以下。

[0102] 另外,从 T_{c1} 向 T_g 转移的三重激发能失活(图3中的路径 A_{14})。因此,优选经由路径 A_{14} 的能量转移之量少。为了抑制经由路径 A_{14} 的能量转移,优选 T_{c1} 与 T_g 的能量差大。为此,优选 T_g 为2.0eV以下。通过采用该结构可以得到发光效率高且可靠性高的发光元件。

[0103] 如上述发光层的结构实例所示,由于化合物132为TADF材料,所以具有通过上转换

将三重激发能转换为单重激发能的功能(图3的路径 A_{15})。化合物132的单重激发能可以迅速地移动到化合物133(图3的路径 A_{16})。此时,优选为 $S_{c2} \geq S_g$ 。

[0104] 与上述发光层的结构实例同样地,在本发明的一个实施方式的发光元件中,存在有三重激发能经过图3中的路径 A_{11} 至路径 A_{13} 移动到为客体材料的化合物133的路径以及三重激发能经过图3中的路径 A_{15} 及路径 A_{16} 移动到化合物133的路径。三重激发能移动到荧光化合物的路径可以提高荧光发光元件的发光效率。三重激发能移动到荧光化合物的多个路径可以进一步提高发光效率。

[0105] 注意,路径 A_{11} 即使不产生以路径 A_{15} 表示的反系间窜越也会产生。换言之,以路径 A_{11} 表示的能量移动在以路径 A_{15} 表示的反系间窜越产生或不产生下也都会产生。

[0106] <发光层的结构实例4>

图4A示出发光层130使用4种材料时的情况。图4A中的发光层130包括化合物131、化合物132、化合物133及化合物134。在本发明的一个实施方式中,化合物131具有将三重激发能转换为发光的功能。另外,化合物132优选是TADF材料。化合物133是发射荧光的客体材料。另外,化合物134是与化合物132形成激基复合物的有机化合物。

[0107] 另外,图4B示出发光层130中的化合物131、化合物132、化合物133以及化合物134的能级相关。如下是图4B中的标记及符号,其他的标记及符号与图2B所示的标记及符号相同。

- S_{c3} :化合物134的S1能级

- T_{c3} :化合物134的T1能级

[0108] 在本结构实例的本发明的一个实施方式的发光元件中,发光层130所包含的化合物132及化合物134形成激基复合物。激基复合物的S1能级(S_E)与激基复合物的T1能级(T_E)彼此相邻(参照图4B中的路径 A_{17})。

[0109] 如上所述,当通过上述过程形成的激基复合物失去激发能时,形成激基复合物的两种物质再次作为原来的两种物质存在。

[0110] 激基复合物的激发能级(S_E 及 T_E)比形成激基复合物的各物质(化合物132及化合物134)的S1能级(S_{c2} 及 S_{c3})低,所以可以以更低的激发能形成激发态。由此,可以降低发光元件150的驱动电压。

[0111] 这里,由于化合物131为磷光化合物,因此允许单重态与三重态间的系间窜跃。所以,可以使激基复合物的单重激发能及三重激发能的双方快速地转移到化合物131(路径 A_{18})。这里,优选 $T_E \geq T_{c1}$ 。另外,由于可以使化合物131的三重激发能高效地转换为化合物133的单重激发能(路径 A_{19})。这里,如图4B所示,当 $T_E \geq T_{c1} \geq S_g$ 时,化合物131的激发能作为单重激发能高效地转移至为客体材料的化合物133,所以是优选的。

[0112] 此时,作为化合物132与化合物134的组合,只要是能够形成激基复合物的组合即可,优选其中一个是具有空穴传输性的化合物,另一个是具有电子传输性的化合物。在该情况下,容易形成供体-受体型的激基复合物,而可以高效地形成激基复合物。另外,当化合物132与化合物134的组合是具有空穴传输性的化合物与具有电子传输性的化合物的组合时,能够通过调整其混合比而容易地控制载流子的平衡。具体而言,具有空穴传输性的化合物:具有电子传输性的化合物的重量比优选在1:9至9:1的范围内。另外,由于上述组成因此可以容易地控制载流子的平衡,由此也可以容易地对载流子重新结合区域进行控制。

[0113] 另外,作为高效地形成激基复合物的材料的组合,优选的是,化合物132及化合物134中的一方的HOMO能级高于另一方的HOMO能级,并且一方的LUMO能级高于另一方的LUMO能级。具体而言,化合物132的HOMO能级与化合物134的HOMO能级的能量差优选为0.1eV以上,更优选为0.2eV以上,进一步优选为0.3eV以上。另外,化合物132的LUMO能级与化合物134的LUMO能级的能量差优选为0.1eV以上,更优选为0.2eV以上,进一步优选为0.3eV以上。通过这种能级相关,从一对电极(电极101及电极102)注入的作为载流子的空穴及电子分别容易注入到化合物132及化合物134,所以是优选的。另外,化合物132的HOMO能级也可以与化合物134的HOMO能级相等,或者,化合物132的LUMO能级也可以与化合物134的LUMO能级相等。

[0114] 另外,化合物132与化合物134的能级相关不局限于图4B所示的。也就是说,化合物132的单重激发能级(S_{c2})可以高于化合物134的单重激发能级(S_{c3})也可以低于化合物134的单重激发能级(S_{c3})。另外,化合物132的三重激发能级(T_{c2})可以高于化合物134的三重激发能级(T_{c3})也可以低于化合物134的三重激发能级(T_{c3})。

[0115] 另外,在本发明的一个实施方式的发光元件中,化合物132优选具有缺 π 电子骨架。由于上述组成而化合物132的LUMO能级变低,这适合于激基复合物的形成。

[0116] 在本发明的一个实施方式的发光元件中,化合物132优选具有富 π 电子骨架。由于上述组成而化合物132的HOMO能级得到提高,这适合于激基复合物的形成。

[0117] 如上述发光层的结构实例所示,由于化合物132为TADF材料,所以没有形成激基复合物的化合物132具有通过上转换将三重激发能转换为单重激发能的功能(图4B的路径 A_{21})。化合物132的单重激发能可以迅速地移动到化合物133(图4B的路径 A_{22})。此时,优选为 $S_{c2} \geq S_g$ 。

[0118] 与上述发光层的结构实例同样地,在本发明的一个实施方式的发光元件中,存在有三重激发能经过图4B中的路径 A_{17} 至路径 A_{19} 移动到客体材料的化合物133的路径以及三重激发能经过图4B中的路径 A_{21} 及路径 A_{22} 移动到化合物133的路径。三重激发能移动到荧光化合物的路径可以提高荧光发光元件的发光效率。三重激发能移动到荧光化合物的多个路径可以进一步提高发光效率。

[0119] 另外,从 T_{c1} 向 T_g 转移的三重激发能失活(图4B中的路径 A_{20})。因此,优选经由路径 A_{20} 的能量转移之量少。为了抑制经由路径 A_{20} 的能量转移,优选的是,相对于化合物131、化合物132及化合物134的总量的化合物133的重量比较低,具体地,相对于化合物131、化合物132及化合物134的总量的化合物133的重量比优选为0.001以上且0.05以下,更优选为0.001以上且0.01以下。

[0120] 另外, T_g 优选为2.0eV以下。通过采用该结构可以得到可靠性高的发光元件。

[0121] <能量转移机理>

下面,对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的机理,提出了福斯特机理(偶极-偶极相互作用)和德克斯特(Dexter)机理(电子交换相互作用)的两个机理。注意,虽然在此对有关从处于激发态的第一材料向处于基态的第二材料的激发能供给的第一材料与第二材料的分子间的能量转移过程进行说明,但是在一个材料是激基复合物时也是同样的。

[0122] 《福斯特机理》

在福斯特机理中,在能量转移中不需要分子间的直接接触,通过第一材料与第二材料间的偶极振荡的共振现象发生能量转移。通过偶极振荡的共振现象,第一材料向第二材料供应能量,激发态的第一材料成为基态,基态的第二材料成为激发态。另外,算式(1)示出福斯特机理的速率常数 $k_{h^* \rightarrow g}$ 。

[0123] [算式1]

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

[0124] 在算式(1)中, ν 表示振荡数, $f'_h(\nu)$ 表示第一材料的归一化发射光谱(当讨论从单重激发态的能量转移时为荧光光谱,当讨论从三重激发态的能量转移时为磷光光谱), $\epsilon_g(\nu)$ 表示第二材料的摩尔吸光系数, N 表示阿伏伽德罗数, n 表示介质的折射率, R 表示第一材料与第二材料的分子间距, 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(当讨论从单重激发态的能量转移时为荧光量子产率,当讨论从三重激发态的能量转移时为磷光量子产率), K^2 表示第一材料和第二材料的跃迁偶极矩的取向的系数(0至4)。另外,在无规取向中, $K^2=2/3$ 。

[0125] 《德克斯特机理》

在德克斯特机理中,第一材料和第二材料接近于产生轨道的重叠的接触有效距离,通过交换处于激发态的第一材料的电子和处于基态的第二材料的电子,发生能量转移。另外,算式(2)示出德克斯特机理的速率常数 $k_{h^* \rightarrow g}$ 。

[0126] [算式2]

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

[0127] 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, $f'_h(\nu)$ 表示第一材料的归一化发射光谱(当讨论从单重激发态的能量转移时为荧光光谱,当讨论从三重激发态的能量转移时为磷光光谱), $\epsilon'_g(\nu)$ 表示第二材料的归一化吸收光谱, L 表示有效分子半径, R 表示第一材料与第二材料的分子间距。

[0128] 这里,从第一材料到第二材料的能量转移效率(能量转移效率 ϕ_{ET})以算式(3)表示。在算式中, k_r 表示第一材料的发光过程(当讨论从单重激发态的能量转移时为荧光,当讨论从三重激发态的能量转移时为磷光)的速率常数, k_n 表示第二材料的非发光过程(热失活或系间窜跃)的速率常数, τ 表示所测量的第一材料的激发态的寿命。

[0129] [算式3]

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

[0130] 从算式(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} ,因此使其他竞争速率常数 $k_r + k_n (=1/\tau)$ 相对变小。

[0131] 《用来促进能量转移的概念》

首先,考虑基于福斯特机理的能量转移。通过将算式(1)代入到算式(3),可以消去 τ 。因此,在福斯特机理中,能量转移效率 ϕ_{ET} 不取决于第一材料的激发态的寿命 τ 。另外,当

发光量子产率 ϕ (当讨论从单重激发态的能量转移时为荧光量子产率,当讨论从三重激发态的能量转移时为磷光量子产率) 高时,可以说能量转移效率 ϕ_{ET} 较高。

[0132] 另外,第一材料的发射光谱(当讨论从单重激发态的能量转移时为荧光光谱,当讨论从三重激发态的能量转移时为磷光光谱)与第二材料的吸收光谱(相当于从单重基态到单重激发态的迁移的吸收)的重叠优选为大。再者,第二材料的摩尔吸光系数优选为高。这意味着第一材料的发射光谱与第二材料的最长波长一侧的吸收带重叠。注意,由于第二材料中的从单重基态到三重激发态的直接跃迁被禁止,因此在第二材料中,三重激发态下的摩尔吸光系数可以忽略。由此,可以忽略基于福斯特机理的从第一材料的激发态到第二材料的三重激发态的能量转移过程,只需考虑向第二材料的单重激发态的能量转移过程。

[0133] 接着,考虑基于德克斯特机理的能量转移。从算式(2)可知,为了增大速率常数 $k_{h^* \rightarrow g}$,第一材料的发射光谱(当讨论从单重激发态的能量转移时为荧光光谱,当讨论从三重激发态的能量转移时为磷光光谱)与第二材料的吸收光谱(相当于从单重基态到单重激发态的迁移的吸收)的重叠优选为大。因此,通过使第一材料的发射光谱与第二材料的最长波长一侧的吸收带重叠可以实现能量转移效率的最优化。

[0134] 另外,当将算式(2)代入到算式(3)时,可知德克斯特机理中的能量转移效率 ϕ_{ET} 取决于 τ 。因为德克斯特机理是基于电子交换的能量转移过程,所以与从第一材料的单重激发态到第二材料的单重激发态的能量转移同样地,还产生从第一材料的三重激发态到第二材料的三重激发态的能量转移。

[0135] 与从第一材料到第二材料的能量转移同样地,在从激基复合物到荧光化合物的能量转移过程中也有可能产生基于福斯特机理及德克斯特机理的双方的能量转移。

[0136] 在本发明的一个实施方式的发光元件中,第二材料是荧光化合物,所以到第二材料的三重激发态的能量转移效率优选低。也就是说,从第一材料到第二材料的基于德克斯特机理的能量转移效率优选低,而从第一材料到第二材料的基于福斯特机理的能量转移效率优选高。

[0137] 如上所述,基于福斯特机理的能量转移效率不取决于第一材料的激发态的寿命 τ 。另一方面,基于德克斯特机理的能量转移效率取决于第一材料的激发寿命 τ ,为了降低基于德克斯特机理的能量转移效率,第一材料的激发寿命 τ 优选短。

[0138] 于是,在本发明的一个实施方式中,作为第一材料使用激基复合物或TADF材料,形成该激基复合物的一个化合物具有将三重激发能转换为发光的功能。通过本发明的一个实施方式的结构,可以促进激基复合物(第一材料)的从三重激发态向单重激发态的反系间穿越,可以缩短激基复合物(第一材料)的三重激发态的激发寿命 τ 。另外,可以促进激基复合物(第一材料)的从三重激发态向单重基态的跃迁,可以缩短激基复合物(第一材料)的三重激发态的激发寿命 τ 。其结果是,可以降低从激基复合物(第一材料)的三重激发态向荧光化合物(第二材料)的三重激发态的基于德克斯特机理的能量转移效率,因此本发明的一个实施方式可以提供发光效率高的发光元件。

[0139] 另外,在激基复合物所发射的光中,优选热活化延迟荧光成分的荧光寿命短,具体而言,优选为10ns以上且50 μ s以下,更优选为10ns以上且20 μ s以下,进一步优选为10ns以上且10 μ s以下。

[0140] 另外,福斯特机理的速率常数与第一材料和第二材料间的距离的六次方成反比,

德克斯特机理的速率常数与第一材料和第二材料间的距离的指数函数成反比。因此,当两个分子间的距离大约为1nm以下时德克斯特机理占优势,当两个分子间的距离大约为1nm以上时福斯特机理占优势。因此,为了降低基于德克斯特机理的能量转移效率,优选增大第一材料与第二材料间的距离,具体而言,其距离优选为0.7nm以上,更优选为0.9nm以上,进一步优选为1nm以上。另外,为了以福斯特机理高效地进行能量转移,第一材料与第二材料间的距离优选为5nm以下。

[0141] 因此,在本发明的一个实施方式中,作为荧光化合物的化合物133优选包括至少两个碳原子数为2以上的烷基。或者,化合物133优选包括至少两个碳原子数为3以上且10以下的具有支链的烷基。或者,化合物133优选包括至少两个的碳原子数为3以上且10以下的环烷基或至少两个的碳原子数为3以上且10以下的桥环烷基。另外,化合物133优选包括碳原子数为3以上且12以下的稠合芳烃。

[0142] <材料>

接着,说明根据本发明的一个实施方式的发光元件的构成要素。

[0143] 《发光层》

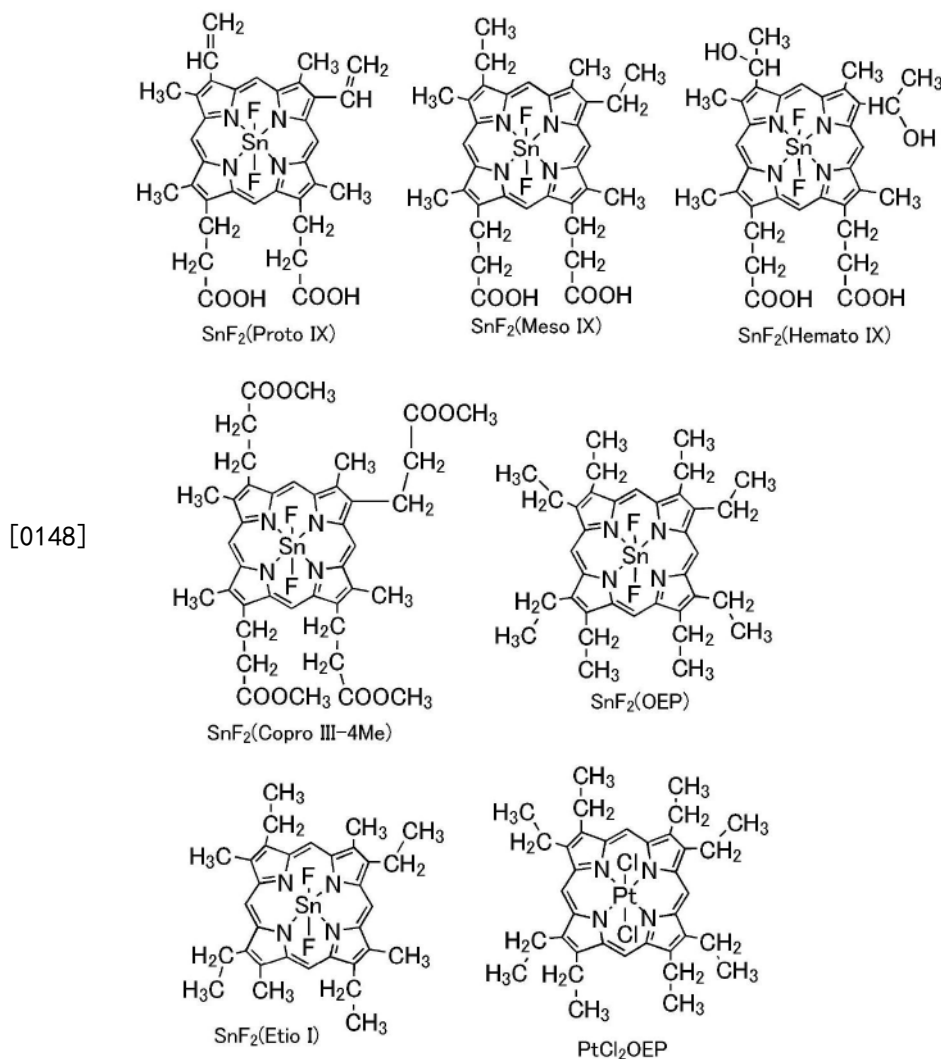
下面对能够用于发光层130的材料进行说明。

[0144] 作为化合物132例如可以举出TADF材料。优选的是,化合物132的S1能级与T1能级的能量差小,具体而言,大于0eV且0.2eV以下。

[0145] 化合物132优选包括具有空穴传输性的骨架及具有电子传输性的骨架。或者,化合物132优选具有富 π 电子骨架或芳香胺骨架且具有缺 π 电子骨架。由此容易在分子内形成供体-受体型激发态。再者,优选的是,以在化合物132的分子中同时增强供体性及受体性的方式包括具有电子传输性的骨架与具有空穴传输性的骨架直接键合的结构。或者,优选的是,具有富 π 电子骨架或芳香胺骨架与缺 π 电子骨架直接键合的结构。通过在分子中同时增强供体性及受体性,可以在化合物132中缩小HOMO的分子轨道分布的区域与LUMO的分子轨道分布的区域重叠的部分,而可以减少化合物132的单重激发能级与三重激发能级的能量差。此外,可以使化合物132的三重激发能级保持为高。

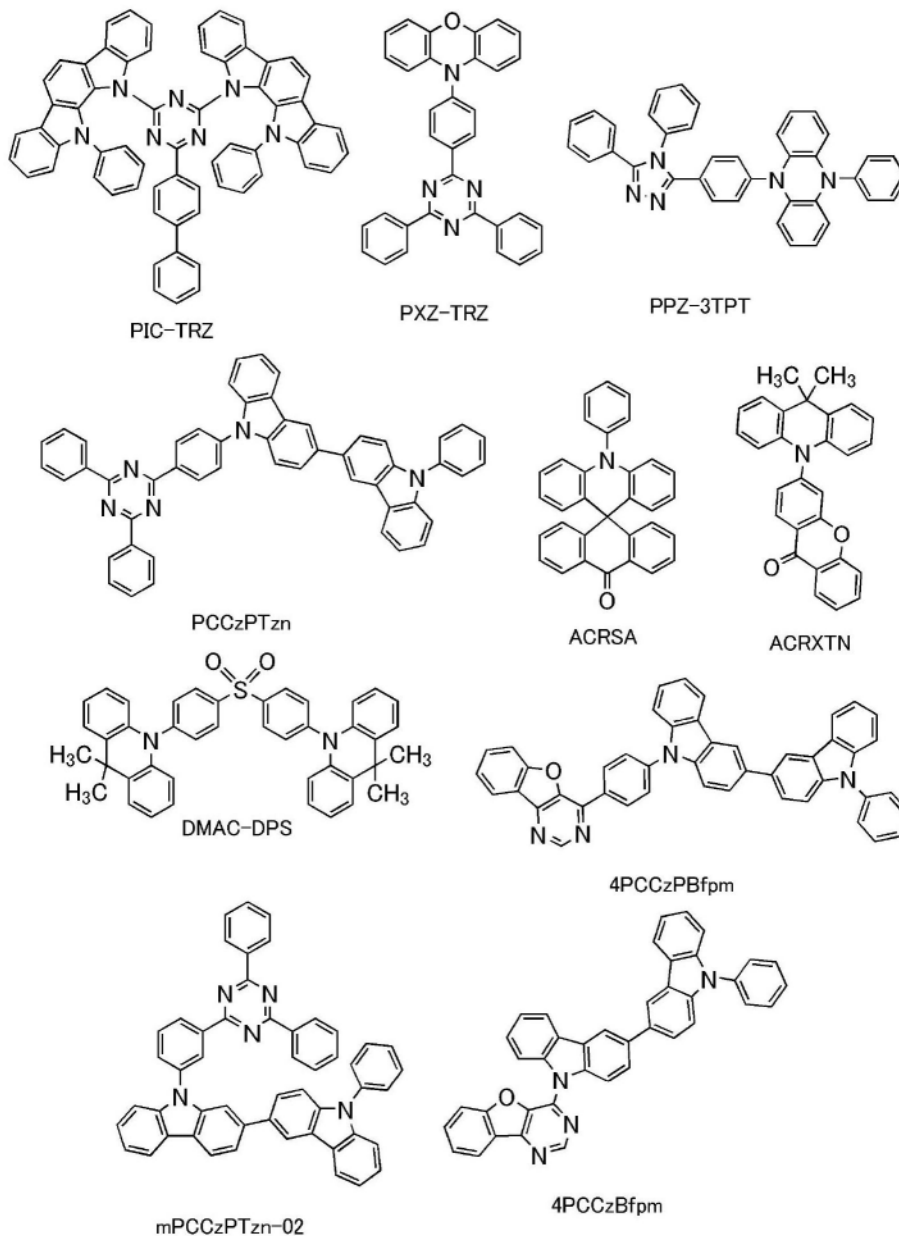
[0146] 当热活化延迟荧光材料由一种材料构成时,例如可以使用如下材料。

[0147] 首先,可以举出富勒烯或其衍生物、原黄素等吡啶衍生物、曙红(eosin)等。另外,可以举出包含镁(Mg)、锌(Zn)、镉(Cd)、锡(Sn)、铂(Pt)、铟(In)或钯(Pd)等的含金属卟啉。作为该含金属卟啉,例如也可以举出原卟啉-氟化锡配合物(SnF_2 (Proto IX))、中卟啉-氟化锡配合物(SnF_2 (Meso IX))、血卟啉-氟化锡配合物(SnF_2 (Hemato IX))、粪卟啉四甲基酯-氟化锡配合物(SnF_2 (Copro III-4Me))、八乙基卟啉-氟化锡配合物(SnF_2 (OEP))、初卟啉-氟化锡配合物(SnF_2 (Etio I))、八乙基卟啉-氯化铂配合物(PtCl_2OEP)等。



[0149] 另外,作为由一种材料构成的热活化延迟荧光材料,还可以使用具有富 π 电子骨架及缺 π 电子骨架的杂环化合物。具体而言,可以举出2-(联苯-4-基)-4,6-双(12-苯基吡啶并[2,3-a]咔唑-11-基)-1,3,5-三嗪(简称:PIC-TRZ)、2-{4-[3-(N-苯基-9H-吡啶-3-基)-9H-吡啶-9-基]苯基}-4,6-二苯基-1,3,5-三嗪(简称:PCCzPTzn)、2-[4-(10H-吩恶嗪-10-基)苯基]-4,6-二苯基-1,3,5-三嗪(简称:PXZ-TRZ)、3-[4-(5-苯基-5,10-二氢吩嗪-10-基)苯基]-4,5-二苯基-1,2,4-三唑(简称:PPZ-3TPT)、3-(9,9-二甲基-9H-吡啶-10-基)-9H-氧杂蒽-9-酮(简称:ACRXTN)、双[4-(9,9-二甲基-9,10-二氢吡啶)苯基]砜(简称:DMAC-DPS)、10-苯基-10H,10'-H-螺[吡啶-9,9'-蒽]-10'-酮(简称:ACRSA)、4-(9'-苯基-3,3'-联-9H-吡啶-9-基)苯并呋喃并[3,2-d]嘧啶(简称:4PCCzBfpm)、4-[4-(9'-苯基-3,3'-联-9H-吡啶-9-基)苯基]苯并呋喃并[3,2-d]嘧啶(简称:4PCCzPBfpm)、9-[3-(4,6-二苯基-1,3,5-三嗪-2-基)苯基]-9'-苯基-2,3'-联-9H-吡啶(简称:mPCCzPTzn-02)等。该杂环化合物具有富 π 电子骨架及缺 π 电子骨架,因此电子传输性及空穴传输性高,所以是优选的。尤其是,在具有缺 π 电子骨架中,吡啶骨架、二嗪骨架(嘧啶骨架、吡嗪骨架、哒嗪骨架)及三嗪骨架稳定且可靠性良好,所以是优选的。尤其是,苯并呋喃并嘧啶骨架、苯并噻吩并嘧啶骨架、苯并呋喃并吡嗪骨架、苯并噻吩并吡嗪骨架的受体性高且可靠性良好,所以是优选的。另外,在具有富 π 电子骨架中,吡啶骨架、吩恶嗪骨架、吩噻嗪骨架、呋喃骨架、噻吩骨架及吡咯骨架稳定且可靠

性良好,所以优选具有上述骨架中的至少一个。另外,作为呋喃骨架优选使用二苯并呋喃骨架,作为噻吩骨架优选使用二苯并噻吩骨架。作为吡咯骨架,特别优选使用吡咯骨架、呋唑骨架、联呋唑骨架、3-(9-苯基-9H-呋唑-3-基)-9H-呋唑骨架。另外,在富 π 电子骨架和缺 π 电子骨架直接键合的物质中,富 π 电子骨架的供体性和缺 π 电子骨架的受体性都强,单重激发态与三重激发态的能级之差值变小,所以是尤其优选的。另外,也可以使用键合有如氰基等吸电子基团的芳香环作为缺 π 电子骨架。



[0151] 接着,如上所述,化合物131优选具有将三重激发能转换为发光的功能。作为具有该功能的有机化合物,可以举出磷光材料或热活化延迟荧光材料。

[0152] 作为该磷光化合物,可以举出铱、铈、铂类有机金属配合物或金属配合物。另外,可以举出具有卟啉配体的铂配合物或有机铱配合物,尤其是,优选使用铱类邻位金属配合物等有机铱配合物。作为邻位金属化的配体,可以举出4H-三唑配体、1H-三唑配体、咪唑配体、吡啶配体、嘧啶配体、吡嗪配体或异喹啉配体等。此时,化合物131(磷光化合物)具有三重MLCT(从金属到配体的电荷转移: Metal to Ligand Charge Transfer)跃迁的吸收带。

[0153] 作为在蓝色或绿色的波长区域具有发光峰值的物质,例如可以举出三{2-[5-(2-甲基苯基)-4-(2,6-二甲基苯基)-4H-1,2,4-三唑-3-基- κN^2]苯基- κC }铱(III)(简称:Ir(mpptz-dmp)₃)、三(5-甲基-3,4-二苯基-4H-1,2,4-三唑)铱(III)(简称:Ir(Mptz)₃)、三[4-(3-联苯)-5-异丙基-3-苯基-4H-1,2,4-三唑]铱(III)(简称:Ir(iPrptz-3b)₃)、三[3-(5-联苯)-5-异丙基-4-苯基-4H-1,2,4-三唑]铱(III)(简称:Ir(iPr5btz)₃)等具有4H-三唑骨架的有机金属铱配合物;三[3-甲基-1-(2-甲基苯基)-5-苯基-1H-1,2,4-三唑]铱(III)(简称:Ir(Mptz1-mp)₃)、三(1-甲基-5-苯基-3-丙基-1H-1,2,4-三唑)铱(III)(简称:Ir(Prptz1-Me)₃)等具有1H-三唑骨架的有机金属铱配合物;fac-三[1-(2,6-二异丙基苯基)-2-苯基-1H-咪唑]铱(III)(简称:Ir(iPrpmi)₃)、三[3-(2,6-二甲基苯基)-7-甲基咪唑并[1,2-f]菲啉根(phenanthridinato)]铱(III)(简称:Ir(dmpimpt-Me)₃)等具有咪唑骨架的有机金属铱配合物;以及双[2-(4',6'-二氟苯基)吡啶根-N,C^{2'}]铱(III)四(1-吡唑基)硼酸盐(简称:FIr6)、双[2-(4',6'-二氟苯基)吡啶根-N,C^{2'}]铱(III)吡啶甲酸盐(简称:FIrpic)、双{2-[3',5'-双(三氟甲基)苯基]吡啶根-N,C^{2'}}铱(III)吡啶甲酸盐(简称:Ir(CF₃ppy)₂(pic))、双[2-(4',6'-二氟苯基)吡啶根-N,C^{2'}]铱(III)乙酰丙酮(简称:FIr(acac))等以具有吸电子基团的苯基吡啶衍生物为配体的有机金属铱配合物。在上述材料中,具有4H-三唑骨架、1H-三唑骨架及咪唑骨架等含氮五元杂环骨架的有机金属铱配合物的三重激发能量很高并具有高可靠性及高发光效率,所以是特别优选的。

[0154] 作为在绿色或黄色的波长区域具有发光峰值的物质,例如可以举出三(4-甲基-6-苯基嘧啶)铱(III)(简称:Ir(mppm)₃)、三(4-叔丁基-6-苯基嘧啶)铱(III)(简称:Ir(tBuppm)₃)、(乙酰丙酮根)双(6-甲基-4-苯基嘧啶)铱(III)(简称:Ir(mppm)₂(acac))、(乙酰丙酮根)双(6-叔丁基-4-苯基嘧啶)铱(III)(简称:Ir(tBuppm)₂(acac))、(乙酰丙酮根)双[4-(2-降苄基)-6-苯基嘧啶]铱(III)(简称:Ir(nbppm)₂(acac))、(乙酰丙酮根)双[5-甲基-6-(2-甲基苯基)-4-苯基嘧啶]铱(III)(简称:Ir(mpmpm)₂(acac))、(乙酰丙酮根)双{4,6-二甲基-2-[6-(2,6-二甲基苯基)-4-嘧啶基- κN^3]苯基- κC }铱(III)(简称:Ir(dmppm-dmp)₂(acac))、(乙酰丙酮根)双(4,6-二苯基嘧啶)铱(III)(简称:Ir(dppm)₂(acac))等具有嘧啶骨架的有机金属铱配合物;(乙酰丙酮根)双(3,5-二甲基-2-苯基吡嗪)铱(III)(简称:Ir(mppr-Me)₂(acac))、(乙酰丙酮根)双(5-异丙基-3-甲基-2-苯基吡嗪)铱(III)(简称:Ir(mppr-iPr)₂(acac))等具有吡嗪骨架的有机金属铱配合物;三(2-苯基吡啶-N,C^{2'})铱(III)(简称:Ir(ppy)₃)、双(2-苯基吡啶根-N,C^{2'})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))、三(苯并[h]喹啉)铱(III)(简称:Ir(bzq)₃)、三(2-苯基喹啉-N,C^{2'})铱(III)(简称:Ir(pq)₃)、双(2-苯基喹啉-N,C^{2'})铱(III)乙酰丙酮(简称:Ir(pq)₂(acac))等具有吡啶骨架的有机金属铱配合物;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))等有机金属铱配合物;三(乙酰丙酮根)(单菲咯啉)铱(III)(简称:Tb(acac)₃(Phen))等稀土金属配合物。在上述材料中,由于具有嘧啶骨架的有机金属铱配合物具有非常高的可靠性及发光效率,所以是尤其优选的。

[0155] 另外,作为在黄色或红色的波长区域具有发光峰值的物质,例如可以举出(二异丁酰甲烷根)双[4,6-双(3-甲基苯基)嘧啶根]铱(III)(简称:Ir(5mdppm)₂(dibm))、双[4,6-

双(3-甲基苯基)嘧啶根](二新戊酰基甲烷根)铱(III)(简称:Ir(5mdppm)₂(dpm))、双[4,6-二(萘-1-基)嘧啶根](二新戊酰基甲烷根)铱(III)(简称:Ir(dlnpm)₂(dpm))等具有嘧啶骨架的有机金属铱配合物;(乙酰丙酮根)双(2,3,5-三苯基吡嗪根)铱(III)(简称:Ir(tppr)₂(acac))、双(2,3,5-三苯基吡嗪根)(二新戊酰基甲烷根)铱(III)(简称:Ir(tppr)₂(dpm))、(乙酰丙酮根)双[2,3-双(4-氟苯基)喹喔啉]合铱(III)(简称:Ir(Fdpq)₂(acac))等具有吡嗪骨架的有机金属铱配合物;三(1-苯基异喹啉-N,C^{2'})铱(III)(简称:Ir(piq)₃)、双(1-苯基异喹啉-N,C^{2'})铱(III)乙酰丙酮(简称:Ir(piq)₂(acac))等具有吡啶骨架的有机金属铱配合物;2,3,7,8,12,13,17,18-八乙基-21H,23H-卟啉铂(II)(简称:PtOEP)等铂配合物;以及三(1,3-二苯基-1,3-丙二酮(propanedionato))(单菲罗啉)铕(III)(简称:Eu(DBM)₃(Phen))、三[1-(2-噻吩甲酰基)-3,3,3-三氟丙酮](单菲罗啉)铕(III)(简称:Eu(TTA)₃(Phen))等稀土金属配合物。在上述物质中,由于具有嘧啶骨架的有机金属铱配合物也具有非常高的可靠性及发光效率,所以是尤其优选的。另外,具有吡嗪骨架的有机金属铱配合物可以获得色度良好的红色发光。

[0156] 另外,作为可以用于化合物131的材料,可以举出上面所述的热活化延迟荧光材料。

[0157] 另外,作为发光层130中的化合物133,优选使用荧光化合物。对荧光化合物没有特别的限制,但是优选使用蒽衍生物、并四苯衍生物、**蒽**(chrysene)衍生物、菲衍生物、芘衍生物、二萘嵌苯衍生物、二苯乙烯衍生物、吡啶酮衍生物、香豆素(coumarin)衍生物、吩恶嗪衍生物、吩噻嗪衍生物等。

[0158] 具体而言,作为该材料,可以举出5,6-双[4-(10-苯基-9-蒽基)苯基]-2,2'-联吡啶(简称:PAP2BPy)、5,6-双[4'-(10-苯基-9-蒽基)联苯-4-基]-2,2'-联吡啶(简称:PAPP2BPy)、N,N'-二苯基-N,N'-双[4-(9-苯基-9H-芴-9-基)苯基]芘-1,6-二胺(简称:1,6FLPAPrn)、N,N'-双(3-甲基苯基)-N,N'-双[3-(9-苯基-9H-芴-9-基)苯基]芘-1,6-二胺(简称:1,6mMemFLPAPrn)、N,N'-双[4-(9-苯基-9H-芴-9-基)苯基]-N,N'-双(4-叔丁基)芘-1,6-二胺(简称:1,6tBu-FLPAPrn)、N,N'-二苯基-N,N'-双[4-(9-苯基-9H-芴-9-基)苯基]-3,8-二环己基芘-1,6-二胺(简称:ch-1,6FLPAPrn)、N,N'-双[4-(9H-咔唑-9-基)苯基]-N,N'-二苯基二苯乙烯-4,4'-二胺(简称:YGA2S)、4-(9H-咔唑-9-基)-4'-(10-苯基-9-蒽基)三苯胺(简称:YGAPA)、4-(9H-咔唑-9-基)-4'-(9,10-二苯基-2-蒽基)三苯胺(简称:2YGAPPA)、N,9-二苯基-N-[4-(10-苯基-9-蒽基)苯基]-9H-咔唑-3-胺(简称:PCAPA)、芘-2,5,8,11-四(叔丁基)芘(简称:TBP)、4-(10-苯基-9-蒽基)-4'-(9-苯基-9H-咔唑-3-基)三苯胺(简称:PCBAPA)、N,N''-(2-叔丁基蒽-9,10-二基二-4,1-亚苯基)双[N,N',N'-三苯基-1,4-苯二胺](简称:DPABPA)、N,9-二苯基-N-[4-(9,10-二苯基-2-蒽基)苯基]-9H-咔唑-3-胺(简称:2PCAPPA)、N-[4-(9,10-二苯基-2-蒽基)苯基]-N,N',N'-三苯基-1,4-苯二胺(简称:2DPAPPA)、N,N,N',N',N'',N'',N''',N'''-八苯基二苯并[g,p]**蒽**(chrysene)-2,7,10,15-四胺(简称:DBC1)、香豆素30、N-(9,10-二苯基-2-蒽基)-N,9-二苯基-9H-咔唑-3-胺(简称:2PCAPA)、N-[9,10-双(1,1'-联苯-2-基)-2-蒽基]-N,9-二苯基-9H-咔唑-3-胺(简称:2PCABPhA)、N-(9,10-二苯基-2-蒽基)-N,N',N'-三苯基-1,4-苯二胺(简称:2DPAPA)、N-[9,10-双(1,1'-联苯-2-基)-2-蒽基]-N,N',N'-三苯基-1,4-苯二胺(简称:2DPABPhA)、9,10-

双(1,1'-联苯-2-基)-N-[4-(9H-咔唑-9-基)苯基]-N-苯基苝-2-胺(简称:2YGABPhA)、N,N,9-三苯基苝-9-胺(简称:DPhAPhA)、香豆素6、香豆素545T、N,N'-二苯基喹吖酮(简称:DPQd)、红荧烯、2,8-二叔丁基-5,11-双(4-叔丁基)-6,12-二苯基并四苯(简称:TBRb)、尼罗红、5,12-双(1,1'-联苯-4-基)-6,11-二苯基并四苯(简称:BPT)、2-{2-[4-(二甲氨基)苯基]乙烯基}-6-甲基-4H-吡喃-4-亚基}丙二腈(简称:DCM1)、2-{2-甲基-6-[2-(2,3,6,7-四氢-1H,5H-苯并[ij]喹啉-9-基)乙烯基]-4H-吡喃-4-亚基}丙二腈(简称:DCM2)、N,N,N',N'-四(4-甲基苯基)并四苯-5,11-二胺(简称:p-mPhTD)、7,14-二苯基-N,N,N',N'-四(4-甲基苯基)苝并[1,2-a]荧蒽-3,10-二胺(简称:p-mPhAFD)、2-{2-异丙基-6-[2-(1,1,7,7-四甲基-2,3,6,7-四氢-1H,5H-苯并[ij]喹啉-9-基)乙烯基]-4H-吡喃-4-亚基}丙二腈(简称:DCJTI)、2-{2-叔丁基-6-[2-(1,1,7,7-四甲基-2,3,6,7-四氢-1H,5H-苯并[ij]喹啉-9-基)乙烯基]-4H-吡喃-4-亚基}丙二腈(简称:DCJTB)、2-(2,6-双{2-[4-(二甲氨基)苯基]乙烯基}-4H-吡喃-4-亚基)丙二腈(简称:BisDCM)、2-{2,6-双[2-(8-甲氧基-1,1,7,7-四甲基-2,3,6,7-四氢-1H,5H-苯并[ij]喹啉-9-基)乙烯基]-4H-吡喃-4-亚基}丙二腈(简称:BisDCJTM)、5,10,15,20-四苯基双苯并(tetraphenylbisbenzo)[5,6]茚并[1,2,3-cd:1',2',3'-lm]茈萘等。

[0159] 另外,当化合物131与化合物132形成激基复合物时,优选以所形成的激基复合物的发光峰值与作为发光材料的化合物133的最长波长一侧(低能量一侧)的吸收带重叠的方式选择化合物131、化合物132以及化合物133。

[0160] 发光层130也可以由两层以上的层形成。例如,在从空穴传输层一侧依次层叠第一发光层和第二发光层来形成发光层130的情况下,可以将具有空穴传输性的物质用作主体材料而形成第一发光层,并且可以将具有电子传输性的物质用作主体材料而形成第二发光层。

[0161] 另外,如图4A和图4B所示,在发光层130中,也可以包含化合物131、化合物132以及化合物133以外的材料(化合物134)。在此情况下,优选以化合物132和化合物134形成激基复合物。为此,优选化合物132和化合物134中的一个的HOMO能级在发光层130的材料中最高而化合物132和化合物134中的另一个的LUMO能级在发光层130的材料中最低。也就是说,化合物132和化合物134中的一个的HOMO能级优选高于化合物132和化合物134中的另一个的HOMO能级及化合物131的HOMO能级,而化合物132和化合物134中的另一个的LUMO能级优选低于化合物132和化合物134中的一个的LUMO能级及化合物131的LUMO能级。通过采用该结构,可以抑制由化合物132和化合物131形成激基复合物的反应。

[0162] 作为化合物134,例如可以使用如下空穴传输性材料及电子传输性材料。

[0163] 作为空穴传输性材料,可以使用空穴传输性比电子传输性高的材料,优选使用具有 $1 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 以上的空穴迁移率的材料。具体而言,可以使用芳香胺、咔唑衍生物等。上述空穴传输性材料也可以是高分子化合物。

[0164] 作为空穴传输性高的材料,例如,作为芳香胺化合物,可以举出N,N'-二(对甲苯基)-N,N'-二苯基-对苯二胺(简称:DTDPPA)、4,4'-双[N-(4-二苯氨基苯基)-N-苯氨基]联苯(简称:DPAB)、N,N'-双{4-[双(3-甲基苯基)氨基]苯基}-N,N'-二苯基-(1,1'-联苯)-4,4'-二胺(简称:DNTPD)、1,3,5-三[N-(4-二苯氨基苯基)-N-苯氨基]苯(简称:DPA3B)等。

[0165] 另外,作为咔唑衍生物,具体而言,可以举出3-[N-(4-二苯氨基苯基)-N-苯氨基]-

9-苯基咔唑(简称:PCzDPA1)、3,6-双[N-(4-二苯氨基苯基)-N-苯氨基]-9-苯基咔唑(简称:PCzDPA2)、3,6-双[N-(4-二苯氨基苯基)-N-(1-萘基)氨基]-9-苯基咔唑(简称:PCzTPN2)、3-[N-(9-苯基咔唑-3-基)-N-苯氨基]-9-苯基咔唑(简称:PCzPCA1)、3,6-双[N-(9-苯基咔唑-3-基)-N-苯氨基]-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。

[0166] 另外,作为咔唑衍生物,还可以举出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)、1,4-双[4-(N-咔唑基)苯基]-2,3,5,6-四苯基苯等。

[0167] 另外,作为空穴传输性高的材料,例如,可以使用4,4'-双[N-(1-萘基)-N-苯氨基]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(咔唑-9-基)三苯胺(简称:TCTA)、4,4',4''-三[N-(1-萘基)-N-苯氨基]三苯胺(简称:1'-TNATA)、4,4',4''-三(N,N-二苯氨基)三苯胺(简称:TDATA)、4,4',4''-三[N-(3-甲基苯基)-N-苯氨基]三苯胺(简称:m-MTDATA)、4,4'-双[N-(螺-9,9'-二苊-2-基)-N-苯氨基]联苯(简称:BSPB)、4-苯基-4'-(9-苯基苊-9-基)三苯胺(简称:BPAFLP)、4-苯基-3'-(9-苯基苊-9-基)三苯胺(简称:mBPAFLP)、N-(9,9-二甲基-9H-苊-2-基)-N-{9,9-二甲基-2-[N'-苯基-N'-(9,9-二甲基-9H-苊-2-基)氨基]-9H-苊-7-基}苯基胺(简称:DFLADFL)、N-(9,9-二甲基-2-二苯氨基-9H-苊-7-基)二苯基胺(简称:DPNF)、2-[N-(4-二苯氨基苯基)-N-苯氨基]螺-9,9'-二苊(简称:DPASF)、4-苯基-4'-(9-苯基-9H-咔唑-3-基)三苯胺(简称:PCBA1BP)、4,4'-二苯基-4''-(9-苯基-9H-咔唑-3-基)三苯胺(简称:PCBBi1BP)、4-(1-萘基)-4'-(9-苯基-9H-咔唑-3-基)三苯胺(简称:PCBANB)、4,4'-二(1-萘基)-4''-(9-苯基-9H-咔唑-3-基)三苯胺(简称:PCBNBB)、4-苯基二苯基-(9-苯基-9H-咔唑-3-基)胺(简称:PCA1BP)、N,N'-双(9-苯基咔唑-3-基)-N,N'-二苯基苯-1,3-二胺(简称:PCA2B)、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)、N-(4-联苯)-N-(9,9-二甲基-9H-苊-2-基)-9-苯基-9H-咔唑-3-胺(简称:PCBiF)、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-苊-2-胺(简称:PCBBiF)、9,9-二甲基-N-苯基-N-[4-(9-苯基-9H-咔唑-3-基)苯基]苊-2-胺(简称:PCBAF)、N-苯基-N-[4-(9-苯基-9H-咔唑-3-基)苯基]螺-9,9'-二苊-2-胺(简称:PCBASF)、2-[N-(9-苯基咔唑-3-基)-N-苯氨基]螺-9,9'-二苊(简称:PCASF)、2,7-双[N-(4-二苯氨基苯基)-N-苯氨基]螺-9,9'-二苊(简称:DPA2SF)、N-[4-(9H-咔唑-9-基)苯基]-N-(4-苯基)苯基苯胺(简称:YGA1BP)、N,N'-双[4-(咔唑-9-基)苯基]-N,N'-二苯基-9,9-二甲基苊-2,7-二胺(简称:YGA2F)等芳香族胺化合物等。另外,可以使用3-[4-(1-萘基)-苯基]-9-苯基-9H-咔唑(简称:PCPN)、3-[4-(9-菲基)-苯基]-9-苯基-9H-咔唑(简称:PCPPn)、3,3'-双(9-苯基-9H-咔唑)(简称:PCCP)、1,3-双(N-咔唑基)苯(简称:mCP)、3,6-双(3,5-二苯基苯基)-9-苯基咔唑(简称:CzTP)、4-{3-[3-(9-苯基-9H-苊-9-基)苯基]苯基}二苯并呋喃(简称:mmDBFFLBi-II)、4,4',4''-(苯-1,3,5-三基)三(二苯并呋喃)(简称:DBF3P-II)、1,3,5-三(二苯并噻吩-4-基)苯(简称:DBT3P-II)、2,8-二苯基-4-[4-(9-苯基-9H-苊-9-基)苯基]二苯并噻吩(简称:DBTFLP-III)、4-[4-(9-苯基-9H-苊-9-基)苯基]-6-苯基二苯并噻吩(简称:DBTFLP-IV)、4-[3-(三亚苯-2-基)苯基]二苯并噻吩(简称:mDBTPTp-II)等胺化合物、咔唑化合物、噻吩化合物、呋喃化合物、苊化合物、三亚苯化合物、菲化合物等。在此所述的物质主要是空穴迁移率为 $1 \times$

$10^{-6}\text{cm}^2/\text{Vs}$ 以上的物质。但是,只要是空穴传输性高于电子传输性的物质,就可以使用上述物质以外的物质。

[0168] 作为电子传输性材料,可以使用电子传输性比空穴传输性高的材料,优选使用具有 $1\times 10^{-6}\text{cm}^2/\text{Vs}$ 以上的电子迁移率的材料。作为容易接收电子的化合物(具有电子传输性的材料),可以使用含氮杂芳族化合物等的缺 π 电子型杂芳族化合物或金属配合物等。作为具体例子,可以举出包括喹啉配体、苯并喹啉配体、噻唑配体或噻唑配体的金属配合物。另外,可以举出噁二唑衍生物、三唑衍生物、菲罗啉衍生物、吡啶衍生物、联吡啶衍生物、嘧啶衍生物、苯并呋喃并嘧啶衍生物或苯并噻吩并嘧啶衍生物等。另外,只要是电子传输性高于空穴传输性的物质,就可以使用上述物质以外的物质作为电子传输层。

[0169] 作为电子传输材料的具体例子,有三(8-羟基喹啉)铝(III)(简称:Alq)、三(4-甲基-8-羟基喹啉)铝(III)(简称:Almq₃)、双(10-羟基苯并[h]喹啉)铍(II)(简称:BeBq₂)、双(2-甲基-8-羟基喹啉)(4-苯基苯酚)铝(III)(简称:BA1q)、双(8-羟基喹啉)锌(II)(简称:Znq)等。另外,除此之外,还可以使用如双[2-(2-苯并噻唑基)苯酚]锌(II)(简称:ZnPB0)、双[2-(2-苯并噻唑基)苯酚]锌(II)(简称:ZnBTZ)等具有噻唑基类、噻唑类配体的金属配合物等。再者,除了金属配合物以外,还可以使用2-(4-联苯基)-5-(4-叔丁苯基)-1,3,4-噁二唑(简称:PBD)、1,3-双[5-(对叔丁苯基)-1,3,4-噁二唑-2-基]苯(简称:OXD-7)、9-[4-(5-苯基-1,3,4-噁二唑-2-基)苯基]-9H-咔唑(简称:CO11)、3-(4-联苯基)-4-苯基-5-(4-叔丁苯基)-1,2,4-三唑(简称:TAZ)、2,2',2''-(1,3,5-苯三基)三(1-苯基-1H-苯并咪唑)(简称:TPBI)、2-[3-(二苯并噻吩-4-基)苯基]-1-苯基-1H-苯并咪唑(简称:mDBTBIIm-II)、红菲绕啉(简称:BPhen)、浴铜灵(简称:BCP)、2,9-双(萘-2-基)-4,7-二苯基-1,10-菲罗啉(简称:NBPhen)等杂环化合物;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:2mDBTBPDq-II)、2-[3'-(9H-咔唑-9-基)联苯-3-基]二苯并[f,h]喹喔啉(简称:2mCzBPDBq)、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)、6-[3-(二苯并噻吩-4-基)苯基]二苯并[f,h]喹喔啉(简称:6mDBTPDBq-II)、4,6-双[3-(菲-9-基)苯基]嘧啶(简称:4,6mPnP2Pm)、4,6-双[3-(4-二苯并噻吩基)苯基]嘧啶(简称:4,6mDBTP2Pm-II)、4,6-双[3-(9H-咔唑-9-基)苯基]嘧啶(简称:4,6mCzP2Pm)等具有二嗪骨架的杂环化合物;PCCzPTzn等具有三嗪骨架的杂环化合物;3,5-双[3-(9H-咔唑-9-基)苯基]吡啶(简称:35DCzPPy)、1,3,5-三[3-(3-吡啶基)苯基]苯(简称:TmPyPB)等具有吡啶骨架的杂环化合物;4,4'-双(5-甲基苯并噻唑基-2-基)二苯乙烯(简称:BzOs)等杂芳香化合物。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 $1\times 10^{-6}\text{cm}^2/\text{Vs}$ 以上的物质。注意,只要是电子传输性高于空穴传输性的物质,就可以使用上述物质以外的物质。

[0170] 另外,当化合物134与化合物132形成激基复合物时,优选以所形成的激基复合物的发光峰值与化合物131的最长波长一侧(低能量一侧)的吸收带重叠的方式选择化合物131、化合物132以及化合物134。

[0171] 《一对电极》

电极101及电极102具有对发光层130注入空穴及电子的功能。电极101及电极102可以使用金属、合金、导电性化合物以及它们的混合物或叠层体等形成。金属的典型例子是铝(Al),除此之外,可以使用银(Ag)、钨、铬、钼、铜、钛等过渡金属;锂(Li)或铯等碱金属;钙或镁(Mg)等第2族金属。作为过渡金属,也可以使用镱(Yb)等稀土金属。作为合金,可以使用包括上述金属中的任意金属的合金,例如可以举出MgAg、AlLi等。作为导电性化合物,例如,可以举出铟锡氧化物(Indium Tin Oxide,以下称为ITO)、包含硅或氧化硅的铟锡氧化物(简称:ITSO)、铟锌氧化物、包含钨及锌的铟氧化物等金属氧化物。作为导电性化合物也可以使用石墨烯等无机碳类材料。如上所述,可以通过层叠多个这些材料形成电极101和/或电极102。

[0172] 另外,来自发光层130的发光透过电极101和/或电极102被提取。因此,电极101和电极102中的至少一个使可见光透过。作为透光的导电性材料,可以举出可见光的透过率为40%以上且100%以下,优选为60%以上且100%以下,且电阻率为 $1 \times 10^{-2} \Omega \cdot \text{cm}$ 以下的导电性材料。另外,提取光一侧的电极也可以是由具有透光的功能及反射光的功能的导电性材料形成的。作为该导电性材料,可以举出可见光的反射率为20%以上且80%以下,优选为40%以上且70%以下,且电阻率为 $1 \times 10^{-2} \Omega \cdot \text{cm}$ 以下的导电性材料。当将金属或合金等透光性低的材料用于提取光的电极时,只要以能够使可见光透过的程度的厚度(例如,1nm至10nm的厚度)形成电极101和电极102中的一个或两个即可。

[0173] 注意,在本说明书等中,作为具有透光的功能的电极,使用使可见光透光并具有导电性的材料即可,例如有上述以ITO(Indium Tin Oxide)为代表的氧化物导电体层、氧化物半导体层或包含有机物的有机导电体层。作为包含有机物的有机导电体层,例如可以举出包含混合有机化合物与电子给体(供体)而成的复合材料的层、包含混合有机化合物与电子受体(受体)而成的复合材料的层等。另外,透明导电层的电阻率优选为 $1 \times 10^5 \Omega \cdot \text{cm}$ 以下,更优选为 $1 \times 10^4 \Omega \cdot \text{cm}$ 以下。

[0174] 另外,作为电极101及电极102的形成方法,可以适当地使用溅射法、蒸镀法、印刷法、涂敷法、MBE(Molecular Beam Epitaxy:分子束外延)法、CVD法、脉冲激光沉积法、ALD(Atomic Layer Deposition:原子层沉积)法等。

[0175] 《空穴注入层》

空穴注入层111具有降低来自一对电极中的一个(电极101或电极102)的空穴的注入势垒促进空穴注入的功能,并例如使用过渡金属氧化物、酞菁衍生物或芳香胺等形成。作为过渡金属氧化物可以举出钼氧化物、钒氧化物、钽氧化物、钨氧化物、锰氧化物等。作为酞菁衍生物,可以举出酞菁或金属酞菁等。作为芳香胺,可以举出联苯胺衍生物或亚苯基二胺衍生物等。也可以使用聚噻吩或聚苯胺等高分子化合物,典型的是:作为被自掺杂的聚噻吩的聚(乙基二氧噻吩)/聚(苯乙烯磺酸)等。

[0176] 作为空穴注入层111,可以使用具有由空穴传输性材料和具有接收来自空穴传输性材料的电子的特性的材料构成的复合材料的层。或者,也可以使用包含具有接收电子的特性的材料的层与包含空穴传输性材料的层的叠层。在定态或者在存在有电场的状态下,电荷的授受可以在这些材料之间进行。作为具有接收电子的特性的材料,可以举出醌二甲烷衍生物、四氯苯醌衍生物、六氮杂三亚苯衍生物等有机受体。具体而言,可以举出7,7,8,8-四氰基-2,3,5,6-四氟醌二甲烷(简称: $\text{F}_4\text{-TCNQ}$)、氯醌、2,3,6,7,10,11-六氰-1,4,5,8,

9,12-六氮杂三亚苯(简称:HAT-CN)、1,3,4,5,7,8-六氟四氰(hexafluorotetracyano)-萘醌二甲烷(naphthoquinodimethane)(简称:F6-TCNNQ)等具有吸电子基团(尤其是如氟基等卤基、氰基)的化合物。尤其是,吸电子基团键合于具有多个杂原子的稠合芳香环的化合物诸如HAT-CN等热稳定,所以是优选的。另外,包括吸电子基团(尤其是如氟基等卤基、氰基)的[3]轴烯衍生物的电子接收性非常高所以特别优选的,具体而言,可以举出: $\alpha, \alpha', \alpha''$ -1,2,3-环烷三亚基(ylidene)三[4-氰-2,3,5,6-四氟苯乙腈]、 $\alpha, \alpha', \alpha''$ -1,2,3-环丙三亚基(ylidene)三[2,6-二氯-3,5-二氟-4-(三氟甲基)苯乙腈]、 $\alpha, \alpha', \alpha''$ -1,2,3-环烷三亚基三[2,3,4,5,6-五氟苯乙腈]。也可以使用过渡金属氧化物、例如第4族至第8族金属的氧化物。具体而言,可以使用氧化钒、氧化铌、氧化钽、氧化铬、氧化钼、氧化钨、氧化锰、氧化铈等。特别优选使用氧化钼,因为其在大气中也稳定,吸湿性低,并且容易处理。

[0177] 作为空穴传输性材料,可以使用空穴传输性比电子传输性高的材料,优选使用具有 $1 \times 10^{-6} \text{cm}^2/\text{Vs}$ 以上的空穴迁移率的材料。具体而言,可以使用作为能够用于发光层130的空穴传输性材料而举出的芳香胺及吡啉衍生物。另外,还可以使用芳烃及二苯乙烯衍生物等。上述空穴传输性材料也可以是高分子化合物。

[0178] 作为芳烃,例如可以举出2-叔丁基-9,10-二(2-萘基)蒽(简称:t-BuDNA)、2-叔丁基-9,10-二(1-萘基)蒽、9,10-双(3,5-二苯基苯基)蒽(简称:DPPA)、2-叔丁基-9,10-双(4-苯基苯基)蒽(简称:t-BuDBA)、9,10-二(2-萘基)蒽(简称:DNA)、9,10-二苯基蒽(简称:DPAnth)、2-叔丁基蒽(简称:t-BuAnth)、9,10-双(4-甲基-1-萘基)蒽(简称:DMNA)、2-叔丁基-9,10-双[2-(1-萘基)苯基]蒽、9,10-双[2-(1-萘基)苯基]蒽、2,3,6,7-四甲基-9,10-二(1-萘基)蒽、2,3,6,7-四甲基-9,10-二(2-萘基)蒽、9,9'-联蒽、10,10'-二苯基-9,9'-联蒽、10,10'-双(2-苯基苯基)-9,9'-联蒽、10,10'-双[(2,3,4,5,6-五苯基)苯基]-9,9'-联蒽、蒽、并四苯、红荧烯、芘、2,5,8,11-四(叔丁基)芘等。另外,除此之外,还可以使用并五苯、晕苯等。如此,更优选使用具有 $1 \times 10^{-6} \text{cm}^2/\text{Vs}$ 以上的空穴迁移率且碳原子数为14以上且42以下的芳烃。

[0179] 注意,芳烃也可以具有乙烯基骨架。作为具有乙烯基的芳烃,例如,可以举出4,4'-双(2,2-二苯基乙烯基)联苯(简称:DPVBi)、9,10-双[4-(2,2-二苯基乙烯基)苯基]蒽(简称:DPVPA)等。

[0180] 另外,也可以使用聚(N-乙烯基吡啶)(简称:PVK)、聚(4-乙烯基三苯胺)(简称:PVTTPA)、聚[N-(4-{N'-[4-(4-二苯基氨基)苯基]苯基-N'-苯基氨基}苯基)甲基丙烯酸酰胺](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。

[0181] 《空穴传输层》

空穴传输层112是包含空穴传输性材料的层,可以使用作为空穴注入层111的材料所例示的材料。为了使空穴传输层112具有将注入到空穴注入层111的空穴传输到发光层130的功能,空穴传输层112的HOMO能级优选与空穴注入层111的HOMO能级相同或接近。

[0182] 作为上述空穴传输性材料,可以使用作为空穴注入层111、化合物134的材料例示出的材料。另外,优选使用具有 $1 \times 10^{-6} \text{cm}^2/\text{Vs}$ 以上的空穴迁移率的物质。但是,只要是空穴传输性高于电子传输性的物质,就可以使用上述物质以外的物质。另外,包括具有高空穴传输性的物质的层不限于单层,还可以层叠两层以上的包含上述物质的层。

[0183] 《电子传输层》

电子传输层118具有将从一对电极中的另一个(电极101或电极102)经过电子注入层119注入的电子传输到发光层130的功能。作为电子传输性材料,可以使用电子传输性比空穴传输性高的材料,优选使用具有 $1 \times 10^{-6} \text{cm}^2/\text{Vs}$ 以上的电子迁移率的材料。但是,只要是电子传输性高于空穴传输性的物质,就可以采用上述以外的物质。

[0184] 作为上述电子传输性材料,可以使用作为化合物134的材料例示出的材料。另外,优选使用具有 $1 \times 10^{-6} \text{cm}^2/\text{Vs}$ 以上的电子迁移率的物质。另外,电子传输层118不限于单层,还可以层叠两层以上的包含上述物质的层。

[0185] 另外,还可以在电子传输层118与发光层130之间设置控制电子载流子的移动的层。该控制电子载流子的移动的层是对上述电子传输性高的材料添加少量的电子俘获性高的物质而成的层,通过抑制电子载流子的移动,可以调节载流子的平衡。这种结构对抑制因电子穿过发光层而引起的问题(例如元件寿命的下降)发挥很大的效果。

[0186] 《电子注入层》

电子注入层119具有降低来自电极102的电子的注入势垒促进电子注入的功能,例如可以使用第1族金属、第2族金属或它们的氧化物、卤化物、碳酸盐等。也可以使用上述电子传输性材料和具有对电子传输性材料供应电子的特性的材料的复合材料。作为具有供电子特性的材料,可以举出第1族金属、第2族金属或它们的氧化物等。具体而言,可以使用氟化锂(LiF)、氟化钠(NaF)、氟化铯(CsF)、氟化钙(CaF_2)及锂氧化物(LiO_x)等碱金属、碱土金属或这些金属的化合物。另外,可以使用氟化铒(ErF_3)等稀土金属化合物。另外,也可以将电子盐用于电子注入层119。作为该电子盐,例如可以举出对钙和铝的混合氧化物以高浓度添加电子的物质等。另外,也可以将能够用于电子传输层118的物质用于电子注入层119。

[0187] 另外,也可以将有机化合物与电子给体(供体)混合形成的复合材料用于电子注入层119。这种复合材料因为通过电子给体在有机化合物中产生电子而具有优异的电子注入性和电子传输性。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118的物质(金属配合物、杂芳香化合物等)。作为电子给体,只要是对有机化合物呈现电子供给性的物质即可。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、钇、镱等。另外,优选使用碱金属氧化物或碱土金属氧化物,可以举出锂氧化物、钙氧化物、钡氧化物等。另外,还可以使用氧化镁等路易斯碱。另外,也可以使用四硫富瓦烯(简称:TTF)等有机化合物。

[0188] 另外,上述发光层、空穴注入层、空穴传输层、电子传输层及电子注入层都可以通过蒸镀法(包括真空蒸镀法)、喷墨法、涂敷法、喷嘴印刷法、凹版印刷等方法形成。另外,作为上述发光层、空穴注入层、空穴传输层、电子传输层及电子注入层,除了上述材料之外,也可以使用量子点等无机化合物或高分子化合物(低聚物、树枝状聚合物、聚合物等)。

[0189] 作为量子点,可以使用胶状量子点、合金型量子点、核壳(Core Shell)型量子点、核型量子点等。此外,也可以使用包含第2族与第16族、第13族与第15族、第13族与第17族、第11族与第17族或第14族与第15族的元素群的量子点。或者,可以使用包含镉(Cd)、硒(Se)、锌(Zn)、硫(S)、磷(P)、铟(In)、碲(Te)、铅(Pb)、镓(Ga)、砷(As)、铝(Al)等元素的量子点。

[0190] 作为用于湿式法的液体介质,例如可以使用:甲乙酮、环己酮等的酮类;乙酸乙酯

等的甘油脂肪酸酯类;二氯苯等的卤化芳烃类;甲苯、二甲苯、均三甲苯、环己基苯等的芳烃类;环己烷、十氢化萘、十二烷等的脂肪烃类;二甲基甲酰胺(DMF)、二甲亚砜(DMSO)等的有机溶剂。

[0191] 作为可以用于发光层的高分子化合物,例如可以举出:聚亚苯基亚乙烯(PPV)衍生物诸如聚[2-甲氧基-5-(2-乙基己氧基)-1,4-亚苯基亚乙烯基](简称:MEH-PPV)、聚(2,5-二辛基-1,4-亚苯基亚乙烯)等;聚茚衍生物诸如聚(9,9-二正辛基茚基-2,7-二基)(简称:PF8)、聚[(9,9-二正辛基茚基-2,7-二基)-alt-(苯并[2,1,3]噻二唑-4,8-二基)](简称:F8BT)、聚[(9,9-二正辛基茚基-2,7-二基)-alt-(2,2'-联噻吩-5,5'-二基)](简称:F8T2)、聚[(9,9-二辛基-2,7-二亚乙烯基亚茚基(divinylene fluorenylene))-alt-(9,10-蒽)]、聚[(9,9-二己基茚-2,7-二基)-alt-(2,5-二甲基-1,4-亚苯)]等;聚烷基噻吩(PAT)衍生物诸如聚(3-己基噻吩-2,5-二基)(简称:P3HT)等、聚亚苯衍生物等。另外,也可以对上述高分子化合物、PVK、聚(2-乙烯基萘)、聚[双(4-苯基)(2,4,6-三甲基苯基)胺](简称:PTAA)等高分子化合物掺杂发光性化合物,而将其用于发光层。作为发光性化合物,可以使用以上举例的发光性化合物。

[0192] 虽然作为本发明的一个实施方式混合包括苯并呋喃并嘧啶骨架或苯并噻吩并嘧啶骨架的有机化合物、能够将三重激发能量转换为发光的有机化合物及呈现荧光发光的有机化合物的三种而用于发光层130,但是可以使用具有上述骨架或功能的高分子化合物。例如,也可以具有将苯并呋喃并嘧啶骨架或苯并噻吩并嘧啶骨架、能够将三重激发能量转换为发光的取代基及呈现荧光发光的取代基的高分子化合物用于发光层130。此外,也可以混合具有苯并呋喃并嘧啶骨架或苯并噻吩并嘧啶骨架及能够将三重激发能量转换为发光的取代基的高分子化合物和呈现荧光发光的低分子物质而制造发光层130。通过使用该高分子化合物,可以提高材料的利用效率,从而可以降低制造成本。

[0193] 《衬底》

另外,本发明的一个实施方式的发光元件可以在由玻璃、塑料等构成的衬底上制造。作为在衬底上层叠的顺序,既可以从电极101一侧依次层叠又可以从电极102一侧依次层叠。

[0194] 另外,作为能够形成本发明的一个实施方式的发光元件的衬底,例如可以使用玻璃、石英或塑料等。或者,也可以使用柔性衬底。柔性衬底是可以弯曲的衬底,例如由聚碳酸酯、聚芳酯制成的塑料衬底等。另外,可以使用薄膜、通过蒸镀形成的无机薄膜等。注意,只要在发光元件的制造过程中起支撑物的作用,就可以使用其他材料。或者,只要具有保护发光元件的功能即可。

[0195] 例如,在本说明书等中,可以使用各种衬底形成发光元件。对衬底的种类没有特别的限制。作为该衬底的例子,例如可以使用半导体衬底(例如,单晶衬底或硅衬底)、SOI衬底、玻璃衬底、石英衬底、塑料衬底、金属衬底、不锈钢衬底、具有不锈钢箔的衬底、钨衬底、具有钨箔的衬底、柔性衬底、贴合薄膜、包含纤维状材料的纤维素纳米纤维(CNF)、纸或基材薄膜等。作为玻璃衬底的例子,有钡硼硅酸盐玻璃、铝硼硅酸盐玻璃、钠钙玻璃等。作为柔性衬底、贴合薄膜、基材薄膜等,可以举出如下例子。例如,可以举出以聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)、聚萘二甲酸乙二醇酯(PEN)、聚醚砜(PES)、聚四氟乙烯(PTFE)为代表的塑料。或者,作为一个例子,可以举出丙烯酸树脂等树脂等。或者,作为一个例子,可以举出聚丙烯、聚

酯、聚氟化乙烯或聚氯乙烯等。或者,作为一个例子,可以举出聚酰胺、聚酰亚胺、芳族聚酰胺、环氧树脂、无机蒸镀薄膜、纸类等。

[0196] 另外,也可以作为衬底使用柔性衬底,并在柔性衬底上直接形成发光元件。或者,也可以在衬底与发光元件之间设置剥离层。当剥离层上制造发光元件的一部分或全部,然后将其从衬底分离并转置到其他衬底上时可以使用剥离层。此时,也可以将发光元件转置到耐热性低的衬底或柔性衬底上。另外,作为上述剥离层,例如可以使用钨膜和氧化硅膜的无机膜的叠层结构或在衬底上形成有聚酰亚胺等树脂膜的结构等。

[0197] 也就是说,也可以使用一个衬底来形成发光元件,然后将发光元件转置到另一个衬底上。作为发光元件被转置的衬底的例子,除了上述衬底之外,还可以举出玻璃纸衬底、石材衬底、木材衬底、布衬底(包括天然纤维(丝、棉、麻)、合成纤维(尼龙、聚氨酯、聚酯)或再生纤维(醋酸纤维、铜氨纤维、人造纤维、再生聚酯)等)、皮革衬底、橡胶衬底等。通过采用这些衬底,可以制造不易损坏的发光元件、耐热性高的发光元件、实现轻量化的发光元件或实现薄型化的发光元件。

[0198] 另外,也可以在上述衬底上例如形成场效应晶体管(FET),并且在与FET电连接的电极上制造发光元件150。由此,可以制造通过FET控制发光元件150的驱动的有源矩阵型显示装置。

[0199] 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使用。

[0200] (实施方式2)

在本实施方式中,参照图5对具有与实施方式1所示的发光元件的结构不同的结构的发光元件进行说明。注意,在图5中,在具有与图1A所示的附图标记相同功能的部分,使用相同的阴影,而有时省略附图标记。此外,具有与图1A相同的功能的的部分由相同的附图标记表示,有时省略其详细说明。

[0201] <发光元件的结构实例2>

图5是发光元件250的截面示意图。

[0202] 图5所示的发光元件250在一对电极(电极101与电极102)之间具有多个发光单元(发光单元106和发光单元108)。多个发光单元中的一个优选具有与图1A所示的EL层100同样的结构。也就是说,图1A所示的发光元件150优选具有一个发光单元,而发光元件250优选具有多个发光单元。在发光元件250中,虽然对电极101为阳极且电极102为阴极时的情况进行说明,但是作为发光元件250的结构也可以采用与此相反的结构。

[0203] 在图5所示的发光元件250中,层叠有发光单元106和发光单元108,并且在发光单元106与发光单元108之间设置有电荷产生层115。另外,发光单元106和发光单元108可以具有相同结构或不同结构。例如,发光单元108优选采用与EL层100相同的结构。

[0204] 发光元件250包括发光层120和发光层170。发光单元106除了发光层120之外还包括空穴注入层111、空穴传输层112、电子传输层113及电子注入层114。发光单元108除了发光层170之外还包括空穴注入层116、空穴传输层117、电子传输层118及电子注入层119。

[0205] 在发光元件250中,发光单元106及发光单元108中的任一个层包含根据本发明的一个实施方式的有机化合物即可。注意,作为包含该有机化合物的层,电子传输层113或电子传输层118优选,发光层120或发光层170更优选。

[0206] 电荷产生层115既可以具有对空穴传输性材料添加有作为电子受体的受体性物质

的结构,又可以具有对电子传输性材料添加有作为电子给体的供体性物质的结构。另外,也可以层叠这两种结构。

[0207] 当电荷产生层115包含由有机化合物与受体性物质构成的复合材料时,作为该复合材料使用可以用于实施方式1所示的空穴注入层111的复合材料即可。作为有机化合物,可以使用芳香胺化合物、咪唑化合物、芳烃、高分子化合物(低聚物、树枝状聚合物、聚合物等)等各种化合物。另外,作为有机化合物,优选使用其空穴迁移率为 $1 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 以上的物质。但是,只要是其空穴传输性高于电子传输性的物质,就可以使用这些以外的物质。因为由有机化合物和受体性物质构成的复合材料具有良好的载流子注入性以及载流子传输性,所以可以实现低电压驱动以及低电流驱动。注意,在发光单元的阳极一侧的表面接触于电荷产生层115时,电荷产生层115还可以具有该发光单元的空穴注入层或空穴传输层的功能,所以在该发光单元中也可以不设置空穴注入层或空穴传输层。在发光单元的阴极一侧的表面接触于电荷产生层115时,电荷产生层115还可以具有该发光单元的电子注入层或电子传输层的功能,所以在该发光单元中也可以不设置电子注入层或电子传输层。

[0208] 注意,电荷产生层115也可以具有组合包含有机化合物和受体性物质的复合材料的层与由其他材料构成的层的叠层结构。例如,也可以是组合包含有机化合物和受体性物质的复合材料的层与包含选自供电子性物质中的一个化合物和高电子传输性的化合物的层的结构。另外,也可以是组合包含有机化合物和受体性物质的复合材料的层与包含透明导电膜的结构。

[0209] 夹在发光单元106与发光单元108之间的电荷产生层115只要具有在将电压施加到电极101和电极102之间时,将电子注入到一个发光单元且将空穴注入到另一个发光单元的结构即可。例如,在图5中,在以使电极101的电位高于电极102的电位的方式施加电压时,电荷产生层115将电子注入到发光单元106且将空穴注入到发光单元108。

[0210] 从光提取效率的观点来看,电荷产生层115优选具有可见光透射性(具体而言,可见光的透射率为40%以上)。另外,电荷产生层115即使其导电率小于一对电极(电极101及电极102)也发挥作用。

[0211] 通过使用上述材料形成电荷产生层115,可以抑制在层叠发光层时的驱动电压的增大。

[0212] 虽然在图5中说明了具有两个发光单元的发光元件,但是可以将同样的结构应用于层叠有三个以上的发光单元的发光元件。如发光元件250所示,通过在一对电极之间以由电荷产生层将其隔开的方式配置多个发光单元,可以实现在保持低电流密度的同时还可以进行高亮度发光,并且寿命更长的发光元件。另外,还可以实现低功耗的发光元件。

[0213] 另外,在上述各结构中,用于发光单元106及发光单元108的客体材料的发光颜色既可以相同又可以不同。当发光单元106和发光单元108包含具有发射相同颜色的发光的功能的客体材料时,发光元件250成为以较低的电流值呈现高发光亮度的发光元件,所以是优选的。另外,当发光单元106和发光单元108包含发射呈现彼此不同颜色的发光的功能的客体材料时,发光元件250发射多个颜色的发光,所以是优选的。此时,当将发光波长不同的多个发光材料用于发光层120和发光层170中的一个或两个时,合成具有不同的发光峰的光,因此发光元件250的发射光谱具有至少两个极大值。

[0214] 上述结构适合获得白色发光的情况。通过使发光层120与发光层170的光为互补色

的关系,可以获得白色发光。尤其优选以实现演色性高的白色发光或至少具有红色、绿色、蓝色的发光的方式选择客体材料。

[0215] 优选将实施方式1所示的发光层130的结构用于发光层120及发光层170的一方或双方。通过采用该结构,可以得到发光效率及可靠性良好的发光元件。包括在发光层130中的客体材料为荧光发光材料。因此,通过将实施方式1所示的发光层130的结构用于发光层120及发光层170的一方或双方,可以得到发射光谱尖锐且颜色纯度高的发光元件。

[0216] 另外,在层叠三个以上的发光单元的发光元件中,用于各发光单元的客体材料的发光颜色可以相同或不同。在发光元件包括发射相同颜色的光的多个发光单元的情况下,这些发光单元可以以比其他的颜色低的电流值获得高发光亮度的发光颜色。这种结构适于发光颜色的调整。尤其优选用于使用发光效率不同且呈现不同发光颜色的客体材料的情况。例如,在设置三个发光单元的情况下,通过设置包含呈现相同发光颜色的荧光材料的两个发光单元及包含呈现与该荧光材料不同的发光颜色的磷光材料的一个发光单元,可以调整荧光发光及磷光发光的发光强度。换言之,可以根据发光单元的个数调整各颜色的发光强度。

[0217] 在采用上述包括两个荧光发光单元及一个磷光发光单元的发光元件的情况下,为了高效地获得白色发光,优选采用如下结构:发光单元包括包含蓝色荧光材料的两个发光单元及包含黄色磷光材料的一个发光单元的结构;发光单元包括包含蓝色荧光材料的两个发光单元及包含红色磷光材料及绿色磷光材料的一个发光单元的结构;发光单元包括包含蓝色荧光材料的两个发光单元及包含红色磷光材料、黄色磷光材料及绿色磷光材料的一个发光单元的结构。

[0218] 此外,也可以将发光层120和发光层170中的至少一个进一步分割为层状并使各层含有不同的发光材料。也就是说,发光层120和发光层170中的至少一个也可以由两层以上的多个层形成。例如,在从空穴传输层一侧依次层叠第一发光层和第二发光层来形成发光层的情况下,可以将具有空穴传输性的材料用于第一发光层的主体材料,并且将具有电子传输性的材料用于第二发光层的主体材料。在此情况下,第一发光层和第二发光层所包含的发光材料也可以是相同或不同的材料。另外,第一发光层和第二发光层所包含的发光材料可以是具有发射相同颜色的发光的功用的材料,也可以是具有发射不同颜色的发光的功用的材料。通过采用具有发射彼此不同颜色的发光的功用的多个发光材料的结构,也可以得到由三原色或四种以上的发光颜色构成的演色性高的白色发光。

[0219] 本实施方式可以与其他任意实施方式适当地组合。

[0220] (实施方式3)

本实施方式中参照图6A及图6B对使用实施方式1及实施方式2中说明的发光元件的发光装置进行说明。

[0221] 图6A是发光装置的俯视图,图6B是沿图6A中的A-B以及C-D切割的截面图。该发光装置包括以虚线表示的用来控制发光元件的发光的驱动电路部(源极一侧驱动电路)601、像素部602以及驱动电路部(栅极一侧驱动电路)603。另外,附图标记604是密封衬底,附图标记625是干燥剂,附图标记605是密封剂。由密封剂605围绕的内侧是空间607。

[0222] 注意,引导布线608是用来传送输入到源极一侧驱动电路601及栅极一侧驱动电路603的信号的布线,并且从用作外部输入端子的柔性印刷电路(FPC)609接收视频信号、时钟

信号、起始信号、复位信号等。虽然在此只图示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在其范畴内不仅包括发光装置主体,并且还包括安装有FPC或PWB的发光装置。

[0223] 接下来,参照图6B说明上述发光装置的截面结构。在元件衬底610上形成有驱动电路部及像素部。在此示出作为驱动电路部的源极一侧驱动电路601及像素部602中的一个像素。

[0224] 在源极一侧驱动电路601中,形成组合n沟道型TFT623和p沟道型TFT624的CMOS电路。驱动电路也可以使用各种CMOS电路、PMOS电路或NMOS电路形成。虽然在本实施方式中示出将驱动电路形成于衬底上的驱动器一体型,但不需要必须将驱动电路形成于衬底上,也可以形成于衬底外部。

[0225] 像素部602具有包括开关用TFT611、电流控制用TFT612、电连接于该电流控制用TFT612的漏极的第一电极613的多个像素。注意,以覆盖第一电极613的端部的方式形成有绝缘物614。可以使用正型光敏树脂膜来形成绝缘物614。

[0226] 为了提高形成于绝缘物614上的膜的覆盖率,将绝缘物614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614的材料使用光敏丙烯酸树脂的情况下,优选仅使绝缘物614的上端部具有曲面。该曲面的曲率半径优选为 $0.2\mu\text{m}$ 以上且 $0.3\mu\text{m}$ 以下。作为绝缘物614,可以使用负型光敏材料或正型光敏材料。

[0227] 在第一电极613上形成有EL层616及第二电极617。作为用作阳极的第一电极613的材料优选使用功函数大的材料。例如,除了ITO膜、包含硅的铟锡氧化物膜、包含2wt%以上且20wt%以下的氧化锌的氧化铟膜、氮化钛膜、铬膜、钨膜、Zn膜、Pt膜等的单层膜以外,还可以使用包括氮化钛膜和以铝为主要成分的膜的叠层膜以及包括氮化钛膜、以铝为主要成分的膜和氮化钛膜的三层结构膜等。当采用叠层结构时,布线电阻也低,可以得到良好的欧姆接触,并且可以将其用作阳极。

[0228] EL层616通过使用蒸镀掩模的蒸镀法、喷墨法、旋涂法等各种任何方法形成。作为包含于EL层616中的材料,也可以使用低分子化合物、或者高分子化合物(包含低聚物或树枝状聚合物)。

[0229] 作为形成在EL层616上并用作阴极的第二电极617的材料,优选使用功函数小的材料(Al、Mg、Li、Ca、或它们的合金及化合物、MgAg、MgIn、AlLi等)。当使产生在EL层616中的光透过第二电极617时,作为第二电极617优选使用包括较薄的金属膜和透明导电膜(ITO、包含2wt%以上且20wt%以下的氧化锌的氧化铟、包含硅的铟锡氧化物、氧化锌(ZnO)等)的叠层。

[0230] 注意,发光元件618由第一电极613、EL层616及第二电极617形成。该发光元件618优选具有实施方式1及实施方式2所示的结构。在本实施方式的发光装置中,包括多个发光元件的像素部也可以包括具有实施方式1及实施方式2所说明的结构的发光元件和具有不同的结构的发光元件的双方。

[0231] 通过利用密封剂605将密封衬底604与元件衬底610贴合在一起,在由元件衬底610、密封衬底604及密封剂605围绕的空间607中设置有发光元件618。在空间607中填充有填充剂。该填充剂也可以为惰性气体(氮、氩等)或者树脂及/或干燥剂。

[0232] 作为密封剂605,优选使用环氧类树脂或玻璃粉。这些材料优选是尽量不使水分或

氧透过的材料。作为密封衬底604,可以使用玻璃衬底、石英衬底或者由纤维增强塑料(FRP)、聚氟乙烯(PVF)、聚酯或丙烯酸树脂等形成的塑料衬底。

[0233] 通过上述方法可以得到包括实施方式1及实施方式2中说明的发光元件的发光装置。

[0234] <发光装置的结构实例1>

图7A和图7B各自示出包括呈现白色发光的发光元件及着色层(滤色片)的发光装置的例子。

[0235] 图7A示出衬底1001、基底绝缘膜1002、栅极绝缘膜1003、栅电极1006、1007、1008、第一层间绝缘膜1020、第二层间绝缘膜1021、周边部1042、像素部1040、驱动电路部1041、发光元件的第一电极1024W、1024R、1024G、1024B、分隔壁1026、EL层1028、发光元件的第二电极1029、密封衬底1031、密封剂1032、红色像素1044R、绿色像素1044G、蓝色像素1044B、白色像素1044W等。

[0236] 在图7A中将着色层(红色着色层1034R、绿色着色层1034G、蓝色着色层1034B)设置于透明基材1033上。另外,还可以设置黑色层(黑矩阵)1035。对设置有着色层及黑色层的透明基材1033进行对准将其固定在衬底1001上。注意,着色层及黑色层由覆盖层1036覆盖。在图7A中,从有的发光层发射的光不穿过着色层,而从其他发光层发射的光穿过着色层。由于不透过着色层的光为白色且透过着色层中的任一个的光为红色、蓝色、绿色,因此能够以四个颜色的像素呈现图像。

[0237] 图7B示出将红色着色层1034R、绿色着色层1034G、蓝色着色层1034B形成在栅极绝缘膜1003与第一层间绝缘膜1020之间的例子。如图7B所示,也可以将着色层设置在衬底1001与密封衬底1031之间。

[0238] 虽然上述说明的发光装置具有从形成有TFT的衬底1001一侧取出光的结构(底部发射型),但是也可以具有从密封衬底1031一侧取出光的结构(顶部发射型)。

[0239] <发光装置的结构实例2>

图8A和图8B都是具有顶部发射结构的发光装置的截面图。在此情况下,衬底1001可以使用不使光透过的衬底。直到制造连接TFT与发光元件的阳极的连接电极为止的工序与具有底部发射结构的发光装置同样地进行。然后,以覆盖电极1022的方式形成第三层间绝缘膜1037。该绝缘膜也可以具有平坦化的功能。第三层间绝缘膜1037可以使用与第二层间绝缘膜1021相同的材料或其他各种材料形成。

[0240] 虽然发光元件的下部电极1025W、1025R、1025G、1025B在这里都为阳极,但是也可以为阴极。另外,在图8A和图8B所示的具有顶部发射结构的发光装置中,优选下部电极1025W、1025R、1025G、1025B为反射电极。注意,优选第二电极1029具有发射光及使光透过的功能。优选在第二电极1029与下部电极1025W、1025R、1025G、1025B间采用微腔结构,由此可以放大特定波长的光。EL层1028以具有与实施方式1及实施方式2所说明的结构相同的方式形成,并且采用能够得到白色发光。

[0241] 在图7A、图7B以及图8A和图8B中,通过使用多个发光层或者使用多个发光单元等来实现能够得到白色发光的EL层的结构,即可。注意,获得白色发光的结构不局限于此。

[0242] 在采用如图8A和图8B所示的顶部发射结构的情况下,可以使用设置有着色层(红色着色层1034R、绿色着色层1034G、蓝色着色层1034B)的密封衬底1031进行密封。密封衬底

1031也可以设置有位于像素与像素之间的黑色层(黑矩阵)1035。着色层(红色着色层1034R、绿色着色层1034G、蓝色着色层1034B)、黑色层(黑矩阵)也可以由覆盖层覆盖。注意,作为密封衬底1031使用透光性衬底。

[0243] 此外,虽然在图8A中示出以红色、绿色、蓝色的三种颜色进行全彩色显示的结构,但是如图8B所示,也可以以红色、绿色、蓝色、白色的四种颜色进行全彩色显示。此外,进行全彩色显示的结构不局限于这些结构。例如,也可以以红色、绿色、蓝色、黄色的四种颜色进行全彩色显示。

[0244] 根据本发明的一个实施方式的发光元件将荧光材料用作客体材料。因为荧光材料具有比磷光材料尖锐的光谱,所以可以得到颜色纯度高的发光。因此,通过将该发光元件用于本实施方式所示的发光装置,可以得到颜色再现性高的发光装置。

[0245] 通过上述方法可以得到包括实施方式1及实施方式2中说明的发光元件的发光装置。

[0246] 本实施方式可以与其他任何实施方式适当地组合。

[0247] (实施方式4)

在本实施方式中,说明本发明的一个实施方式的电子设备及显示装置。

[0248] 根据本发明的一个实施方式可以制造具有平面、发光效率高且可靠性高的电子设备及显示装置。根据本发明的一个实施方式,可以制造具有曲面、发光效率高且可靠性高的电子设备及显示装置。本发明的一个实施方式的发光元件可以发射颜色纯度高的光。因此,通过将该发光元件用于本实施方式所示的发光装置,可以得到颜色再现性高的电子设备及显示装置。

[0249] 作为电子设备,例如可以举出:电视装置;台式或笔记本型个人计算机;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;便携式游戏机;便携式信息终端;声音再现装置;弹珠机等大型游戏机等。

[0250] 图9A和图9B所示的便携式信息终端900包括外壳901、外壳902、显示部903及铰链部905等。

[0251] 外壳901与外壳902通过铰链部905连接在一起。便携式信息终端900可以从折叠状态(图9A)转换成如图9B所示的展开状态。由此,携带时的可携带性好,并且由于具有大显示区域,所以使用时的可见度高。

[0252] 便携式信息终端900跨着由铰链部905连接的外壳901和外壳902设置有柔性显示部903。

[0253] 可以将使用本发明的一个实施方式制造的发光装置用于显示部903。由此,可以以高成品率制造便携式信息终端。

[0254] 显示部903可以显示文件信息、静态图像和动态图像等中的至少一个。当在显示部中显示文件信息时,可以将便携式信息终端900用作电子书阅读器。

[0255] 当使便携式信息终端900展开时,显示部903平缓地弯曲。例如,可以以包括以1mm以上且50mm以下,优选为5mm以上且30mm以下的曲率半径弯曲的部分的方式保持显示部903。显示部903的一部分跨着外壳901和外壳902连续地配置有像素,从而能够进行曲面显示。

[0256] 显示部903被用作触摸面板,可以用手指或触屏笔等进行操作。

[0257] 显示部903优选由一个柔性显示器构成。由此,可以跨着外壳901和外壳902进行连续的显示。此外,外壳901和外壳902也可以分别设置有显示器。

[0258] 为了避免在使便携式信息终端900展开时外壳901和外壳902所形成的角度超过预定角度,铰链部905优选具有锁定机构。例如,锁定角度(达到该角度时不能再继续打开)优选为90°以上且小于180°,典型的是,可以为90°、120°、135°、150°或175°等。由此,可以提高便携式信息终端900的方便性、安全性和可靠性。

[0259] 当铰链部905具有上述锁定机构时,可以抑制过大的力施加到显示部903,从而可以防止显示部903的损坏。由此,可以实现可靠性高的便携式信息终端。

[0260] 外壳901和外壳902也可以包括电源按钮、操作按钮、外部连接端口、扬声器、麦克风等。

[0261] 外壳901和外壳902中的一个可以设置有无线通信模块,可以通过因特网、局域网(LAN)、无线保真(Wi-Fi:注册商标)等计算机网络进行数据收发。

[0262] 图9C所示的便携式信息终端910包括外壳911、显示部912、操作按钮913、外部连接端口914、扬声器915、麦克风916、照相机917等。

[0263] 可以将利用本发明的一个实施方式制造的发光装置用于显示部912。由此,可以以高成品率制造便携式信息终端。

[0264] 在便携式信息终端910中,在显示部912中具有触摸传感器。通过用手指或触屏笔等触摸显示部912可以进行打电话或输入文字等各种操作。

[0265] 另外,通过操作按钮913的操作,可以进行电源的ON、OFF工作或切换显示在显示部912上的图像的种类。例如,可以将电子邮件的编写画面切换为主菜单画面。

[0266] 另外,通过在便携式信息终端910内部设置陀螺仪传感器或加速度传感器等检测装置,可以判断便携式信息终端910的方向(纵向或横向),而对显示部912的屏面显示方向进行自动切换。另外,屏面显示方向的切换也可以通过触摸显示部912、操作操作按钮913或者使用麦克风916输入声音来进行。

[0267] 便携式信息终端910例如具有选自电话机、笔记本和信息阅读装置等中的一种或多种功能。具体地说,便携式信息终端910可以被用作智能手机。便携式信息终端910例如可以执行移动电话、电子邮件、文章的阅读及编辑、音乐播放、动画播放、网络通信、电脑游戏等各种应用程序。

[0268] 图9D所示的照相机920包括外壳921、显示部922、操作按钮923、快门按钮924等。另外,照相机920安装有可装卸的镜头926。

[0269] 可以将利用本发明的一个实施方式制造的发光装置用于显示部922。由此,可以制造可靠性高的照相机。

[0270] 在此,虽然这里示出的照相机920具有能够从外壳921拆卸下镜头926而交换的结构,但是镜头926和外壳921也可以被形成为一体。

[0271] 通过按下快门按钮924,照相机920可以拍摄静态图像或动态图像。另外,也可以使显示部922具有触摸面板的功能,通过触摸显示部922进行摄像。

[0272] 另外,照相机920还可以具备另外安装的闪光灯装置及取景器等。另外,这些构件也可以组装在外壳921中。

[0273] 图10A为示出扫地机器人的例子的示意图。

[0274] 扫地机器人5100包括顶面上的显示器5101及侧面上的多个照相机5102、刷子5103及操作按钮5104。虽然未图示,但是扫地机器人5100的底面设置有轮胎和吸入口等。此外,扫地机器人5100还包括红外线传感器、超音波传感器、加速度传感器、压电传感器、光传感器、陀螺仪传感器等各种传感器。另外,扫地机器人5100包括无线通信单元。

[0275] 扫地机器人5100可以自动行走,检测垃圾5120,可以从底面的吸入口吸引垃圾。

[0276] 另外,扫地机器人5100对照相机5102所拍摄的图像进行分析,可以判断墙壁、家具或台阶等障碍物的有无。另外,在通过图像分析检测布线等可能会绕在刷子5103上的物体的情况下,可以停止刷子5103的旋转。

[0277] 可以在显示器5101上显示电池的剩余电量和所吸引的垃圾的量等。另外,也可以在显示器5101上显示扫地机器人5100的行走路径。另外,显示器5101可以是触摸面板,可以将操作按钮5104显示在显示器5101上。

[0278] 扫地机器人5100可以与智能手机等便携式电子设备5140互相通信。照相机5102所拍摄的图像可以显示在便携式电子设备5140上。因此,扫地机器人5100的拥有者在出门时也可以知道房间的情况。另外,可以使用智能手机等便携式电子设备5140确认显示器5101的显示内容。

[0279] 可以将本发明的一个实施方式的发光装置用于显示器5101。

[0280] 图10B所示的机器人2100包括运算装置2110、照度传感器2101、麦克风2102、上部照相机2103、扬声器2104、显示器2105、下部照相机2106、障碍物传感器2107及移动机构2108。

[0281] 麦克风2102具有检测使用者的声音及周围的声音等的功能。另外,扬声器2104具有发出声音的功能。机器人2100可以使用麦克风2102及扬声器2104与使用者交流。

[0282] 显示器2105具有显示各种信息的功能。机器人2100可以将使用者所希望的信息显示在显示器2105上。显示器2105可以安装有触摸面板。显示器2105可以是可拆卸的信息终端,通过将该信息终端设置在机器人2100的所定位置,可以进行充电及数据的收发。

[0283] 上部照相机2103及下部照相机2106具有对机器人2100的周围环境进行摄像的功能。另外,障碍物传感器2107可以检测机器人2100使用移动机构2108移动时的前方的障碍物的有无。机器人2100可以使用上部照相机2103、下部照相机2106及障碍物传感器2107认知周围环境而安全地移动。

[0284] 可以将本发明的一个实施方式的发光装置用于显示器2105。

[0285] 图10C是示出护目镜型显示器的一个例子的图。护目镜型显示器例如包括外壳5000、显示部5001、扬声器5003、LED灯5004、操作键5005(包括电源开关或操作开关)、连接器5006、传感器5007(它具有测量如下因素的功能:力、位移、位置、速度、加速度、角速度、转速、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、倾斜度、振动、气味或红外线)、麦克风5008、第二显示部5002、支撑部5012、耳机5013等。

[0286] 可以将本发明的一个实施方式的发光装置用于显示部5001及第二显示部5002。

[0287] 图11A和图11B示出可折叠的便携式信息终端5150。可折叠的便携式信息终端5150包括外壳5151、显示区域5152及弯曲部5153。图11A示出展开状态的便携式信息终端5150。图11B示出折叠状态的便携式信息终端5150。虽然便携式信息终端5150具有较大的显示区

域5152,但是通过将便携式信息终端5150折叠,便携式信息终端5150变小而可便携性好。

[0288] 可以由弯曲部5153将显示区域5152折叠成一半。弯曲部5153由可伸缩的构件和多个支撑构件构成,在折叠时,可伸缩的构件被拉伸,以弯曲部5153具有2mm以上,优选为5mm以上的曲率半径的方式进行折叠。

[0289] 另外,显示区域5152也可以为安装有触摸传感器(输入装置)的触摸面板(输入/输出装置)。可以将本发明的一个实施方式的发光装置用于显示区域5152。

[0290] 本实施方式可以与其他任意实施方式适当地组合。

[0291] (实施方式5)

在本实施方式中,参照图12说明将本发明的一个实施方式的发光元件适用于各种照明装置的情况的例子。通过使用本发明的一个实施方式的发光元件,可以制造发光效率及可靠性高的照明装置。

[0292] 通过将本发明的一个实施方式的发光元件形成在具有柔性的衬底上,能够实现在曲面上具有发光区域的电子设备或照明装置。

[0293] 另外,还可以将应用了本发明的一个实施方式的发光元件的发光装置适用于汽车的照明,其中该照明被设置于挡风玻璃、天花板等。

[0294] 图12是将发光元件用于室内照明装置8501的例子。另外,因为发光元件可以实现大面积化,所以也可以形成大面积的照明装置。另外,也可以通过使用具有曲面的外壳来形成发光区域具有曲面的照明装置8502。本实施方式所示的发光元件为薄膜状,所以外壳的设计的自由度高。因此,可以形成能够对应各种设计的照明装置。并且,室内的墙面也可以设置有大型的照明装置8503。也可以在照明装置8501、照明装置8502、照明装置8503中设置触摸传感器,启动或关闭电源。

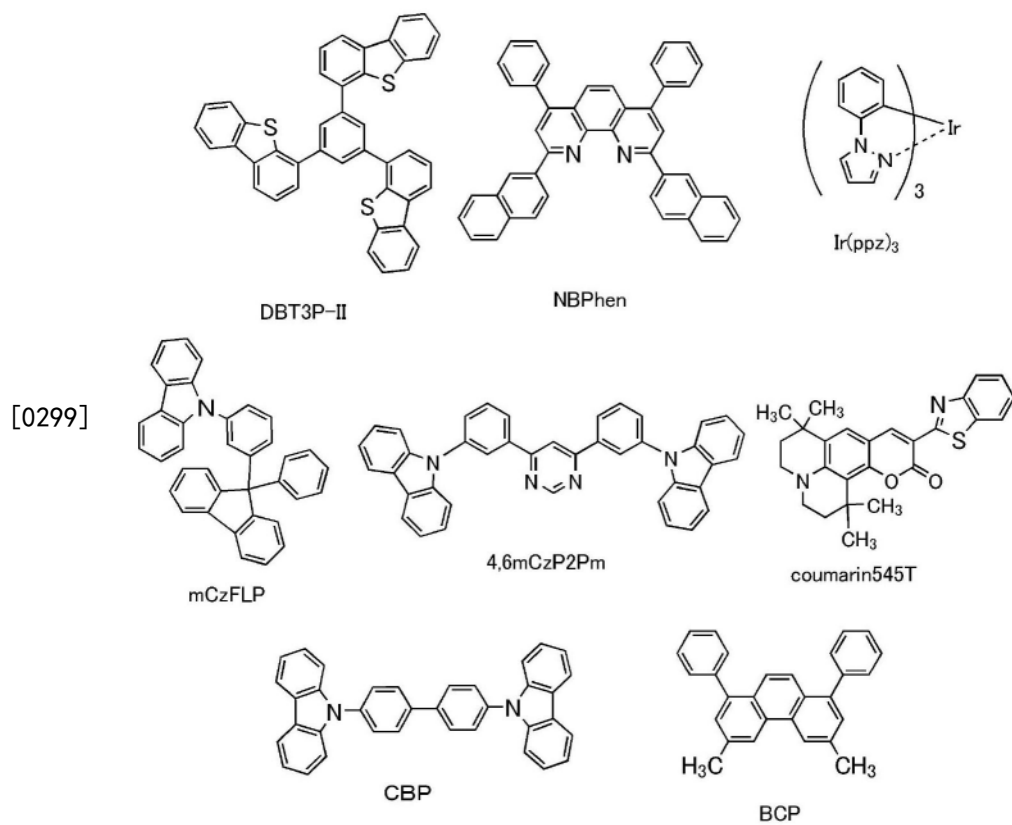
[0295] 另外,通过将发光元件用于桌子的表面一侧,可以提供具有桌子的功能的照明装置8504。另外,通过将发光元件用于其他家具的一部分,可以提供具有家具的功能的照明装置。

[0296] 如上所述,通过应用本发明的一个实施方式的发光元件,能够得到照明装置及电子设备。注意,不局限于本实施方式所示的照明装置及电子设备,可以应用于各种领域的照明装置及电子设备。

[0297] 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。

[实施例1]

[0298] 在本实施例中说明本发明的一个实施方式的发光元件的制造例子。在本实施例中制造的各发光元件的结构与图1A同样。表1示出元件结构的详细内容。下面示出所使用的化合物的结构及简称。其他化合物的结构及简称可以参照上述实施方式。



[0300] [表1]

	层	符号	厚度 (nm)	材料	重量比
发 光 元 件 1	电极	102	200	Al	—
	电子注入层	119	1	LiF	—
	电子传输层	118(2)	10	NBphen	—
		118(1)	20	4, 6mCzP2Pm	—
	发光层	130	30	4PCCzBfpm: Ir(ppz) ₃ : 香豆素 545T	0.8:0.2:0.005
	空穴传输层	112	20	mCzFLP	—

	空穴注入层	111	40	DBT3P-II: MoO ₃	1:0.5
	阳极	101	70	ITS0	—
比较发光元件2	电极	102	200	Al	—
	电子注入层	119	1	LiF	—
	电子传输层	118(2)	10	NBphen	—
		118(1)	20	4, 6mCzP2Pm	—
	发光层	130	30	4PCCzBfpm: Ir(ppz) ₃	0.8:0.2
	空穴传输层	112	20	mCzFLP	—
	空穴注入层	111	40	DBT3P-II: MoO ₃	1:0.5
	阳极	101	70	ITS0	—
发光元件3	电极	102	200	Al	—
	电子注入层	119	1	LiF	—
	电子传输层	118(2)	10	NBphen	—
		118(1)	20	4, 6mCzP2Pm	—
	发光层	130	30	4PCCzPBfpm: Ir(ppz) ₃ : 香豆素 545T	0.8:0.2:0.005
	空穴传输层	112	20	mCzFLP	—
	空穴注入层	111	40	DBT3P-II: MoO ₃	1:0.5
	阳极	101	70	ITS0	—
比较	电极	102	200	Al	—
	电子注入层	119	1	LiF	—

发 光 元 件 4	入层				
	电子 传输 层	118 (2)	10	NBphen	—
		118 (1)	20	4, 6mCzP2Pm	—
	发光 层	130	30	4PCCzPBfpm: Ir (ppz) ₃	0.8:0.2
	空穴 传输 层	112	20	mCzFLP	—
	空穴 注入 层	111	40	DBT3P-II: MoO ₃	1:0.5
	阳极	101	70	ITSO	—
比 较 发 光 元 件 5	电极	102	200	Al	—
	电子 注入 层	119	1	LiF	—
	电子 传输 层	118 (2)	10	NBphen	—
		118 (1)	20	BCP	—
	发光 层	130	30	CBP: Ir (ppz) ₃ : 香豆素 545T	0.8:0.2:0.005
	空穴 传输 层	112	20	mCzFLP	—
	空穴 注入 层	111	40	DBT3P-II: MoO ₃	1:0.5
	阳极	101	70	ITSO	—

[0301] <发光元件的制造>

下面示出在本实施例中制造的发光元件的制造方法。

[0302] 《发光元件1的制造》

作为电极101,在玻璃衬底上形成厚度为70nm的ITO膜。电极101的电极面积为 4mm^2 ($2\text{mm} \times 2\text{mm}$)。

[0303] 作为空穴注入层111,在电极101上将DBT3P-II与氧化钼(MoO_3)以重量比(DBT3P-II: MoO_3)为1:0.5且厚度为40nm的方式共蒸镀。

[0304] 接着,作为空穴传输层112,在空穴注入层111上以厚度为20nm的方式蒸镀9-[3-(9-苯基-9H-芴-9-基)苯基]-9H-咔唑(简称:mCzFLP)。

[0305] 接着,作为发光层130,在空穴传输层112上将4PCCzBfpm、三[2-(1H-吡唑-1-基- κN^2)苯基- κC]铱(III)(简称: $\text{Ir}(\text{ppz})_3$)及10-(2-苯并噻唑基)-2,3,6,7-四氢-1,1,7,7-四甲基-1H,5H,11H-[1]苯并吡喃并[6,7,8-ij]喹啉-11-酮(简称:香豆素545T)以重量比(4PCCzBfpm: $\text{Ir}(\text{ppz})_3$:香豆素545T)为0.8:0.2:0.005且厚度为30nm的方式共蒸镀。在发光层130中,香豆素545T为荧光化合物, $\text{Ir}(\text{ppz})_3$ 为磷光化合物。

[0306] 接着,作为电子传输层118,在发光层130上依次以厚度为20nm的方式蒸镀4,6mCzP2Pm并且以厚度为10nm的方式蒸镀NBPhen。接着,作为电子注入层119,在电子传输层118上以厚度为1nm的方式蒸镀LiF。

[0307] 接着,作为电极102,在电子注入层119上蒸镀厚度为200nm的铝(Al)。

[0308] 接着,在氮气氛围的手套箱中使用有机EL用密封剂将密封用玻璃衬底固定于形成有有机材料的玻璃衬底上,由此密封发光元件1。具体而言,将密封剂涂敷于形成在玻璃衬底上的有机材料的周围,贴合该玻璃衬底和密封用玻璃衬底,以 $6\text{J}/\text{cm}^2$ 照射波长为365nm的紫外光,并且以 80°C 进行1小时的加热处理。通过上述工序得到发光元件1。

[0309] 《比较发光元件2的制造》

比较发光元件2的与上述发光元件1的不同之处仅在于发光层130的形成工序,而其他工序都与发光元件1采用同样的制造方法。

[0310] 作为比较发光元件2的发光层130,将4PCCzBfpm和 $\text{Ir}(\text{ppz})_3$ 以重量比(4PCCzBfpm: $\text{Ir}(\text{ppz})_3$)为0.8:0.2且厚度为30nm的方式共蒸镀。比较发光元件2与发光元件1的差异是荧光化合物的有无,而其他构成要素相同。

[0311] 《发光元件3的制造》

发光元件3的与上述发光元件1的不同之处在于发光层130的形成工序,而其他工序都与发光元件1采用同样的制造方法。

[0312] 作为发光元件3的发光层130,将4-[4-(9'-苯基-3,3'-联-9H-咔唑-9-基)苯基]苯并呋喃并[3,2-d]嘧啶(简称:4PCCzPBfpm)、 $\text{Ir}(\text{ppz})_3$ 、香豆素545T以重量比(4PCCzPBfpm: $\text{Ir}(\text{ppz})_3$:香豆素545T)为0.8:0.2:0.005且厚度为30nm的方式共蒸镀。

[0313] 《比较发光元件4的制造》

比较发光元件4的与上述发光元件3的不同之处仅在于发光层130的形成工序,而其他工序都与发光元件3采用同样的制造方法。

[0314] 作为比较发光元件4的发光层130,将4PCCzPBfpm和 $\text{Ir}(\text{ppz})_3$ 以重量比(4PCCzPBfpm: $\text{Ir}(\text{ppz})_3$)为0.8:0.2且厚度为30nm的方式共蒸镀。比较发光元件4与发光元

件3的差异是荧光化合物的有无,而其他构成要素相同。

[0315] 《比较发光元件5的制造》

比较发光元件5的与上述发光元件1的不同之处仅在于发光层130的形成工序及电子传输层118的形成工序,而其他工序都与发光元件1采用同样的制造方法。

[0316] 作为比较发光元件5的发光层130,将4,4'-双(9-咔唑)联苯(简称:CBP)、Ir(ppz)₃、香豆素545T以重量比(CBP:Ir(ppz)₃:香豆素545T)为0.8:0.2:0.005且厚度为30nm的方式共蒸镀。比较发光元件5与发光元件1的差异是主体材料,比较发光元件5使用不是TADF材料的CBP作为主体材料而制造。

[0317] 接着,作为电子传输层118,在发光层130上依次以厚度为10nm的方式蒸镀浴铜灵(简称:BCP)并且以厚度为15nm的方式蒸镀NBPhen。

[0318] <发光元件的特性>

接着,对上述制造的发光元件1、3及比较发光元件2、4、5的特性进行测定。在亮度及CIE色度的测定中,利用色亮度计(由TOPCON TECHNOHOUSE公司制造的BM-5A)。在电致发射光谱的测定中,利用多通道光谱分析仪(由日本滨松光子学公司制造的PMA-11)。

[0319] 图13示出发光元件1、发光元件3、比较发光元件2、比较发光元件4及比较发光元件5的电流效率-亮度特性,图14示出电流-电压特性,图15示出外部量子效率-亮度特性。此外,图16示出以2.5mA/cm²的电流密度使电流流过发光元件1、发光元件3、比较发光元件2、比较发光元件4及比较发光元件5时的电致发射光谱。另外,各发光元件的测定在室温(保持为23℃的气氛)下进行。

[0320] 表2示出1000cd/m²附近的发光元件1、发光元件3、比较发光元件2、比较发光元件4及比较发光元件5的元件特性。

[0321] [表2]

	电压 (V)	电流密度 (mA/cm ²)	CIE 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	3.60	3.10	(0.231, 0.652)	1020	33.0	28.8	9.92
比较 发光 元件 2	3.50	2.42	(0.249, 0.541)	1040	43.1	38.7	14.4
发光 元件 3	3.50	5.02	(0.276, 0.644)	1130	22.5	20.2	6.67
比较 发光 元件 4	3.30	2.78	(0.342, 0.592)	1000	36.0	34.2	10.7
比较 发光 元件 5	6.00	32.4	(0.212, 0.658)	991	3.1	1.6	0.9

[0322] 从图16可知,发光元件1、发光元件3、比较发光元件5的电致发射光谱的峰值波长为509nm。这表示发光元件1、发光元件3、比较发光元件5呈现来源于荧光化合物香豆素545T的绿色发光。因此,本发明的一个实施方式的发光元件1及发光元件3的电致发射光谱的峰值波长短于比较发光元件2及比较发光元件4,发光元件1及发光元件3的半峰全宽小于比较发光元件2及比较发光元件4,发光元件1及发光元件3能够呈现颜色纯度比较发光元件2及比较发光元件4高的发光。因此,本发明的一个实施方式的发光元件适合用于显示装置。

[0323] 如图13、图15及表2所示,发光元件1及发光元件3呈现高发光效率(电流效率、功率效率及外部量子效率)。这里,因从一对电极注入的载流子(空穴及电子)的重新结合而产生的单重激子的最大产生概率为25%,因此当假设光提取效率为25%时,最大外部量子效率为6.25%。虽然发光元件1及发光元件3是荧光发光元件,但是外部量子效率高于6.25%。这是因为在根据本发明的一个实施方式的发光元件1及发光元件3中除了单重激子以外,还可以通过来源于磷光化合物Ir(ppz)₃的重原子效应及由于TADF材料产生的反系间窜越将三重激子贡献于荧光发光。

[0324] 发光元件1及发光元件3的发光效率高于比较发光元件5。如上所述,在比较发光元件5的发光层130中使用不是TADF材料的CBP。因此,比较发光元件5不具有通过由于TADF材料产生的反系间窜越将三重激子转换为单重激子的功能。另一方面,本发明的一个实施方式的发光元件1及发光元件3在发光层130中包含TADF材料。因此,在发光元件1及发光元件3中能够通过反系间窜越将三重激子转换为单重激子,因此可以实现高发光效率。

[0325] <时间分辨发光测定>

接着,进行发光元件1、发光元件3、比较发光元件2及比较发光元件4的时间分辨发光测定。

[0326] 在测定中,使用皮秒荧光寿命测定系统(日本滨松光子学公司制造)。为了测定发光元件中的荧光发光的寿命,对发光元件施加矩形脉冲电压,并且使用条纹相机对在电压下降后衰减的发光进行时间分辨测定。以10Hz的频率施加脉冲电压,并且通过将反复测定的数据累计起来获得S/N比高的数据。另外,以如下条件进行测定:在室温(300K)下,以发光元件的亮度为1000cd/m²附近的方式施加3V至4V左右的脉冲电压,施加脉冲时间宽度为100μsec,负偏差电压为-5V(不驱动元件时),测定时间为20μsec。图17示出测定结果。注意,在图17中,纵轴表示以持续注入载流子的状态(施加脉冲电压时)下的发光强度归一化的强度。横轴表示脉冲电压下降后的经过时间。

[0327] 如图17所示,发光元件1及发光元件3的发光的衰减时速度比较发光元件2及比较发光元件4快。这表示,在发光元件1及发光元件3中,激发能迅速地转换为发光,因此,在发光层中,即使处于激子密度高的状态(流过多量的电流的状态)也可以高效地提取发光。因此,如图13及图15所示,发光元件1及发光元件3的衰减(roll-off)较少。此外,关于高亮度区域的15000cd/m²附近的外部量子效率,发光元件1为8.0%,比较发光元件2为7.3%,发光元件3为4.8%,比较发光元件4为4.2%。换言之,发光元件1的效率高于比较发光元件2,发光元件3的效率高于比较发光元件4。如此,衰减少是本发明的一个实施方式的发光元件的特征之一。

[0328] <CV测定结果>

接着,利用循环伏安法(CV)测定对用于上述发光元件的发光层的材料的电化学特性(氧化反应特性及还原反应特性)进行测定。在测定中,使用电化学分析仪(BAS株式会社(BAS Inc.)制造,ALS型号600A或600C),并且对将各材料溶解于N,N-二甲基甲酰胺(简称:DMF)而成的溶液进行测定。在测定中,在适当的范围内改变工作电极相对于参考电极的电位,来获得氧化峰值电位以及还原峰值电位。另外,因为参考电极的氧化还原电位估计为-4.94eV,所以从该数值和所得到的峰值电位算出各化合物的HOMO能级及LUMO能级。

[0329] 通过CV测定算出的Ir(ppz)₃的HOMO能级为-5.39eV,LUMO能级为-1.77eV。4PCCzBfpm的HOMO能级为-5.70eV,LUMO能级为-2.84eV。4PCCzPBfpm的HOMO能级为-5.64eV,LUMO能级为-3.01eV。

[0330] 如上所述,4PCCzBfpm及4PCCzPBfpm的LUMO能级低于Ir(ppz)₃的LUMO能级,Ir(ppz)₃的HOMO能级高于4PCCzBfpm及4PCCzPBfpm的HOMO能级。因此,如发光元件1及发光元件3,在发光层中使用该化合物时,从一对电极注入的载流子的电子及空穴高效地注入到4PCCzBfpm或4PCCzPBfpm及Ir(ppz)₃,4PCCzBfpm及4PCCzPBfpm可以与Ir(ppz)₃形成激基复合物。因此,发光元件1及发光元件3说是利用ExEF的发光元件。

[0331] 由4PCCzBfpm和Ir(ppz)₃形成的激基复合物的LUMO能级在于4PCCzBfpm,HOMO能级在于Ir(ppz)₃。此外,4PCCzBfpm的LUMO能级和Ir(ppz)₃的HOMO能级的能量差为2.55eV。该值与从图16所示的比较发光元件2的发射光谱的峰值波长算出的发光能量(2.42eV)大致一致。由此可知,比较发光元件2的发射光谱相当于基于由4PCCzBfpm及Ir(ppz)₃形成的激基复合物的发光。注意,激基复合物的S1能级和T1能级的差异小,由此可以将该发光能量看作激基复合物的S1能级及T1能级的能量(2.42eV)。

[0332] 同样地,由4PCCzPBfpm和Ir(ppz)₃形成的激基复合物的LUMO能级在于4PCCzPBfpm,HOMO能级在于Ir(ppz)₃。此外,4PCCzPBfpm的LUMO能级和Ir(ppz)₃的HOMO能级的能量差为2.38eV。该值与从图16所示的比较发光元件4的发射光谱的峰值波长算出的发光能量(2.30eV)大致一致。由此可知,比较发光元件4的发射光谱相当于基于由4PCCzPBfpm及Ir(ppz)₃形成的激基复合物。注意,激基复合物的S1能级和T1能级的差异小,由此可以将该发光能量看作激基复合物的S1能级及T1能级的能量(2.30eV)。

[0333] <激基复合物的发射光谱与客体材料的吸收光谱的关系>

图18示出测定香豆素545T的甲苯溶液中的吸收光谱的结果以及比较发光元件2及比较发光元件4的激基复合物的发射光谱。使用紫外可见分光光度计(日本分光株式会社制造,V550型)在室温(保持为23℃的气氛)下测定了吸收光谱。

[0334] 如图18所示,香豆素545T的吸收光谱与比较发光元件2及比较发光元件4的激基复合物的发射光谱部分地重叠。因此,从由4PCCzBfpm和Ir(ppz)₃形成的激基复合物及由4PCCzPBfpm和Ir(ppz)₃形成的激基复合物将激发能高效地供应到荧光化合物香豆素545T。由此,如具有图16所示的电致发射光谱的发光元件1及发光元件3那样,可以提供发射其峰值波长比激基复合物的电致发射光谱短的光的发光元件。

[0335] <T1能级的测定>

接着,求出4PCCzBfpm及4PCCzPBfpm的T1能级。后面说明测定方法。其结果是,4PCCzBfpm的T1能级为2.58eV,4PCCzPBfpm的T1能级为2.46eV。

[0336] 为了推测Ir(ppz)₃的T1能级,测定吸收光谱及发射光谱。准备溶解有Ir(ppz)₃的二氯甲烷溶液,使用石英皿测定吸收光谱。利用紫外可见分光光度计(日本分光株式会社制造的V550型)测定吸收光谱。从所测定出的样品的光谱减去石英皿及溶剂的吸收光谱。上述测定在室温(保持为23℃的气氛)下进行。

[0337] 从上述吸收光谱的数据求出吸收端并估计出假设直接跃迁的跃迁能量,其结果是,Ir(ppz)₃的跃迁能量估计为3.27eV。因为Ir(ppz)₃为磷光化合物,所以最低能量一侧的吸收端是基于三重激发态的跃迁的吸收带。由此,从该吸收端计算出的Ir(ppz)₃的T1能级为3.27eV。

[0338] 从上述测定结果可知,4PCCzBfpm的T1能级(2.58eV)及4PCCzPBfpm的T1能级(2.46eV)比Ir(ppz)₃的T1能级(3.27eV)低,4PCCzBfpm的T1能级(2.58eV)及4PCCzPBfpm的T1能级(2.46eV)比由4PCCzBfpm和Ir(ppz)₃形成的激基复合物的T1能级(2.42eV)及由4PCCzPBfpm和Ir(ppz)₃形成的激基复合物的T1能级(2.30eV)高。因此,由4PCCzBfpm和Ir(ppz)₃形成的激基复合物的三重激发能不因4PCCzBfpm或Ir(ppz)₃失活,由4PCCzPBfpm和Ir(ppz)₃形成的激基复合物的三重激发能不因4PCCzPBfpm或Ir(ppz)₃失活。由此,该激基复合物的三重激发能可以被转换为发光,也可以经反系间窜越被转换为单重激发能,或者也可以被转移到荧光化合物。

[0339] 虽然在室温下测定了Ir(ppz)₃的发射光谱,但是观察不到Ir(ppz)₃的发光。非专利文献1揭露Ir(ppz)₃在室温下的发光量子产率低于1%。由此可知,Ir(ppz)₃是在室温下不发光的材料。也就是说,即使在使用发光量子产率低于1%的化合物的情况下也可以得到发光效率高的发光元件。

[0340] <主体材料的过渡荧光特性>

这里,为了确认在发光元件1及发光元件3中分别使用的4PCCzBfpm及4PCCzPBfpm是否是TADF材料,进行利用时间分辨发光测定的过渡荧光特性的测定。

[0341] 对在石英衬底上以双[2-(二苯基磷氧)苯基]醚(简称:DPEPO)与4PCCzPBfpm的重量比(DPEPO:4PCCzPBfpm)为0.8:0.2且厚度为50nm的方式进行共蒸镀而成的薄膜样品、以及以DPEPO与4PCCzBfpm的重量比(DPEPO:4PCCzBfpm)为0.8:0.2且厚度为50nm的方式进行共蒸镀而成的薄膜样品进行时间分辨发光测定。

[0342] 在测定中,使用皮秒荧光寿命测定系统(日本滨松光子学公司制造)。为了测定薄膜的荧光发光的寿命,对薄膜照射脉冲激光,并且使用条纹相机对在照射激光之后衰减的发光进行时间分辨测定。作为脉冲激光使用波长为337nm的氮气体激光,以10Hz的频率对薄膜照射500ps的脉冲激光,并且通过将反复测定的数据累计起来获得S/N比例高的数据。注意,测定在室温(保持为23℃的气氛)下进行。

[0343] 图19A和图19B示出通过测定得到的4PCCzBfpm的过渡荧光特性。图19A是发光寿命短的发光成分的测定结果,图19B是发光寿命长的发光成分的测定结果。在附图中并不示出4PCCzPBfpm的过渡荧光特性,与4PCCzBfpm同样地对4PCCzPBfpm进行测定并进行如下计算。

[0344] 使用下述算式4对图19A和图19B所示的衰减曲线进行拟合。

[0345] [算式4]

$$L = \sum_{n=1} A_n \exp\left(-\frac{t}{a_n}\right) \cdots (4)$$

[0346] 在算式4中,L表示归一化的发光强度,t表示经过时间。从衰减曲线的拟合结果可知,4PCCzBfpm及4PCCzPBfpm的薄膜样品所发射的光包含具有不同荧光寿命的多种发光成分。可知4PCCzBfpm的薄膜样品的发光成分至少包含荧光寿命为11.7ns的瞬时荧光成分、217μs的寿命最长的迟延荧光成分,4PCCzPBfpm的薄膜样品的发光成分至少包含11.0ns的瞬时荧光成分、301μs的寿命最长的迟延荧光成分。就是说,4PCCzBfpm及4PCCzPBfpm是在室温下呈现延迟荧光的热活化延迟荧光材料。

[0347] <S1能级及T1能级的测定>

为了高效地产生反系间窜越呈现热活化延迟荧光,S1能级与T1能级的能量差优选大于0eV且为0.3eV以下,更优选大于0eV且为0.2eV以下。下面,进行用来测量出4PCCzBfpm及4PCCzPBfpm的S1能级及T1能级的计算。

[0348] 为了算出S1能级及T1能级,测定4PCCzBfpm及4PCCzPBfpm的发射光谱。图20示出4PCCzBfpm的发射光谱的测定结果,图21示出4PCCzPBfpm的发射光谱的测定结果。

[0349] 在该发射光谱的测定中,使用显微PL装置LabRAM HR-PL(由日本株式会社堀场制作所制造),测定温度为10K,作为激发光使用He-Cd激光(325nm),作为检测器使用CCD检测器。在石英衬底上形成50nm厚的用来测定的薄膜,并且氮气氛中对该石英衬底的蒸镀面贴合其他石英衬底,将其用于测定。

[0350] 此外,在该发射光谱的测定中,除了一般的发射光谱的测定以外,还进行了着眼于发光寿命长的发光的时间分辨发射光谱的测定。由于这两个发射光谱的测定在低温(10K)下进行,所以在一般的发射光谱的测定中,除了作为主要发光成分的荧光以外,还观察到磷光。另外,在着眼于发光寿命长的发光的时间分辨发射光谱的测定中,主要观察到磷光。

[0351] 由上述测定的发射光谱的结果可知,4PCCzBfpm的发射光谱的荧光成分及磷光成分的最短波长一侧的峰值(包括肩峰)的波长分别为455nm及480nm。此外,4PCCzPBfpm的发射光谱的荧光成分及磷光成分的最短波长一侧的峰值(包括肩峰)的波长分别为480nm及505nm。

[0352] 因此,从上述峰值(包括肩峰)的波长算出的4PCCzBfpm的S1能级为2.72eV,T1能级为2.58eV,S1能级与T1能级的能量差为0.14eV。此外,4PCCzPBfpm的S1能级为2.58eV,T1能级为2.46eV,S1能级与T1能级的能量差为0.12eV。

[0353] 由上述测定的发射光谱的结果可知,4PCCzBfpm的发射光谱的荧光成分及磷光成分的短波长一侧的上升的波长分别为435nm及464nm。4PCCzPBfpm的发射光谱的荧光成分及磷光成分的短波长一侧的上升的波长分别为458nm及491nm。此外,作为发射光谱的短波长一侧的上升的波长,采用在该光谱的切线的倾斜度具有极大值的波长上的切线与横轴的交点的波长。

[0354] 如上所述地从上升的波长算出的4PCCzBfpm的S1能级为2.85eV,T1能级为2.67eV,S1能级与T1能级的能量差为0.18eV。4PCCzPBfpm的S1能级为2.71eV,T1能级为2.53eV,S1能级与T1能级的能量差为0.18eV。

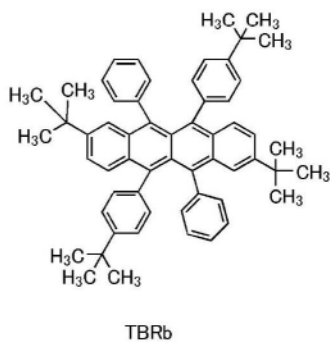
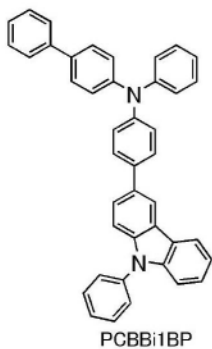
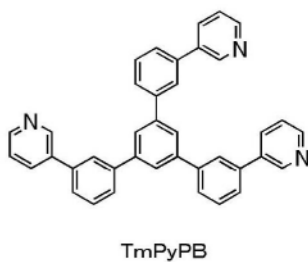
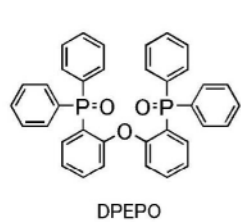
[0355] 如上所述,从发射光谱的最短波长一侧的峰值(包括肩峰)的波长或短波长一侧的上升的波长算出的4PCCzPBfpm及4PCCzBfpm的S1能级与T1能级的能量差都极小,即大于0eV且为0.2eV以下。由此,4PCCzPBfpm及4PCCzBfpm具有通过反系间窜越将三重激发能转换为单重激发能且呈现热活化延迟荧光的功能。

[0356] <发光元件的可靠性>

图22示出发光元件1、比较发光元件2、发光元件3、比较发光元件4及比较发光元件5的恒流为0.5mA时的驱动测试的结果。从图22可知,发光元件1的可靠性高于比较发光元件2,发光元件3的可靠性高于比较发光元件4。发光元件1及比较发光元件2的差异与发光元件3及比较发光元件4的差异是荧光化合物的有无。如上所述,在发光元件1及发光元件3中可以得到来源于荧光化合物的发光,且在比较发光元件2及比较发光元件4中可以得到来源于激基复合物的发光。因此,可知如本发明的一个实施方式的发光元件那样从荧光化合物得到发光时可靠性得到提高。此外,可知发光元件1及发光元件3的可靠性高于比较发光元件5。通过使用具有TADF性的主体材料,可以得到高可靠性的发光元件。

[实施例2]

[0357] 在本实施例中说明本发明的一个实施方式的发光元件及比较发光元件的制造例子。在本实施例中制造的各发光元件的结构与图1A同样。表3示出元件结构的详细内容。下面示出所使用的化合物的结构及简称。其他化合物的结构及简称可以参照实施例1及上述实施方式。



[表3]

层	符号	厚度 (nm)	材料	重量比
---	----	------------	----	-----

发光 元件 6	电极	102	200	Al	—
	电子注入层	119	1	LiF	—
	电子传输层	118(2)	10	NBphen	—
		118(1)	20	4,6mCzP2Pm	—
	发光层	130	40	4PCCzBfpm:GD270:TBRb	0.8:0.2:0.01
	空穴传输层	112	20	PCBBi1BP	—
	空穴注入层	111	45	DBT3P-II: MoO ₃	1:0.5
	阳极	101	70	ITSO	—
比较 发光 元件 7	电极	102	200	Al	—
	电子注入层	119	1	LiF	—
	电子传输层	118(2)	10	NBphen	—
		118(1)	20	4,6mCzP2Pm	—
	发光层	130	40	4PCCzBfpm:GD270	0.8:0.2
	空穴传输层	112	20	PCBBi1BP	—
	空穴注入层	111	45	DBT3P-II: MoO ₃	1:0.5
	阳极	101	70	ITSO	—
比较 发光 元件 8	电极	102	200	Al	—
	电子注入层	119	1	LiF	—
	电子传输层	118(2)	15	NBphen	—
		118(1)	10	BCP	—

	发光层	130	30	CBP:GD270:TBRb	0.8:0.2:0.01
	空穴传输层	112	20	mCzFLP	—
	空穴注入层	111	45	DBT3P-II: MoO ₃	1:0.5
	阳极	101	70	ITSO	—
比较 发光 元件 9	电极	102	200	Al	—
	电子注入层	119	1	LiF	—
	电子 传输层	118(2)	20	TmPyPB	—
		118(1)	5	DPEPO	—
	发光层	130	30	DPEPO:4PCCzBfpm:TBRb	0.8:0.2
	空穴传输层	112	20	mCzFLP	—
	空穴注入层	111	45	DBT3P-II: MoO ₃	1:0.5
	阳极	101	70	ITSO	—

[0360] <发光元件的制造>

下面示出在本实施例中制造的发光元件的制造方法。

[0361] 《发光元件6的制造》

作为电极101,在玻璃衬底上形成厚度为70nm的ITSO膜。电极101的电极面积为4mm² (2mm×2mm)。

[0362] 接着,作为空穴注入层111,在电极101上将DBT3P-II与氧化钼(MoO₃)以重量比(DBT3P-II:MoO₃)为1:0.5且厚度为45nm的方式共蒸镀。

[0363] 接着,作为空穴传输层112,在空穴注入层111上以厚度为20nm的方式蒸镀PCBBi1BP。

[0364] 接着,作为发光层130,在空穴传输层112上将4PCCzBfpm、GD270(吉林奥来德光电材料股份有限公司制造)、2,8-二-叔丁基-5,11-双(4-叔丁苯基)-6,12-二苯基并四苯(简称:TBRb)以重量比(4PCCzBfpm:GD270:TBRb)为0.8:0.2:0.01且厚度为40nm的方式共蒸镀。在发光层130中,GD270为磷光化合物,TBRb为荧光化合物。

[0365] 接着,作为电子传输层118,在发光层130上依次以厚度为20nm的方式蒸镀4,6mCzP2Pm并且以厚度为10nm的方式蒸镀NBPhen。接着,作为电子注入层119,在电子传输层118上以厚度为1nm的方式蒸镀LiF。

[0366] 接着,作为电极102,在电子注入层119上蒸镀厚度为200nm的铝(Al)。

[0367] 接着,在氮气氛的手套箱中使用有机EL用密封剂将密封用玻璃衬底固定于形成有有机材料的玻璃衬底上,由此密封发光元件6。具体而言,将密封剂涂敷于形成在玻璃衬底上的有机材料的周围,贴合该玻璃衬底和密封用玻璃衬底,以 $6\text{J}/\text{cm}^2$ 照射波长为365nm的紫外光,并且以 80°C 进行1小时的加热处理。通过上述工序得到发光元件6。

[0368] 《比较发光元件7的制造》

比较发光元件7的与上述发光元件6的不同之处仅在于发光层130的形成工序,而其他工序都与发光元件6采用同样的制造方法。

[0369] 作为比较发光元件7的发光层130,将4PCCzBfpm和GD270以重量比(4PCCzBfpm:GD270)为0.8:0.2且厚度为40nm的方式共蒸镀。与发光元件6的发光层130不同,在比较发光元件7的发光层130中不包含荧光化合物TBRb。

[0370] 《比较发光元件8的制造》

作为电极101,在玻璃衬底上形成厚度为70nm的ITO膜。电极101的电极面积为 4mm^2 ($2\text{mm}\times 2\text{mm}$)。

[0371] 作为空穴注入层111,在电极101上将DBT3P-II与氧化钼(MoO_3)以重量比(DBT3P-II: MoO_3)为1:0.5且厚度为45nm的方式共蒸镀。

[0372] 接着,作为空穴传输层112,在空穴注入层111上以厚度为20nm的方式蒸镀mCzFLP。

[0373] 接着,作为发光层130,在空穴传输层112上将CBP、GD270、TBRb以重量比(CBP:GD270:TBRb)为0.8:0.2:0.01的方式且厚度为30nm的方式共蒸镀。发光元件6与比较发光元件8的发光层130的不同之处在于主体材料。发光元件6使用TADF材料而制造,比较发光元件8使用不是TADF材料的CBP而制造。

[0374] 接着,作为电子传输层118,在发光层130上依次以厚度为10nm的方式蒸镀浴铜灵(简称:BCP)并且以厚度为15nm的方式蒸镀NBPhen。接着,作为电子注入层119,在电子传输层118上以厚度为1nm的方式蒸镀LiF。

[0375] 接着,作为电极102,在电子注入层119上蒸镀厚度为200nm的铝(Al)。

[0376] 接着,在氮气氛的手套箱中使用有机EL用密封剂将密封用玻璃衬底固定于形成有有机材料的玻璃衬底上,由此密封比较发光元件8。具体而言,将密封剂涂敷于形成在玻璃衬底上的有机材料的周围,贴合该玻璃衬底和密封用玻璃衬底,以 $6\text{J}/\text{cm}^2$ 照射波长为365nm的紫外光,并且以 80°C 进行1小时的加热处理。通过上述工序得到比较发光元件8。

[0377] 《比较发光元件9的制造》

比较发光元件9与上述比较发光元件8的不同之处仅在于发光层130及电子传输层118的形成过程,而其他工序都与比较发光元件8采用同样的制造方法。

[0378] 作为比较发光元件9的发光层130,将双[2-(二苯基磷氧)苯基]醚(简称:DPEPO)、4PCCzBfpm、TBRb以重量比(DPEPO:4PCCzBfpm:TBRb)为0.8:0.2:0.01且厚度为30nm的方式共蒸镀。与发光元件6的发光层130不同,在比较发光元件9的发光层130中不包含磷光化合物。

[0379] 接着,作为电子传输层118,在发光层130上以5nm的厚度蒸镀DPEPO,并且以20nm的厚度蒸镀1,3,5-三[3-(3-吡啶)苯基]苯(简称:TmPyPB)。

[0380] <发光元件的特性>

接着,测定上述制造的发光元件6及比较发光元件7至比较发光元件9的特性。注意,测定方法与实施例1相同。

[0381] 图23示出发光元件6及比较发光元件7至比较发光元件9的电流效率-亮度特性,图24示出电流-电压特性,图25示出外部量子效率-亮度特性。图26示出以 $2.5\text{mA}/\text{cm}^2$ 的电流密度使电流流过发光元件6及比较发光元件7至比较发光元件9时的电致发射光谱。另外,各发光元件的测定在室温(保持为 23°C 的气氛)下进行。

[0382] 另外,表4示出 $1000\text{cd}/\text{m}^2$ 附近的发光元件6及比较发光元件7至比较发光元件9的元件特性。

[0383] [表4]

	电压 (V)	电流密度 (mA/cm^2)	CIE 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 6	2.90	1.61	(0.468, 0.526)	1182	73.4	79.6	22.5
比较 发光 元件 7	2.90	1.83	(0.338, 0.635)	1143	62.5	67.7	16.9
比较 发光 元件 8	4.40	2.31	(0.446, 0.547)	1218	52.7	37.6	15.4
比较 发光 元件 9	6.40	7.25	(0.423, 0.507)	1057	14.6	7.2	4.5

[0384] 如图26所示,发光元件6、比较发光元件8及比较发光元件9的发射光谱的峰值波长分别为 565nm 、 562nm 、 561nm ,半峰全宽分别为 72nm 、 67nm 、 69nm 左右。这意味着发光元件6、比较发光元件8及比较发光元件9发射黄色光。因此,发光元件6、比较发光元件8及比较发光元件9所发射的光来源于荧光化合物TBRb。此外,比较发光元件7的发射光谱的峰值波长为 528nm ,半峰全宽为 76nm 。这意味着比较发光元件7发射绿色光。因此,比较发光元件7所发射的光来源于GD270。因此,本发明的一个实施方式的发光元件6的发射光谱的峰值波长的半峰全宽小于比较发光元件7,发光元件6可以发射颜色纯度比较发光元件7高的光。因此,本发明的一个实施方式的发光元件适合用于显示装置。

[0385] 如图23及图25及表4所示,虽然发光元件6是荧光发光元件,但是其外部量子效率高于作为荧光发光元件的外部量子效率的最大值的 6.25% 。这是因为在根据本发明的一个实施方式的发光元件6中除了单重激子以外还可以经过磷光化合物GD270将三重激子贡献于荧光发光。加上,如上所述,包含在发光元件6中的4PCCzBfpm为TADF材料。因此,可以通过由于TADF材料产生的反系间窜越将三重激子贡献于荧光发光,所以可以提高发光效率。

[0386] 发光元件6的发光效率高于比较发光元件8。如上所述,在比较发光元件8的发光层130中使用不是TADF材料的CBP。因此,比较发光元件8不具有通过由于TADF材料产生的反系间窜越将三重激子转换为单重激子的功能。另一方面,本发明的一个实施方式的发光元件6在发光层130中包含TADF材料。因此,在发光元件6中能够通过由于TADF材料产生的反系间窜越将三重激子转换为单重激子,可以实现高于比较发光元件8的发光效率。

[0387] 发光元件6的发光效率高于比较发光元件9。如上所述,在比较发光元件9的发光层130中包含TADF材料,而不包含磷光化合物。因此,比较发光元件9不能通过磷光化合物将三重激子贡献于荧光发光。另一方面,本发明的一个实施方式的发光元件6在发光层130中除了TADF材料以外还包含磷光化合物。因此,在发光元件6中除了通过由于TADF材料产生的反系间窜越的高效率化效果以外还可以通过磷光化合物将三重激子贡献于荧光发光,可以实现高于比较发光元件9的发光效率。

[0388] <时间分辨发光测定>

接着,进行发光元件6及比较发光元件7的时间分辨发光测定。图27示出其结果。测定方法与实施例1所示的方法相同。

[0389] 如图27所示,发光元件6的发光的衰减速度比比较发光元件7快。这表示,在发光元件6中,激发能迅速地转换为发光,因此,在发光层中,即使处于激子密度高的状态(流过多量的电流的状态)也可以高效地提取发光。因此,如图23及图25所示,发光元件6的衰减较少。发光元件6的发光效率高于比较发光元件7。发光元件6的发光层130具有对比较发光元件7的发光层添加荧光化合物TBRb的结构。从图27可知通过添加荧光化合物,可以提高发光的衰减速度。因此,激子的失活得到抑制,发光元件6与比较发光元件7相比发光效率得到提高。

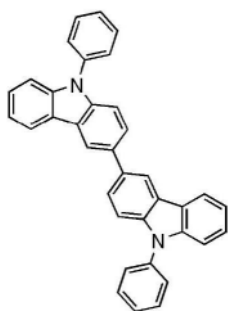
[0390] <发光元件的可靠性>

图28示出发光元件6、比较发光元件7及比较发光元件8的恒流为2.0mA时的驱动测试的结果。从图28可知,发光元件6的可靠性高于比较发光元件7。发光元件6与比较发光元件7的差异是荧光化合物的有无。如上所述,在发光元件6中得到来源于荧光化合物的发光,在比较发光元件7中得到来源于磷光化合物的发光。因此,可知如本发明的一个实施方式的发光元件那样从荧光化合物得到发光时可靠性得到提高。此外,可知发光元件6的可靠性高于比较发光元件8。通过使用具有TADF性的主体材料,可以得到高可靠性的发光元件。

[实施例3]

[0391] 在本实施例中说明本发明的一个实施方式的发光元件及比较发光元件的制造例子。在本实施例中制造的各发光元件的结构与图1A同样。表5示出元件结构的详细内容。下面示出所使用的化合物的结构及简称。其他化合物的结构及简称可以参照上述实施例及实施方式。

[0392]



PCCP

[0393] [表5]

	层	符号	厚度 (nm)	材料	重量比
发 光 元 件 10	电极	102	200	Al	—
	电子注入层	119	1	LiF	—
	电子传输层	118(2)	10	NBphen	—
		118(1)	20	PCCzPTzn	—
	发光层	130	40	PCCzPTzn:GD270:TBRb	0.8:0.2:0.01
	空穴传输层	112	20	PCBBi1BP	—
	空穴注入层	111	45	DBT3P-II: MoO ₃	1:0.5
	阳极	101	70	ITO	—
比 较 发 光 元 件	电极	102	200	Al	—
	电子注入层	119	1	LiF	—
	电子传输层	118(2)	10	NBphen	—
		118(1)	20	PCCzPTzn	—
	发光层	130	40	PCCzPTzn:GD270	0.8:0.2

11	空穴传输层	112	20	PCBBi1BP	—
	空穴注入层	111	45	DBT3P-II: MoO ₃	1:0.5
	阳极	101	70	ITS0	—
比较发光元件12	电极	102	200	Al	—
	电子注入层	119	1	LiF	—
	电子传输层	118(2)	10	NBphen	—
		118(1)	20	PCCzPTzn	—
	发光层	130	30	PCCzPTzn:TBRb	1:0.01
	空穴传输层	112	20	PCCP	—
	空穴注入层	111	45	DBT3P-II: MoO ₃	1:0.5
	阳极	101	70	ITS0	—

[0394] <发光元件的制造>

下面示出在本实施例中制造的发光元件的制造方法。

[0395] 《发光元件10的制造》

作为电极101,在玻璃衬底上形成厚度为70nm的ITS0膜。电极101的电极面积为 4mm^2 ($2\text{mm} \times 2\text{mm}$)。

[0396] 作为空穴注入层111,在电极101上将DBT3P-II与氧化钼(MoO₃)以重量比(DBT3P-II:MoO₃)为1:0.5且厚度为45nm的方式共蒸镀。

[0397] 接着,作为空穴传输层112在空穴注入层111上以厚度为20nm的方式蒸镀PCBBi1BP。

[0398] 接着,作为发光层130,在空穴传输层112上将PCCzPTzn、GD270(吉林奥来德光电材料股份有限公司制造)及TBRb以重量比(PCCzPTzn:GD270:TBRb)为0.8:0.2:0.01且厚度为40nm的方式共蒸镀。在发光层130中,GD270为磷光化合物,TBRb为荧光化合物。

[0399] 接着,作为电子传输层118,在发光层130上依次以厚度为20nm的方式蒸镀PCCzPTzn并且以厚度为10nm的方式蒸镀NBPhen。接着,作为电子注入层119,在电子传输层118上以厚度为1nm的方式蒸镀LiF。

[0400] 接着,作为电极102,在电子注入层119上蒸镀厚度为200nm的铝(Al)。

[0401] 接着,在氮气氛的手套箱中使用有机EL用密封剂将密封用玻璃衬底固定于形成有

有机材料的玻璃衬底上,由此密封发光元件10。具体而言,将密封剂涂敷于形成在玻璃衬底上的有机材料的周围,贴合该玻璃衬底和密封用玻璃衬底,以 $6\text{J}/\text{cm}^2$ 照射波长为365nm的紫外光,并且以 80°C 进行1小时的加热处理。通过上述工序得到发光元件10。

[0402] 《比较发光元件11的制造》

比较发光元件11的与上述发光元件10的不同之处仅在于发光层130的形成工序,而其他工序都与发光元件10采用同样的制造方法。

[0403] 作为比较发光元件11的发光层130,将PCCzPTzn和GD270以重量比(PCCzPTzn:GD270)为0.8:0.2且厚度为40nm的方式共蒸镀。与发光元件10的发光层130不同,在比较发光元件11的发光层130中不包含荧光化合物的TBRb。

[0404] 《比较发光元件12的制造》

比较发光元件12的与上述发光元件10的不同之处仅在于空穴传输层112及发光层130的形成工序,而其他工序都与发光元件10采用同样的制造方法。

[0405] 作为比较发光元件12的空穴传输层112,在空穴注入层111上以厚度为20nm的方式蒸镀PCCP。

[0406] 接着,作为发光层130,将PCCzPTzn和TBRb以重量比(PCCzPTzn:TBRb)为1:0.01且厚度为30nm的方式共蒸镀。与发光元件10的发光层130不同,在比较发光元件12的发光层130中不包含磷光化合物GD270。

[0407] <发光元件的特性>

接着,测定上述制造的发光元件10、比较发光元件11、比较发光元件12及上述比较发光元件8的特性。注意,测定方法与实施例1相同。

[0408] 图29示出发光元件10、比较发光元件11、比较发光元件12及比较发光元件8的电流效率-亮度特性,图30示出电流-电压特性,图31示出外部量子效率-亮度特性。此外,图32示出以 $2.5\text{mA}/\text{cm}^2$ 的电流密度使电流流过发光元件10、比较发光元件11、比较发光元件12及比较发光元件8时的电致发射光谱。另外,各发光元件的测定在室温(保持为 23°C 的气氛)下进行。

[0409] 表6示出 $1000\text{cd}/\text{m}^2$ 附近的发光元件10、比较发光元件11及比较发光元件12的元件特性。

[0410] [表6]

	电压 (V)	电流密度 (mA/cm ²)	CIE 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 10	2.40	0.73	(0.472, 0.523)	648	88.3	115.6	27.2
比较 发光 元件 11	2.50	1.43	(0.345, 0.631)	992	69.2	87.0	18.8
比较 发光 元件 12	2.70	3.37	(0.435, 0.536)	894	26.5	30.9	7.95

[0411] 如图32所示,发光元件10、比较发光元件8及比较发光元件12的发射光谱的峰值波长分别为566nm、562nm、560nm,半峰全宽分别为74nm、67nm、69nm左右。这意味着发光元件10、比较发光元件8及比较发光元件12发射黄色光。因此,发光元件10、比较发光元件8及比较发光元件12所发射的光来源于荧光化合物TBRb。此外,比较发光元件11的发射光谱的峰值波长为533nm,半峰全宽为78nm。这意味着比较发光元件11发射绿色光。因此,比较发光元件11所发射的光来源于GD270。因此,本发明的一个实施方式的发光元件10的发射光谱的峰值波长的半峰全宽小于比较发光元件11,发光元件10可以发射颜色纯度比较发光元件11高的光。因此,本发明的一个实施方式的发光元件适合用于显示装置。

[0412] 如图29、图31及表6所示,虽然发光元件10为荧光发光元件,但是其外部量子效率高干6.25%。这是因为在根据本发明的一个实施方式的发光元件10中除了单重激子以外还可以经过磷光化合物GD270将三重激子贡献于荧光发光。加上,如后面说明,包含在发光元件10中的PCCzPTzn为TADF材料。因此,可以通过由于TADF材料产生的反系间窜越将三重激子贡献于荧光发光,所以可以提高发光效率。

[0413] 发光元件10的发光效率高干比较发光元件8。如上所述,在比较发光元件8的发光层130中使用不是TADF材料的CBP。因此,比较发光元件8不具有通过由于TADF材料产生的反系间窜越将三重激子转换为单重激子的功能。另一方面,本发明的一个实施方式的发光元件10在发光层130中包含TADF材料。因此,在发光元件10中能够通过由于TADF材料产生的反系间窜越将三重激子转换为单重激子,可以实现高于比较发光元件8的发光效率。

[0414] 发光元件10的发光效率高干比较发光元件12。如上所述,在比较发光元件12的发光层130中包含TADF材料,而不包含磷光化合物。因此,比较发光元件12不能通过磷光化合物将三重激子贡献于荧光发光。另一方面,本发明的一个实施方式的发光元件10在发光层130中除了TADF材料以外还包含磷光化合物。因此,在发光元件10中除了通过由于TADF材料

产生的反系间窜越的高效率化效果以外还可以通过磷光化合物将三重激子贡献于荧光发光,可以实现高于比较发光元件12的发光效率。

[0415] <时间分辨发光测定>

接着,进行发光元件10及比较发光元件11的时间分辨发光测定。图33示出其结果。测定方法与上述实施例所示的方法相同。

[0416] 如图33所示,发光元件10的发光的衰减速度比较发光元件11快。这表示,在发光元件10中,激发能迅速地转换为发光,因此,在发光层中,即使处于激子密度高的状态(流过多量的电流的状态)也可以高效地提取发光。因此,如图29及图31所示,发光元件10的衰减较少。发光元件10的发光效率高于比较发光元件11。发光元件10的发光层130具有对比较发光元件11的发光层130添加荧光化合物TBRb的结构。从图33可知通过添加荧光化合物,可以提高发光的衰减速度。因此,激子的失活得到抑制,发光元件10与比较发光元件11相比发光效率得到提高。

[0417] <主体材料的过渡荧光特性>

这里,为了确认在发光元件10中使用的PCCzPTzn是否是TADF材料,进行利用时间分辨发光测定的过渡荧光特性的测定。时间分辨发光测定与实施例1所示的方法相同。此外,作为测定的样品使用在石英衬底上以厚度为50nm的方式蒸镀PCCzPTzn而成的薄膜。

[0418] 图34示出通过测量获得的PCCzPTzn的过渡荧光特性。

[0419] 使用算式4对图34所示的衰减曲线进行拟合。从拟合结果可知,PCCzPTzn的薄膜样品发射的光包含具有不同荧光寿命的多种发光成分。PCCzPTzn的薄膜样品的发光成分至少包含荧光寿命为15.0ns的瞬时荧光成分以及1.5 μ s的寿命最长的延迟荧光成分。换言之,PCCzPTzn是在室温下呈现延迟荧光的热活化延迟荧光材料。

[0420] <S1能级及T1能级的测定>

接着,为了算出PCCzPTzn的S1能级及T1能级,测定低温(10K)下的PCCzPTzn的发射光谱。测定方法与实施例1所示的方法相同。图35示出测定结果。

[0421] 从图35可知,PCCzPTzn的发射光谱的荧光成分及磷光成分的最短波长一侧的峰值(包括肩峰)的波长分别为472nm及491nm。

[0422] 因此,从上述峰值(包括肩峰)的波长算出的PCCzPTzn的S1能级为2.63eV,T1能级为2.53eV,S1能级与T1能级的能量差为0.10eV。

[0423] 从图35可知,PCCzPTzn的发射光谱的荧光成分及磷光成分的短波长一侧的上升的波长分别为450nm及477nm。此外,作为发射光谱的短波长一侧的上升的波长,采用在该光谱的切线的倾斜度具有极大值的波长上的切线与横轴的交点的波长。

[0424] 如上所述地从上升的波长算出的PCCzPTzn的S1能级为2.76eV,T1能级为2.60eV,S1能级与T1能级的能量差为0.16eV。

[0425] 如上所述,从发射光谱的最短波长一侧的峰值(包括肩峰)的波长及短波长一侧的上升的波长算出的PCCzPTzn的S1能级与T1能级的能量差都极小,即大于0eV且为0.2eV以下。由此,PCCzPTzn具有通过反系间窜越将三重激发能转换为单重激发能且呈现热活化延迟荧光的功能。

[0426] <发光元件的可靠性>

图36示出发光元件10、比较发光元件11、比较发光元件12及比较发光元件8的恒流

为2.0mA时的驱动测试的结果。从图36可知,发光元件10的可靠性高于比较发光元件11。如上所述,发光元件10在中得到来源于荧光化合物的发光,在比较发光元件11中得到来源于磷光化合物的发光。因此,可知如本发明的一个实施方式的发光元件那样从荧光化合物得到发光时可靠性得到提高。此外,可知发光元件10的可靠性高于比较发光元件12。如上所述,在发光元件10中能够通过TADF材料及磷光化合物将三重激发能移动到荧光化合物。另一方面,在比较发光元件12中只通过TADF材料将三重激发能移动到荧光化合物。因此,如本发明的一个实施方式的发光元件那样,当具有多个将三重激发能移动到荧光化合物的路径时发光元件的可靠性进一步良好。此外,可知发光元件10的可靠性高于比较发光元件8。通过使用具有TADF性的主体材料,可以得到高可靠性的发光元件。

[0427] 如上所述,本发明的一个实施方式可以提供一种发光效率高且可靠性良好的发光元件。另外,通过本发明的一个实施方式,可以提供一种驱动电压低且功耗低的发光元件。

[实施例4]

[0428] 在本实施例中说明本发明的一个实施方式的发光元件及比较发光元件的制造例子。在本实施例中制造的各发光元件的结构与图1A同样。表7示出元件结构的详细内容。所使用的化合物的结构及简称可以参照上述实施例及实施方式。

[0429] [表7]

	层	符号	厚度 (nm)	材料	重量比
发 光 元 件 13	电极	102	200	Al	—
	电子注入层	119	1	LiF	—
	电子传输层	118 (2)	10	NBphen	—
		118 (1)	20	mPCCzPTzn-02	—
	发光层	130	40	mPCCzPTzn-02:GD270:TBRb	0.8:0.2:0.01
	空穴传输层	112	20	mCzFLP	—
	空穴注入层	111	45	DBT3P-II: MoO ₃	1:0.5
	阳极	101	70	ITO	—
比	电极	102	200	Al	—

较 发 光 元 件 14	电子注入层	119	1	LiF	—
	电子传输层	118(2)	10	NBphen	—
		118(1)	20	mPCCzPTzn-02	—
	发光层	130	40	mPCCzPTzn-02:GD270	0.8:0.2
	空穴传输层	112	20	mCzFLP	—
	空穴注入层	111	45	DBT3P-II: MoO ₃	1:0.5
	阳极	101	70	ITS0	—
比 较 发 光 元 件 15	电极	102	200	Al	—
	电子注入层	119	1	LiF	—
	电子传输层	118(2)	10	NBphen	—
		118(1)	20	mPCCzPTzn-02	—
	发光层	130	30	mPCCzPTzn-02:TBRb	1:0.01
	空穴传输层	112	20	PCCP	—
	空穴注入层	111	45	DBT3P-II: MoO ₃	1:0.5
	阳极	101	70	ITS0	—

[0430] <发光元件的制造>

下面示出在本实施例中制造的发光元件的制造方法。

[0431] 《发光元件13的制造》

作为电极101,在玻璃衬底上形成厚度为70nm的ITS0膜。电极101的电极面积为 4mm^2 ($2\text{mm} \times 2\text{mm}$)。

[0432] 作为空穴注入层111,在电极101上将DBT3P-II与氧化钼(MoO₃)以重量比(DBT3P-II:MoO₃)为1:0.5且厚度为45nm的方式共蒸镀。

[0433] 接着,作为空穴传输层112在空穴注入层111上以厚度为20nm的方式蒸镀mCzFLP。

[0434] 接着,作为发光层130,在空穴传输层112上将mPCCzPTzn-02、GD270(吉林奥来德光电材料股份有限公司制造)及TBRb以重量比(mPCCzPTzn-02:GD270:TBRb)为0.8:0.2:0.01且厚度为40nm的方式共蒸镀。在发光层130中,GD270为磷光化合物,TBRb为荧光化合物。

[0435] 接着,作为电子传输层118,在发光层130上依次以厚度为20nm的方式蒸镀mPCCzPTzn-02并且以厚度为10nm的方式蒸镀NBPhen。接着,作为电子注入层119,在电子传输层118上以厚度为1nm的方式蒸镀LiF。

[0436] 接着,作为电极102,在电子注入层119上蒸镀厚度为200nm的铝(Al)。

[0437] 接着,在氮气氛的手套箱中使用有机EL用密封剂将密封用玻璃衬底固定于形成有有机材料的玻璃衬底上,由此密封发光元件13。具体而言,将密封剂涂敷于形成在玻璃衬底上的有机材料的周围,贴合该玻璃衬底和密封用玻璃衬底,以 $6\text{J}/\text{cm}^2$ 照射波长为365nm的紫外光,并且以 80°C 进行1小时的加热处理。通过上述工序得到发光元件13。

[0438] 《比较发光元件14的制造》

比较发光元件14的与上述发光元件13的不同之处仅在于发光层130的形成工序,而其他工序都与发光元件13采用同样的制造方法。

[0439] 作为比较发光元件14的发光层130,将mPCCzPTzn-02和GD270以重量比(mPCCzPTzn-02:GD270)为0.8:0.2且厚度为40nm的方式共蒸镀。与发光元件13的发光层130不同,在比较发光元件14的发光层130中不包含荧光化合物TBRb。

[0440] 《比较发光元件15的制造》

比较发光元件15的与上述发光元件13的不同之处仅在于空穴传输层112及发光层130的形成工序,而其他工序都与发光元件13采用同样的制造方法。

[0441] 作为比较发光元件15的空穴传输层112,在空穴注入层111上以厚度为20nm的方式蒸镀PCCP。

[0442] 接着,作为发光层130,将mPCCzPTzn-02和TBRb以重量比(mPCCzPTzn-02:TBRb)为1:0.01且厚度为30nm的方式共蒸镀。与发光元件13的发光层130不同,在比较发光元件15的发光层130中不包含磷光化合物的GD270。

[0443] <发光元件的特性>

接着,测定上述制造的发光元件13、比较发光元件14、比较发光元件15及上述比较发光元件8的特性。注意,测定方法与实施例1相同。

[0444] 图37示出发光元件13、比较发光元件14、比较发光元件15及上述比较发光元件8的电流效率-亮度特性,图38示出电流-电压特性,图39示出外部量子效率-亮度特性。此外,图40示出以 $2.5\text{mA}/\text{cm}^2$ 的电流密度使电流流过发光元件13、比较发光元件14、比较发光元件15及上述比较发光元件8时的电致发射光谱。另外,各发光元件的测定在室温(保持为 23°C 的气氛)下进行。

[0445] 表8示出 $1000\text{cd}/\text{m}^2$ 附近的发光元件13、比较发光元件14及比较发光元件15的元件特性。

[0446] [表8]

	电压 (V)	电流密度 (mA/cm ²)	CIE 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 13	3.20	1.10	(0.462, 0.532)	977	88.9	87.3	27.1
比较发 光元件 14	3.30	1.18	(0.339, 0.634)	983	83.6	79.6	22.6
比较发 光元件 15	2.90	5.91	(0.451, 0.534)	871	14.7	16.0	4.44

[0447] 如图40所示,发光元件13、比较发光元件8及比较发光元件15的发射光谱的峰值波长分别为564nm、562nm、562nm,半峰全宽分别为72nm、67nm、69nm左右。这意味着发光元件13、比较发光元件8及比较发光元件15发射黄色光。因此,发光元件13、比较发光元件8及比较发光元件15所发射的光来源于荧光化合物TBRb。此外,比较发光元件14的发射光谱的峰值波长为527nm,半峰全宽为73nm。这意味着比较发光元件14发射绿色光。因此,比较发光元件14所发射的光来源于GD270。因此,本发明的一个实施方式的发光元件13的发射光谱的峰值波长的半峰全宽小于比较发光元件14,发光元件13可以发射颜色纯度比较发光元件14高的光。因此,本发明的一个实施方式的发光元件适合用于显示装置。

[0448] 如图37、图39及表8所示,虽然发光元件13为荧光发光元件,但是其外部量子效率高于6.25%。这是因为在根据本发明的一个实施方式的发光元件13中除了单重激子以外还可以经过磷光化合物GD270将三重激子贡献于荧光发光。加上,如后面说明,包含在发光元件13中的mPCCzPTzn-02为TADF材料。因此,可以通过由于TADF材料产生的反系间窜越将三重激子贡献于荧光发光,所以可以提高发光效率。

[0449] 发光元件13的发光效率高于比较发光元件8。如上所述,在比较发光元件8的发光层130中使用不是TADF材料的CBP。因此,比较发光元件8不具有通过由于TADF材料产生的反系间窜越将三重激子转换为单重激子的功能。另一方面,本发明的一个实施方式的发光元件13在发光层130中包含TADF材料。因此,在发光元件13中能够通过由于TADF材料产生的反系间窜越将三重激子转换为单重激子,可以实现高于比较发光元件8的发光效率。

[0450] 发光元件13的发光效率高于比较发光元件15。如上所述,在比较发光元件15的发光层130中包含TADF材料,而不包含磷光化合物。因此,比较发光元件15不能通过磷光化合物将三重激子贡献于荧光发光。另一方面,本发明的一个实施方式的发光元件13在发光层130中除了TADF材料以外还包含磷光化合物。因此,可以通过磷光化合物将三重激子贡献于荧光发光,可以实现高于比较发光元件15的发光效率。

[0451] <时间分辨发光测定>

接着,为了确认mPCCzPTzn-02是否是TADF材料,进行时间分辨发光测定。图41示出其结果。测定方法与上述实施例所示的方法相同。此外,在测定中使用具有以下表9所示的

元件结构的发光元件16。

[0452] [表9]

	层	符号	厚度 (nm)	材料	重量比
发光 元件 16	电极	102	200	Al	—
	电子注 入层	119	1	LiF	—
	电子 传输层	118 (2)	10	NBphen	—
		118 (1)	20	mPCCzPTzn-02	—
	发光层	130	30	mPCCzPTzn-02	—
	空穴传 输层	112	20	PCCP	—
	空穴注 入层	111	30	DBT3P-II: MoO ₃	1:0.5
	阳极	101	70	ITO	—

[0453] 如图41所示,在发光元件16中观察到具有不同的荧光寿命的多种发光成分,具体而言,观察到发光寿命短的瞬时荧光成分以及发光寿命长的延迟荧光成分。因此,mPCCzPTzn-02是TADF材料。另一方面,从图41可知,发光成分整体(瞬时发光成分和延迟荧光成分)中延迟荧光成分所占的比率为10%左右。这意味着,在将三重激子转换为单重激子后,将单重激子转换为发光的比率估计为4%左右。因此,mPCCzPTzn-02具有TADF性,但其发光效率不高。但是,如上所述,可以从发光元件13得到非常高的外部量子效率,即超过27%。因此,用于本发明的一个实施方式的发光元件的TADF材料只要具有TADF性就可以具有低发光效率。

[0454] <S1能级及T1能级的测定>

接着,为了算出mPCCzPTzn-02的S1能级及T1能级,测定低温(10K)下的mPCCzPTzn-02的发射光谱。测定方法与实施例1所示的方法相同。图42示出测定结果。

[0455] 从图42可知,mPCCzPTzn-02的发射光谱的荧光成分及磷光成分的最短波长一侧的峰值(包括肩峰)的波长分别为471nm及496nm。

[0456] 因此,从上述峰值(包括肩峰)的波长算出的mPCCzPTzn-02的S1能级为2.63eV,T1能级为2.50eV,S1能级与T1能级的能量差为0.13eV。

[0457] 如上所述,从发射光谱的最短波长一侧的峰值(包括肩峰)的波长算出的mPCCzPTzn-02的S1能级与T1能级的能量差都极小,即大于0eV且为0.2eV以下。由此,mPCCzPTzn-02具有通过反系间窜越将三重激发能转换为单重激发能且呈现热活化延迟荧光的功能。

[0458] <发光元件的可靠性>

图43示出发光元件13、比较发光元件14、比较发光元件15及比较发光元件8的恒流为2.0mA时的驱动测试的结果。从图43可知,发光元件13的可靠性高于比较发光元件14。如上所述,在发光元件13中得到来源于荧光化合物的发光,在比较发光元件14中得到来源于磷光化合物的发光。因此,可知如本发明的一个实施方式的发光元件那样从荧光化合物得到发光时可靠性得到提高。此外,可知发光元件13的可靠性高于比较发光元件15。如上所述,在发光元件13中能够通过TADF材料及磷光化合物将三重激发能移动到荧光化合物。另一方面,在比较发光元件15中只通过TADF材料将三重激发能移动到荧光化合物。因此,如本发明的一个实施方式的发光元件那样,当具有多个将三重激发能移动到荧光化合物的路径时发光元件的可靠性进一步良好。此外,可知发光元件13的可靠性高于比较发光元件8。通过使用具有TADF性的主体材料,可以得到高可靠性的发光元件。

[0459] 如上所述,本发明的一个实施方式可以提供一种发光效率高且可靠性良好的发光元件。另外,通过本发明的一个实施方式,可以提供一种驱动电压低且功耗低的发光元件。

[实施例5]

[0460] 在本实施例中说明本发明的一个实施方式的发光元件及比较发光元件的制造例子。在本实施例中制造的各发光元件的结构与图1A同样。表10示出元件结构的详细内容。所使用的化合物的结构及简称可以参照上述实施例及实施方式。

[0461] [表10]

	层	符号	厚度 (nm)	材料	重量比
发 光 元 件 17	电极	102	200	Al	—
	电子注入层	119	1	LiF	—
	电子传输层	118(2)	10	NBphen	—
		118(1)	20	mPCCzPTzn-02	—
	发光层	130	40	mPCCzPTzn-02:PCCP:GD270:TBRb	0.5:0.5:0.1:0.01
	空穴传输层	112	20	mCzFLP	—
	空穴注入层	111	45	DBT3P-II: MoO ₃	1:0.5
	阳极	101	70	ITS0	—
比 较 发 光 元 件 18	电极	102	200	Al	—
	电子注入层	119	1	LiF	—
	电子传输层	118(2)	10	NBphen	—
		118(1)	20	mPCCzPTzn-02	—
	发光层	130	40	mPCCzPTzn-02:PCCP:GD270	0.5:0.5:0.1
	空穴传输层	112	20	mCzFLP	—
	空穴注入层	111	45	DBT3P-II: MoO ₃	1:0.5
	阳极	101	70	ITS0	—

[0462] <发光元件的制造>

下面示出在本实施例中制造的发光元件的制造方法。

[0463] 《发光元件17的制造》

作为电极101,在玻璃衬底上形成厚度为70nm的ITS0膜。电极101的电极面积为4mm² (2mm×2mm)。

[0464] 作为空穴注入层111,在电极101上将DBT3P-II与氧化钼(MoO₃)以重量比(DBT3P-

II:MoO₃) 为1:0.5且厚度为45nm的方式共蒸镀。

[0465] 接着,作为空穴传输层112在空穴注入层111上以厚度为20nm的方式蒸镀mCzFLP。

[0466] 接着,作为发光层130,在空穴传输层112上将mPCCzPTzn-02、PCCP、GD270及TBRb以重量比(mPCCzPTzn-02:PCCP:GD270:TBRb)为0.5:0.5:0.1:0.01且厚度为40nm的方式共蒸镀。在发光层130中,TBRb为荧光化合物。

[0467] 接着,作为电子传输层118,在发光层130上依次以厚度为20nm的方式蒸镀mPCCzPTzn-02并且以厚度为10nm的方式蒸镀NBPhen。接着,作为电子注入层119,在电子传输层118上以厚度为1nm的方式蒸镀LiF。

[0468] 接着,作为电极102,在电子注入层119上蒸镀厚度为200nm的铝(Al)。

[0469] 接着,在氮气氛的手套箱中使用有机EL用密封剂将密封用玻璃衬底固定于形成有有机材料的玻璃衬底上,由此密封发光元件17。具体而言,将密封剂涂敷于形成在玻璃衬底上的有机材料的周围,贴合该玻璃衬底和密封用玻璃衬底,以6J/cm²照射波长为365nm的紫外光,并且以80℃进行1小时的加热处理。通过上述工序得到发光元件17。

[0470] 《比较发光元件18的制造》

比较发光元件18的与上述发光元件17的不同之处仅在于发光层130的形成工序,而其他工序都与发光元件17采用同样的制造方法。

[0471] 作为比较发光元件18的发光层130,将mPCCzPTzn-02、PCCP和GD270以重量比(mPCCzPTzn-02:PCCP:GD270)为0.5:0.5:0.1且厚度为40nm的方式共蒸镀。与发光元件17的发光层130相比,在比较发光元件18的发光层130中不包含荧光化合物的TBRb。

[0472] <发光元件的特性>

接着,测定上述制造的发光元件17、比较发光元件18及发光元件13的特性。注意,测定方法与实施例1相同。

[0473] 图44示出发光元件17、比较发光元件18及发光元件13的电流效率-亮度特性,图45示出电流-电压特性,图46示出外部量子效率-亮度特性。此外,图47示出以2.5mA/cm²的电流密度使电流流过发光元件17、比较发光元件18及发光元件13时的电致发射光谱。另外,各发光元件的测定在室温(保持为23℃的气氛)下进行。

[0474] 表11示出1000cd/m²附近的发光元件17及比较发光元件18的元件特性。

[0475] [表11]

	电压 (V)	电流密度 (mA/cm ²)	CIE 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 17	3.60	1.12	(0.434, 0.557)	1123	100.5	87.7	29.2
比较 发光 元件 18	3.60	1.05	(0.318, 0.649)	949	90.8	79.3	24.5

[0476] 如图47所示,发光元件17及发光元件13的电致发射光谱的峰值波长分别为559nm、564nm,半峰全宽分别为71nm、72nm左右。这意味着发光元件17及发光元件13发射黄色光。因此,发光元件17及发光元件13所发射的光来源于荧光化合物TBRb。此外,比较发光元件18的电致发射光谱的峰值波长为524nm,半峰全宽为72nm。这意味着比较发光元件18发射绿色光。因此,比较发光元件18所发射的光来源于磷光化合物GD270。

[0477] 如图44、图46及表11所示,发光元件17、比较发光元件18及发光元件13具有非常高的发光效率(电流效率、功率效率及外部量子效率)。虽然发光元件17是荧光发光元件,但是外部量子效率非常高,即大大超过6.25%。这是因为除了来源于通过载流子(空穴及电子)的再结合生成的单重激子的发光以外还得到来源于三重激子的发光,这意味着激发能经过磷光化合物GD270移动到荧光化合物TBRb。加上,如上所述,包含在发光元件17中的mPCCzPTzn-02为TADF材料。因此,可以通过由于TADF材料产生的反系间窜越将三重激子贡献于荧光发光,所以可以提高发光效率。

[0478] <CV测定结果>

接着,对上述化合物的电化学特性(氧化反应特性及还原反应特性)进行循环伏安法(CV)测定来计算出上述化合物的HOMO能级及LUMO能级。测定方法与上述实施例1相同。

[0479] 根据CV测定算出:mPCCzPTzn-02的HOMO能级为-5.69eV,LUMO能级为-3.00eV,PCCP的HOMO能级为-5.63eV,LUMO能级为-1.96eV。

[0480] 因此,mPCCzPTzn-02的HOMO能级比PCCP高,而LUMO能级比PCCP低。由此,mPCCzPTzn-02和PCCP是在发光层中形成激基复合物的组合。

[0481] 根据从由mPCCzPTzn-02和PCCP形成的激基复合物的发射光谱的峰值波长算出的S1能级及T1能级都为2.45eV。在此,GD270的T1能级为2.44eV(从氯仿溶液的吸收端算出),激基复合物的激发能可以移动到GD270。

[0482] <激基复合物形成的调查>

为了调查是否由mPCCzPTzn-02和PCCP形成激基复合物,制造表12所示的发光元件19及上述发光元件16。此外,激基复合物形成的有无通过对mPCCzPTzn-02的发射光谱与mPCCzPTzn-02和PCCP的混合膜的发射光谱进行比较来调查。

[0483] [表12]

	层	符号	厚度 (nm)	材料	重量比
发 光 元 件 19	电极	102	200	Al	—
	电子注入层	119	1	LiF	—
	电子传输层	118(2)	10	NBphen	—
		118(1)	20	mPCCzPTzn-02	—
	发光层	130	30	mPCCzPTzn-02:PCCP	0.8:0.2
	空穴传输层	112	20	PCCP	—
	空穴注入层	111	30	DBT3P-II: MoO ₃	1:0.5
	阳极	101	70	ITO	—

[0484] 《EL光谱》

图48示出使 $2.5\text{mA}/\text{cm}^2$ 的电流流过发光元件16及发光元件19时得到的EL光谱。从图48可知,在发光元件16中得到来源于mPCCzPTzn-02的光。这里,来自发光元件19的光与来自发光元件16的光相比在更长的波长一侧具有峰值。从发光元件19的发射光谱的峰值波长算出的发光能量(2.45eV)大致与mPCCzPTzn-02的LUMO能级和PCCP的HOMO能级的差异(2.63eV)一致。因此,由mPCCzPTzn-02和PCCP形成激基复合物。

[0485] 《时间分辨荧光测定》

对发光元件16及发光元件19进行时间分辨荧光测定。图49示出其结果。从图49可知,发光元件19中的延迟荧光成分的比率大于发光元件16。此外,发光元件19包含其寿命比发光元件16长的发光成分。换言之,发光元件16与发光元件19的过渡响应特性不同。因此,由mPCCzPTzn-02和PCCP形成激基复合物。

[0486] 〈激基复合物的发射光谱与客体材料的吸收光谱的关系〉

图50示出测定TBRb的甲苯溶液的吸收光谱的结果以及比较发光元件18的发射光谱。测定与上述实施例相同。

[0487] 如图50所示,TBRb的吸收光谱和比较发光元件18的发射光谱部分地重叠。因此,能够从由mPCCzPTzn-02和PCCP形成的激基复合物将激发能经过GD270高效地供应到荧光化合物TBRb。通过将能量经过磷光化合物GD270移动到TBRb,可以使三重激发能有助于荧光发光。当使没有形成激基复合物的mPCCzPTzn-02激发时,由于mPCCzPTzn-02具有TADF性,所以通过反系间窜越从三重激子生成单重激子。在发光层130中,通过由于上述TADF材料的单重激子的生成及经过磷光化合物GD270向荧光化合物的TBRb移动三重激发能,发光元件17可以得到极高的发光效率。

[0488] <发光元件的可靠性>

对发光元件17、比较发光元件18及发光元件13进行恒流为2.0mA时的驱动测试。表13示出该驱动测试的LT₆₀(亮度减少40%的时间)。

[0489] [表13]

	LT ₆₀ (h)
发光元件17	690
比较发光元件18	430
发光元件13	580

[0490] 从表13可知,发光元件17、比较发光元件18及发光元件13具有良好的可靠性。此外,可知发光元件17的可靠性高于比较发光元件18。此外,发光元件17的LT₆₀比发光元件13长。因此,通过作为主体材料使用TADF材料且利用激基复合物,可以得到可靠性良好的发光元件。

符号说明

[0491] 100:EL层,101:电极,102:电极,106:发光单元,108:发光单元,111:空穴注入层,112:空穴传输层,113:电子传输层,114:电子注入层,115:电荷产生层,116:空穴注入层,117:空穴传输层,118:电子传输层,119:电子注入层,120:发光层,130:发光层,131:化合物,132:化合物,133:化合物,134:化合物,150:发光元件,170:发光层,250:发光元件,601:源极一侧驱动电路,602:像素部,603:栅极一侧驱动电路,604:密封衬底,605:密封剂,607:空间,608:布线,609:FPC,610:元件衬底,611:开关用TFT,612:电流控制用TFT,613:电极,614:绝缘物,616:EL层,617:电极,618:发光元件,623:n沟道型TFT,624:p沟道型TFT,625:干燥剂,900:便携式信息终端,901:外壳,902:外壳,903:显示部,905:铰链部,910:便携式信息终端,911:外壳,912:显示部,913:操作按钮,914:外部连接端口,915:扬声器,916:麦克风,917:照相机,920:照相机,921:外壳,922:显示部,923:操作按钮,924:快门按钮,926:透镜,1001:衬底,1002:基底绝缘膜,1003:栅极绝缘膜,1006:栅电极,1007:栅电极,1008:栅电极,1020:层间绝缘膜,1021:层间绝缘膜,1022:电极,1024B:电极,1024G:电极,1024R:电极,1024W:电极,1025B:下部电极,1025G:下部电极,1025R:下部电极,1025W:下部电极,1026:分隔壁,1028:EL层,1029:电极,1031:密封衬底,1032:密封剂,1033:基材,1034B:着色层,1034G:着色层,1034R:着色层,1035:黑色层,1036:保护层,1037:层间绝缘膜,1040:像素部,1041:驱动电路部,1042:周边部,1044B:蓝色像素,1044G:绿色像素,1044R:红色像素,1044W:白色像素,2100:机器人,2101:照度传感器,2102:麦克风,2103:上部照相机,2104:扬声器,2105:显示器,2106:下部照相机,2107:障碍物传感器,2108:移动机构,2110:运算装置,5000:外壳,5001:显示部,5002:显示部,5003:扬声器,5004:LED灯,5005:操作键,5006:连接端子,5007:传感器,5008:麦克风,5012:支撑部,5013:耳机,5100:扫地机器人,5101:显示器,5102:照相机,5103:刷子,5104:操作按钮,5120:垃圾,5140:便携式电子设备,5150:便携式信息终端,5151:外壳,5152:显示区域,5153:弯曲部,8501:照明装置,8502:照明装置,8503:照明装置,8504:照明装置。

本申请基于2017年11月2日提交到日本专利局的日本专利申请第2017-213080号,通过引用将其完整内容并入在此。

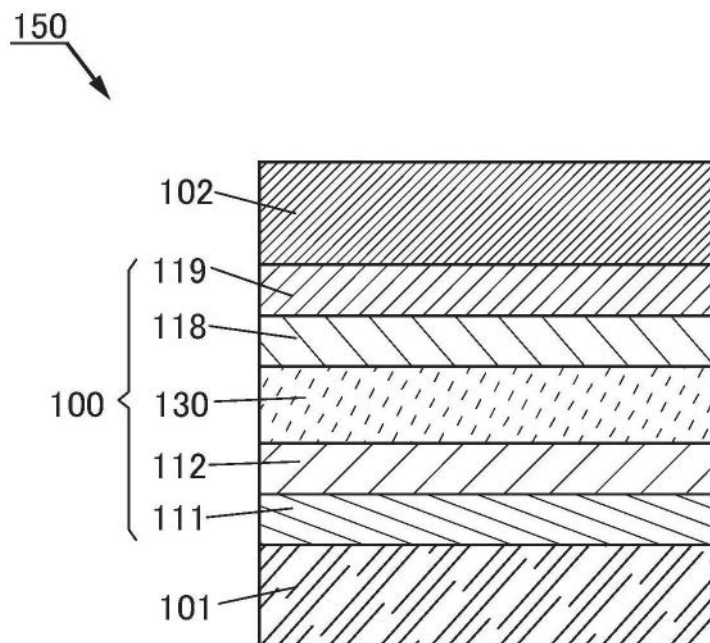


图1A

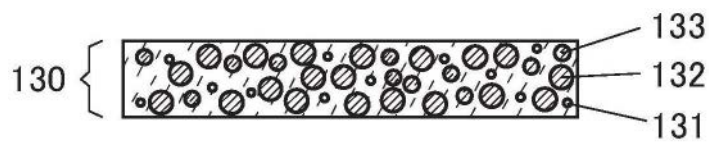


图1B

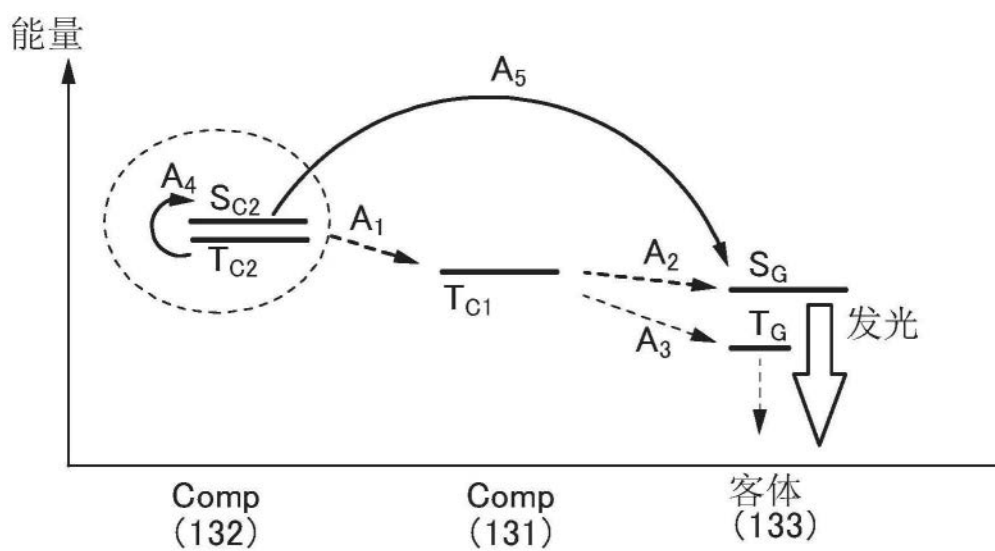


图1C

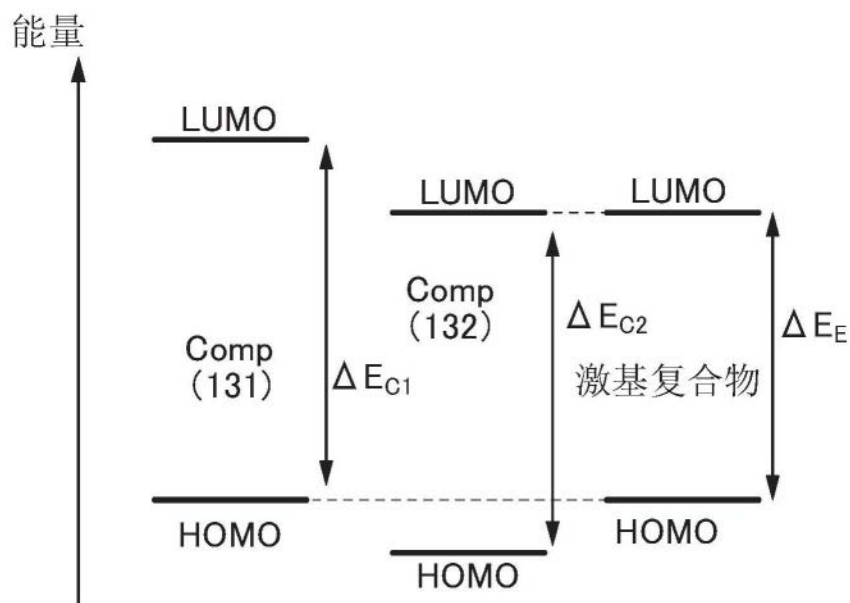


图2A

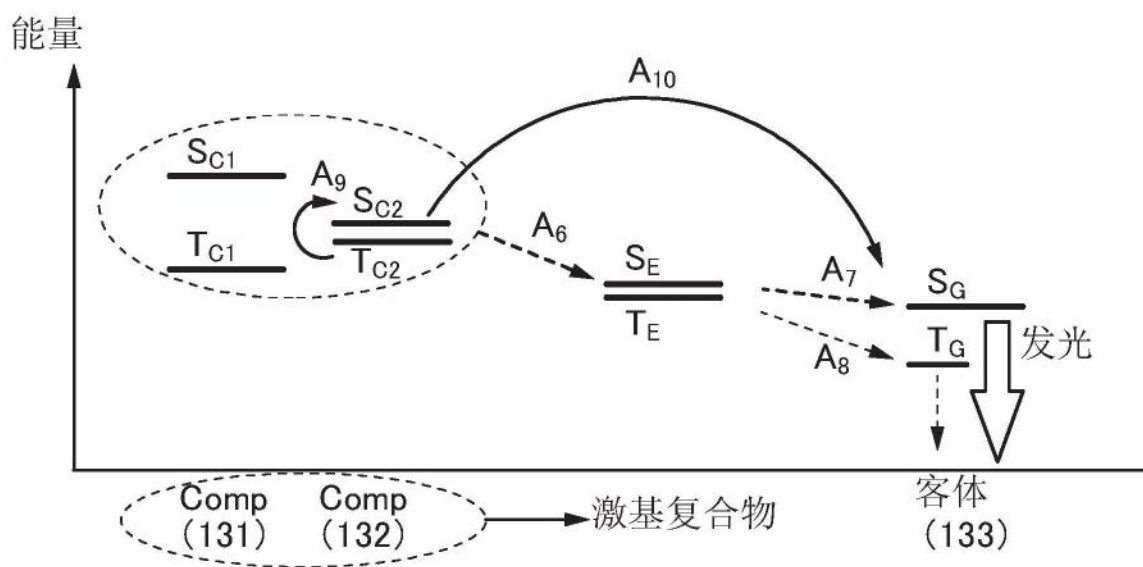


图2B

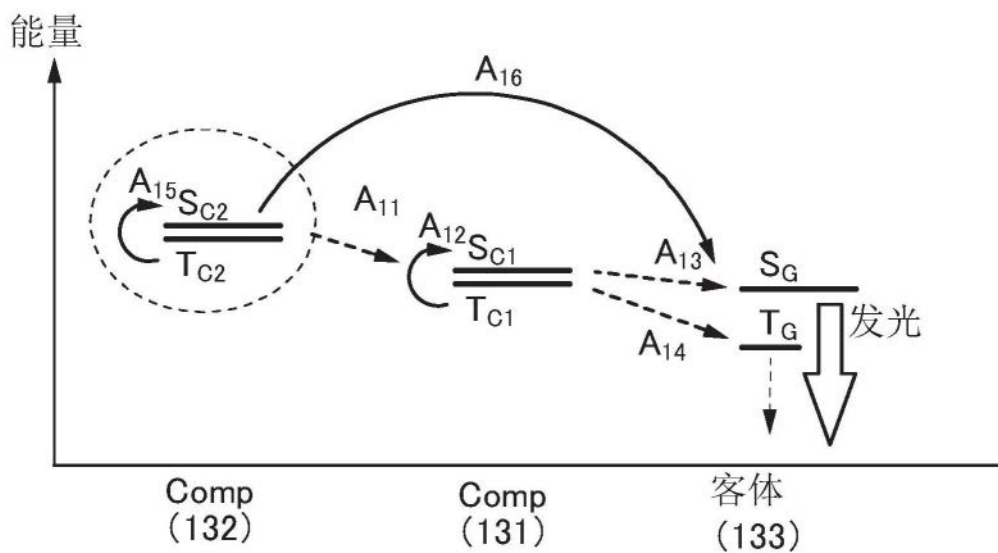


图3

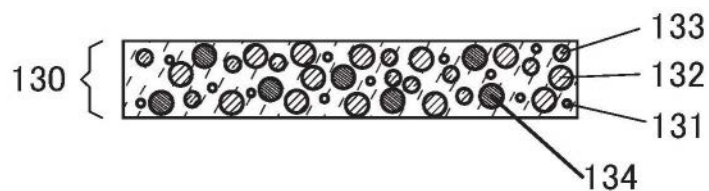


图4A

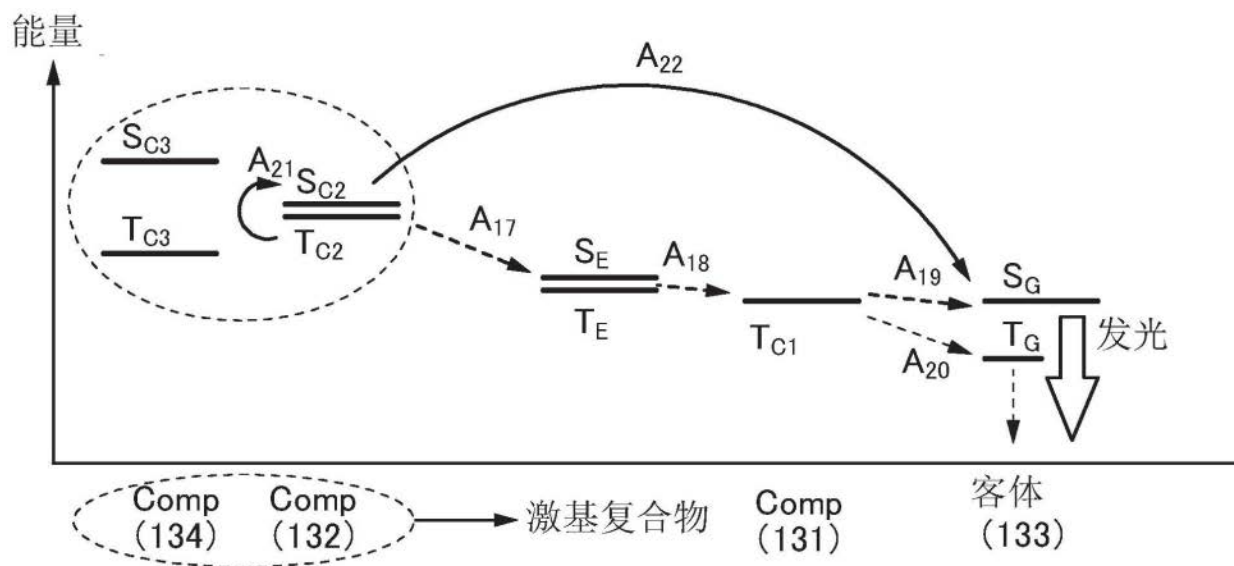


图4B

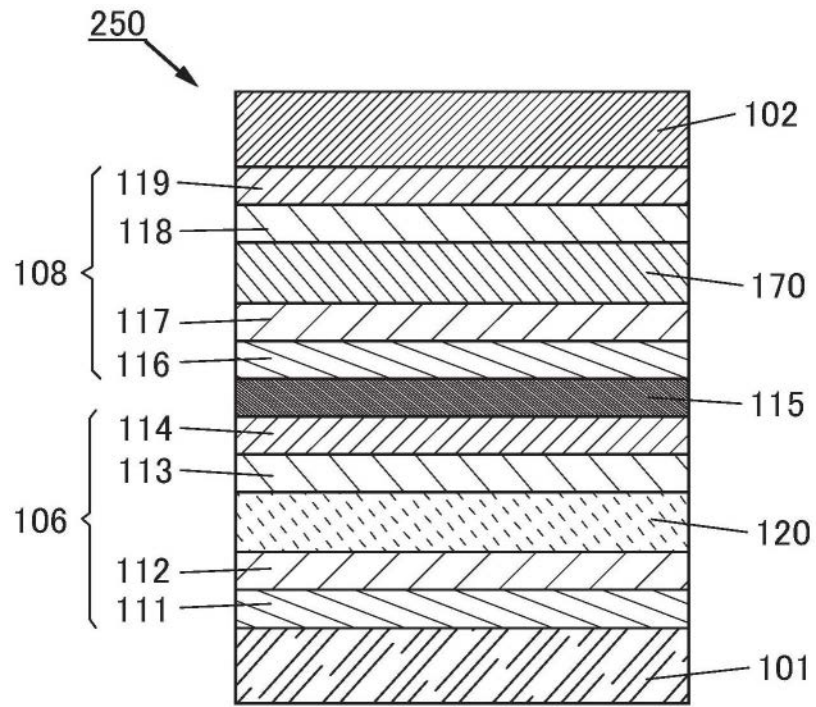


图5

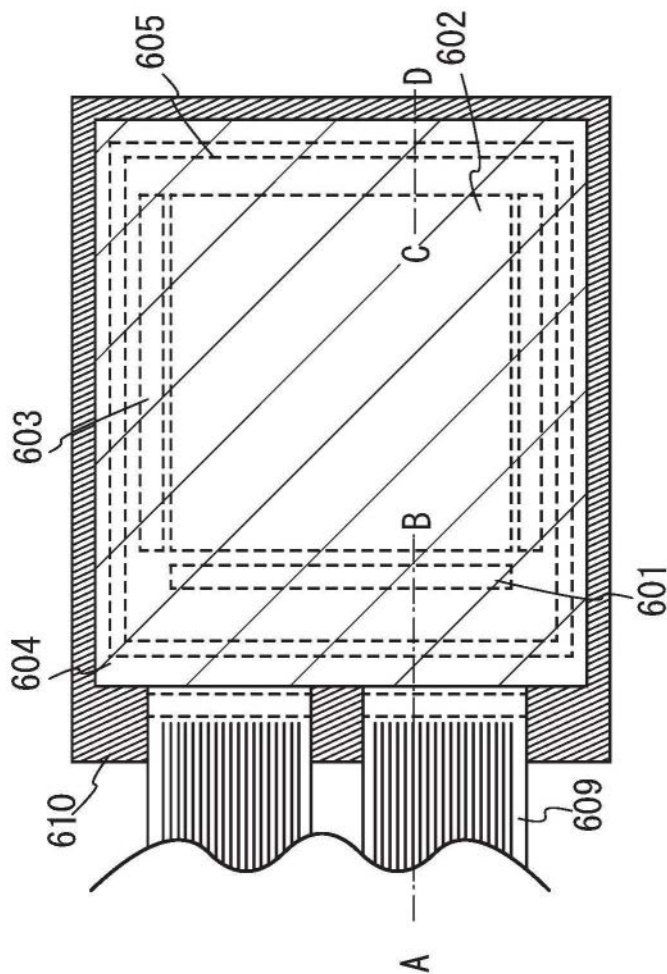


图6A

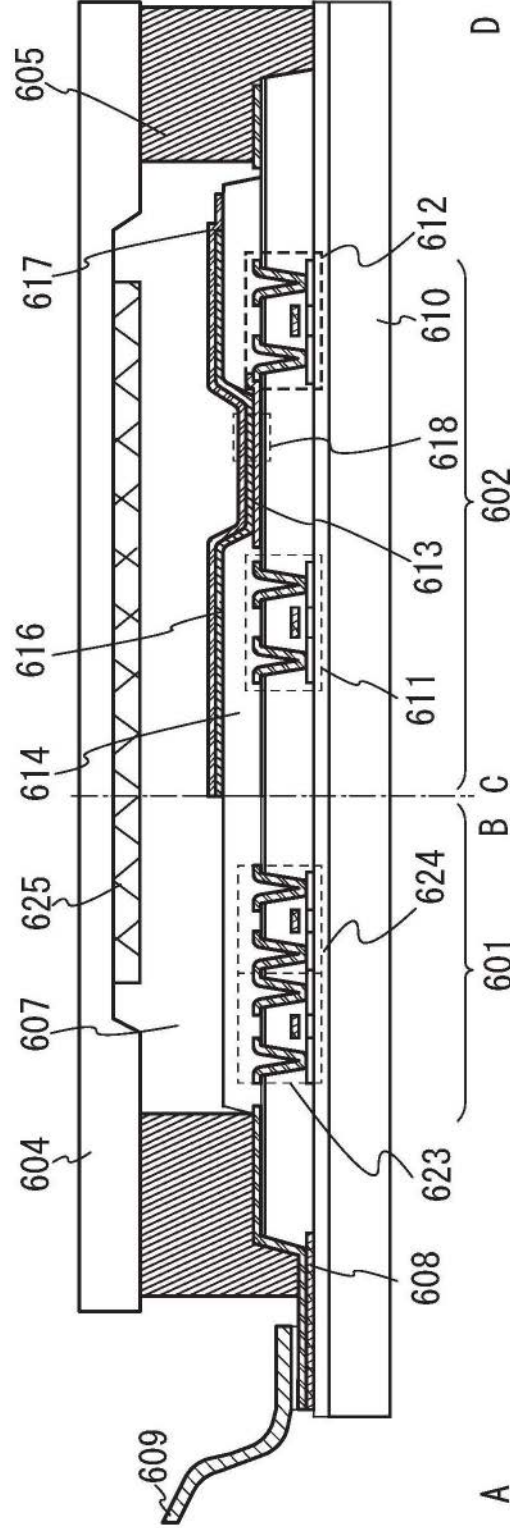


图6B

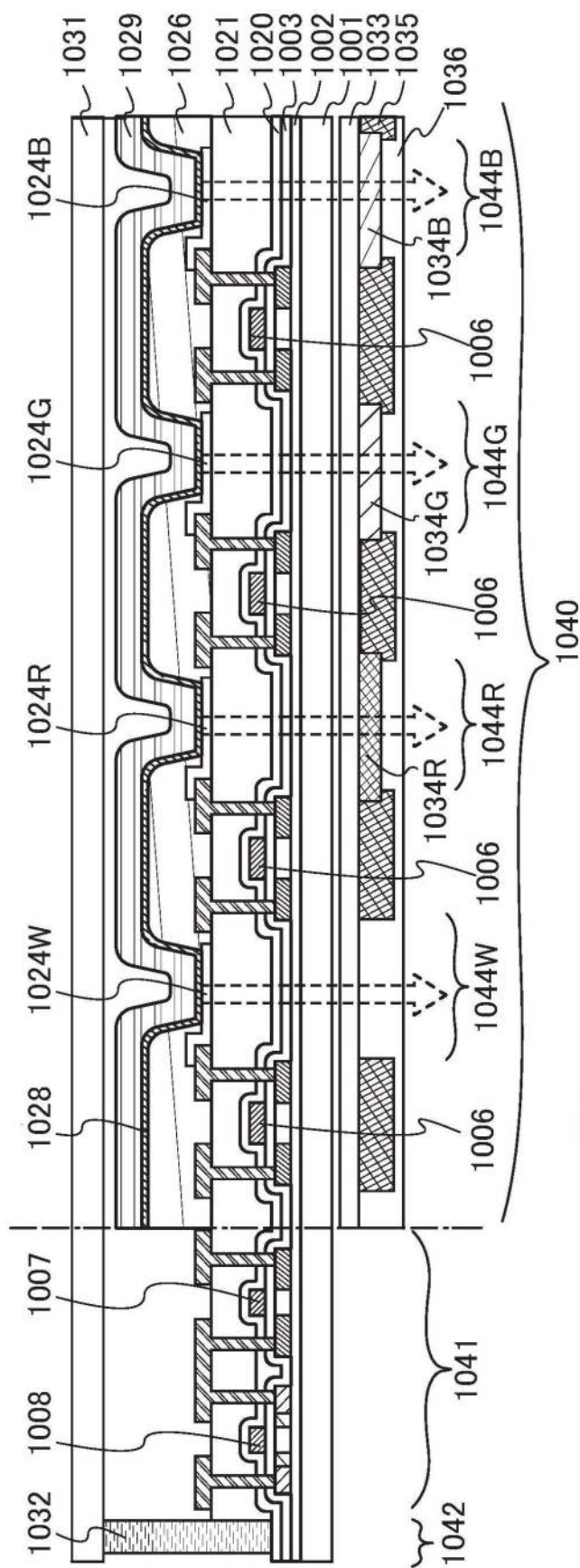


图7A

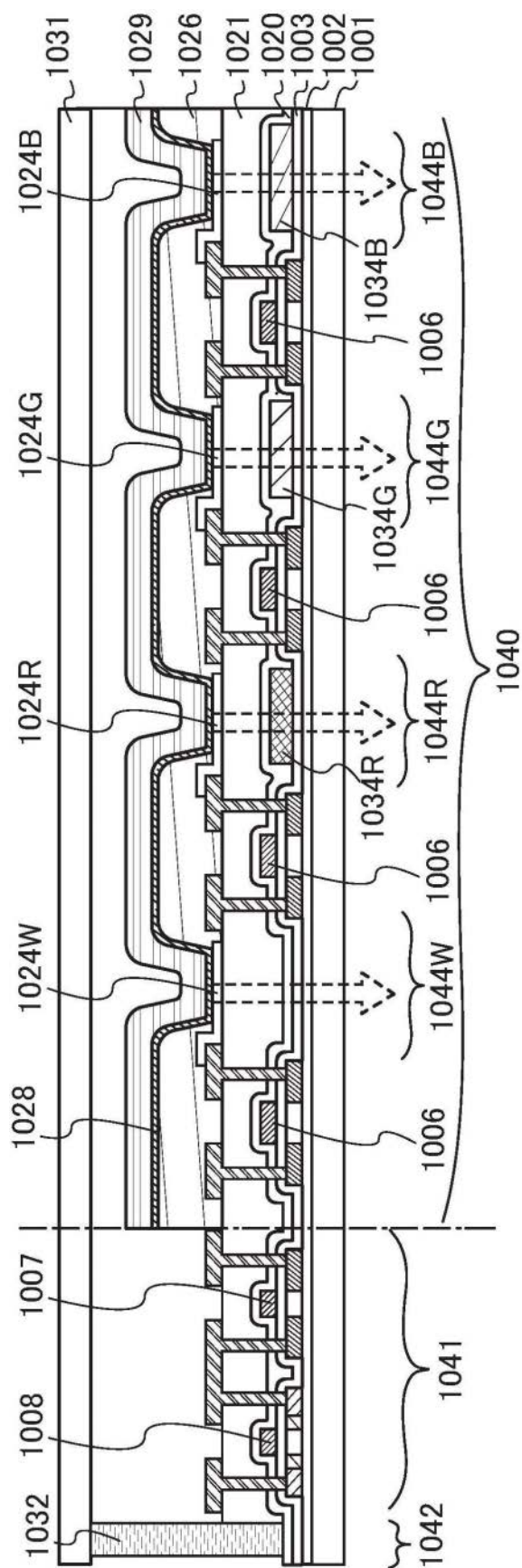


图7B

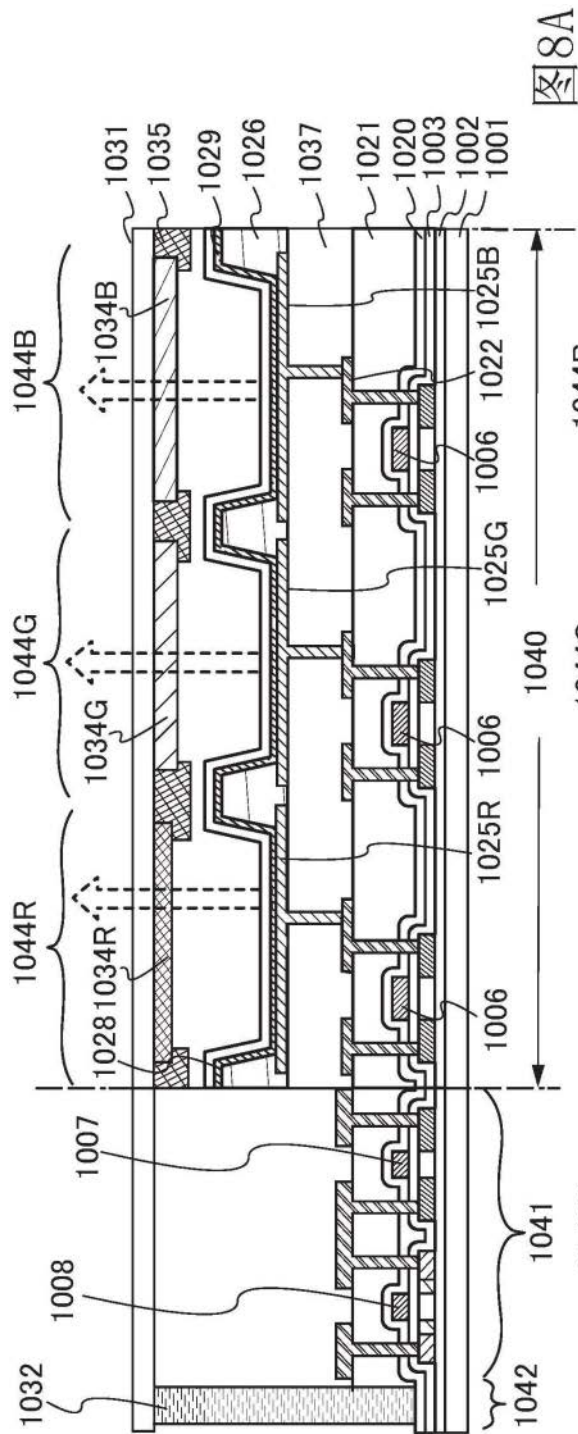


图8A

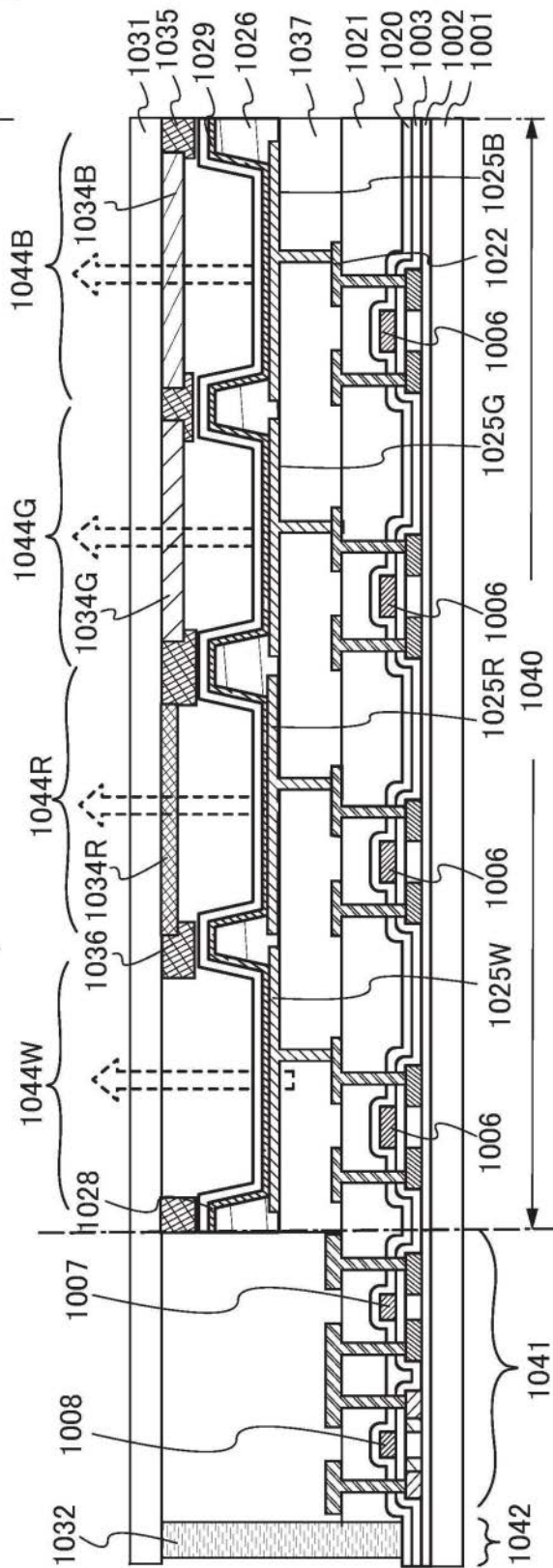


图8B

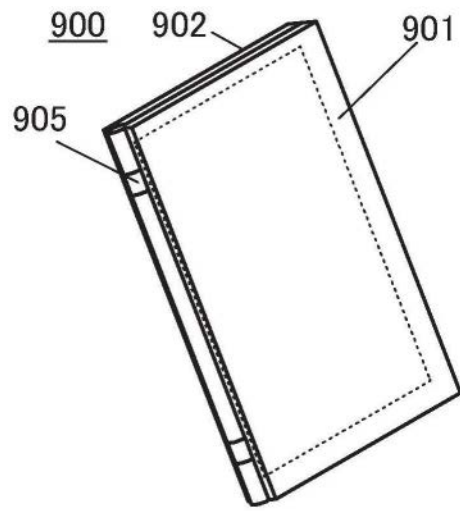


图9A

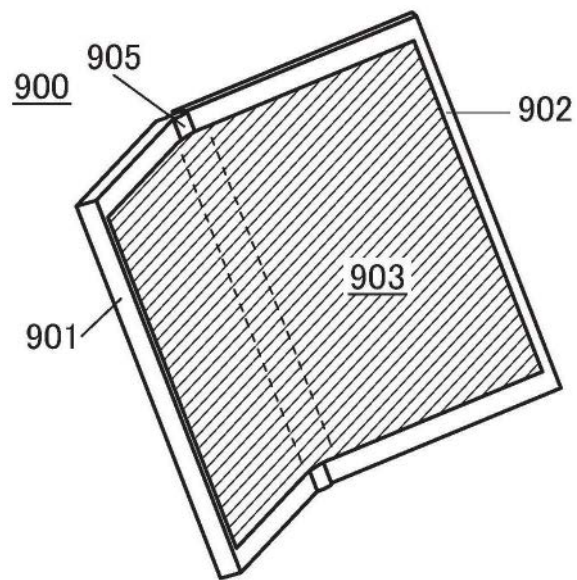


图9B

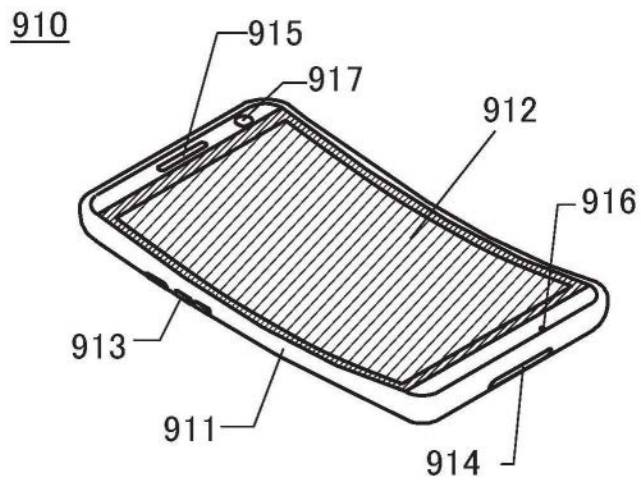


图9C

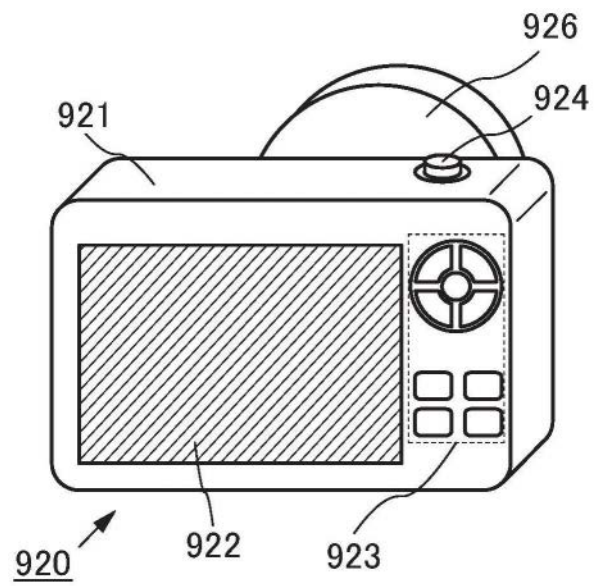


图9D

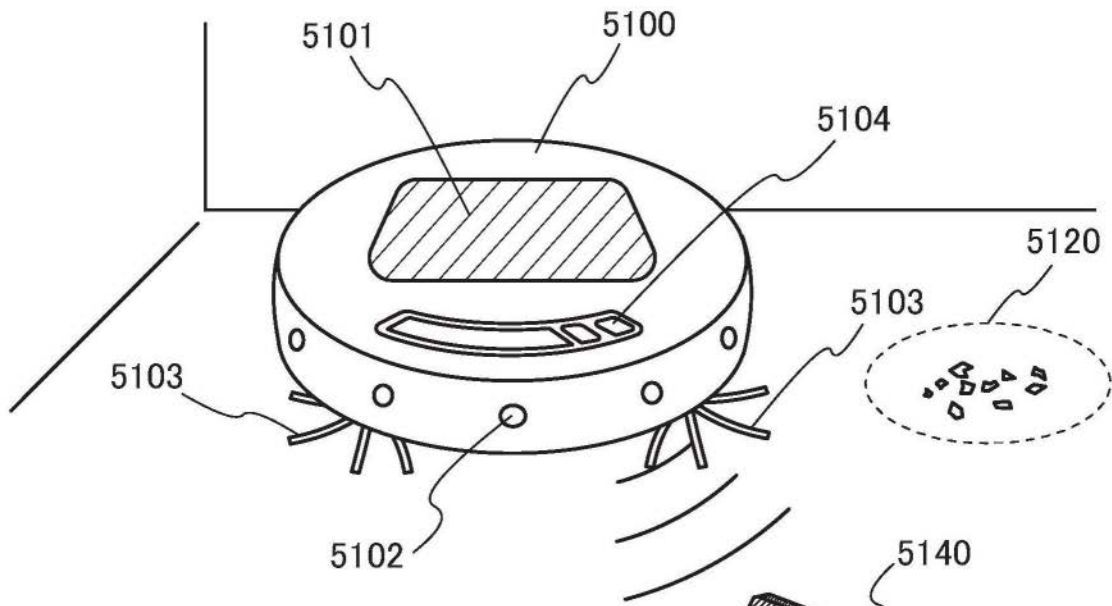


图10A

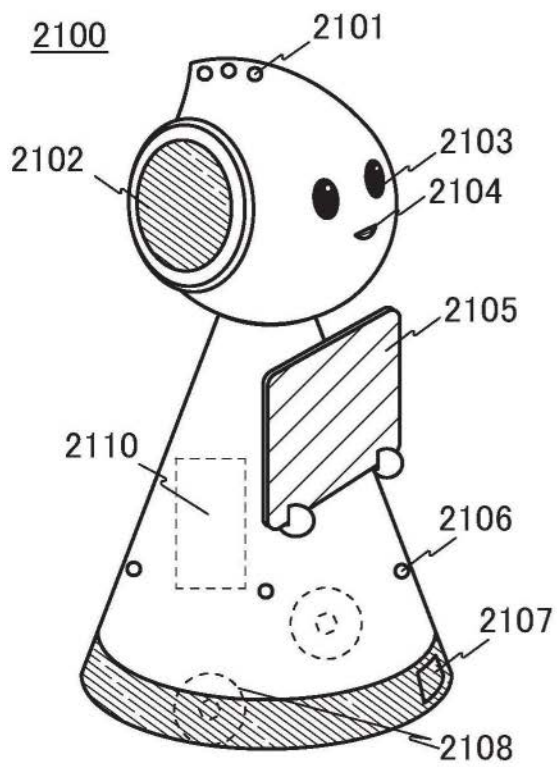


图10B

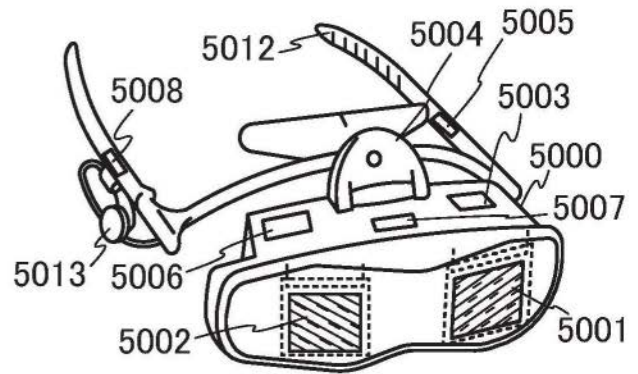


图10C

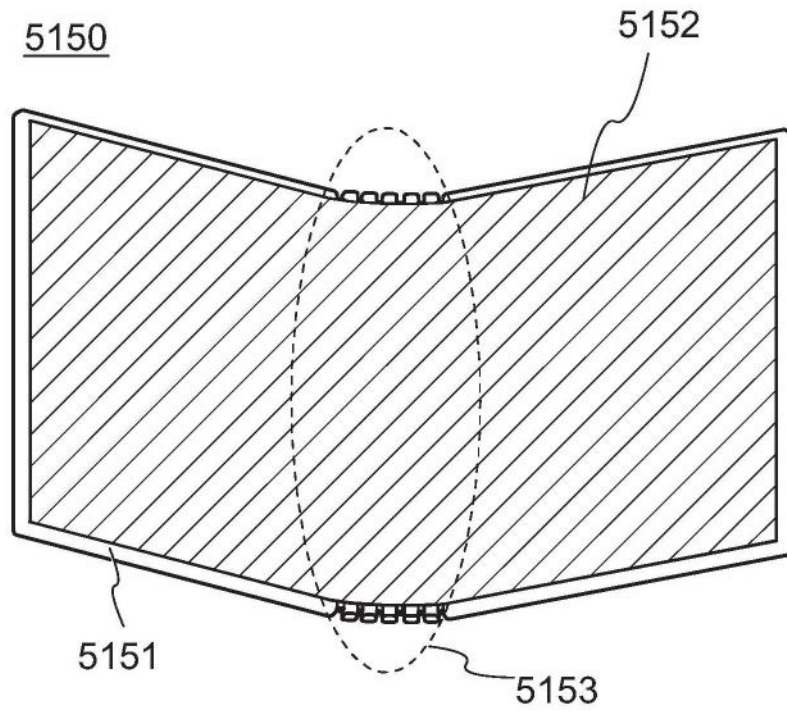


图11A

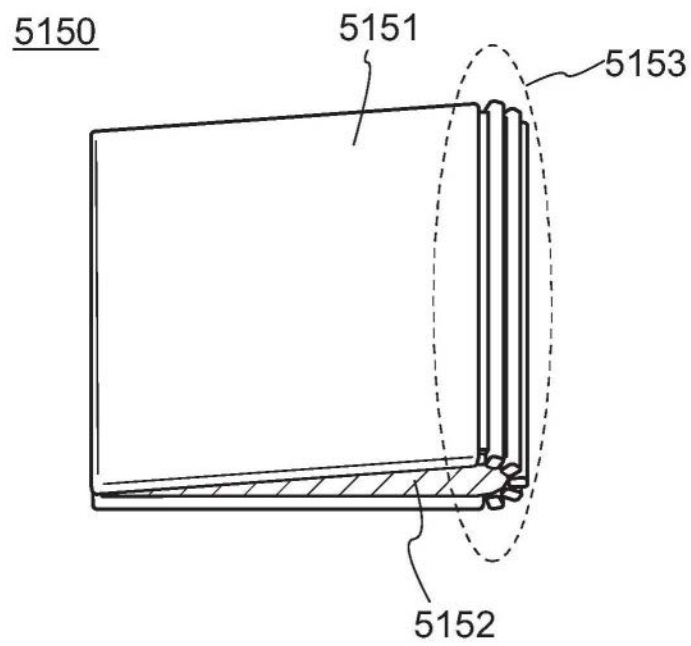


图11B

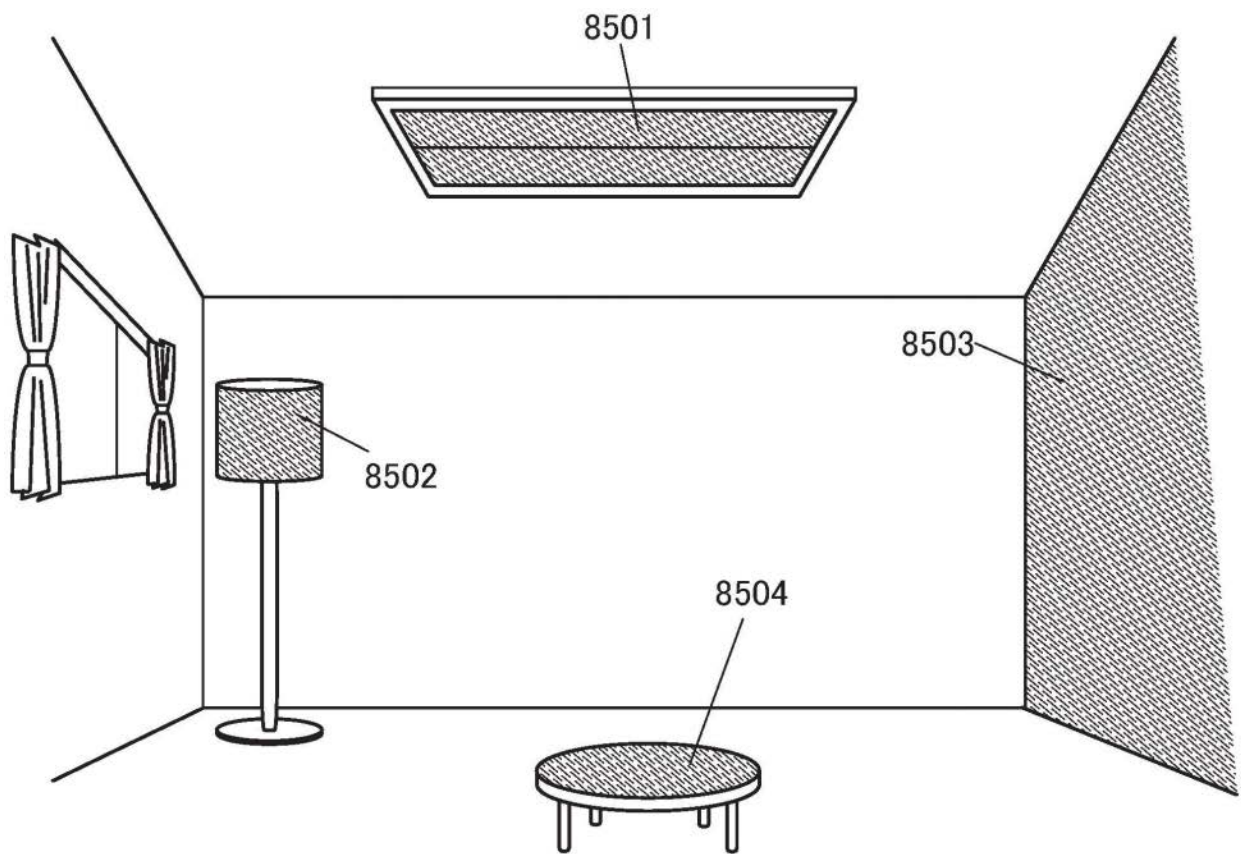


图12

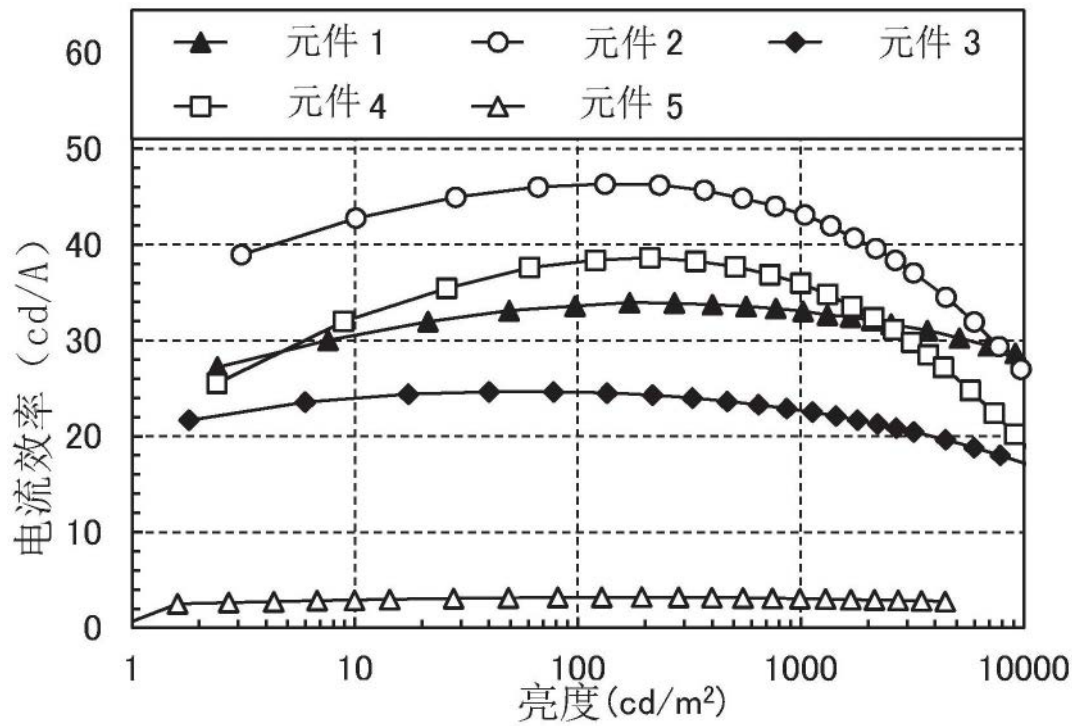


图13

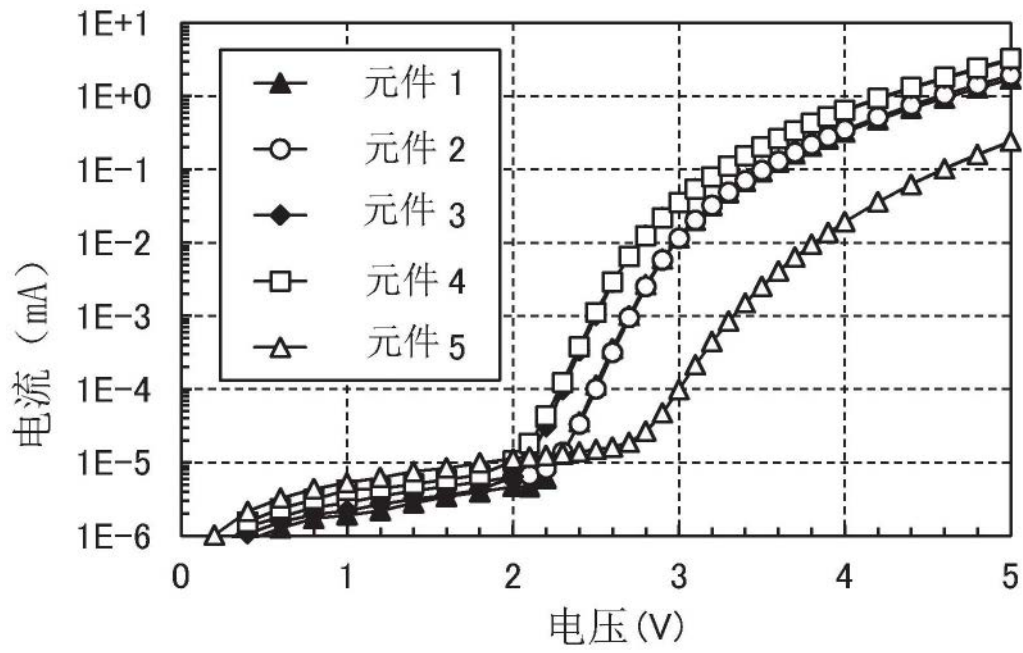


图14

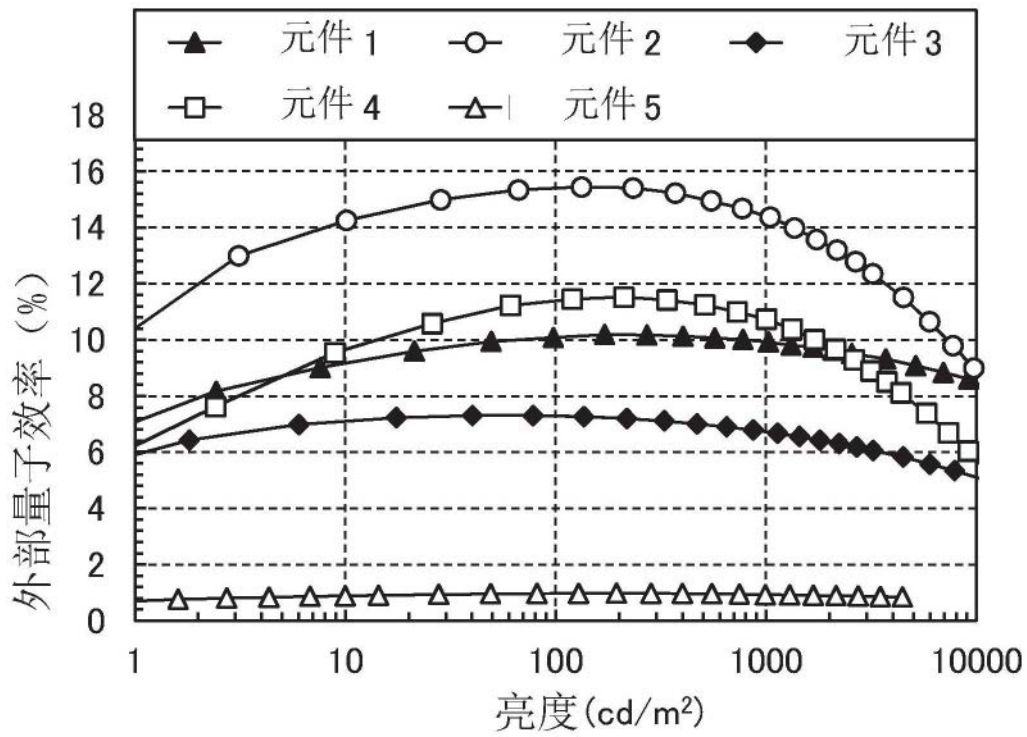


图15

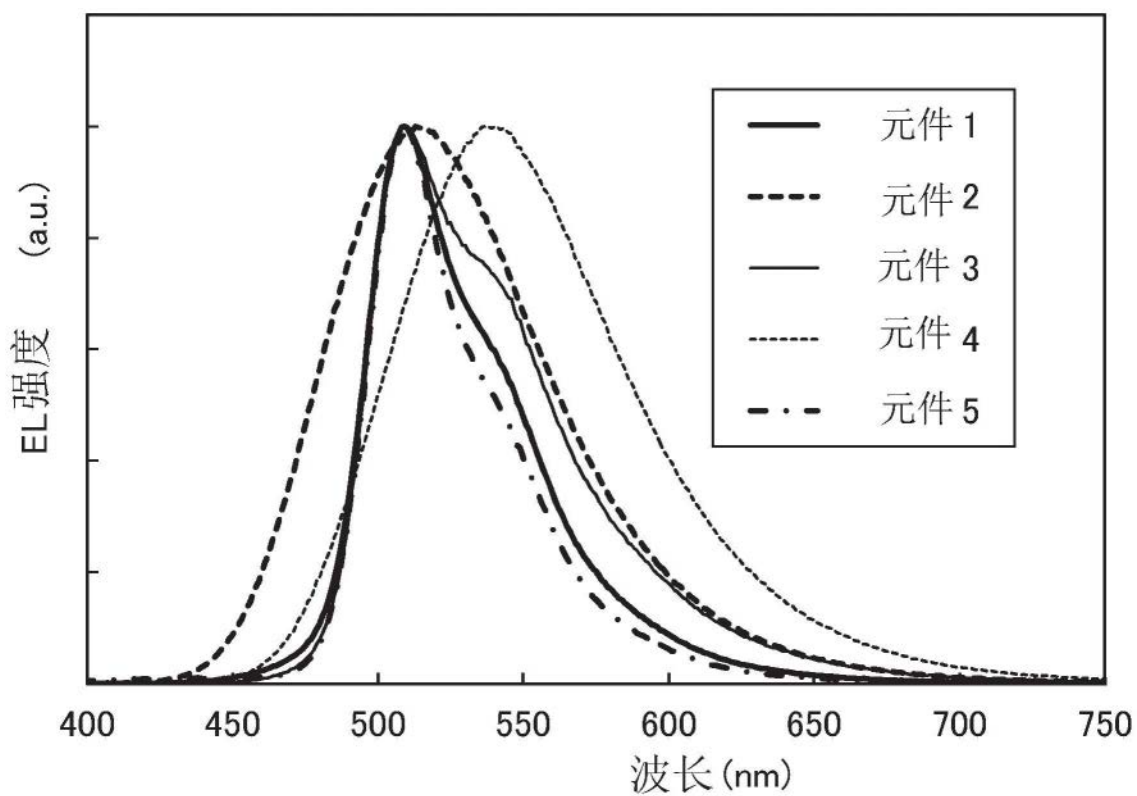


图16

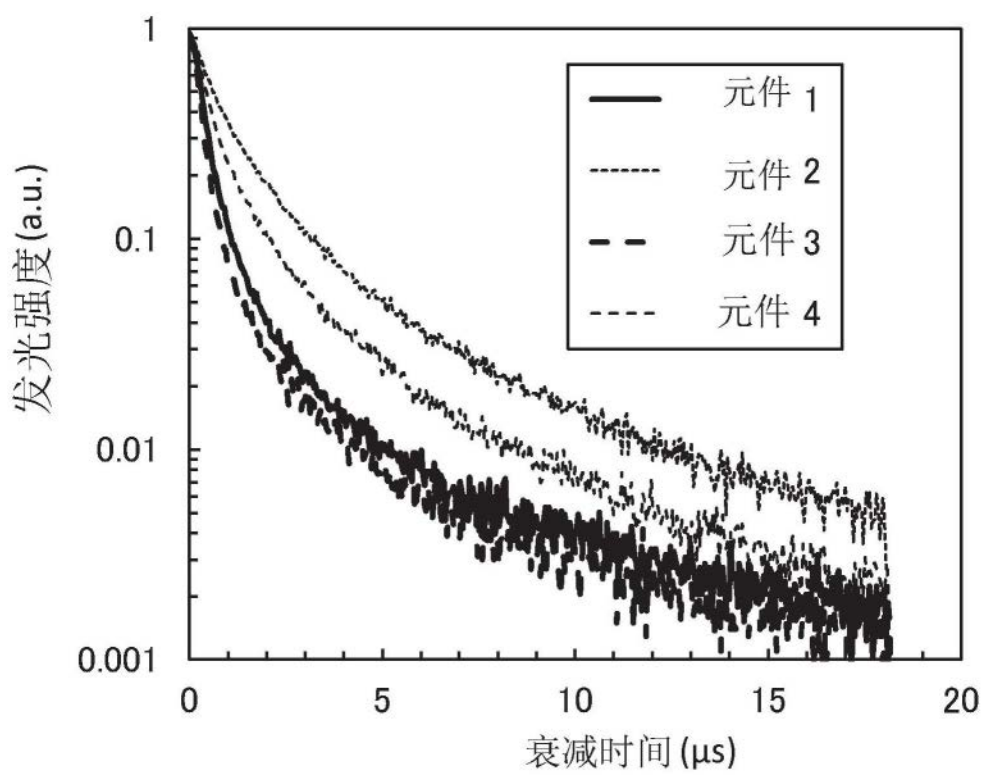


图17

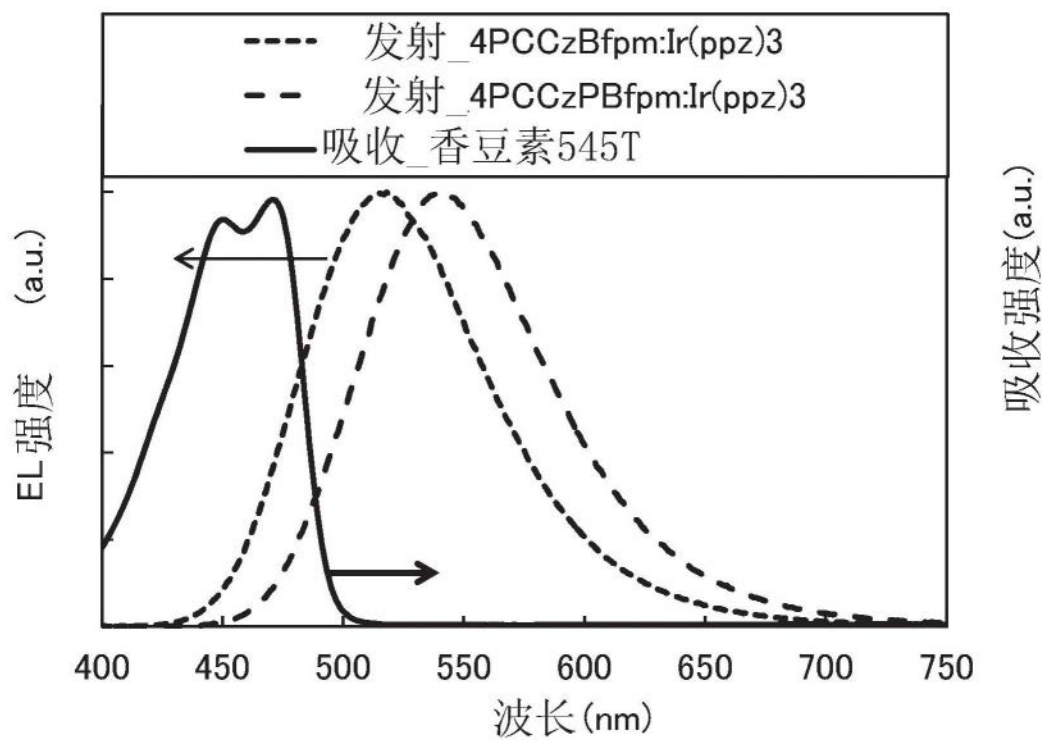


图18

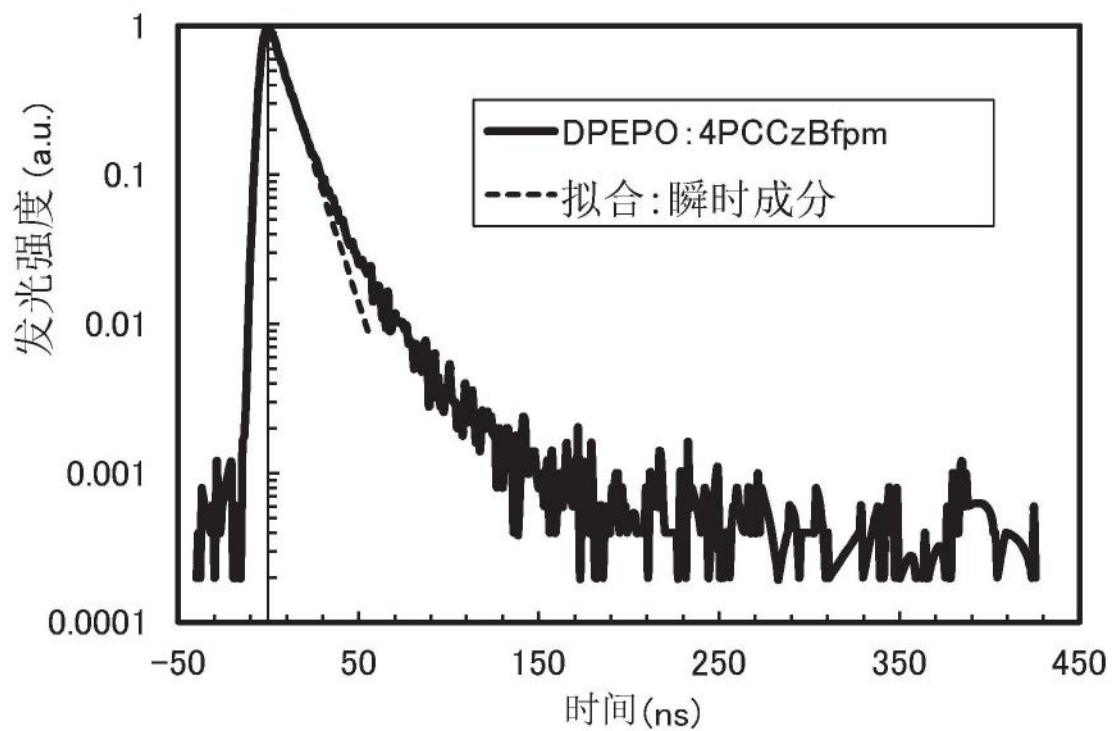


图19A

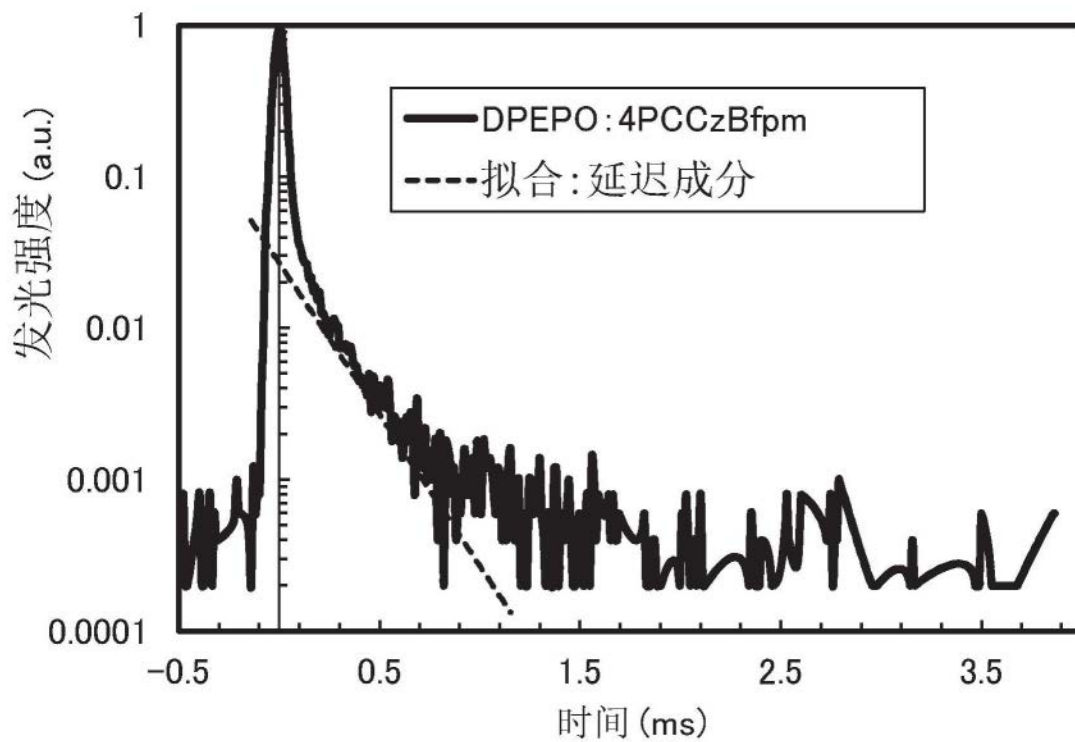


图19B

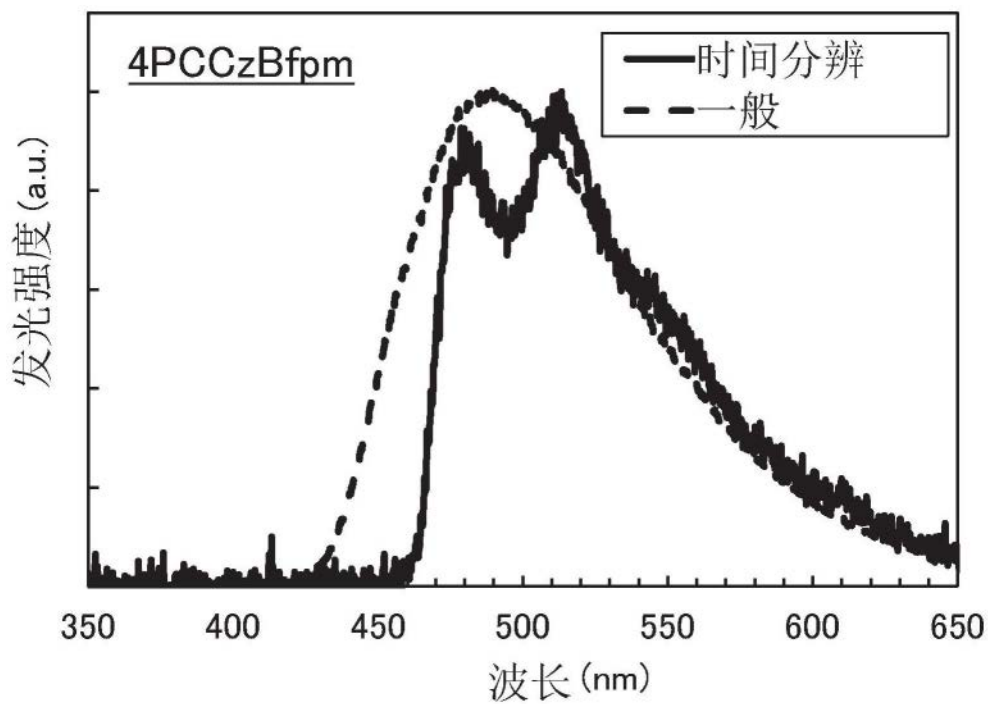


图20

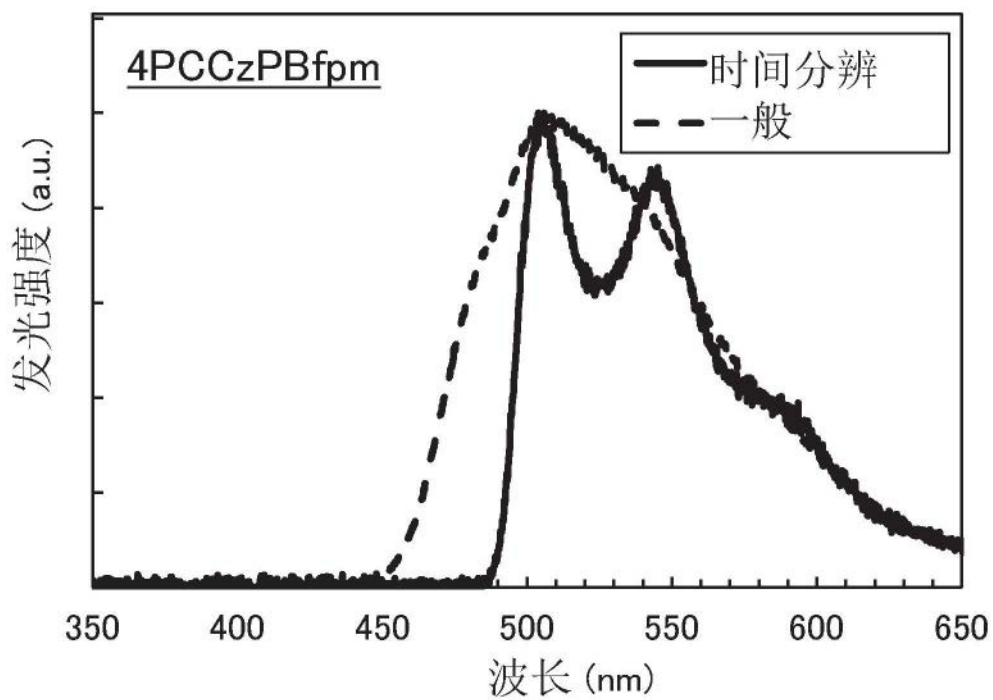


图21

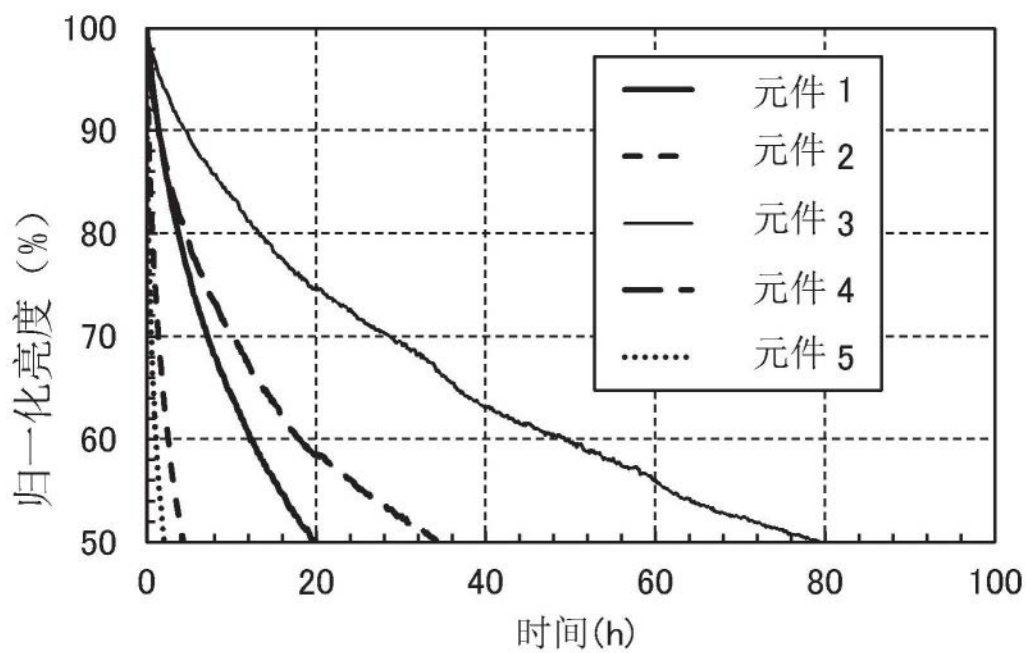


图22

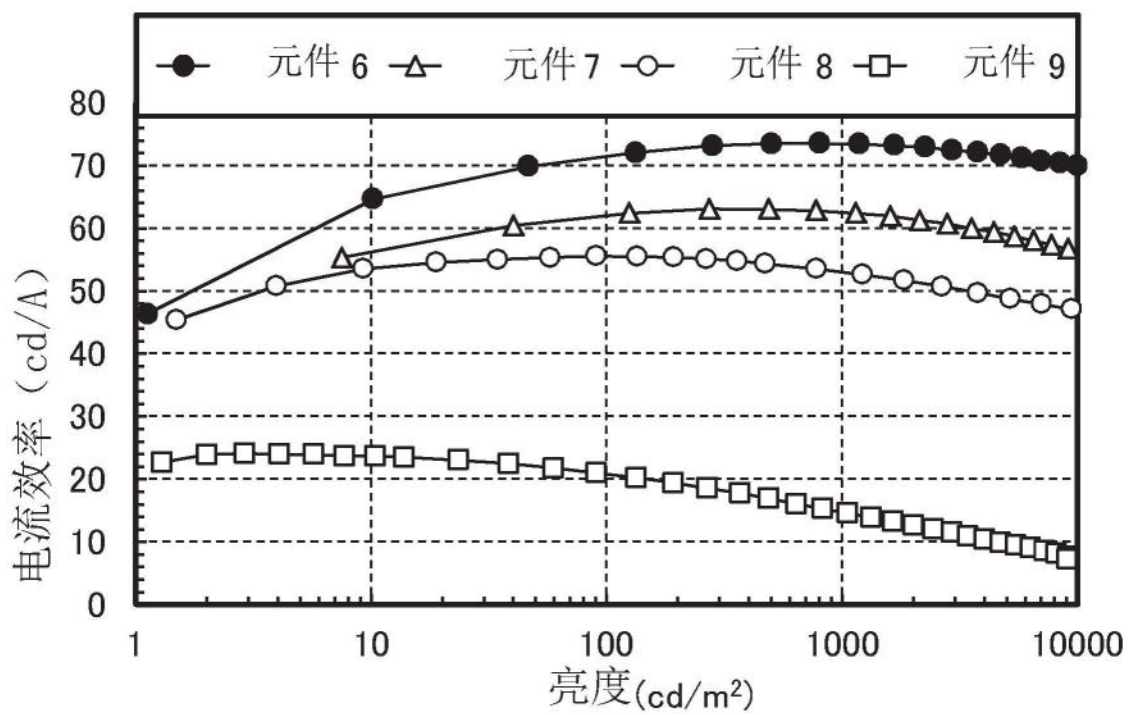


图23

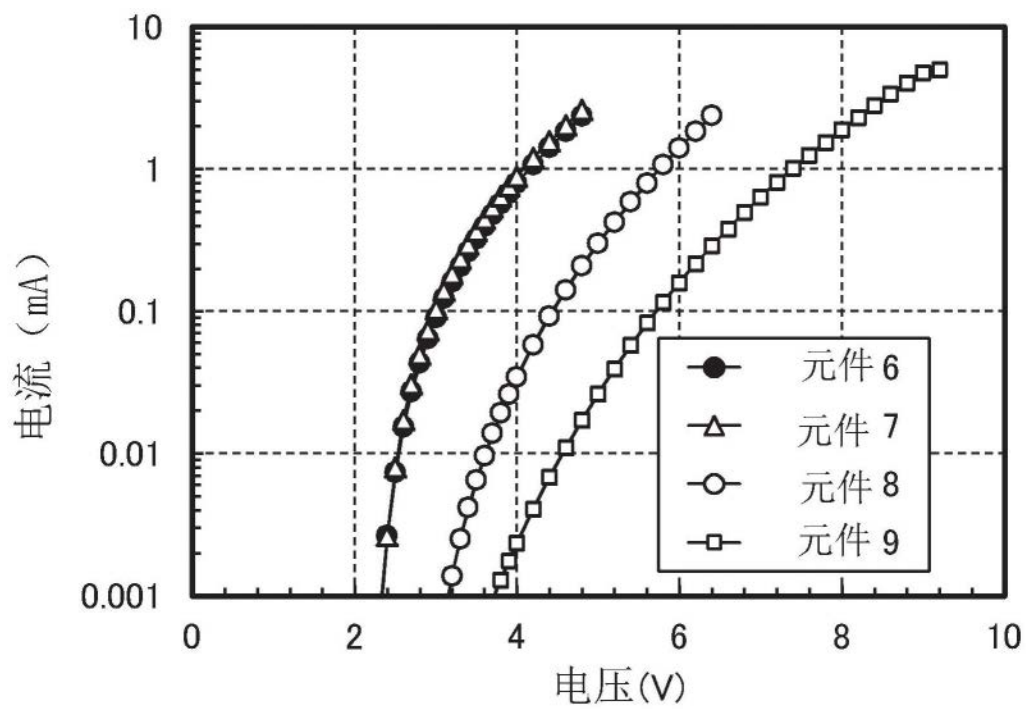


图24

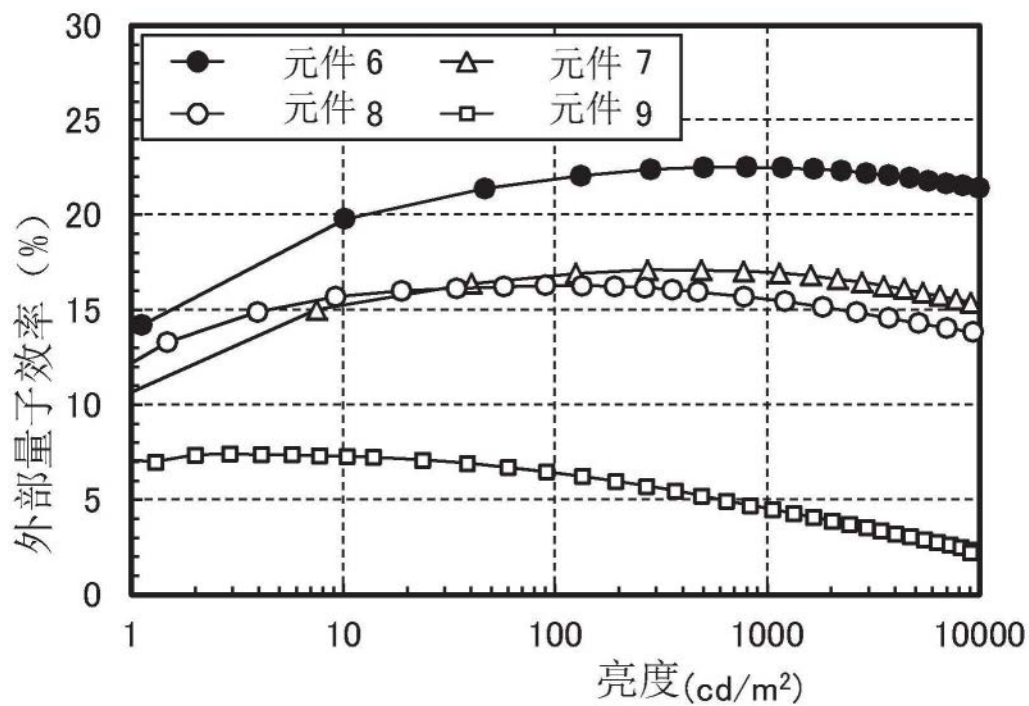


图25

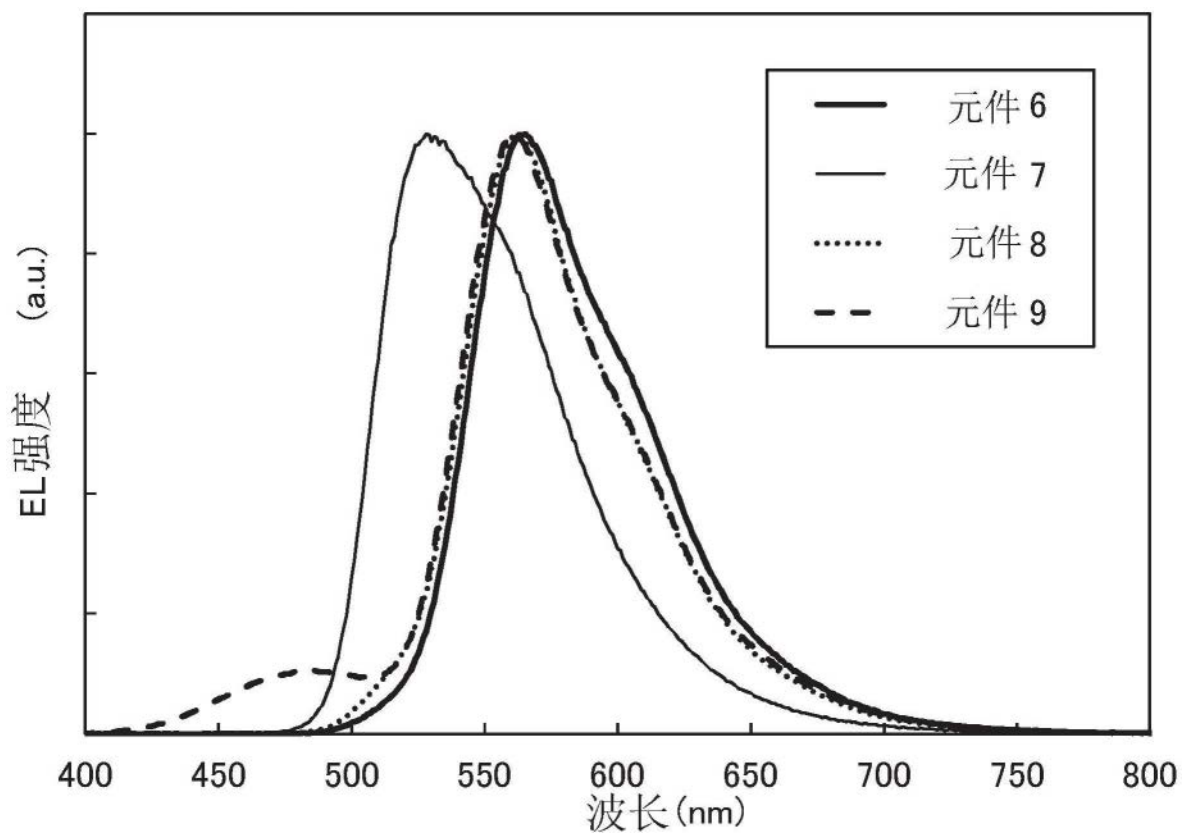


图26

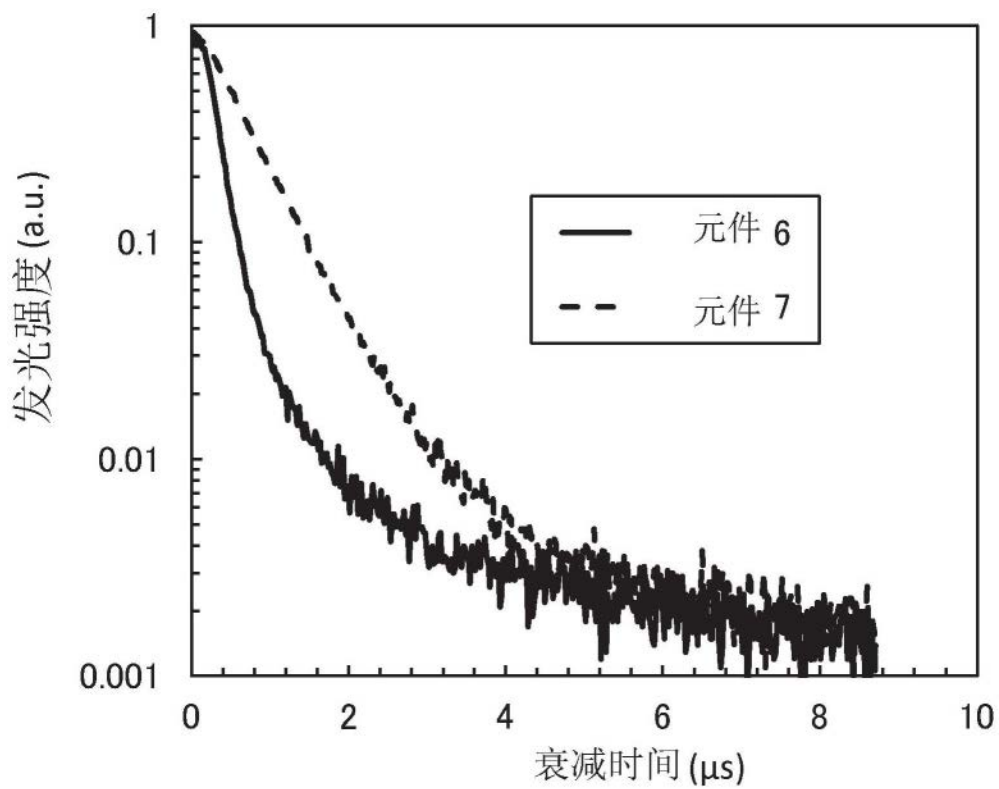


图27

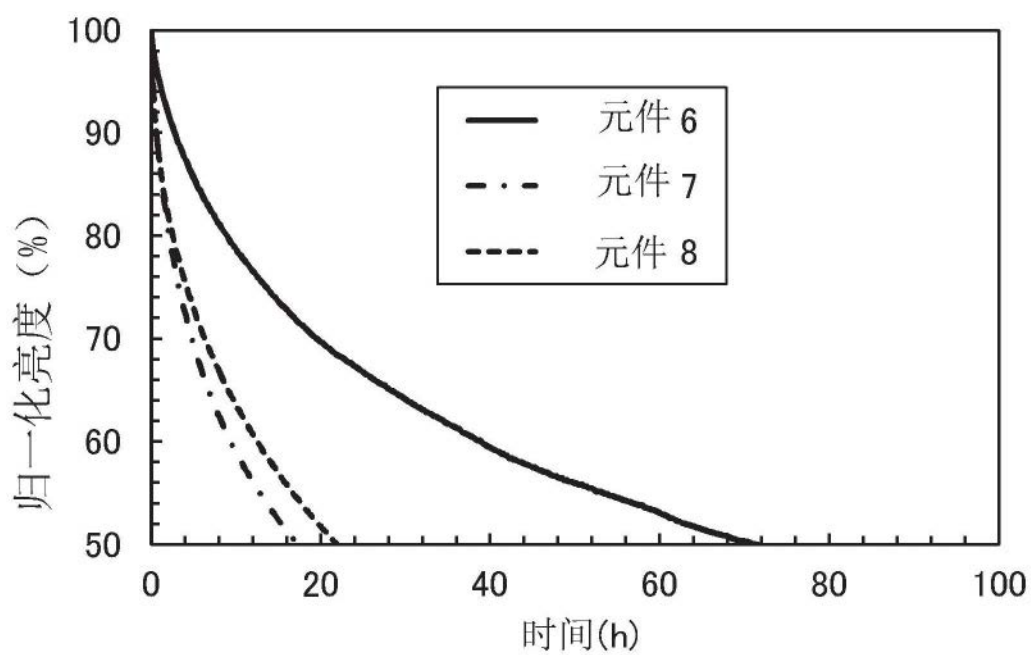


图28

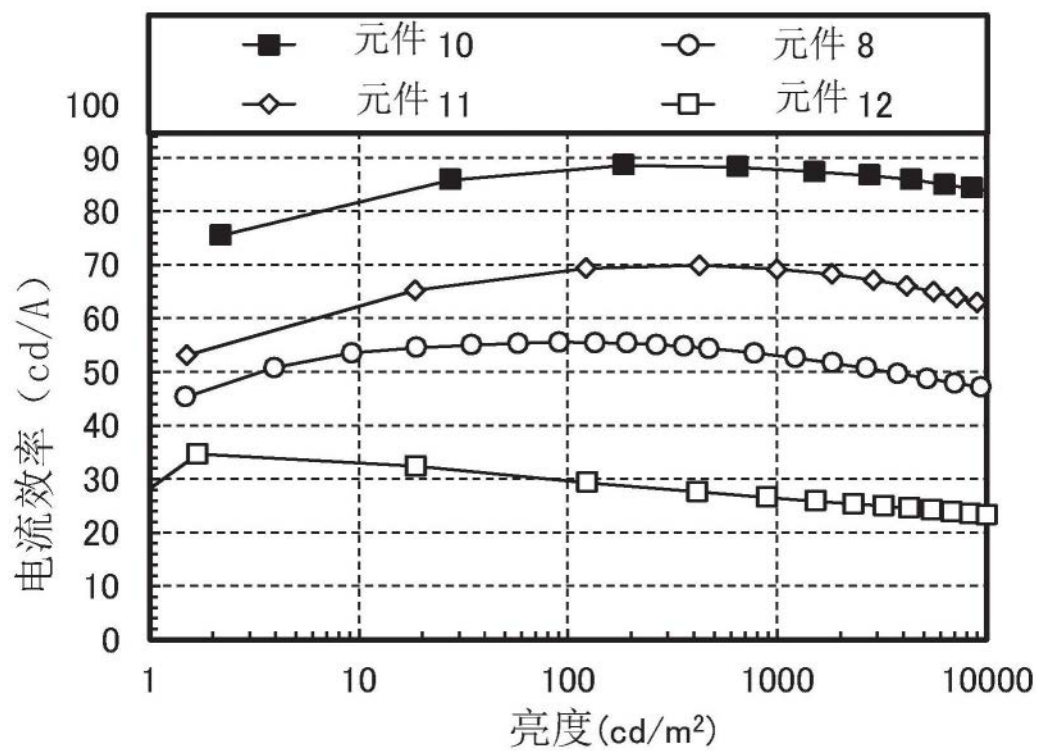


图29

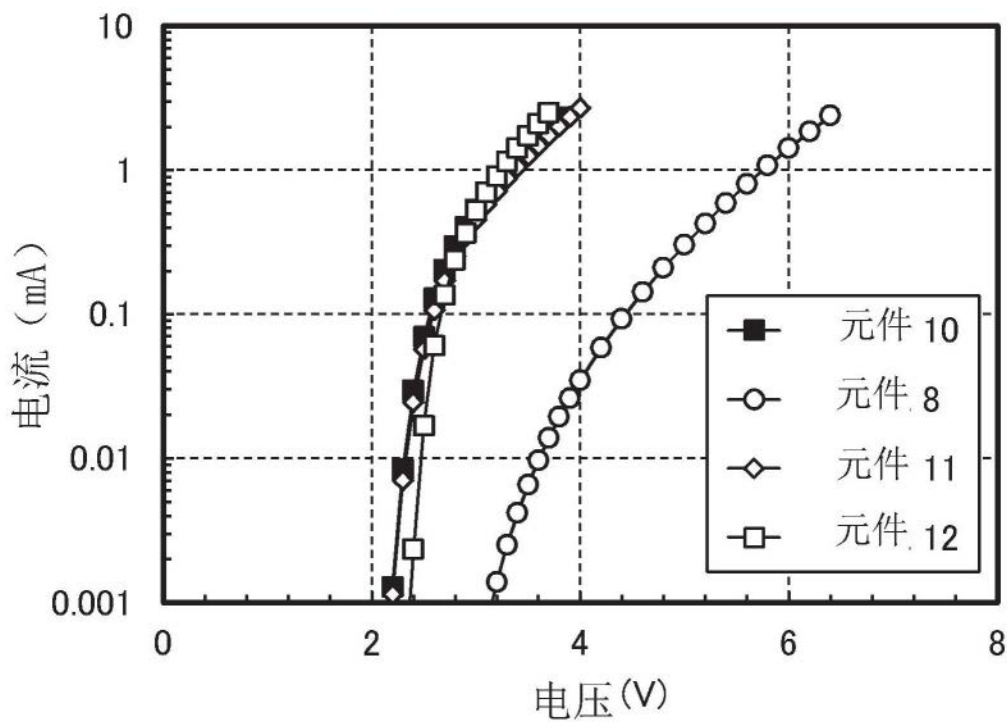


图30

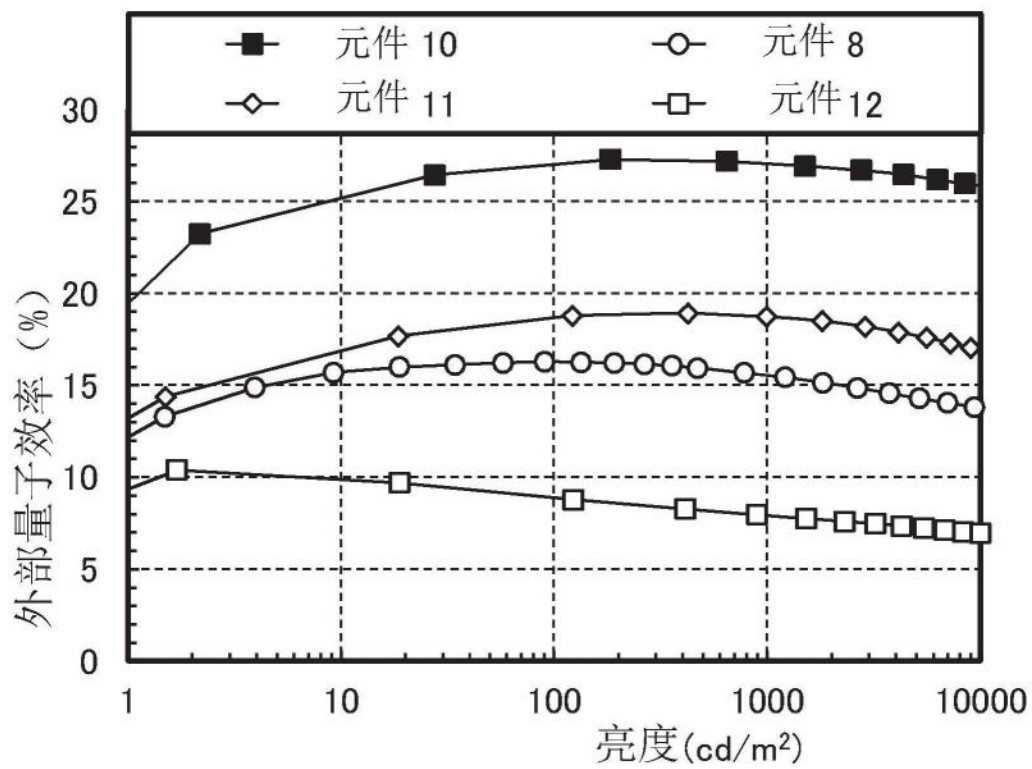


图31

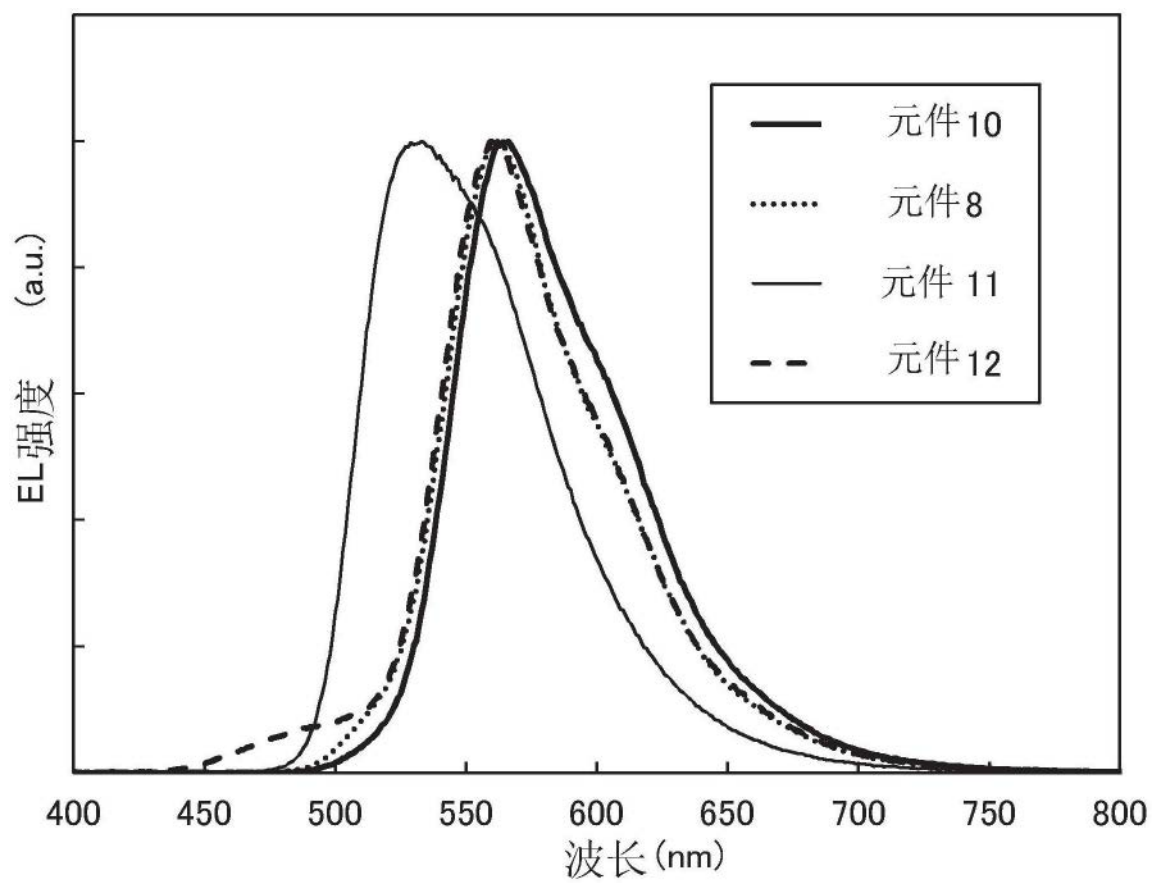


图32

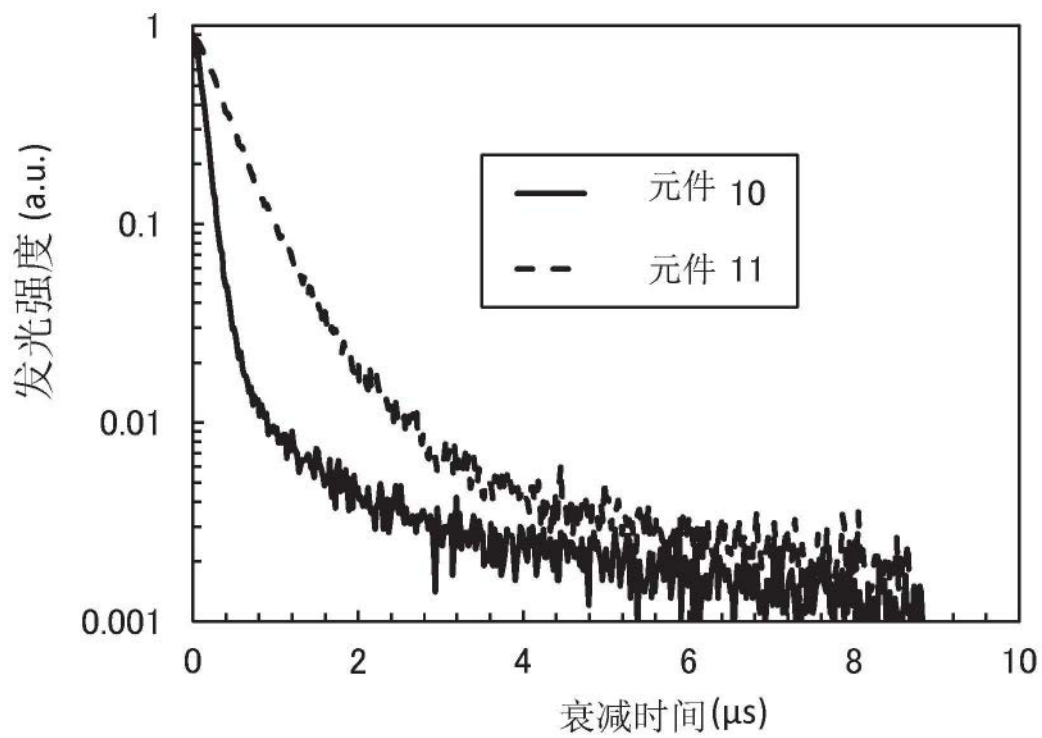


图33

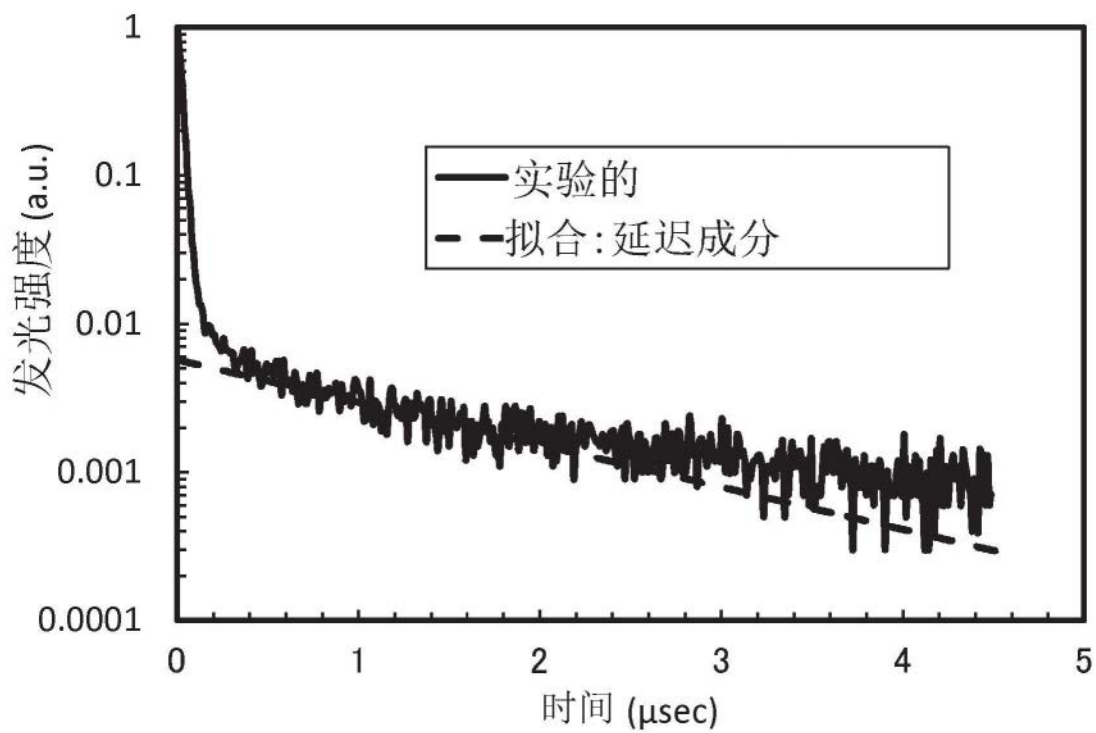


图34

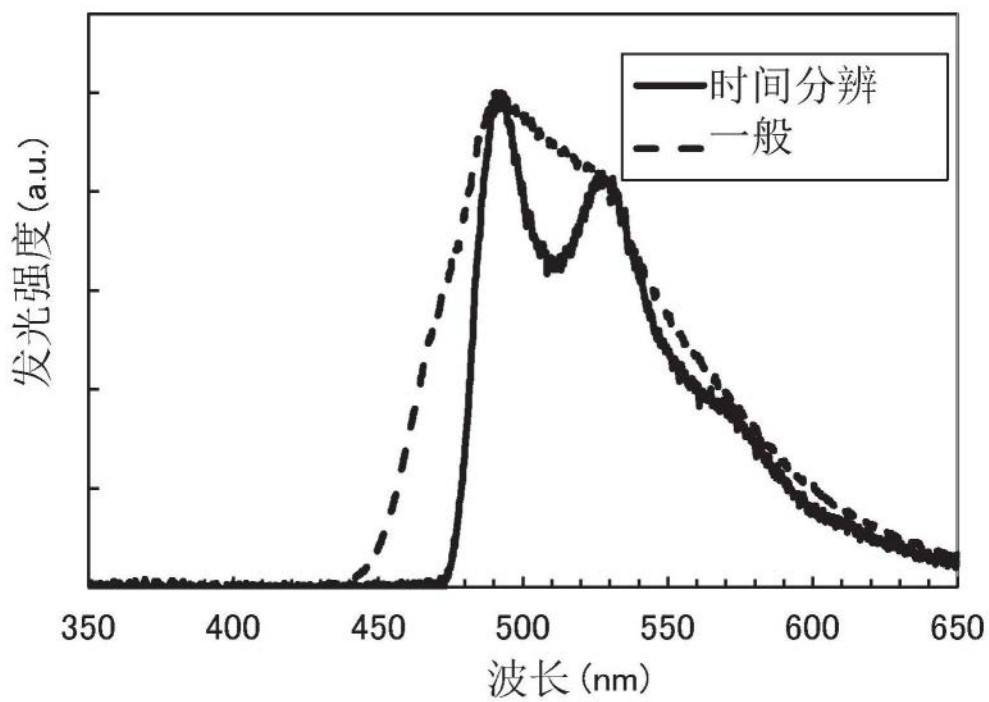


图35

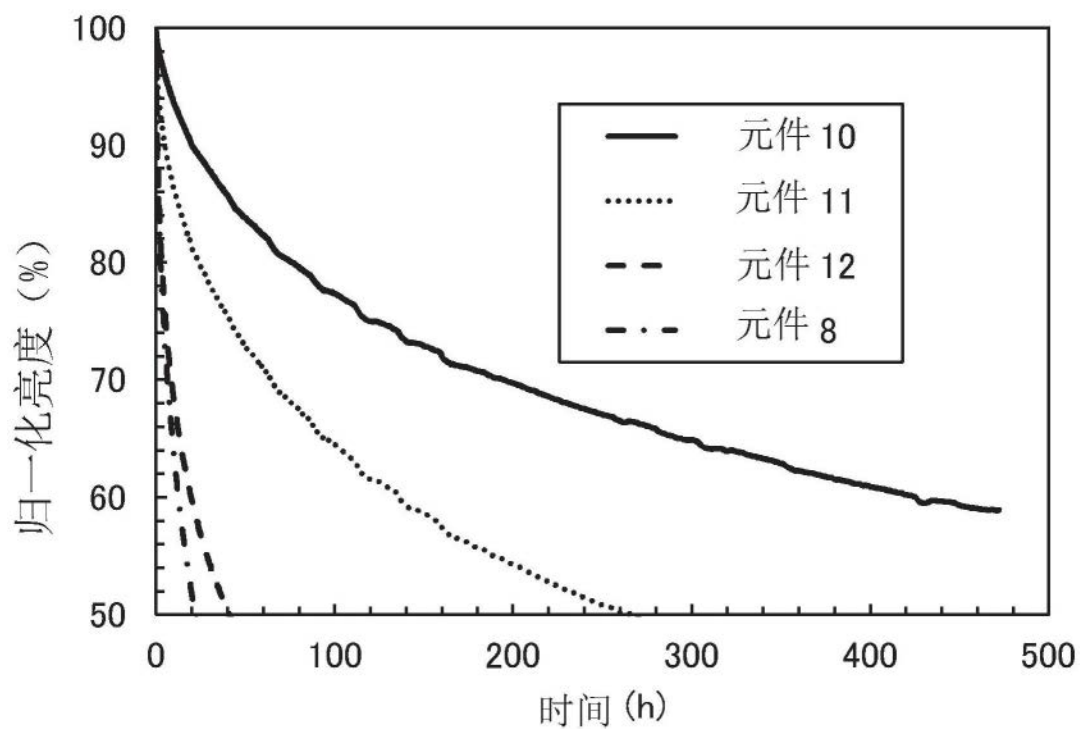


图36

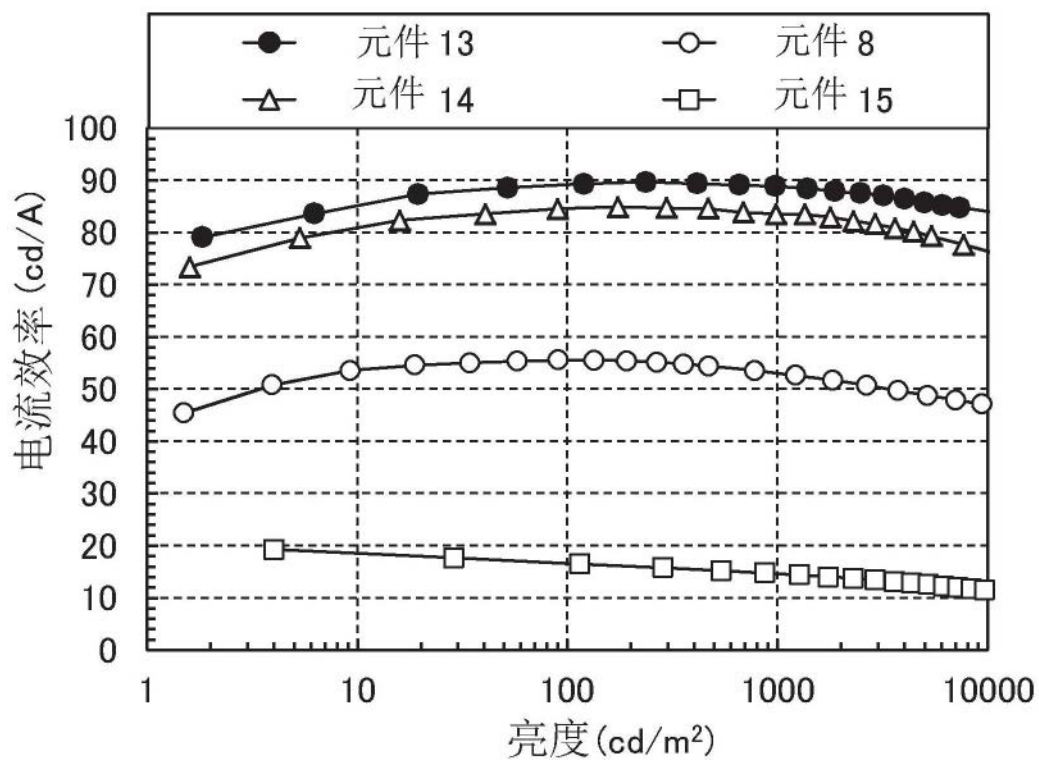


图37

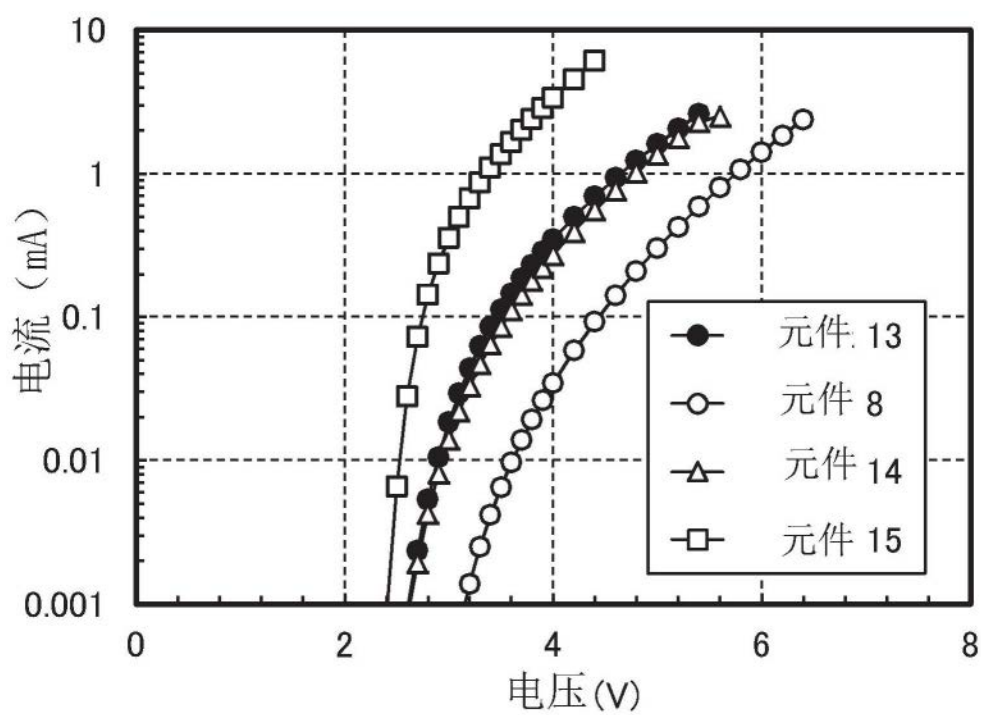


图38

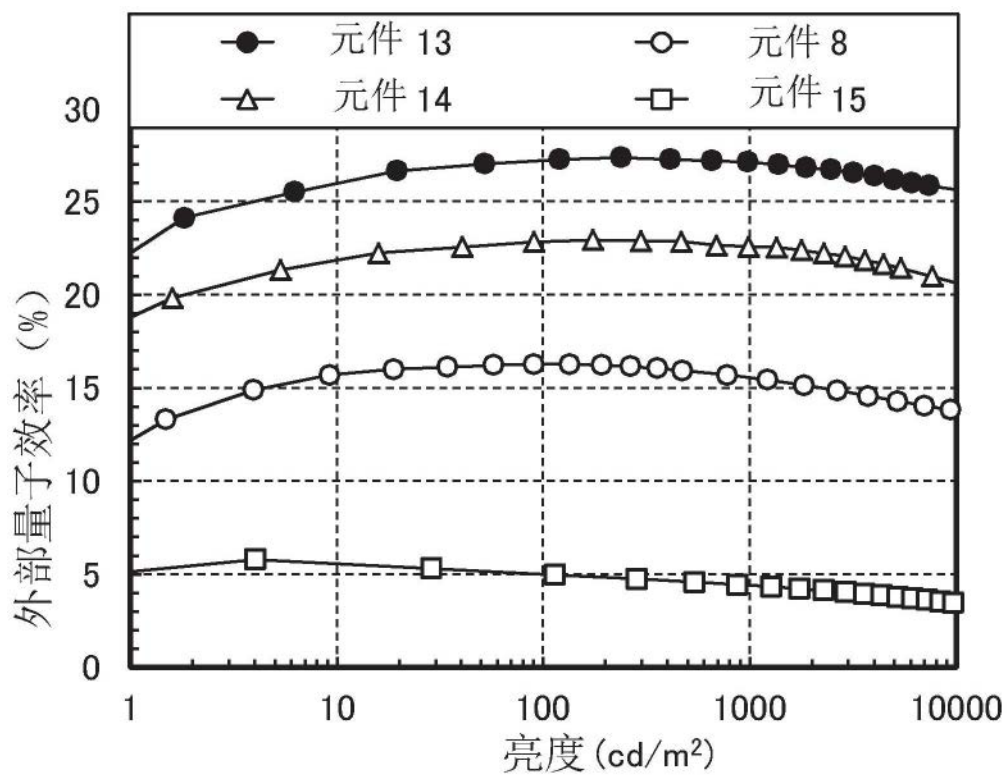


图39

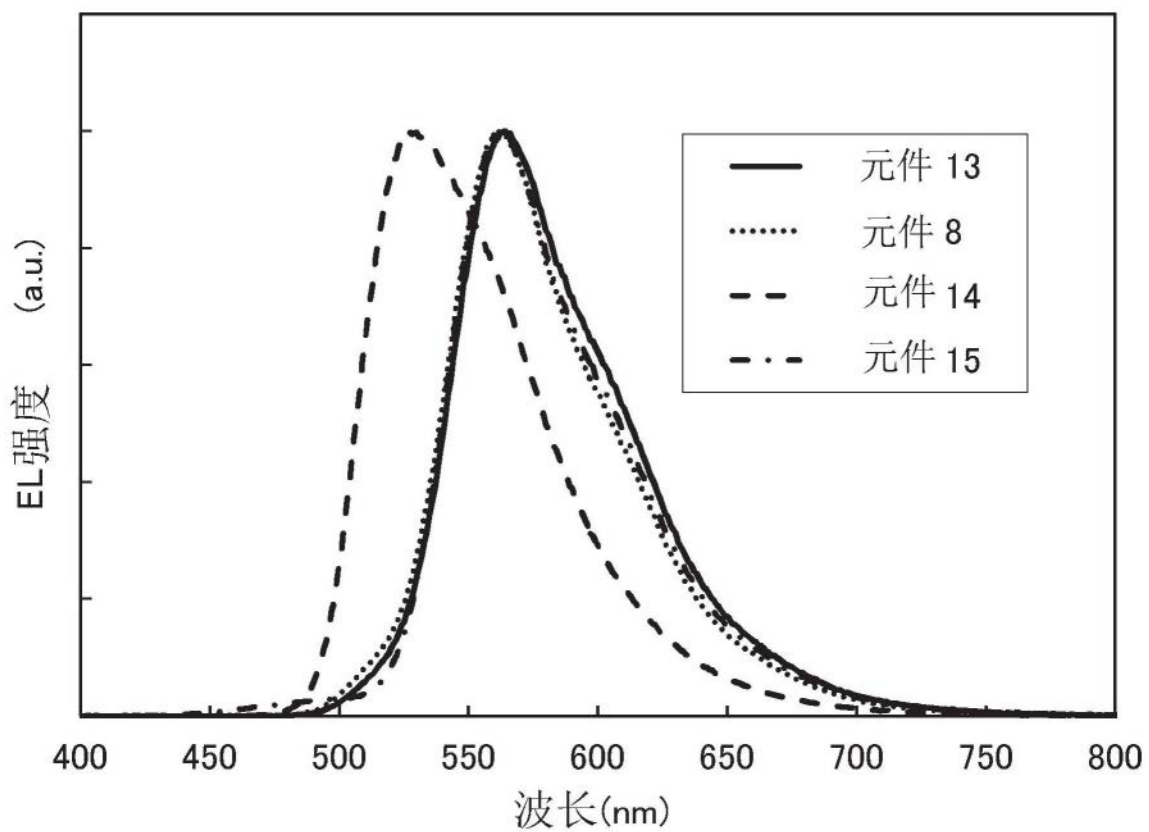


图40

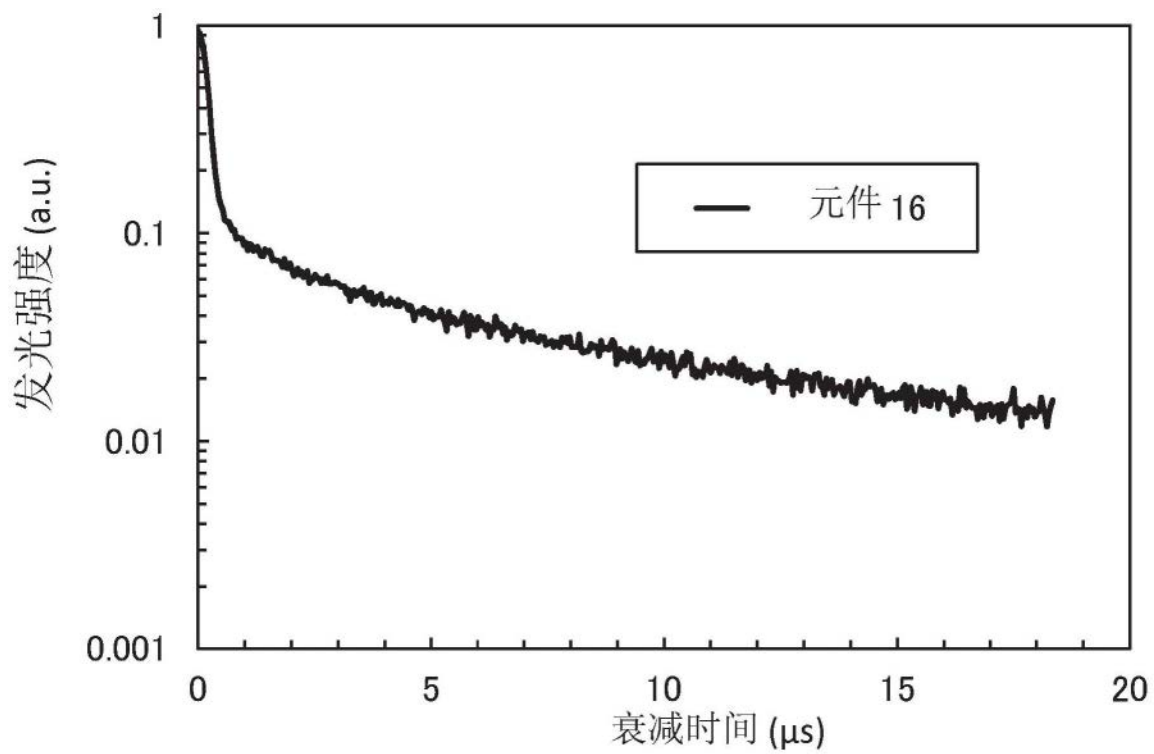


图41

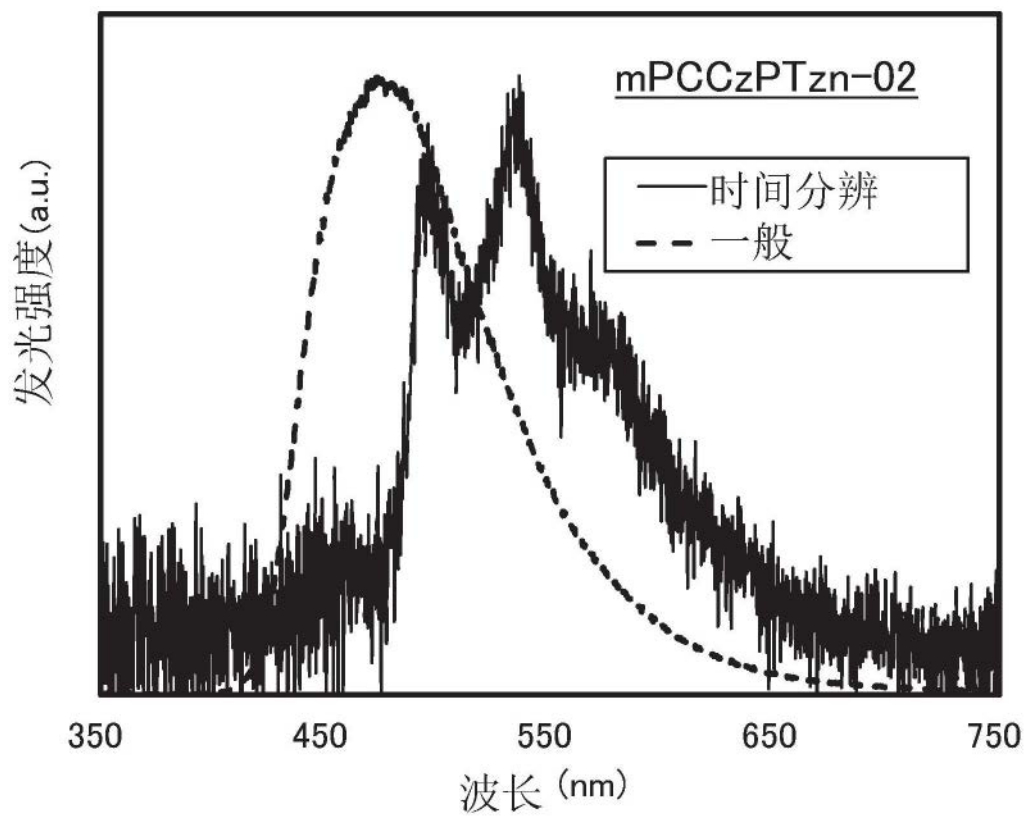


图42

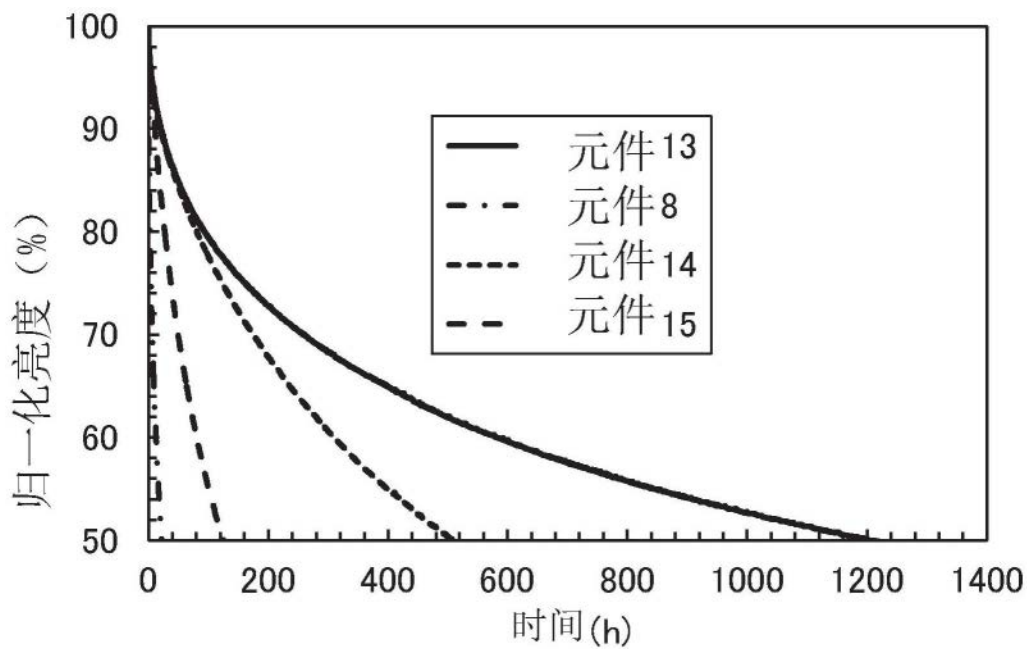


图43

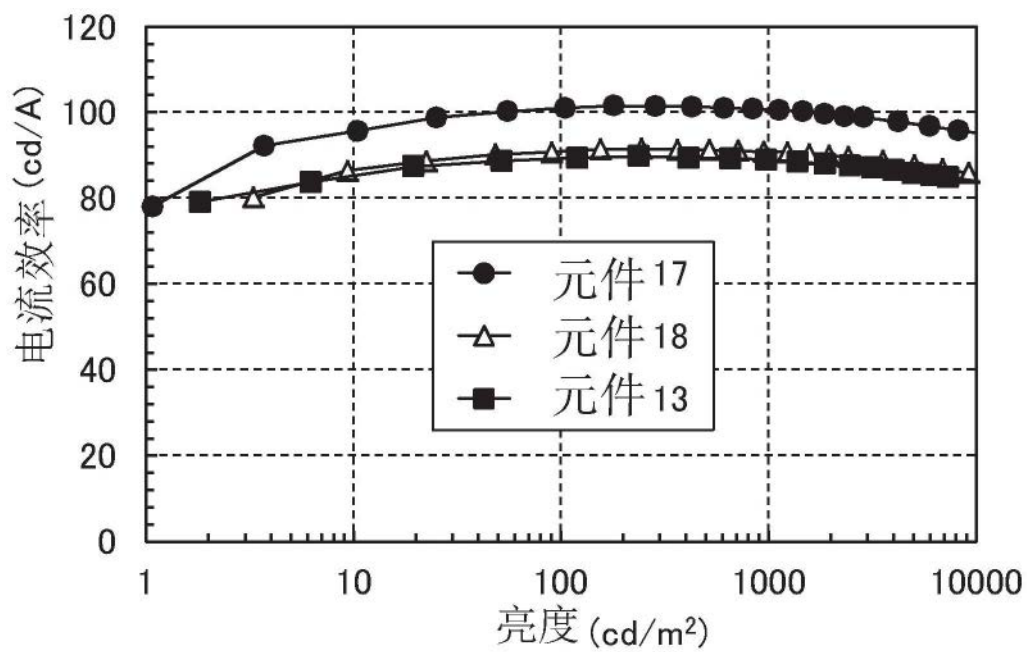


图44

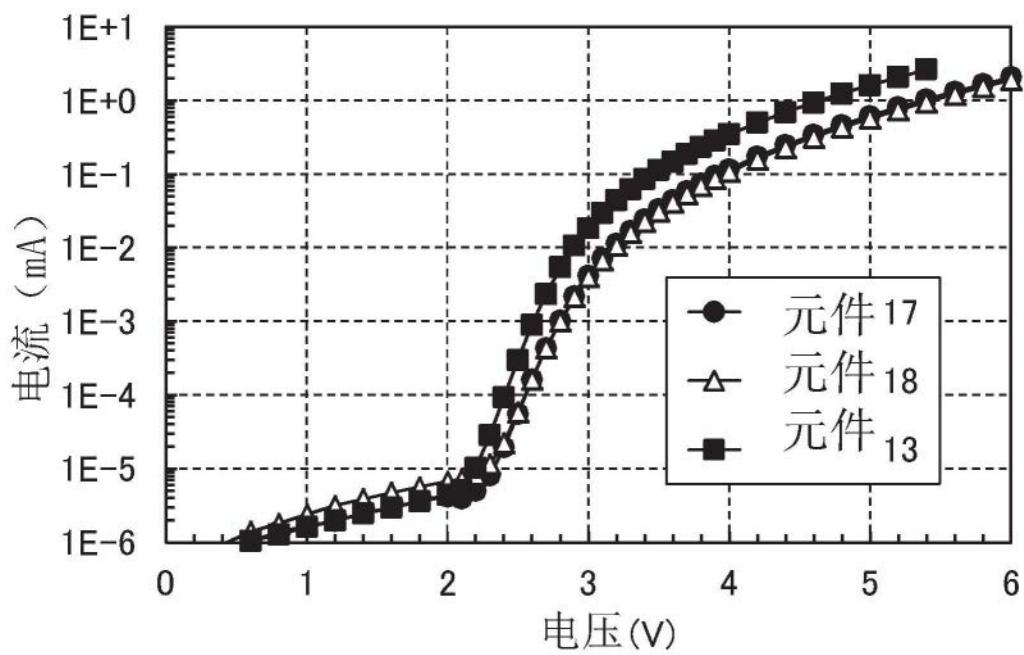


图45

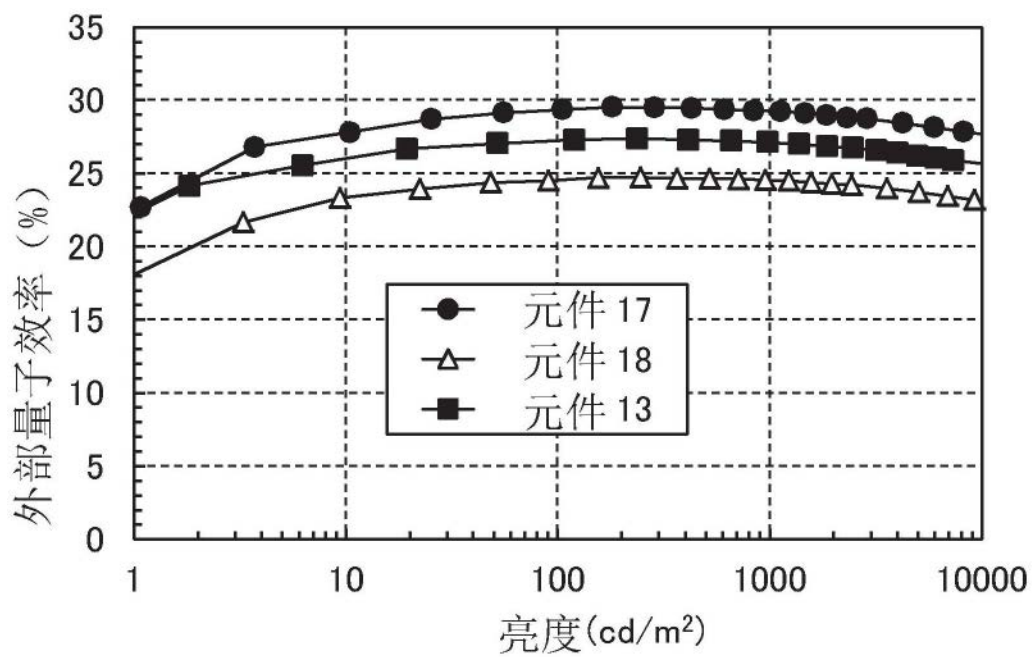


图46

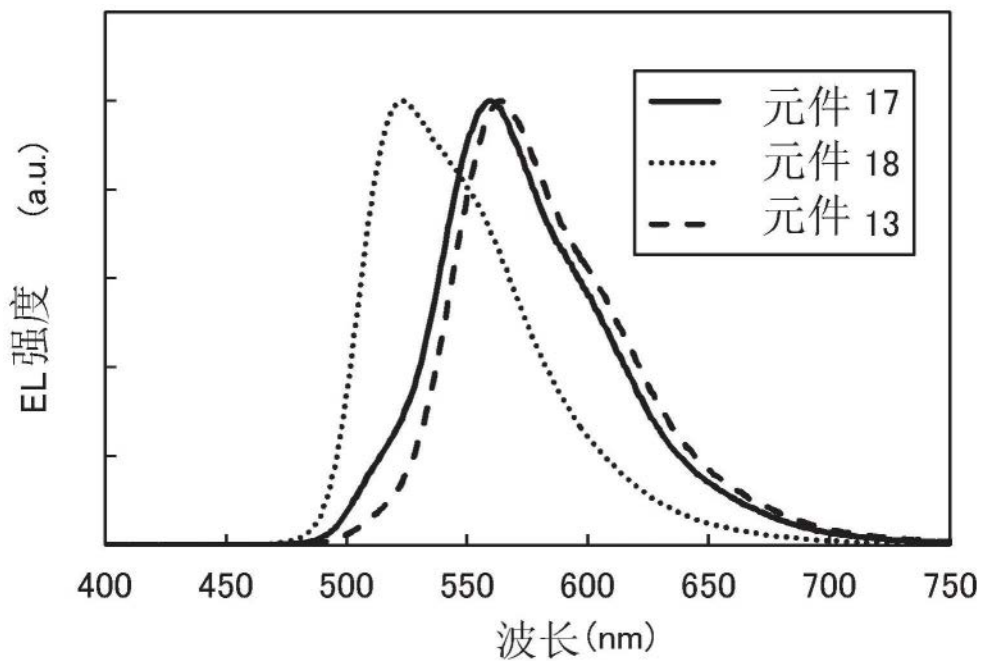


图47

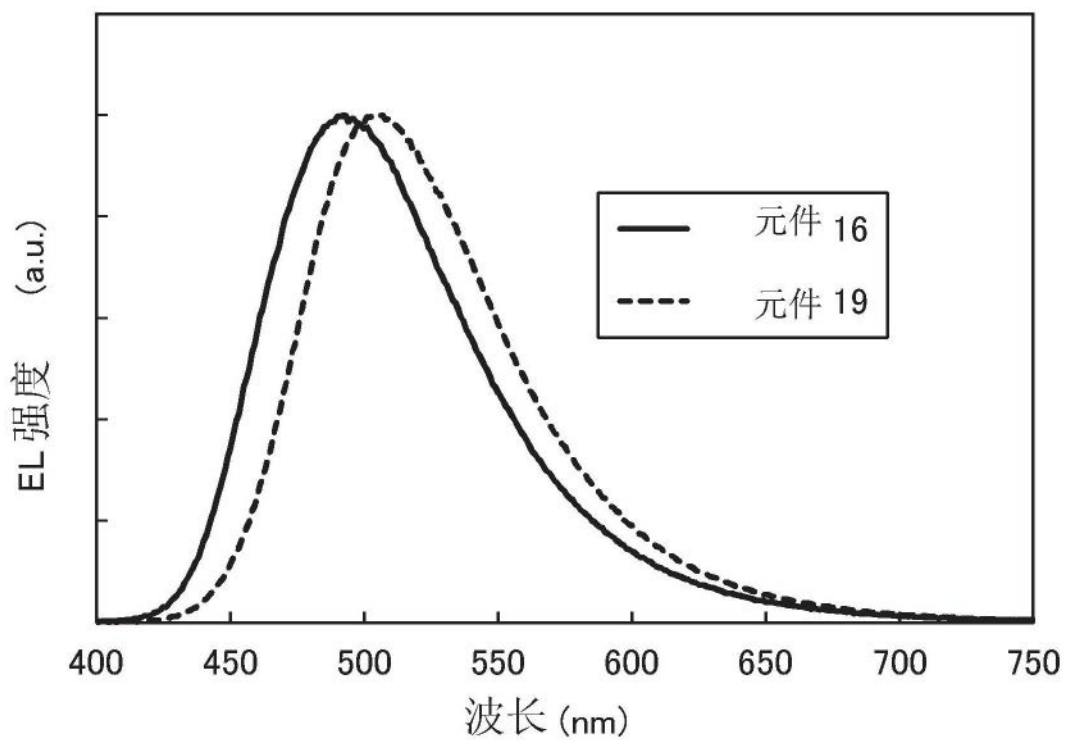


图48

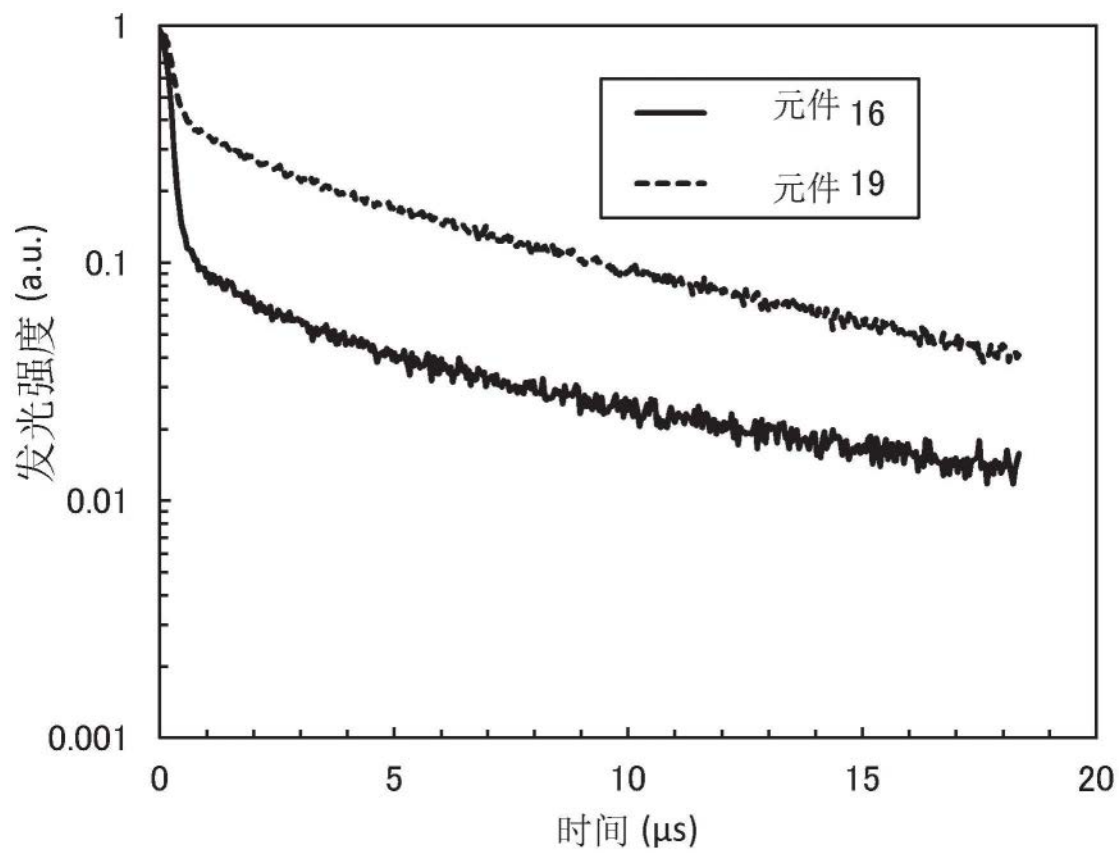


图49

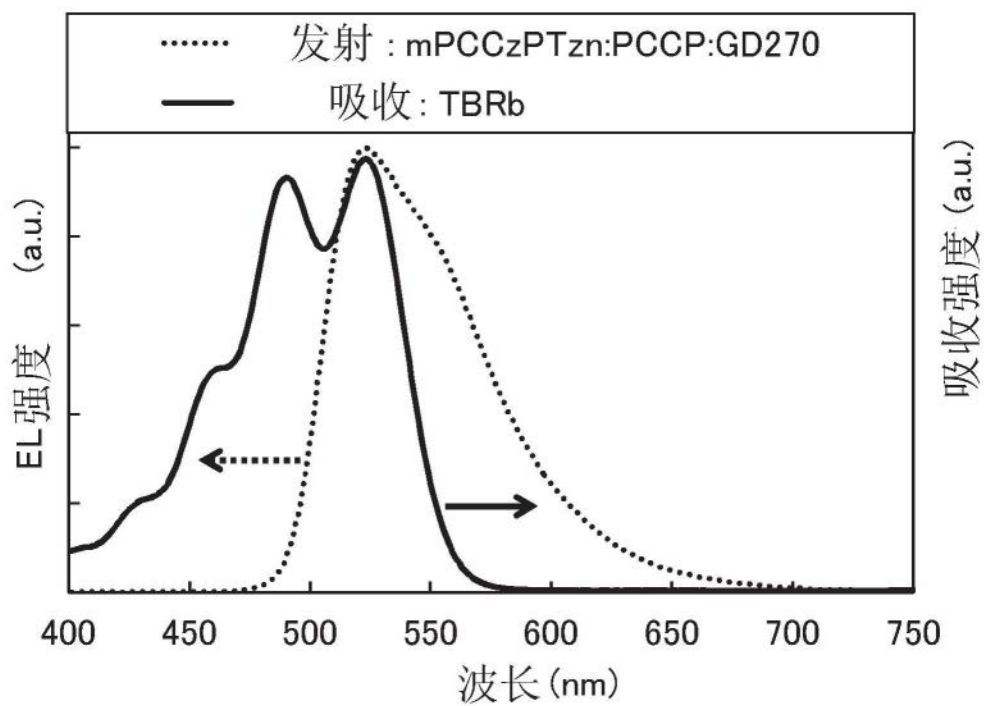


图50