



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101399319 B

(45) 授权公告日 2012. 09. 05

(21) 申请号 200810168105. 2

(22) 申请日 2008. 09. 27

(30) 优先权数据

2007-250934 2007. 09. 27 JP

(73) 专利权人 株式会社半导体能源研究所

地址 日本神奈川

(72) 发明人 下垣智子 铃木恒德 濑尾哲史

(74) 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专

利商标事务所 11038

代理人 郭放

(51) Int. Cl.

H01L 51/50 (2006. 01)

H01L 51/52 (2006. 01)

H01L 51/54 (2006. 01)

H01L 27/32 (2006. 01)

(56) 对比文件

US 2006/0158102 A1, 2006. 07. 20,

W0 2005/043581 A2, 2005. 05. 12,

W0 2005/043581 A2, 2005. 05. 12,

Yuji Hamada et al. Improved luminous efficiency of organic light-emitting diodes by carrier trapping dopants. 《Jpn. J. Appl. Phys. 》. 2001, 第 40 卷 (第 7B 期), L753-L755.

审查员 王鹏

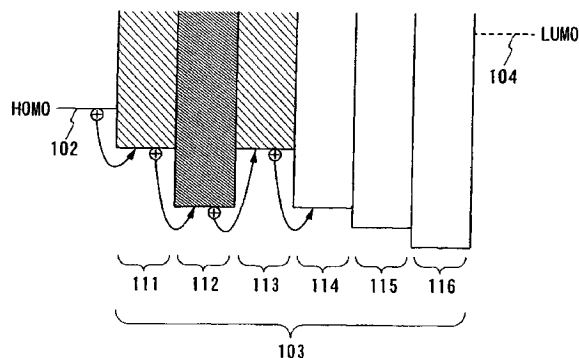
权利要求书 4 页 说明书 38 页 附图 29 页

(54) 发明名称

发光元件、发光装置、以及电子设备

(57) 摘要

本发明提供一种发光元件、发光装置、以及电子设备。其中具体公开了在一对电极之间具有 EL 层的发光元件中, EL 层在用作阳极的电极和具有发光性的第四层 (发光层) 之间至少包括具有空穴注入性的第一层 (空穴注入层)、具有空穴传输性的第二层 (第一空穴传输层)、及具有空穴传输性的第三层 (第二空穴传输层), 并且通过形成第二层的最高占据轨道能级 (HOMO 能级) 的绝对值比第一层及第三层的最高占据轨道能级 (HOMO 能级) 的绝对值大的结构, 降低从用作阳极的电极一侧注入的空穴的移动速度, 以提高发光元件的发光效率。



1. 一种发光元件,包括:

一对电极之间的 EL 层,

其中,所述 EL 层包括:空穴注入层、第一空穴传输层、第二空穴传输层、以及发光层,

所述空穴注入层、所述第一空穴传输层和所述第二空穴传输层在所述发光层与用作阳极的电极之间,

所述第一空穴传输层被置于所述空穴注入层与所述第二空穴传输层之间,并且

所述第一空穴传输层的最高占据轨道能级的绝对值比所述空穴注入层的最高占据轨道能级的绝对值和所述第二空穴传输层的最高占据轨道能级的绝对值大。

2. 根据权利要求 1 所述的发光元件,

其中,所述第一空穴传输层的最高占据轨道能级的绝对值比所述空穴注入层的最高占据轨道能级的绝对值和所述第二空穴传输层的最高占据轨道能级的绝对值大 0.1eV 以上。

3. 根据权利要求 1 所述的发光元件,

其中,所述发光层包括具有电子传输性的物质。

4. 一种包括根据权利要求 1 所述的发光元件的发光装置。

5. 一种包括根据权利要求 4 所述的发光装置的电子设备。

6. 一种发光元件,包括:

一对电极之间的 EL 层,

其中,所述 EL 层包括:空穴注入层、具有空穴传输性的第一空穴传输层、第二空穴传输层、以及发光层,

所述空穴注入层、所述第一空穴传输层和所述第二空穴传输层在所述发光层与用作阳极的电极之间,

所述第一空穴传输层被置于所述空穴注入层与所述第二空穴传输层之间,并且

所述第一空穴传输层的最高占据轨道能级的绝对值比所述空穴注入层的最高占据轨道能级的绝对值和所述第二空穴传输层的最高占据轨道能级的绝对值小。

7. 根据权利要求 6 所述的发光元件,

其中,所述第一空穴传输层的最高占据轨道能级的绝对值比所述空穴注入层的最高占据轨道能级的绝对值和所述第二空穴传输层的最高占据轨道能级的绝对值小 0.1eV 以上。

8. 根据权利要求 6 所述的发光元件,

其中,所述发光层包括具有电子传输性的物质。

9. 一种包括根据权利要求 6 所述的发光元件的发光装置。

10. 一种包括根据权利要求 9 所述的发光装置的电子设备。

11. 一种发光元件,包括:

一对电极之间的 EL 层,

其中,所述 EL 层包括:空穴注入层、具有空穴传输性的第一空穴传输层、第二空穴传输层、发光层、以及控制电子移动的第五层,

所述空穴注入层、所述第一空穴传输层和所述第二空穴传输层在所述发光层与用作阳极的电极之间,

所述第五层在所述发光层与用作阴极的电极之间,

所述第一空穴传输层被置于所述空穴注入层与所述第二空穴传输层之间,

所述第一空穴传输层的最高占据轨道能级的绝对值比所述空穴注入层的最高占据轨道能级的绝对值和所述第二空穴传输层的最高占据轨道能级的绝对值大,并且

所述第五层包括具有电子传输性的第一有机化合物和具有空穴传输性的第二有机化合物,且所述第二有机化合物的含量的质量比低于整体的 50%。

12. 根据权利要求 11 所述的发光元件,

其中,所述第二有机化合物的最低空轨道能级的绝对值和所述第一有机化合物的最低空轨道能级的绝对值的差异为 0.3eV 以下,并且

当所述第一有机化合物的偶极矩为 P_1 ,所述第二有机化合物的偶极矩为 P_2 时,满足 $P_1/P_2 \geq 3$ 的关系。

13. 根据权利要求 11 所述的发光元件,

其中,所述第二有机化合物的最低空轨道能级的绝对值和所述第一有机化合物的最低空轨道能级的绝对值的差异为 0.3eV 以下,

所述第一有机化合物是金属络合物,并且

所述第二有机化合物是芳香胺化合物。

14. 根据权利要求 11 所述的发光元件,

其中,所述发光层包括具有电子传输性的物质。

15. 根据权利要求 11 所述的发光元件,

其中,所述第五层的膜厚度为 5nm 以上 20nm 以下。

16. 一种包括根据权利要求 11 所述的发光元件的发光装置。

17. 一种包括根据权利要求 16 所述的发光装置的电子设备。

18. 一种发光元件,包括:

一对电极之间的 EL 层,

其中,所述 EL 层包括:空穴注入层、具有空穴传输性的第一空穴传输层、第二空穴传输层、发光层、以及控制电子移动的第五层,

所述空穴注入层、所述第一空穴传输层和所述第二空穴传输层在所述发光层与用作阳极的电极之间,

所述第五层在所述发光层与用作阴极的电极之间,

所述第一空穴传输层被置于所述空穴注入层与所述第二空穴传输层之间,

所述第一空穴传输层的最高占据轨道能级的绝对值比所述空穴注入层的最高占据轨道能级的绝对值和所述第二空穴传输层的最高占据轨道能级的绝对值小,并且

所述第五层包括具有电子传输性的第一有机化合物和具有空穴传输性的第二有机化合物,且所述第二有机化合物的含量的质量比低于整体的 50%。

19. 根据权利要求 18 所述的发光元件,

其中,所述第二有机化合物的最低空轨道能级的绝对值和所述第一有机化合物的最低空轨道能级的绝对值的差异为 0.3eV 以下,并且

当所述第一有机化合物的偶极矩为 P_1 ,并所述第二有机化合物的偶极矩为 P_2 时,满足 $P_1/P_2 \geq 3$ 的关系。

20. 根据权利要求 18 所述的发光元件,

其中,所述第二有机化合物的最低空轨道能级的绝对值和所述第一有机化合物的最低

空轨道能级的绝对值的差异为 0.3eV 以下,

所述第一有机化合物是金属络合物,并且

所述第二有机化合物是芳香胺化合物。

21. 根据权利要求 18 所述的发光元件,

其中,所述发光层包括具有电子传输性的物质。

22. 根据权利要求 18 所述的发光元件,

其中,所述第五层的膜厚度为 5nm 以上 20nm 以下。

23. 一种包括根据权利要求 18 所述的发光元件的发光装置。

24. 一种包括根据权利要求 23 所述的发光装置的电子设备。

25. 一种发光元件,包括:

一对电极之间的 EL 层,

其中,所述 EL 层包括:空穴注入层、具有空穴传输性的第一空穴传输层、第二空穴传输层、发光层、以及控制电子移动的第二层,

所述空穴注入层、所述第一空穴传输层和所述第二空穴传输层在所述发光层与用作阳极的电极之间,

所述第二层在所述发光层与用作阴极的电极之间,

所述第一空穴传输层被置于所述空穴注入层与所述第二空穴传输层之间,

所述第一空穴传输层的最高占据轨道能级的绝对值比所述空穴注入层及所述第二空穴传输层的最高占据轨道能级的绝对值大,并且

所述第二层包括具有电子传输性的第一有机化合物和具有电子陷阱性的第二有机化合物,且所述第二有机化合物的含量的质量比低于整体的 50%。

26. 根据权利要求 25 所述的发光元件,

其中,所述第二有机化合物的最低空轨道能级的绝对值比所述第一有机化合物的最低空轨道能级的绝对值大 0.3eV 以上。

27. 根据权利要求 25 所述的发光元件,

其中,所述第一有机化合物是金属络合物,并且

所述第二有机化合物是香豆素衍生物。

28. 根据权利要求 25 所述的发光元件,

其中,所述第一有机化合物是金属络合物,并且

所述第二有机化合物是噻吩酮衍生物。

29. 根据权利要求 25 所述的发光元件,

其中,所述发光层包括具有电子传输性的物质。

30. 根据权利要求 25 所述的发光元件,

其中,所述第五层的膜厚度为 5nm 以上 20nm 以下。

31. 一种包括根据权利要求 25 所述的发光元件的发光装置。

32. 一种包括根据权利要求 31 所述的发光装置的电子设备。

33. 一种发光元件,包括:

一对电极之间的 EL 层,

其中,所述 EL 层包括:空穴注入层、具有空穴传输性的第一空穴传输层、具有空穴传输

性的第二空穴传输层、发光层、以及控制电子移动的第五层，

所述空穴注入层、所述第一空穴传输层和所述第二空穴传输层在所述发光层与用作阳极的电极之间，

所述第五层在所述发光层与用作阴极的电极之间，

所述第一空穴传输层被置于所述空穴注入层与所述第二空穴传输层之间，

所述第一空穴传输层的最高占据轨道能级的绝对值比所述空穴注入层及所述第二空穴传输层的最高占据轨道能级的绝对值小，并且

所述第五层包括具有电子传输性的第一有机化合物和具有电子陷阱性的第二有机化合物，且所述第二有机化合物的含量的质量比低于整体的 50%。

34. 根据权利要求 33 所述的发光元件，

其中，所述第二有机化合物的最低空轨道能级的绝对值比所述第一有机化合物的最低空轨道能级的绝对值大 0.3eV 以上。

35. 根据权利要求 33 所述的发光元件，

其中，所述第一有机化合物是金属络合物，并且

所述第二有机化合物是香豆素衍生物。

36. 根据权利要求 33 所述的发光元件，

其中，所述第一有机化合物是金属络合物，并且

所述第二有机化合物是喹吖啶酮衍生物。

37. 根据权利要求 33 所述的发光元件，

其中，所述发光层包括具有电子传输性的物质。

38. 根据权利要求 33 所述的发光元件，

其中，所述第五层的膜厚度为 5nm 以上 20nm 以下。

39. 一种包括根据权利要求 33 所述的发光元件的发光装置。

40. 一种包括根据权利要求 39 所述的发光装置的电子设备。

发光元件、发光装置、以及电子设备

技术领域

[0001] 本发明涉及在一对电极之间夹着发光物质而成的电流激发型发光元件、具有这种发光元件的发光装置、以及电子设备。

背景技术

[0002] 近年来,对于利用电致发光 (Electroluminescence) 的发光元件进行积极的研究开发。这种发光元件的基本结构是在一对电极之间夹着含有发光物质的层。通过对该元件施加电压,可以获得来自发光物质的发光。

[0003] 这种发光元件是自发光型,具有如下优点,即其像素的可见度高于液晶显示器并且不需要背光灯等。由此,被认为适合用作平面显示元件。此外,这种发光元件的重要优点是能够制造成薄型且轻量。而且,非常快的响应速度也是其特征之一。

[0004] 这种发光元件可以形成为膜状,所以可以通过形成大面积的元件,容易获得面发光。当使用以白炽灯或 LED 为代表的点光源或以荧光灯为代表的线光源时,该特征是很难获得的,因而,作为能够应用于照明等的面光源的利用价值也高。

[0005] 该利用电致发光的发光元件可以根据发光物质是有机化合物还是无机化合物而被大致分类。在本发明中,使用有机化合物作为发光物质。在此情况下,通过对发光元件施加电压,电子及空穴分别从一对电极注入到具有发光有机化合物的层,而电流流过。这些载流子(电子和空穴)的复合引起发光有机化合物形成激发态,并且在从激发态回到基态时发光。

[0006] 由于这样的机理,这种发光元件被称为电流激发型发光元件。注意,作为有机化合物所形成的激发态可以采用单重激发态或三重激发态。从单重激发态发射的光被称为荧光,而从三重激发态发射的光被称为磷光。

[0007] 对于这种发光元件,在改善其元件特性方面上存在依赖于物质的许多问题,为了解决这些问题,进行元件结构的改进、物质的开发等。

[0008] 例如,在非专利文献 1 中,通过提供空穴阻挡层,使使用磷光物质的发光元件有效地发光。但是,如非专利文献 1 所述,有如下问题:空穴阻挡层没有耐久性,并且发光元件的使用寿命极短。

[0009] [非专利文献 1]

[0010] Tetsuo Tsutsui 以及其他八名,Japanese Journal of Applied Physics,vol. 38, L1502-1504(1999)

发明内容

[0011] 鉴于上述问题,本发明的目的在于通过形成具有与现有结构不同的元件结构的发光元件,来提供一种发光元件,其中发光效率高,且使用寿命比现有的发光元件的使用寿命长。本发明的目的还在于提供发光效率高的发光装置以及电子设备。

[0012] 本发明的发光元件是在一对电极之间具有 EL 层的发光元件,其中 EL 层在用作阳

极的电极和具有发光性的第四层（发光层）之间至少包括具有空穴注入性的第一层（空穴注入层）、具有空穴传输性的第二层（第一空穴传输层）、以及具有空穴传输性的第三层（第二空穴传输层），并且第二层的最高占据轨道能级（HOMO 能级）的绝对值比第一层及第三层的最高占据轨道能级（HOMO 能级）的绝对值大。

[0013] 注意，在上述结构中，第二层的 HOMO 能级的绝对值比第一层及第三层的 HOMO 能级的绝对值大 0.1eV 以上。

[0014] 此外，本发明的另一个结构是在一对电极之间具有 EL 层的发光元件，其中 EL 层在用作阳极的电极和第四层（发光层）之间至少包括第一层（空穴注入层）、第二层（第一空穴传输层）、以及第三层（第二空穴传输层），第二层的最高占据轨道能级（HOMO 能级）的绝对值比第一层及第三层的最高占据轨道能级（HOMO 能级）的绝对值小。

[0015] 注意，在上述结构中，第二层的 HOMO 能级的绝对值比第一层及第三层的 HOMO 能级的绝对值小 0.1eV 以上。

[0016] 就是说，通过形成上述两种结构的发光元件，可以降低从用作阳极的电极一侧注入的空穴的移动速度，因此可以提高发光元件的发光效率。

[0017] 此外，除了上述各种结构以外，本发明的特征还在于：EL 层在用作阴极的电极和第四层（发光层）之间至少包括控制电子移动的第五层（载流子控制层），并且第五层由具有电子传输性的第一有机化合物和具有空穴传输性的第二有机化合物构成，且第二有机化合物的含量的质量比低于整体的 50%。注意，更优选将浓度控制为使得第二有机化合物的含量为整体的 1 重量%至 20 重量%。

[0018] 在上述结构中，当在速度论上使第五层（载流子控制层）起作用时，第二有机化合物的最低空轨道能级（LUMO 能级）的绝对值和第一有机化合物的最低空轨道能级（LUMO 能级）的绝对值的差异为 0.3eV 以下，并且当设第一有机化合物的偶极矩为 P_1 ，而设第二有机化合物的偶极矩设定为 P_2 时，满足 $P_1/P_2 \geq 3$ 的关系。

[0019] 在上述结构中，优选使用金属络合物作为第一有机化合物，而使用芳香胺化合物作为第二有机化合物。

[0020] 此外，除了上述结构以外，当在热力学上使第五层（载流子控制层）起作用时，第五层由具有电子传输性的第一有机化合物和具有电子陷阱性的第二有机化合物构成，且第二有机化合物的含量的质量比低于整体的 50%。注意，更优选将浓度控制为第二有机化合物的含量为整体的 0.1 重量%至 5 重量%。此外，第二有机化合物的 LUMO 能级的绝对值优选比第一有机化合物的 LUMO 能级的绝对值大 0.3eV 以上。再者，优选的是，使用金属络合物作为第一有机化合物，而使用香豆素衍生物或喹吖啶酮衍生物作为第二有机化合物。

[0021] 另外，在上述结构中，第五层的厚度优选为 5nm 以上且 20nm 以下。

[0022] 注意，在上述各种结构中，第四层（发光层）优选包含具有电子传输性的物质。

[0023] 此外，本发明在其范围内也包括具有上述发光元件的发光装置、以及具有发光装置的设备。在本说明书中的发光装置指的是图像显示装置、或光源（包括照明装置）。此外，发光装置还包括如下所有的模块：在发光装置中安装有连接器例如 FPC（柔性印刷电路）、TAB（带式自动键合）带或 TCP（载带封装）的模块；在 TAB 胶带或 TCP 前端上设置有印刷线路板的模块；或通过 COG（晶玻接装，chip on glass）方式将 IC（集成电路）直接安装在发光装置上的模块等。

[0024] 由于根据本发明可以降低发光元件的载流子的空穴的移动速度,因此可以提高发光层中的复合的几率,以可以提高发光元件的发光效率。再者,通过将能够降低电子的移动速度的结构与上述结构组合,可以获得效率高且使用寿命长的发光元件。此外,通过将本发明的发光元件应用于发光装置及电子设备,可以获得减少了耗电量的发光装置及电子设备。

附图说明

- [0025] 图 1A 和 1B 是示出实施方式 1 中的发光元件的能带结构的图;
- [0026] 图 2A 和 2B 是示出实施方式 1 中的发光元件的叠层结构的图;
- [0027] 图 3A 至 3C 是示出实施方式 1 中的发光元件的发光方式的图;
- [0028] 图 4A 和 4B 是示出实施方式 2 中的发光元件的能带结构的图;
- [0029] 图 5A 和 5B 是示出实施方式 2 中的发光元件的叠层结构的图;
- [0030] 图 6A 和 6B 是示出实施方式 2 中的发光元件的发光方式的图;
- [0031] 图 7 是示出实施方式 2 中的发光元件的能带结构的图;
- [0032] 图 8 是示出实施方式 3 中的发光元件的叠层结构的图;
- [0033] 图 9A 和 9B 是示出实施方式 4 中的有源矩阵型发光装置的图;
- [0034] 图 10A 和 10B 是示出实施方式 4 中的无源矩阵型发光装置的图;
- [0035] 图 11A 至 11D 是示出实施方式 5 中的电子设备的图;
- [0036] 图 12 是将本发明的发光装置用作背光灯的液晶显示装置的图;
- [0037] 图 13 是示出使用本发明的发光装置的台灯的图;
- [0038] 图 14 是示出使用本发明的发光装置的室内照明装置的图;
- [0039] 图 15A 和 15B 是示出实施例 1 中的发光元件的元件结构的图;
- [0040] 图 16A 和 16B 是示出实施例 2 中的发光元件的元件结构的图;
- [0041] 图 17 是示出发光元件 1 至 4 的电流密度 - 亮度特性的图;
- [0042] 图 18 是示出发光元件 1 至 4 的电压 - 亮度特性的图;
- [0043] 图 19 是示出发光元件 1 至 4 的亮度 - 电流效率特性的图;
- [0044] 图 20 是示出发光元件 1 至 3 的发光光谱的图;
- [0045] 图 21 是示出发光元件 5 至 8 的电流密度 - 亮度特性的图;
- [0046] 图 22 是示出发光元件 5 至 8 的电压 - 亮度特性的图;
- [0047] 图 23 是示出发光元件 5 至 8 的亮度 - 电流效率特性的图;
- [0048] 图 24 是示出发光元件 5 至 7 的发光光谱的图;
- [0049] 图 25 是示出发光元件 5 至 8 的利用恒流驱动连续点亮测试结果的图;
- [0050] 图 26 是示出发光元件 9 至 12 的电流密度 - 亮度特性的图;
- [0051] 图 27 是示出发光元件 9 至 12 的电压 - 亮度特性的图;
- [0052] 图 28 是示出发光元件 9 至 12 的亮度 - 电流效率特性的图;
- [0053] 图 29 是示出发光元件 9 至 11 的发光光谱的图;
- [0054] 图 30 是示出发光元件 9 至 12 的利用恒流驱动连续点亮测试结果的图;
- [0055] 图 31 是示出 YGASF 的 CV 特性的曲线图;
- [0056] 图 32 是示出 YGABP 的 CV 特性的曲线图;

- [0057] 图 33 是示出 TCTA 的 CV 特性的曲线图；
[0058] 图 34 是示出 NPB 的 CV 特性的曲线图；
[0059] 图 35 是示出 DNTPD 的 CV 特性的曲线图；
[0060] 图 36 是示出 Alq 的 CV 特性的曲线图；
[0061] 图 37 是示出 DPQd 的 CV 特性的曲线图；
[0062] 图 38 是示出 2PCAPA 的 CV 特性的曲线图。

具体实施方式

[0063] 下面,将参照附图说明本发明的实施方式。但是,本发明不局限于如下说明,而其方式及详细内容在不脱离本发明的宗旨及其范围下可以被变换为各种各样的形式。因此,本发明不应该被解释为仅限定在实施方式所记载的内容中。

[0064] 实施方式 1

[0065] 在本实施方式 1 中,说明本发明的发光元件,该发光元件具有降低作为发光元件的载流子的空穴的移动速度的结构。

[0066] 本实施方式 1 中的发光元件由用作阳极的第一电极、用作阴极的第二电极、以及设置在第一电极和第二电极之间的 EL 层构成。EL 层至少包括从第一电极一侧按顺序层叠的空穴注入层、第一空穴传输层、第二空穴传输层、以及发光层,并可以设置为第一空穴传输层的最高占据轨道能级(HOMO 能级)比空穴注入层及第二空穴传输层的 HOMO 能级深(第一空穴传输层的 HOMO 能级的绝对值较大)或浅(第一空穴传输层的 HOMO 能级的绝对值较小)。其他层并没有特别的限制。此外,在本实施方式 1 的发光元件中,当通过以第一电极 102 的电位比第二电极 104 的电位高的方式对它们分别施加电压时,可以获得发光。

[0067] 于是,说明如下情况:如图 1 所示,EL 层 103 从第一电极 102 一侧开始包括第一层(空穴注入层)111、第二层(第一空穴传输层)112、第三层(第二空穴传输层)113、第四层(发光层)114、第五层(电子传输层)115、第六层(电子注入层)116。

[0068] 在图 1A 的发光元件的 EL 层 103 中,第二层(第一空穴传输层)112 的最高占据轨道能级(HOMO 能级)比第一层(空穴注入层)111 及第三层(第二空穴传输层)113 的 HOMO 能级深(第二层 112 的 HOMO 能级的绝对值大)。通过采用这种结构,可以降低从第一电极 102 注入的空穴到达第四层(发光层)114 的移动速度。在此情况下,具体而言,第二层 112 的 HOMO 能级的绝对值比第一层 111 及第三层 113 的 HOMO 能级的绝对值大 0.1eV 以上。

[0069] 另一方面,在图 1B 的发光元件的 EL 层 103 中,第二层(第一空穴传输层)112 的最高占据轨道能级(HOMO 能级)比第一层(空穴注入层)111 及第三层(第二空穴传输层)113 的 HOMO 能级浅(第二层 112 的 HOMO 能级的绝对值小)。通过采用这种结构,也可以降低从第一电极 102 注入的空穴到达第四层(发光层)114 的移动速度。在此情况下,具体而言,第二层 112 的 HOMO 能级的绝对值优选比第一层 111 及第三层 113 的 HOMO 能级的绝对值小 0.1eV 以上。

[0070] 注意,由于当采用图 1A 或 1B 的结构时都可以降低从第一电极 102 注入的空穴的移动速度,因此发光元件中的载流子平衡提高,以可以实现元件的高效率化。此外,根据用于第一层(空穴注入层)111、第二层(第一空穴传输层)112、以及第三层(第二空穴传输层)113 的物质的 HOMO 能级而采用图 1A 和 1B 的某一种元件结构。

[0071] 此外特别地,在第四层(发光层)114包含具有电子传输性的物质的情况下,如图1A和1B那样的结构有效。在第四层(发光层)114包含具有电子传输性的物质的情况下,发光区域位于第四层(发光层)114和第三层(第二空穴传输层)113的界面附近。若是在该界面附近因过剩的空穴而生成阳离子,发光效率明显地降低,因为阳离子起到淬灭剂的作用。然而,在本发明的结构中控制空穴的移动速度,因此可以抑制在第四层(发光层)114周边发生的阳离子生成,抑制发光效率的降低。由此,可以形成发光效率高的发光元件。

[0072] 参照图2A和2B说明本实施方式1的发光元件的结构。衬底101用作发光元件的支撑体。作为衬底101,例如可以使用玻璃、石英、塑料等。

[0073] 注意,可以将上述衬底101残留在利用本发明的发光元件的产品的发光装置或电子设备中,但是也可以不残留在最终产品中而只在发光元件的制造工序中起支撑体的作用。

[0074] 作为形成在衬底101上的第一电极102,优选使用功函数大的(具体地,4.0eV以上)的金属、合金、导电化合物、以及它们的混合物等。具体而言,例如可以举出氧化铟-氧化锡(ITO:氧化铟锡)、含有硅或氧化硅的氧化铟-氧化锡、氧化铟-氧化锌(IZO:氧化铟锌)、含有氧化钨及氧化锌的氧化铟(IWZO)等。另外,可以举出金(Au)、铂(Pt)、镍(Ni)、钨(W)、铬(Cr)、钼(Mo)、铁(Fe)、钴(Co)、铜(Cu)、钯(Pd)、Ti(钛)或金属材料的氮化物(例如,氮化钛)等。

[0075] 通常通过溅射法堆积这些材料。例如,可以通过使用相对于氧化铟添加1wt%至20wt%的氧化锌的靶且利用溅射法来形成氧化铟-氧化锌(IZO)。此外,可以通过使用相对于氧化铟添加有0.5wt%至5wt%的氧化钨和0.1wt%至1wt%的氧化锌的靶且利用溅射法,来堆积含有氧化钨和氧化锌的氧化铟(IWZO)。除了上述方法之外,还可以应用溶胶-凝胶法等,采用喷墨法、旋涂法等制造。

[0076] 另外,在作为用于形成在第一电极102上的EL层103中的以接触于第一电极102的方式形成的第一层111的材料,使用下述复合材料的情况下,作为用于第一电极102的物质,可以与功函数的大小无关地使用各种金属、合金、导电化合物、以及它们的混合物等。例如,还可以使用铝(Al)、银(Ag)、包含铝的合金(AlSi)等。

[0077] 此外,还可以使用作为功函数小的材料的属于元素周期表中第1族或第2族的元素,即碱金属如锂(Li)或铯(Cs)等;碱土金属如镁(Mg)、钙(Ca)或锶(Sr)等;包含这些金属的合金(MgAg、AlLi);稀土金属如铕(Eu)、镱(Yb)等;以及包含它们的合金等。

[0078] 注意,在使用碱金属、碱土金属、以及包含这些金属的合金形成第一电极102的情况下,可以采用真空蒸镀法或溅射法。再者,在使用银膏等的情况下,可以采用涂敷法或喷墨法等。

[0079] 可以使用已知的物质作为形成在第一电极102上的EL层103,既可以采用低分子化合物也可以采用高分子化合物。注意,不仅只由有机化合物构成的物质,包含一部分无机化合物的物质也包括在形成EL层103的物质中。

[0080] 通过将包含具有高空穴注入性的物质而成的空穴注入层、包含具有高空穴传输性的物质而成的空穴传输层、由发光物质构成的发光层、包含具有高电子传输性的物质而成的电子传输层、包含具有高电子注入性的物质而成的电子注入层等适当地组合而层叠,来形成EL层103。

[0081] 但是,在本实施方式1中,EL层103至少包括从第一电极102一侧按顺序层叠的空穴注入层、第一空穴传输层、第二空穴传输层、以及发光层,并且第一空穴传输层的最高占据轨道能级(HOMO能级)必须设置为比空穴注入层及第二空穴传输层的HOMO能级深(第一空穴传输层的HOMO能级的绝对值较大)。

[0082] 图2A和2B说明如下情况:EL层103与图1A和1B同样地从第一电极102一侧层叠第一层(空穴注入层)111、第二层(第一空穴传输层)112、第三层(第二空穴传输层)113、第四层(发光层)114、第五层(电子传输层)115、以及第六层(电子注入层)116而成。

[0083] 作为空穴注入层的第一层111是包含具有高空穴注入性的物质的空穴注入层。作为具有高空穴注入性的物质,可以使用钼氧化物或钒氧化物、钽氧化物、钨氧化物、锰氧化物等。另外,作为低分子有机化合物,也可以使用酞菁类化合物诸如酞菁(缩写:H₂Pc)、铜(II)酞菁(缩写:CuPc)、钒氧酞菁(缩写:VOPc)等。

[0084] 此外,还可以使用作为低分子有机化合物的芳香胺化合物等,诸如4,4',4''-三(N,N-二苯基氨基)-三苯胺(缩写:TDATA)、4,4',4''-三[N-(3-甲基苯基)-N-苯基氨基]-三苯胺(缩写:MTDATA)、4,4'-双[N-(4-二苯基氨基苯基)-N-苯基氨基]联苯(缩写:DPAB)、4,4'-双(N-{4-[N'-(3-甲基苯基)-N'-苯基氨基]苯基}-N-苯基氨基)联苯(缩写:DNTPD)、1,3,5-三[N-(4-二苯基氨基苯基)-N-苯基氨基]苯(缩写:DPA3B)、3-[N-(9-苯基咔唑-3-某基)-N-苯基氨基]-9-苯基咔唑(缩写:PCzPCA1)、3,6-二[N-(9-苯基咔唑-3-某基)-N-苯基氨基]-9-苯基咔唑(缩写:PCzPCA2)、以及3-[N-(1-萘基)-N-(9-苯基咔唑-3-某基)氨基]-9-苯基咔唑(缩写:PCzPCN1)等。

[0085] 再者,还可以使用高分子化合物(低聚物、树枝状聚合物、聚合物等)。例如,可以举出以下高分子化合物:聚(N-乙烯咔唑)(缩写:PVK);聚(4-乙烯三苯胺)(缩写:PVTTPA);聚[N-(4-{N'-[4-(4-二苯基氨基)苯基]苯基-N'-苯基氨基}苯基)甲基丙烯酸酯](缩写:PTPDMA);以及聚[N,N'-双(4-丁基苯基)-N,N'-双(苯基)联苯胺](缩写:Poly-TPD)等。另外,还可以使用添加了酸的高分子化合物诸如聚(3,4-乙烯二氧噻吩)/聚(苯乙烯磺酸)(PEDOT/PSS)、以及聚苯胺/聚(苯乙烯磺酸)(PANI/PSS)等。

[0086] 作为第一层111的材料,可以使用使具有高空穴传输性的物质包含受主物质的复合材料。注意,通过使用使具有高空穴传输性的物质包含受主物质的复合材料,可以与其功函数无关地选择用于形成电极的材料。换句话说,除了功函数大的材料之外,还可以使用功函数小的材料作为第一电极102。这样复合材料可以通过具有高空穴传输性的物质和受主物质的共蒸镀来形成。注意,在本说明书中,复合指的是如下状态:通过不是简单地混合两种材料,而是混合多种材料,会在材料之间发生电荷的授受。

[0087] 可以使用各种化合物作为用于复合材料的有机化合物,例如芳香胺化合物、咔唑衍生物、芳香烃、以及高分子化合物(低聚物、树枝状聚合物、以及聚合物等)等。注意,优选使用具有高空穴传输性的有机化合物作为用于复合材料的有机化合物。具体地说,优选使用空穴迁移率为 $10^{-6}\text{cm}^2/\text{Vs}$ 以上的物质。然而,只要是空穴传输性比电子传输性高的物质即可,可以使用除此之外的其他物质。下面,具体地举出能够用于复合材料的有机化合物。

[0088] 可以使用如下材料作为能够用于复合材料的有机化合物,例如芳香胺化合物诸如MTDATA、TDATA、DPAB、DNTPD、DPA3B、PCzPCA1、PCzPCA2、PCzPCN1、4,4'-双[N-(1-萘基)-N-苯基氨基]联苯(缩写:NPB或 α -NPD)、以及N,N'-双(3-甲基苯基)-N,N'-二苯

基-[1,1'-联苯基]-4,4'-二胺(缩写:TPD)等;或者咪唑衍生物诸如4,4'-双(N-咪唑基)-联苯(缩写:CBP)、1,3,5-三[4-(N-咪唑基)苯基]苯(缩写:TCPB)、9-[4-(N-咪唑基)]苯基-10-苯基蒽(缩写:CzPA)、以及1,4-双[4-(N-咪唑基)苯基]-2,3,5,6-四苯基苯等。

[0089] 此外,可以举出芳香烃化合物,诸如2-叔丁基-9,10-二(2-萘基)蒽(缩写:t-BuDNA)、2-叔丁基-9,10-二(1-萘基)蒽、9,10-双(3,5-二苯基苯基)蒽(缩写:DPPA)、2-叔丁基-9,10-双(4-苯基苯基)蒽(缩写:t-BuDBA)、9,10-二(2-萘基)蒽(缩写:DNA)、9,10-二苯基蒽(缩写:DPAnth)、2-叔丁基蒽(缩写:t-BuAnth)、9,10-双(4-甲基-1-萘基)蒽(缩写:DMNA)、9,10-双[2-(1-萘基)苯基]-2-叔丁基-蒽、9,10-双[2-(1-萘基)苯基]蒽、2,3,6,7-四甲基-9,10-二(1-萘基)蒽等。

[0090] 而且,还可以举出芳香烃化合物,诸如2,3,6,7-四甲基-9,10-二(2-萘基)蒽、9,9'-二蒽基、10,10'-二苯基-9,9'-二蒽基、10,10'-双(2-苯基苯基)-9,9'-二蒽基、10,10'-双[(2,3,4,5,6-五苯基)苯基]-9,9'-二蒽基、蒽、并四苯、红荧烯、二萘嵌苯、2,5,8,11-四(叔丁基)二萘嵌苯、并五苯、六苯并苯、4,4'-双(2,2-二苯基乙烯基)联苯(缩写:DPVBi)、以及9,10-双[4-(2,2-二苯基乙烯基)苯基]蒽(缩写:DPVPA)等。

[0091] 此外,作为受主物质,可以举出7,7,8,8-四氰-2,3,5,6-四氟二甲基对苯醌(缩写:F₄-TCNQ)、氯醌等的有机化合物、以及过渡金属氧化物。另外,还可以举出属于元素周期表中的第4族至第8族元素的金属的氧化物。具体地说,优选使用氧化钒、氧化铌、氧化钽、氧化铬、氧化钼、氧化钨、氧化锰以及氧化镱,因为它们的电子接受性高。其中,氧化钼是尤其优选的,因为氧化钼在大气中也稳定而且吸湿性低,被容易处理。

[0092] 此外,第一层111也可以使用利用上述高分子化合物诸如PVK、PVTPA、PTPDMA、或Poly-TPD等、以及上述受主物质形成的复合材料。

[0093] 作为第一空穴传输层的第二层112、以及作为第二空穴传输层的第三层113是包含具有高空穴传输性的物质的层。作为具有高空穴传输性的物质,可以使用芳香胺化合物诸如作为低分子有机化合物的NPB(或 α -NPD)、TPD、4,4'-双[N-(9,9-二甲基芴-2-某基)-N-苯基氨基]联苯(缩写:DFLDPBi)、以及4,4'-双[N-(螺-9,9'-二芴-2-某基)-N-苯基氨基]-1,1'-联苯(缩写:BSPB)等、4,4'-双(N-咪唑基)联苯(缩写:CBP)、2,7-二(N-咪唑基)-螺-9,9'-二芴(缩写:SFDCz)、4,4',4''-三[N-(3-甲基苯)-N-苯胺]三苯胺(缩写:MTDATA)、N-[4-(9H-咪唑-9-某基)苯基]-N-苯基-螺-9,9'-联芴-2-胺(缩写:YGASF)、N,N'-双[4-(9H-咪唑-9-某基)苯基]-N,N'-二苯基联苯-4,4'-二胺(缩写:YGABP)、1,3,5-三(N-咪唑基)苯(缩写:TCzB)、4,4',4''-三(N-咪唑基)三苯胺(缩写:TCTA)、4,4'-双(N-{4-[N'-(3-甲基苯)-N'-苯胺]苯基}-N-苯胺)联苯(缩写:DNTPD)、以及作为高分子化合物的PVK、PVTPA、PTPDMA、Poly-TPD。

[0094] 注意,上述物质主要是具有 $10^{-6}\text{cm}^2/\text{Vs}$ 以上的空穴迁移率的物质。但是,只要是其空穴传输性比电子传输性高的物质即可,可以使用所述物质之外的已知物质。

[0095] 在本实施方式1中,可以将上述物质用于第一层111、第二层112、以及第三层113。但是,需要根据各种物质的最高占据轨道能级(HOMO能级)选择所使用的物质,以将用于第二层112的物质的HOMO能级设定为比用于第一层111及第三层113的物质的HOMO能级深

(用于第二层 112 的物质的 HOMO 能级的绝对值较大)或浅(用于第二层 112 的物质的 HOMO 能级的绝对值较小)。

[0096] 注意,在上述物质中,NPB 的 HOMO 能级为 $-5.27[\text{eV}]$ 、YGASF 的 HOMO 能级为 $-5.44[\text{eV}]$ 、YGABP 的 HOMO 能级为 $-5.40[\text{eV}]$ 、TCTA 的 HOMO 能级为 $-5.38[\text{eV}]$ 。因此,在实现图 1A 所示的结构的情况下,例如采用如下组合:可以将 HOMO 能级为 -5.27 的 NPB 和氧化钼的复合材料用于第一层 111,将 HOMO 能级为 -5.44 的 YGASF 用于第二层 112,并将 HOMO 能级为 -5.27 的 NPB 用于第三层 113。

[0097] 另一方面,在上述材料中,NPB 的 HOMO 能级为 $-5.27[\text{eV}]$ 、DNTPD 的 HOMO 能级为 $-5.06[\text{eV}]$ 。因此,在实现图 1B 所示的结构的情况下,例如将 HOMO 能级为 -5.27 的 NPB 和氧化钼的复合材料用于第一层 111,将 HOMO 能级为 -5.06 的 DNTPD 用于第二层 112,并将 HOMO 能级为 -5.27 的 NPB 用于第三层 113。

[0098] 注意,通过采用上述结构,由第一层 111、第二层 112、以及第三层 113 形成带隙,因此可以抑制从第一电极 102 注入的空穴的移动速度。从而还可以控制对于第四层的空穴注入量。

[0099] 第四层 114 是包含高发光性的物质的发光层。作为第四层 114,可以使用如下低分子有机化合物。

[0100] 作为发射蓝光的发光物质,可以举出 N,N' -双[4-(9H-咔唑-9-某基)苯基]- N,N' -二苯基二苯乙烯-4,4'-二胺(缩写:YGA2S)、4-(9H-咔唑-9-某基)-4'-(10-苯基-9-蒽基)三苯基胺(缩写:YGAPA)等。

[0101] 作为发射绿光的发光物质,可以举出 N -(9,10-二苯基-2-蒽基)- N ,9-二苯基-9H-咔唑-3-胺(缩写:2PCAPA)、 N -[9,10-双(1,1'-联苯-2-某基)-2-蒽基]- N ,9-二苯基-9H-咔唑-3-胺(缩写:2PCABPhA)、 N -(9,10-二苯基-2-蒽基)- N,N' , N' -三苯基-1,4-苯二胺(缩写:2DPAPA)、 N -[9,10-双(1,1'-联苯-2-某基)-2-蒽基]- N,N' , N' -三苯基-1,4-亚苯基二胺(缩写:2DPABPhA)、9,10-双(1,1'-联苯-2-某基)- N -[4-(9H-咔唑-9-某基)苯基]- N -苯基蒽-2-胺(缩写:2YGABPhA)、 N,N ,9-三苯基蒽-9-胺(缩写:DPhAPhA)等。

[0102] 作为发射黄光的发光物质,可以举出红荧烯-5,12-双(1,1'-联苯-4-某基)-6,11-二苯基并四苯(缩写:BPT)等。作为发射红光的发光物质,可以举出 N,N,N' , N' -四(4-甲基苯基)并四苯-5,11-二胺(缩写:p-mPhTD)、7,13-二苯基- N,N,N' , N' -四(4-甲基苯基)苡并[1,2-a]荧蒽-3,10-二胺(缩写:p-mPhAFD)等。

[0103] 此外,第四层 114 也可以采用将上述具有高发光性的物质分散在其他物质中的结构。注意,使具有高发光性的物质分散的情况下,分散物质的浓度的质量比优选为整体的 20% 以下。另外,可以使用已知物质作为使发光物质分散的物质,但优选使用如下物质,即与发光物质相比,其最低空轨道能级(LUMO 能级)较深(其绝对值较大),且其最高占据轨道能级(HOMO 能级)较浅(其绝对值较小)。

[0104] 具体地说,可以使用金属络合物诸如三(8-羟基喹啉)铝(III)(缩写:Alq)、三(4-甲基-8-羟基喹啉)铝(III)(缩写:Almq₃)、双(10-羟基苯并[h]喹啉)铍(II)(缩写:BeBq₂)、双(2-甲基-8-羟基喹啉)(4-苯基苯酚合)铝(III)(缩写:BA1q)、双(8-羟基喹啉)锌(II)(缩写:Znq)、双[2-(2-苯并噻唑基)苯酚]锌(II)(缩写:ZnPBO)、以及

双 2-(2- 苯并噻唑基) 苯酚] 锌 (II) (缩写 :ZnBTZ) 等。

[0105] 此外,还可以使用杂环化合物诸如 2-(4- 联苯基)-5-(4- 叔丁基苯基)-1,3,4- 噁唑 (缩写 :PBD)、1,3- 双 [5-(对-叔丁基苯基)-1,3,4-噁唑基-2-某基] 苯 (缩写 :OXD-7)、3-(4- 联苯基)-4- 苯基-5-(4- 叔丁基苯基)-1,2,4- 三唑 (缩写 :TAZ)、2,2',2''-(1,3,5- 苯三基) 三 (1- 苯基-1H- 苯并咪唑) (缩写 :TPBI)、红菲咯啉 (缩写 :BPhen)、以及浴铜灵 (缩写 :BCP) 等。

[0106] 此外,还可以使用稠环芳烃化合物如 9-[4-(N- 咔唑基)] 苯基-10- 苯基蒽 (缩写 :CzPA)、3,6- 二苯基-9-[4-(10- 苯基-9- 蒽基) 苯基]-9H- 咔唑 (缩写 :DPCzPA)、9,10- 双 (3,5- 二苯基苯基) 蒽 (缩写 :DPPA)、9,10- 二 (2- 萘基) 蒽 (缩写 :DNA)、2- 叔丁基-9,10- 二 (2- 萘基) 蒽 (缩写 t-BuDNA)、9,9'- 二蒽基 (缩写 :BANT)、9,9'-(二苯乙烯-3,3'- 二基) 二菲 (缩写 :DPNS)、9,9'-(二苯乙烯-4,4'- 二基) 二菲 (缩写 :DPNS2)、以及 3,3',3''-(苯-1,3,5- 三基) 三芘 (缩写 :TPB3) 等。

[0107] 此外,可以将多种物质用来分散发光物质。例如,为了抑制晶化,还可以添加用来抑制红荧烯等的晶化的物质。再者,为了更有效地进行对于发光物质的能量移动,也可以添加 NPB 或 Alq 等。像这样,当高发光性的物质分散在其他物质中时,可以抑制第四层 114 的晶化。再者,还可以抑制起因于高浓度的高发光性的物质所引起的浓度淬灭。

[0108] 另外,更优选的是,尤其使用上述物质中的具有电子传输性的物质使发光物质分散来形成第四层 114。具体而言,可以使用上述金属络合物、杂环化合物、稠环芳烃化合物之中的 CzPA、DNA、t-BuDNA。还可以使用作为能够用于后面所示的第五层 115 的物质的分子化合物。

[0109] 此外,也可以将下述高分子化合物用作第四层 114。

[0110] 作为发射蓝光的发光材料,可以举出聚 (9,9- 二辛基芴-2,7- 二基) (缩写 :POF)、聚 [(9,9- 二辛基芴-2,7- 二基)-co-(2,5- 二甲氧基苯-1,4- 二基)] (缩写 :PF-DMOP)、聚 {(9,9- 二辛基芴-2,7- 二基)-co-[N,N' - 二-(对-丁基苯基)-1,4- 二氨基苯]} (缩写 :TAB-PFH) 等。

[0111] 作为发射绿光的发光材料,可以举出聚 (对-苯撑乙烯) (缩写 :PPV)、聚 [(9,9- 二己基芴-2,7- 二基)-alt-co-(苯并 [2,1,3] 噻二唑-4,7- 二基)] (缩写 :PFBT)、聚 [(9,9- 二辛基-2,7- 二乙烯基芴)-alt-co-(2- 甲氧基-5-(2- 乙基己氧基)-1,4- 苯撑)] 等。

[0112] 作为发射橙光至红光的发光材料,可以举出聚 [2- 甲氧基-5-(2'- 乙基己氧基)-1,4- 苯撑乙烯] (缩写 :MEH-PPV)、聚 (3- 丁基噻吩-2,5- 二基) (缩写 :R4-PAT)、聚 {[9,9- 二己基-2,7- 双 (1- 氰基乙烯) 亚芴]-alt-co-[2,5- 二 (N,N' - 二苯基氨基)-1,4- 苯撑]}、聚 {[2- 甲氧基-5-(2- 乙基己氧基)-1,4- 双 (1- 氰基乙烯苯撑)]-alt-co-[2,5- 双 (N,N' - 二苯基氨基)-1,4- 苯撑]} (缩写 :CN-PPV-DPD) 等。

[0113] 第五层 115 是电子传输层,包含具有高电子传输性的物质。例如,对于第五层 115,可以使用金属络合物诸如 Alq、Almq₃、BeBq₂、Balq、Znq、ZnPB0 及 ZnBTZ 等作为低分子有机化合物。除了金属络合物之外,还可以使用杂环化合物诸如 PBD、OXD-7、TAZ、TPBI、BPhen 及 BCP 等。在此提到的物质主要是电子迁移率为 10⁻⁶cm²/Vs 以上的物质。注意,只要是其电子传输性高于空穴传输性,就可以使用上述物质之外的其他物质作为电子传输层。另外,除了单层结构之外,电子传输层还可以是由上述物质构成的两层以上的叠层。

[0114] 作为第五层 115,也可以使用高分子化合物。例如,使用聚[(9,9-二己基芴-2,7-二基)-co-(吡啶-3,5-二基)](缩写 PF-Py)、聚[(9,9-二辛基芴-2,7-二基)-co-(2,2'-联吡啶-6,6'-二基)](缩写:PF-BPy)等。

[0115] 此外,第六层 116 是电子注入层,包含具有高电子注入性的物质。作为第六层 116,可以使用如氟化锂(LiF)、氟化铯(CsF)和氟化钙(CaF₂)等的碱金属、碱土金属、或它们的化合物。此外,还可以使用包含碱金属、碱土金属、或它们的化合物的具有电子传输性的物质,具体地说,使用含镁(Mg)的Alq等。此时,来自第二电极 104 的电子注入会更高效率地进行。

[0116] 作为第二电极 104,可以使用功函数小的(具体地说,3.8eV 以下)的金属、合金、导电化合物、或它们的混合物等。作为这种阴极材料的具体例子,可以举出属于元素周期表中的第 1 族或第 2 族的元素,即碱金属诸如锂(Li)及铯(Cs)等;碱土金属诸如镁(Mg)、钙(Ca)及锶(Sr)等;含有这些元素的合金(MgAg、AlLi);稀土金属诸如铕(Eu)及镱(Yb)等;以及含有它们的合金等。

[0117] 注意,在使用碱金属、碱土金属、包含它们的合金形成第二电极 104 的情况下,可以采用真空蒸镀法或溅射法。此外,在使用银膏等的情况下,可以采用涂敷法或喷墨法等。

[0118] 注意,通过设置第六层 116,可以与功函数的大小无关地使用各种导电材料诸如 Al、Ag、ITO、含有硅或氧化硅的氧化铟-氧化锡等来形成第二电极 104。通过溅射法、喷墨法、或旋涂法等形成这种导电材料。

[0119] 此外,作为按顺序层叠第一层 111、第二层 112、第三层 113、第四层 114、第五层 115、以及第六层 116 而形成的 EL 层 103 的制造方法,不论干法或湿法,可以使用各种方法。例如,可以采用真空蒸镀法、喷墨法、旋涂法等。此外,还可以对每个层采用不同的方法而形成。

[0120] 除了溅射法及真空蒸镀法等干法之外,还可以使用金属材料的膏剂的溶胶-凝胶法等湿法形成第二电极 104。

[0121] 在上述本发明的发光元件中,第一电极 102 和第二电极 104 之间产生的电势差引起电流流过,而通过空穴和电子在 EL 层 103 中复合,使得发光元件发光。而且,该光经过第一电极 102 或第二电极 104 中的任何一方或双方被提取到外部。因而,第一电极 102 或第二电极 104 中的任何一方或双方成为具有透光性的电极。

[0122] 注意,当只有第一电极 102 具有透光性时,如图 3A 所示,EL 层 103 中产生的光经过第一电极 102 从衬底一侧被提取。此外,当只有第二电极 104 具有透光性时,如图 3B 所示,在 EL 层 103 中产生的光经过第二电极 104 从与衬底相反的一侧被提取。再者,当第一电极 102 及第二电极 104 都具有透光性时,如图 3C 中所示,在 EL 层 103 中产生的光经过第一电极 102 和第二电极 104 从衬底 101 一侧和与衬底 101 相反的一侧的双方被提取。

[0123] 注意,设置在第一电极 102 和第二电极 104 之间的层的结构不局限于上述结构。只要具有如下结构,就可以采用上述以外的结构:至少包括作为空穴注入层的第一层 111、作为第一空穴传输层的第二层 112、作为第二空穴传输层的第三层 113、以及作为发光层的第四层 114,并且选择用于第二层 112 的物质的最高占据轨道能级(HOMO 能级)比用于第一层 111 及第三层 113 的物质的 HOMO 能级深(用于第二层 112 的物质的 HOMO 能级的绝对值较大)或浅(用于第二层 112 的物质的 HOMO 能级的绝对值较小)的物质。

[0124] 此外,如图 2B 所示,也可以采用在衬底 101 上按顺序层叠用作阴极的第二电极 104、EL 层 103、用作阳极的第一电极 102 的结构。注意,此时的 EL 层 103 采用如下结构,即在第二电极 104 上按顺序层叠第六层 116、第五层 115、第四层 114、第三层 113、第二层 112、以及第一层 111。

[0125] 注意,通过使用本发明的发光元件,可以制造由无源矩阵型发光装置及由薄膜晶体管 (TFT) 控制发光元件的驱动的有源矩阵型发光装置。

[0126] 注意,当制造有源矩阵型发光装置时的 TFT 的结构并没有特别限制。例如,可以适当地采用交错型和反交错型 TFT。另外,形成在 TFT 衬底上的驱动电路既可以由 N 型和 P 型 TFT 构成,又可以由其中的某一种构成。再者,用于 TFT 的半导体膜的结晶性也并没有特别限制,可以使用非晶半导体膜或结晶半导体膜。

[0127] 实施方式 1 所示的发光元件通过使用设置在第一电极 102 和发光层的第四层 114 之间的第一层 111、第二层 112、以及第三层 113 形成带隙,来可以抑制从第一电极 102 注入的空穴的移动速度。因此,可以控制对第四层 114 的空穴注入量。由此,可以提高发光元件整体的载流子平衡,以形成高效率的元件。

[0128] 实施方式 2

[0129] 在本实施方式 2 中说明本发明的发光元件,其中除了降低实施方式 1 所示的空穴的移动速度的结构之外,还可以具有降低电子的移动速度的结构。

[0130] 实施方式 2 中的发光元件由第一电极、第二电极、以及设置在第一电极和第二电极之间的 EL 层构成。EL 层至少包括从第一电极一侧按顺序层叠的空穴传输层、第一空穴传输层、第二空穴传输层、发光层、以及载流子控制层,并且设置为第一空穴传输层的最高占据轨道能级 (HOMO 能级) 比空穴传输层及第二空穴传输层的 HOMO 能级深 (第一空穴传输层的绝对值较大) 或浅 (第一空穴传输层的绝对值较小) 即可。其他层并没有特别限制。

[0131] 于是,说明如图 4A 和 4B 所示的 EL 层 103 的结构具有如下结构的情况:从第一电极 102 一侧包括第一层 (空穴注入层) 111、第二层 (第一空穴传输层) 112、第三层 (第二空穴传输层) 113、第四层 (发光层) 114、第七层 (载流子控制层) 117、第五层 (电子传输层) 115、第六层 (电子注入层) 116。

[0132] 在图 4A 所示的发光元件的 EL 层 103 中,第二层 (第一空穴传输层) 112 的最高占据轨道能级 (HOMO 能级) 比第一层 (空穴注入层) 111 及第三层 (第二空穴传输层) 113 的 HOMO 能级深 (第二层 112 的 HOMO 能级的绝对值较大)。通过采用这种结构,可以降低从第一电极 102 注入的空穴到达第四层 (发光层 114) 的移动速度。在此情况下,具体而言,第二层 112 的 HOMO 能级的绝对值优选比第一层 111 及第三层 113 的 HOMO 能级的绝对值大 0.1eV 以上。

[0133] 另一方面,在图 4B 所示的发光元件的 EL 层 103 中,第二层 (第一空穴传输层) 112 的最高占据轨道能级 (HOMO 能级) 比第一层 (空穴传输层) 111 及第三层 (第二空穴传输层) 113 的 HOMO 能级浅 (第二层 112 的 HOMO 能级的绝对值较小)。当采用这种结构时,也可以与图 4A 的所示的情况同样地降低从第一电极 102 注入的空穴到达第四层 (发光层) 114 的移动速度。在此情况下,具体而言,第二层 112 的 HOMO 能级的绝对值优选比第一层 111 及第三层 113 的 HOMO 能级的绝对值小 0.1eV 以上。

[0134] 注意,在采用图 4A 和 B 的结构的情况下,都可以降低从第一电极 102 注入的空穴

的移动速度。

[0135] 此外,在采用图 4A 和 4B 的结构的情况下,都可以通过在第二电极 104 和第四层(发光层)114 之间提供第七层(载流子控制层)117 来降低电子从第二电极 104 注入到达第四层(发光层)114 的移动速度。

[0136] 由此,在第四层(发光层)114 中复合的载流子(电子和空穴)的平衡提高,从而可以实现元件的高效率化。注意,根据用于第一层(空穴注入层)111、第二层(第一空穴传输层)112、以及第三层(第二空穴传输层)113 的物质的 HOMO 能级,采用图 4A 和 4B 中的某一种结构。

[0137] 此外,在第四层(发光层)114 包含具有电子传输性的物质的情况下,图 4A 和 4B 所示那样的本发明的结构特别有效。在第四层(发光层)114 包含具有电子传输性的物质的情况下,发光区域为第四层(发光层)114 和第三层(第二空穴传输层)113 的界面附近。若是因过剩的空穴而在该界面附近生成阳离子,发光效率明显地降低,因为阳离子起到淬灭剂的作用。然而,由于在本发明的结构中降低空穴的移动速度,因此可以抑制第四层(发光层)114 周边的阳离子生成,以抑制发光效率的降低。由此,可以形成发光效率高的发光元件。

[0138] 在本实施方式 2 中,第一电极 102 用作阳极,而第二电极 104 用作阴极。就是说,当以将第一电极 102 的电位设定为高于第二电极 104 的电位的方式分别施加电压时,可以获得发光。

[0139] 接着,参照图 5A 和 5B 说明本实施方式 2 中的发光元件的结构。衬底 101 用作发光元件的支撑体。此外,作为衬底 101,可以使用与实施方式 1 同样的衬底。

[0140] 作为形成在衬底 101 上的第一电极 102,优选使用功函数大(具体地说,4.0eV 以上)的金属、合金、导电化合物、以及它们的混合物等。可以使用与实施方式 1 同样的材料。

[0141] 此外,形成在第一电极 102 上的 EL 层 103 中,从第一电极一侧按顺序层叠的第一层(空穴注入层)111、第二层(空穴传输层)112、第三层(空穴传输层)113、第四层(发光层)114 的结构、制造方法、以及能够用于各种层的材料与实施方式 1 同样,因此在本实施方式 2 中省略其说明。

[0142] 本实施方式 2 的特征在于:除了实施方式 1 所说明的结构以外,还可以在第四层(发光层)114 和第二电极 104 之间设置降低载流子(电子)的移动速度的第七层(下面,称为载流子控制层)117。作为载流子控制层的结构,可以使用两种方法(在速度论上降低载流子的移动速度的方法、以及在热力学上降低载流子的移动速度的方法)。

[0143] 作为第一方法,说明利用第七层(载流子控制层)117 在速度论上降低载流子(电子)的移动速度的情况。图 6A 和 6B 示出其概念图。

[0144] 在第一电极 102 和第二电极 104 之间具有 EL 层 103,构成 EL 层 103 的多个层从第一电极 102 一侧按顺序形成第一层(空穴注入层)111、第二层(空穴传输层)112、第三层(空穴传输层)113、第四层(发光层)114、第七层(载流子控制层)117、第五层(电子传输层)115、第六层(电子注入层)116。

[0145] 第七层(载流子控制层)117 由两种以上有机化合物构成。在此,说明如图 6B 所示,第七层(载流子控制层)117 由第一有机化合物 201 和第二有机化合物 202 构成的情况。注意,将具有高电子传输性的有机化合物(具有电子传输性的有机化合物)用作第一有机

化合物 201, 而将具有高空穴传输性的有机化合物 (具有空穴传输性的有机化合物) 用作第二有机化合物 202。

[0146] 此外, 用于第二有机化合物 202 和第一有机化合物 201 的 LUMO 能级彼此近似。具体而言, 第二有机化合物 202 的最低空轨道能级 (LUMO 能级) 的绝对值和第一有机化合物 201 的 LUMO 能级的绝对值的差异优选为 0.3eV 以下, 更优选为 0.2eV 以下。就是说, 优选地是, 作为载流子的电子在第一有机化合物 201 和第二有机化合物 202 之间容易移动。

[0147] 在此情况下, 因为第二有机化合物 202 具有与第一有机化合物 201 近似的 LUMO 能级, 所以会被注入电子。从具有电子传输性的第一有机化合物 201 到具有空穴传输性的第二有机化合物 202 注入电子的速度 (v_1)、或者从第二有机化合物 202 到第一有机化合物 201 注入电子的速度 (v_2) 比在第一有机化合物 201 之间注入电子的速度 (v) 小。

[0148] 因此, 通过使用具有电子传输性的第一有机化合物 201 和具有空穴传输性的第二有机化合物 202 形成第七层 117, 与只使用第一有机化合物 201 形成的情况相比, 可以降低第七层 117 的电子传输速度。就是说, 通过使用第一有机化合物 201 和第二有机化合物 202 形成第七层 117, 可以降低第七层 117 的载流子 (电子) 的移动速度。

[0149] 注意, 在使用第一有机化合物 201 和第二有机化合物 202 形成第七层 117 的情况下, 优选将浓度控制为第二有机化合物 202 的含量的质量比低于整体的 50%。更优选将浓度控制为将第二有机化合物 202 的含量为整体的 1 重量%至 20 重量%。

[0150] 作为包含在第七层 117 中的第一有机化合物 201, 具体而言, 可以使用金属络合物诸如 Alq、Almq₃、BeBq₂、BAIq、Znq、ZnPBO 和 ZnBTZ 等; 杂环化合物诸如 PBD、OXD-7、TAZ、TPBI、BPhen 和 BCP 等; 或者稠环芳烃化合物诸如 CzPA、DPCzPA、DPPA、DNA、t-BuDNA、BANT、DPNS、DPNS2 和 TPB3 等。此外, 还可以使用高分子化合物, 诸如聚[(9,9-二己基芴-2,7-二基)-co-(吡啶-3,5-二基)] (缩写: PF-Py)、聚[(9,9-二辛基芴-2,7-二基)-co-(2,2-联吡啶-6,6'-二基)] (缩写: PF-BPy) 等。

[0151] 此外, 作为包含在第七层 117 中的第二有机化合物 202, 具体而言, 可以使用稠合芳烃化合物诸如 9,10-二苯基蒽 (缩写: DPAnth) 和 6,12-二甲氧基-5,11-二苯基屈; 芳香胺化合物诸如 N,N-二苯基-9-[4-(10-苯基-9-蒽基)苯基]-9H-咔唑-3-胺 (缩写: CzA1PA)、4-(10-苯基-9-蒽基)三苯胺 (缩写: DPhPA)、N,9-二苯基-N-[4-(10-苯基-9-蒽基)苯基]-9H-咔唑-3-胺 (缩写: PCAPA)、N,9-二苯基-N-{4-[4-(10-苯基-蒽基)苯基]-9H-咔唑-3-胺} (缩写: PCAPBA)、N-(9,10-二苯基-2-蒽基)-N,9-二苯基-9H-咔唑-3-胺 (缩写: 2PCAPA)、NPB (或 α -NPD)、TPD、DFLDPBi 和 BSPB 等; 或者包含氨基的化合物诸如香豆素 7 或香豆素 30 等。此外, 也可以使用高分子化合物诸如 PVK、PVTBA、PTPDMA 和 Poly-TPD 等。

[0152] 通过组合上述材料形成第七层 117, 抑制了从第一有机化合物 201 到第二有机化合物 202 的电子移动或者从第二有机化合物 202 到第一有机化合物 201 的电子移动, 可以抑制第七层 117 的电子移动速度。此外, 由于第七层 117 具有第二有机化合物 202 分散在第一有机化合物 201 中的结构, 因此不容易随时间引起晶化或凝聚。因而, 上述对电子移动的抑制效果也不容易随时间发生变化。结果, 载流子平衡就不容易随时间变化。这就使发光元件的使用寿命得到了改善, 换句话说, 可靠性得到了改善。

[0153] 注意, 在上述组合中, 优选组合作为第一有机化合物 201 的金属络合物和作为第

二有机化合物 202 的芳香胺化合物。金属络合物的电子传输性高且偶极矩大,而芳香胺化合物的空穴传输性高且偶极矩相对小。像这样,通过组合偶极矩彼此相差很大的物质,使得上述对电子移动的抑制效果更加显著。具体地说,当第一有机化合物 201 的偶极矩为 P_1 而第二有机化合物的偶极矩为 P_2 时满足 $P_1/P_2 \geq 3$ 的组合是优选的。

[0154] 例如金属络合物的 Alq 的偶极矩为 9.40 德拜 (debye),而芳香胺化合物的 2PCAPA 的偶极矩为 1.15 德拜。因而,优选的是,当一种具有电子传输性的有机化合物如金属络合物被用作第一有机化合物 201,而具有空穴传输性的有机化合物 202 如芳香胺化合物被用作第二有机化合物 202 时满足 $P_1/P_2 \geq 3$ 。

[0155] 此外,包含在第七层 117 中的第二有机化合物 202 的发光颜色与包含在第四层 (发光层) 114 中的具有高发光性的物质的发光颜色优选为同色系的颜色。具体地说,第二有机化合物 202 的发光光谱峰值与具有高发光性的物质的发光光谱峰值之间的差异优选在 30nm 以内。通过将差异设定在 30nm 以内,第二有机化合物 202 的发光颜色与具有高发光性的物质的发光颜色为同色系的颜色。因而,即使因电压等的变化而第二有机化合物 202 发光,也可以抑制发光颜色的改变。

[0156] 作为第二方法,说明利用第七层 (载流子控制层) 117 在热力学上降低载流子 (电子) 的移动速度的情况。图 7 示出其概念图 (带隙图)。

[0157] 在第一电极 102 和第二电极 104 之间具有 EL 层 103,构成 EL 层 103 的多个层从第一电极 102 一侧按顺序形成第一层 (空穴注入层) 111、第二层 (空穴传输层) 112、第三层 (空穴传输层) 113、第四层 (发光层) 114、第七层 (载流子控制层) 117、第五层 (电子传输层) 115、第六层 (电子注入层) 116。

[0158] 第七层 (载流子控制层) 117 由两种以上有机化合物构成。在此,说明第七层 (载流子控制层) 117 由第一有机化合物和第二有机化合物构成的情况。注意,将具有高电子传输性的有机化合物 (具有电子传输性的有机化合物) 用作第一有机化合物,而将具有高电子陷阱功能的有机化合物 (具有空穴传输性的有机化合物) 用作第二有机化合物。

[0159] 此外,用于第二有机化合物和第一有机化合物具有 LUMO 能级。具体而言,第二有机化合物的最低空轨道能级 (LUMO 能级) 的绝对值优选比第一有机化合物的 LUMO 能级的绝对值大 0.3eV 以上。

[0160] 如图 7 所示,从第一电极 102 注入的空穴经过第一层 111、第二层 112、第三层 113,然后注入到第四层 (发光层) 114 中。另一方面,从第二电极 104 注入的电子经过第六层 116、第五层 115,然后注入到第七层 (载流子控制层) 117 中。由于第七层 117 由具有电子传输性的第一有机化合物和具有电子俘获性的第二有机化合物构成,因此注入到第七层 117 中的电子进入第二有机化合物的 LUMO 能级,而不进入第一有机化合物的 LUMO 能级。从而可以降低电子的移动速度。

[0161] 因此,通过使用具有电子传输性的第一有机化合物和具有电子陷阱性的第二化合物形成第七层 117,与只使用第一有机化合物形成的情况相比,可以降低第七层 117 的电子传输速度。就是说,通过使用第一有机化合物和第二有机化合物形成第七层 117,可以降低第七层 117 的载流子 (电子) 的移动速度。

[0162] 注意,在使用第一有机化合物和第二有机化合物形成第七层 117 的情况下,第二有机化合物的含量的质量比优选低于整体的 50%。更优选将浓度控制为第二有机化合物的

含量为整体的 0.1 重量%至 5 重量%。

[0163] 作为包含在第七层 117 中的第一有机化合物,具体而言,可以使用金属络合物诸如 Alq、Almq₃、BeBq₂、BAIq、Znq、ZnPBO 和 ZnBTZ 等;杂环化合物诸如 PBD、OXD-7、TAZ、TPBI、BPhen 和 BCP 等;或者稠环芳烃化合物诸如 CzPA、DPCzPA、DPPA、DNA、t-BuDNA、BANT、DPNS、DPNS2 和 TPB3 等。

[0164] 此外,还可以使用高分子化合物,诸如聚[(9,9-二己基芴-2,7-二基)-co-(吡啶-3,5-二基)](缩写:PF-Py)、聚[(9,9-二辛基芴-2,7-二基)-co-(2,2'-联吡啶-6,6'-二基)](缩写:PF-BPy)等。尤其是,优选采用对于电子稳定的金属络合物。

[0165] 另外,作为包含在第七层 117 中的第二有机化合物,可以使用如下所示的物质。注意,第二有机化合物本身可以发光,但是此时优选第四层(发光层)114 和第二有机化合物的发光颜色是同色系的颜色,以保持发光元件的颜色纯度。

[0166] 例如,当包含在第四层 114 中的有机化合物是发射蓝光的有机化合物如 YGA2S 或 YGAPA 时,第二有机化合物优选是发射蓝至蓝绿光的物质如吡啶酮、香豆素 102、香豆素 6H、香豆素 480D 或香豆素 30 等。

[0167] 此外,当包含在第四层(发光层)114 中的有机化合物是发射绿光的有机化合物如 2PCAPA、2PCABPhA、2DPAPA、2DPABPhA、2YGABPhA 或 DPhAPhA 时,第二有机化合物优选是发射蓝绿至黄绿光的物质如 N, N' -二甲基喹吡啶酮(缩写:DMQd)、N, N' -二苯基喹吡啶酮(缩写:DPQd)、9,18-二氢苯并[h]苯并[7,8]喹啉并[2,3-b]吡啶-7,16-二酮(缩写:DMNQd-1)、9,18-二甲基-9,18-二氢苯并[h]苯并[7,8]喹啉并[2,3-b]吡啶-7,16-二酮(缩写:DMNQd-2)、香豆素 30、香豆素 6、香豆素 545T 或香豆素 153 等。

[0168] 此外,当包含在第四层(发光层)114 中的有机化合物是发射黄光的有机化合物如红荧烯、BPT 时,第二有机化合物优选是发射黄绿至橙黄光的物质如 DMQd、(2-{2-[4-(9H-吡啶-9-某基)苯基]乙烯基}-6-甲基-4H-吡喃-4-叉基)丙二腈(缩写:DCMCz)等

[0169] 此外,当包含在第四层(发光层)114 中的有机化合物是发射红光的有机化合物如 p-mPhTD 或 p-mPhAFD 时,第二有机化合物优选是发射橙至红光的物质如(2-{2-[4-(二甲基氨基)苯基]乙烯基}-6-甲基-4H-吡喃-4-叉基)丙二腈(缩写:DCM1)、{2-甲基-6-[2-(2,3,6,7-四氢-1H,5H-苯并[ij]喹啉-9-某基)乙烯基]-4H-吡喃-4-叉基}丙二腈(缩写:DCM2)、{2-(1,1-二甲基乙基)-6-[2-(2,3,6,7-四氢-1,1,7,7-四甲基-1H,5H-苯并[ij]喹啉-9-某基)乙烯基]-4H-吡喃-4-叉基}丙二腈(缩写:DCJTB)、尼罗红(Nile red)等。

[0170] 此外,优选地,当第四层(发光层)114 的发光材料是磷光材料时,第二有机化合物也是磷光材料。例如,当发光材料是上述发射红光的 Ir(btp)₂(acac) 时,可以使用发射红光的磷光材料如(乙酰丙酮)双[2,3-双(4-氟代苯基)喹啉]铱(III)(缩写:Ir(Fdpq)₂(acac))等作为第二有机化合物。注意,这种化合物是在用于发光元件的化合物中的具有尤其低 LUMO 能级的化合物。因此,通过将这种化合物添加到第一有机化合物中,可以获得优质的电子陷阱性。

[0171] 作为第二有机化合物,在如上例示的化合物之中尤其优选使用喹吡啶酮衍生物如 DMQd、DPQd、DMNQd-1 和 DMNQd-2,因为它们化学稳定的。即,当应用喹吡啶酮衍生物时,可

以尤其延长发光元件的使用寿命。此外,因为喹吖啶酮衍生物发射绿光,所以本发明的发光元件的元件结构对发射绿光的发光元件尤其有效。在制造全彩色显示器中,绿光是必须具有最高的亮度的颜色,因此会发生其退化速度比其他发光颜色更快的情形。然而,这种问题可以通过应用本发明而改善。

[0172] 注意,如上所述,第二有机化合物的 LUMO 能级的绝对值优选比第一有机化合物的 LUMO 能级的绝对值大 0.3eV 以上。从而,根据使用的第二有机化合物的种类,以满足上述条件的方式适当地选择第一有机化合物即可。

[0173] 再者,优选包含在第四层 114 中的具有高发光性的化合物和包含在第七层 117 中的第二有机化合物的发光颜色是同色系的颜色。因此,优选具有高发光性的物质的发光光谱和第二有机化合物的发光光谱之间的峰值差异在 30nm 以内。通过将峰值差异设定在 30nm 以内时,具有高发光性的物质和第二有机化合物的发光颜色成为同色系的颜色。因此,即使当第二有机化合物因电压等变化而发光时,也可以抑制发光颜色的变化。

[0174] 但是,第二有机化合物不一定必须发光。例如,当具有高发光性的物质的发光效率较高时,优选控制在第七层 117 中的第二有机化合物的浓度以致仅可以获得具有高发光性的物质的发光(将第二有机化合物的浓度设定得稍微低,以可以抑制第二有机化合物的发光)。在此情况下,具有高发光性的物质和第二有机化合物的发光颜色是同色系的颜色(即,它们具有几乎相同水平的能隙)。因此,不容易发生从具有高发光性的物质到第二有机化合物的能量移动,可以获得高发光效率。

[0175] 注意,在此情况下,第二有机化合物优选是香豆素衍生物如香豆素 102、香豆素 6H、香豆素 480D、香豆素 30、香豆素 6、香豆素 545T 和香豆素 153 等。香豆素衍生物的电子陷阱性较低,因此被添加到第一有机化合物中的香豆素衍生物的浓度可以较高。即,可以获得容易调节浓度并控制具有所希望的性质的载流子移动的层。此外,因为香豆素衍生物具有高发光效率,所以即使第二有机化合物发光,也可以抑制发光元件整体的发光效率的降低。

[0176] 注意,通过采用上述两种方法(在速度论上控制载流子的移动的方法、在热力学上控制载流子的移动的方法)形成本发明的第七层 117,但是优选在采用任何结构的情况下都将第七层 117 的厚度设定为 5nm 以上且 20nm 以下。当厚度变厚时,因为载流子的移动速度过降低而驱动电压提高,当厚度变薄时,可能会损害控制载流子的移动的功能。

[0177] 此外,本发明中的第七层 117 用来控制电子的移动速度,所以可以形成在第二电极 104 和第四层(发光层)114 之间,更优选与第四层(发光层)114 接触地形成。通过与第四层(发光层)114 接触地设置来可以直接控制第四层(发光层)114 的电子注入,从而进一步抑制第四层(发光层)114 中的载流子平衡随时间变化,以可以对于元件的使用寿命获得更大效果。

[0178] 注意,在以与第四层(发光层)114 接触的方式形成第七层 117 的情况下,包含在第七层 117 中的第一有机化合物和包含在第四层(发光层)114 中的大部分的有机化合物优选互不相同。特别是,在第四层(发光层)114 的结构包含分散有具有高发光性的物质(第三有机化合物)的物质和具有高发光性的物质(第四有机化合物)的情况下,第三有机化合物和第一有机化合物优选互不相同。通过采用这种结构,从第七层 117 到第四层(发光层)114 的载流子(电子)的移动也在第一有机化合物和第三有机化合物之间被抑制,进

一步提高提供第七层而发挥的效果。

[0179] 此外,第七层 117 包含两种以上物质,因此通过控制物质组合、混合比、及厚度等,可以精密地控制载流子平衡。从而,比现有技术容易地控制载流子平衡。再者,使用第七层 117 中的混合比低的有机化合物控制载流子移动,所以与使用单一物质进行控制的情况相比,不容易发生载流子平衡的变化。由此,载流子平衡不容易随时间发生变化,可以实现发光元件的使用寿命的延长。

[0180] 在 EL 层 103 中的第七层(载流子控制层)117 上,按顺序层叠第五层(电子传输层)115、第六层(电子注入层)116。这些层的结构、制造方法以及能够用于各种层的材料与实施方式 1 同样,所以在实施方式 2 中省略其说明。

[0181] 接着,在第六层(电子注入层)116 上形成第二电极 104。注意,第二电极 104 的制造方法、以及能够使用的材料也与实施方式 1 同样,所以在实施方式 2 中省略其说明。

[0182] 在实施方式 2 中,当只有第一电极 102 具有透光性时,如图 3A 所示,EL 层 103 中产生的光经过第一电极 102 从衬底一侧被提取。此外,当只有第二电极 104 具有透光性时,如图 3B 所示,在 EL 层 103 中产生的光经过第二电极 104 从与衬底相反的一侧被提取。再者,当第一电极 102 及第二电极 104 都具有透光性时,如图 3C 中所示,在 EL 层 103 中产生的光经过第一电极 102 和第二电极 104 从衬底 101 一侧和与衬底 101 相反的一侧被提取。

[0183] 注意,设置在第一电极 102 和第二电极 104 之间的层的结构不局限于上述结构。但是,只要具有如下结构,就可以采用上述以外的结构:至少包括作为空穴注入层的第一层 111、作为空穴传输层的第二层 112 以及第三层 113、作为发光层的第四层 114、以及作为载流子控制层的第七层 117,并且选择用于第二层 112 的物质的最高占据轨道能级(HOMO 能级)比用于第一层 111 及第三层 113 的物质的 HOMO 能级深(用于第二层 112 的物质的 HOMO 能级的绝对值较大)或浅(用于第二层 112 的物质的 HOMO 能级的绝对值较小)的物质。

[0184] 此外,如图 5B 所示,也可以采用在衬底 101 上按顺序层叠用作阴极的第二电极 104、EL 层 103、用作阳极的第一电极 102 的结构。注意,此时的 EL 层 103 采用如下结构,即在第二电极 104 上按顺序层叠第六层 116、第五层 115、第七层 117、第四层 114、第三层 113、第二层 112、以及第一层 111。

[0185] 注意,通过使用本发明的发光元件,可以制造由无源矩阵型发光装置及由薄膜晶体管(TFT)控制发光元件的驱动的有源矩阵型发光装置。

[0186] 注意,当制造有源矩阵型发光装置时的 TFT 的结构并没有特别限制。例如,可以适当地采用交错型和反交错型 TFT。另外,形成在 TFT 衬底上的驱动电路既可以由 N 型和 P 型 TFT 构成,又可以由其中某一种构成。再者,用于 TFT 的半导体膜的结晶性也并没有特别限制,而可以使用非晶半导体膜或结晶半导体膜。

[0187] 实施方式 2 所示的发光元件通过使用提供在第一电极 102 和发光层的第四层 114 之间的第一层 111、第二层 112、以及第三层 113 形成带隙,来可以抑制从第一电极 102 注入的空穴的移动速度。因此,可以抑制在第四层(发光层)114 周边的阳离子的生成来提高发光元件整体的载流子平衡。由此可以形成高效率的元件。

[0188] 另一方面,通过第二电极 104 和第四层(发光层)114 之间设置第七层 117 来降低载流子(电子)的移动速度,可以将以往因移动速度高而形成在第四层(发光层)114 和第三层(空穴传输层)113 的界面附近的发光区域形成在与以前相比第四层(发光层)114 的

中间一侧。

[0189] 此外,通过提供第七层 117 来降低载流子(电子)的移动速度,可以防止无助于发光地从第四层(发光层)114 到达第三层(空穴传输层)113 的载流子(电子)所引起的第三层(空穴传输层)113 的退化。再者,通过降低载流子(电子)的移动速度,不但控制对于第四层(发光层)114 的载流子注入量,而且可以抑制该被控制的载流子(电子)注入量随时间发生变化,因此可以防止因随时间引起的平衡退化而降低复合的几率。从而,还可以实现提高元件的使用寿命(抑制亮度的随时间发生的退化)。

[0190] 在采用本实施方式所示的结构的情况下,因为控制注入到第四层 114 中的空穴及电子的移动速度以降低其速度,所以在第四层 114 中的载流子平衡提高的同时复合的几率也提高,以可以提高发光效率。

[0191] 注意,在本实施方式 2 中,可以适当地组合实施方式 1 所示的结构而使用。

[0192] 实施方式 3

[0193] 在本实施方式 3 中,参照图 8 来说明一种发光元件,其中包括多个实施方式 1 及实施方式 2 所示的发光元件的 EL 层(下面,称为叠层型元件)。该发光元件是在第一电极 801 和第二电极 802 之间具有多个 EL 层(第一 EL 层 803、第二 EL 层 804)的叠层型发光元件。注意,本实施方式 3 示出具有两个 EL 层的情况,也可以具有三层以上。

[0194] 在实施方式 3 中,第一电极 801 用作阳极,而第二电极 802 用作阴极。第一电极 801 及第二电极 802 可以采用与实施方式 1 同样的结构。此外,作为多个 EL 层(第一 EL 层 803、第二 EL 层 804),可以采用与实施方式 1 及实施方式 2 所示的 EL 层同样的结构。第一 EL 层 803 和第二 EL 层 804 可以具有相同的结构或不同的结构,作为该结构,可以采用与实施方式 1 或实施方式 2 同样的结构。

[0195] 另外,多个 EL 层(第一 EL 层 803、第二 EL 层 804)之间设置有电荷产生层 805。电荷产生层 805 具有当对第一电极 801 和第二电极 802 施加电压时将电子注入到一个 EL 层,而将空穴注入到另一个 EL 层的功能。在本实施方式 3 中,当对第一电极 801 施加电压以使得其电位比第二电极 802 的电位高时,从电荷产生层 805 到第一 EL 层 803 被注入电子,而到第二 EL 层 804 被注入空穴。

[0196] 注意,考虑到光的提取效率,电荷产生层 805 优选具有透光性。此外,即使导电率比第一电极 801 和第二电极 802 低,电荷发光层 805 也起作用。

[0197] 电荷产生层 805 可以采用具有高空穴传输性的物质添加有受主物质的结构或具有高电子传输性的物质添加有施主物质的结构。此外,还可以采用这两种结构的叠层。

[0198] 在采用具有高空穴传输性的物质添加有受主物质的结构的情况下,作为具有高空穴传输性的物质,例如可以使用芳族胺化合物如 4,4'-双[N-(1-萘基)-N-苯基氨基]联苯(缩写:NPB 或 α -NPD)、N,N'-双(3-甲基苯基)-N,N'-二苯基-[1,1'-联苯]-4,4'-二胺(缩写:TPD)、4,4',4''-三(N,N-二苯基氨基)三苯基胺(缩写:TDATA)、4,4',4''-三[N-(3-甲基苯基)-N-苯基氨基]三苯基胺(缩写:MTDATA)、或 4,4'-双[N-(螺-9,9'-联芴-2-基)-N-苯基氨基]-1,1'-联苯(缩写:BSPB)等。上述材料分别为主要具有 $10^{-6}\text{cm}^2/\text{Vs}$ 以上的空穴迁移率的物质。但也可以使用除此之外的其他材料,而只要其空穴传输性高于电子传输性。

[0199] 作为受主物质,可举出 7,7,8,8-四氰基-2,3,5,6-四氟醌二甲烷(缩写;

F₄-TCNQ)、氯醌等。另外,可举出过渡金属氧化物。另外,可举出属于周期表中的第4族至第8族的金属的氧化物。具体地,氧化钒、氧化铌、氧化钽、氧化铬、氧化钼、氧化钨、氧化锰、和氧化铪是优选的,因为它们具有高电子接受性。其中,氧化钼是尤其优选的,因为它在大气中稳定并且其吸湿性低,容易被处理。

[0200] 另一方面,在采用具有高电子传输性的物质添加有施主物质的情况下,作为具有高电子传输性的物质,例如可以使用具有喹啉骨架或苯并喹啉骨架的金属络合物等,例如三(8-羟基喹啉)铝(缩写:Alq₃)、三(4-甲基-8-羟基喹啉)铝(缩写:Almq₃)、双(10-羟基苯并[h]喹啉)铍(缩写:BeBq₂)、双(2-甲基-8-羟基喹啉)(4-苯基苯酚)铝(缩写:BA1q)等。另外,也可以使用具有噁唑基配位体或噻唑基配位体的金属络合物等,如双[2-(2-苯并噻基)苯酚]锌(II)(缩写:Zn(BOX)₂)、双[2-(2-苯并噻唑基)苯酚]锌(II)(缩写:zn(BTZ)₂)等。除了金属络合物以外,也可使用2-(4-联苯基)-5-(4-叔丁基苯基)-1,3,4-噁二唑(缩写:PBD)、1,3-双[5-(对叔丁基苯基)-1,3,4-噁二唑-2-某基]苯(缩写:OXD-7)、3-(4-联苯基)-4-苯基-5-(4-叔丁基苯基)-1,2,4-三唑(缩写:TAZ)、红菲咯啉(缩写:BPhen)、浴铜灵(缩写:BCP)等。这里所述的物质分别为主要具有10⁻⁶cm²/Vs以上的电子迁移率的物质。只要是电子的传输性比空穴传输性高的物质,就可以使用除上述之外的其他物质。

[0201] 此外,作为施主物质,可以使用碱金属、碱土金属、稀土金属、属于元素周期表中的第13族的金属及其氧化物、或碳酸盐。具体而言,优选使用锂(Li)、铯(Cs)、镁(Mg)、钙(Ca)、镱(Yb)、铟(In)、氧化锂、碳酸铯等。另外,也可以将有机化合物如四硫萘并萘(tetrathianaphthacene)用作施主物质。

[0202] 注意,通过使用上述材料形成电荷产生层805,可以抑制当层叠EL层时的驱动电压的上升。

[0203] 在本实施方式3中,虽然说明了具有两个EL层的发光元件,然而,也可以采用层叠有三个以上的EL层的发光元件。如根据实施方式3的发光元件,可以通过由电荷产生层使多个EL层间隔并将它们配置在一对电极之间,在保持低电流密度的同时,可以在高亮度区域中发光,从而可以实现使用寿命长的元件。此外,在采用照明作为应用例子时,因为可以减少因电极材料的电阻导致的电压下降,所以可以实现大面积的均匀发光。此外,可以实现能够进行低电压驱动的低耗电量的发光装置。

[0204] 另外,通过使各个EL层的发光颜色不相同,可以在发光元件的整体上获得所希望颜色的发光。例如,在具有两个EL层的发光元件中,通过使第一EL层的发光颜色和第二EL层的发光颜色处于补色的关系,也可以获得在发光元件的整体上进行白色发光的发光元件。注意,补色是指一种颜色之间的关系,在该补色混合时呈现无彩色。也就是说,若将发射处于补色关系的颜色的发光的物质的光混合,可以获得白色发光。

[0205] 另外,具有三个EL层的发光元件也与上述情况类似,例如,在第一EL层的发光颜色为红色、第二EL层的发光颜色为绿色、第三EL层的发光颜色为蓝色的情况下,在发光元件的整体上可以获得白色发光。

[0206] 注意,在本实施方式3中,可以适当地组合实施方式1及实施方式2所示的结构而使用。

[0207] 实施方式4

[0208] 在本实施方式 4 中,参照图 9A 和 9B 说明像素部具有本发明的发光元件的发光装置。图 9A 是示出发光装置的俯视图,而图 9B 是沿着线 A-A' 以及 B-B' 截断图 9A 而获得的截面图。

[0209] 在图 9A 中,由虚线表示的附图标记 901 是驱动电路部(源极侧驱动电路)、附图标记 902 是像素部、附图标记 903 是驱动电路部(栅极侧驱动电路)。此外,附图标记 904 表示密封衬底,附图标记 905 表示密封剂,由密封剂 905 围绕的内侧成为空间 907。

[0210] 另外,引导布线 908 是用来传送被输入到源极侧驱动电路 901 及栅极侧驱动电路 903 的信号的布线,从作为外部输入端子的 FPC(柔性印刷电路)909 接收视频信号、时钟信号、起始信号、复位信号等。另外,虽然这里仅图示了 FPC,但该 FPC 也可以安装有印刷线路板(PWB)。本说明书中的发光装置除了发光装置主体以外,还包括安装有 FPC 或 PWB 的状态。

[0211] 接下来,参照图 9B 说明截面结构。在元件衬底 910 上形成有驱动电路部及像素部,这里示出了作为驱动电路部的源极侧驱动电路 901 和像素部 902 中的一个像素。另外,在源极侧驱动电路 901 中,形成组合了 N 沟道型 TFT 923 和 P 沟道型 TFT 924 的 CMOS 电路。此外,驱动电路也可以使用各种 CMOS 电路、PMOS 电路或者 NMOS 电路来形成。此外,虽然在本实施方式中示出了在衬底上形成驱动电路的驱动器一体型,但是这并不是必须的,也可以将驱动电路形成在外部而不是形成在衬底上。

[0212] 此外,像素部 902 由包括开关 TFT 911、电流控制 TFT 912、电连接到其漏极的第一电极 913 的多个像素形成。另外,以覆盖第一电极 913 的端部的方式形成绝缘物 914。

[0213] 此外,优选地是,为获得良好的被覆性而在绝缘物 914 的上端部或下端部形成具有曲率的曲面。例如,通过使用正型感光性丙烯酸作为绝缘物 914 的材料的情况下,可以只使绝缘物 914 的上端部成为具有曲率半径(0.2 μm 至 3 μm)的曲面。此外,作为绝缘物 914,可以使用通过照射光而对蚀刻剂呈不溶解性的负型感光材料或通过照射光而对蚀刻剂呈溶解性的正型感光材料。

[0214] 在第一电极 913 上分别形成有 EL 层 916 以及第二电极 917。在此,作为用于第一电极 913 的材料,可以使用各种金属、合金、导电化合物、以及它们的混合物。在将第一电极 913 用作阳极的情况下,优选使用功函数大的(功函数为 4.0eV 以上)的金属、合金、导电化合物、以及它们的混合物等。例如,除了含硅的氧化铟-氧化锡膜、氧化铟-氧化锌膜、氮化钛膜、铬膜、钨膜、Zn 膜、Pt 膜等的单层膜之外,还可以使用叠层膜,如氮化钛膜和以铝为主要成分的膜的叠层;以及氮化钛膜、以铝为主要成分的膜和氮化钛膜的三层结构等。另外,当采用叠层结构时,布线的电阻也低,可以实现良好的欧姆接触,并且可以使其发挥作为阳极的功能。

[0215] 此外,EL 层 916 通过使用蒸镀掩模的蒸镀法、喷墨法、旋涂法等各种方法来形成。EL 层 916 可以具有实施方式 1 或实施方式 2 中所示的结构。此外,作为构成 EL 层 916 的其他材料,也可以使用低分子化合物或高分子化合物(包括低聚物、树枝状聚合物)。另外,作为用于 EL 层的材料,不仅可以使用的有机化合物,还可以使用无机化合物。

[0216] 另外,作为用于第二电极 917 的材料,可以使用各种金属、合金、导电化合物、以及它们的混合物。在将第二电极 917 用作阴极的情况下,优选使用功函数小的(功函数为 3.8eV 以下)的金属、合金、导电化合物、以及它们的混合物等。例如,可以举出属于元素周

期表中的第 1 族或第 2 族的元素,即锂 (Li) 或铯 (Cs) 等的碱金属 ; 镁 (Mg)、钙 (Ca) 或锶 (Sr) 等的碱土金属 ; 以及包含它们的合金 (MgAg、AlLi) 等。

[0217] 注意,当采用在 EL 层 916 产生的光透过第二电极 917 的结构时,作为第二电极 917,还可以使用减薄了厚度的金属薄膜和透明导电膜 (氧化铟-氧化锡 (ITO)、含硅或氧化硅的氧化铟-氧化锡、氧化铟-氧化锌 (IZO)、含氧化钨及氧化锌的氧化铟 (IWZO) 等) 的叠层。

[0218] 另外,通过使用密封剂 905 将密封衬底 904 和元件衬底 910 贴合在一起,形成在由元件衬底 910、密封衬底 904 以及密封剂 905 围绕而成的空间 907 中具有发光元件 918 的结构。另外,在空间 907 中填充有填充剂,除了填充惰性气体 (氮或氩等) 的情况以外,还有填充密封剂 905 的情况。

[0219] 另外,对于密封剂 905 优选使用环氧类树脂。此外,这些材料优选为尽可能地不透过水分、氧的材料。此外,作为用于密封衬底 904 的材料,除了玻璃衬底、石英衬底以外,还可以使用由 FRP (Fiberglass-Reinforced Plastics ; 玻璃纤维增强塑料)、PVF (聚氟乙烯)、聚酯或丙烯酸等构成的塑料衬底。

[0220] 以上述方式,可以获得具有本发明的发光元件的有源矩阵型发光装置。

[0221] 此外,本发明的发光元件不仅用于上述有源矩阵型发光装置,而且还可以用于无源矩阵型发光装置。图 10A 和 10B 示出使用本发明的发光元件的无源矩阵型发光装置的透视图及截面图。注意,图 10A 是示出发光装置的透视图,而图 10B 是沿着线 X-Y 截断图 10A 而获得的截面图。

[0222] 在图 10A 和 10B 中,在衬底 1001 上,在第一电极 1002 和第二电极 1003 之间设置有 EL 层 1004。第一电极 1002 的端部被绝缘层 1005 覆盖。并且,在绝缘层 1005 上提供有隔断层 1006。隔断层 1006 的侧壁倾斜,其随着接近于衬底表面,一个侧壁和另一个侧壁之间的间隔变窄。换言之,隔断层 1006 的短边方向的截面为梯形,底边 (朝与绝缘层 1005 的面方向同样的方向并且与绝缘层 1005 接触的边) 比上边 (朝与绝缘层 1005 的面方向同样的方向并且不与绝缘层 1005 接触的边) 短。像这样,通过提供隔断层 1006,可以防止起因于静电等的发光元件的缺陷。

[0223] 以上述方式,可以获得具有本发明的发光元件的无源矩阵型发光装置。

[0224] 注意,本实施方式所示的发光装置 (有源矩阵型、无源矩阵型) 都使用本发明的具有高发光效率的发光元件形成,所以可以获得减少了耗电量的发光装置。

[0225] 注意,在实施方式 4 中,可以适当地组合实施方式 1 至 3 所示的结构而使用。

[0226] 实施方式 5

[0227] 在本实施方式 5 中,对于在一部分包括实施方式 4 中所示的本发明的发光装置的本发明的电子设备进行说明。作为这种电子设备,可以举出影像拍摄装置如摄像机及数码相机等、护目镜型显示器、导航系统、声音再现装置 (车载音响、立体声组合音响等)、计算机、游戏机、便携式信息终端 (便携式计算机、移动电话、便携式游戏机或电子图书等)、具有记录介质的图像再现装置 (具体为再现数字通用光盘 (DVD) 等记录介质且具有可以显示其图像的显示装置的装置) 等。图 11A 至 11D 示出这些电子设备的具体例子。

[0228] 图 11A 是根据本发明制造的电视装置,包括框体 9101、支撑台 9102、显示部 9103、扬声器部 9104、视频输入端子 9105 等。在该电视装置中,显示部 9103 可以应用本发明的发

光装置。本发明的发光装置具有可以获得高发光效率的特征，因此通过应用本发明的发光装置，可以获得减少了耗电量的电视装置。

[0229] 图 11B 是根据本发明制造的计算机，包括主体 9201、框体 9202、显示部 9203、键盘 9204、外部连接端口 9205、定点装置 9206 等。在该计算机中，显示部 9203 可以应用本发明的发光装置。本发明的发光装置具有可以获得高发光效率的特征，因此通过应用本发明的发光装置，可以获得减少了耗电量的计算机。

[0230] 图 11C 是根据本发明制造的移动电话，包括主体 9401、框体 9402、显示部 9403、声音输入部 9404、声音输出部 9405、操作键 9406、外部连接端口 9407、天线 9408 等。在该移动电话中，显示部 9403 可以应用本发明的发光装置。本发明的发光装置具有可以获得高发光效率的特征，因此通过应用本发明的发光装置，可以获得减少了耗电量的移动电话。

[0231] 图 11D 是根据本发明制造的影像拍摄装置，包括主体 9501、显示部 9502、框体 9503、外部连接端口 9504、遥控接收部 9505、影像接收部 9506、电池 9507、声音输入部 9508、操作键 9509、取景部 9510 等。在该影像拍摄装置中，显示部 9502 可以应用本发明的发光装置。本发明的发光装置具有可以获得高发光效率的特征，因此通过应用本发明的发光装置，可以获得减少了耗电量的影像拍摄装置。

[0232] 如上所述，本发明的发光装置的应用范围很广泛，将该发光装置可以应用于各种领域的电子设备。通过使用本发明的发光装置，可以获得减少了耗电量的电子设备。

[0233] 此外，本发明的发光装置也可以用作照明装置。图 12 是将本发明的发光装置用作背光灯的液晶显示装置的一个例子。图 12 所示的液晶显示装置包括框体 1201、液晶层 1202、背光灯 1203 以及框体 1204，液晶层 1202 与驱动器 IC 1205 连接。此外，作为背光灯 1203 使用本发明的发光装置，通过端子 1206 供应电流。

[0234] 通过将本发明的发光装置用作液晶显示装置的背光灯，可以获得耗电量低的背光灯。此外，本发明的发光装置是面发光的照明装置，也可以实现大面积化，因此可以获得实现低耗电量和大面积的液晶显示装置。

[0235] 图 13 是将应用本发明的发光装置用作作为照明装置的台灯的例子。图 13 所示的台灯包括框体 1301 和光源 1302，将本发明的发光装置用作光源 1302。本发明的发光装置具有高发光效率的发光元件，所以可以用作低耗电量的台灯。

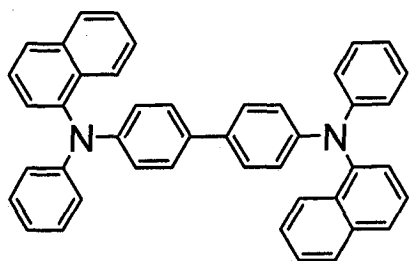
[0236] 图 14 为将应用本发明的发光装置用作室内照明装置 1401 的例子。由于本发明的发光装置也可以实现大面积化，所以可以用作大面积的照明装置。此外，本发明的发光装置由于具有高发光效率的发光元件，因此可以用作低耗电量的照明装置。像这样，可以在将应用本发明的发光装置用作室内照明装置 1401 的房间内设置如图 11A 所说明的本发明的电视装置 1402，来欣赏广播或电影。

[0237] 注意，在本实施方式 5 中，可以适当地组合实施方式 1 至 5 所示的结构而使用。

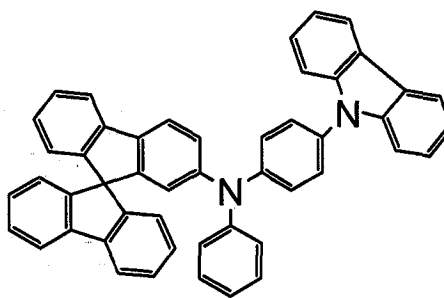
[0238] 实施例 1

[0239] 在本实施例 1 中，作为本发明的发光元件，示出具有实施方式 1 所说明的结构的发光元件的制造方法及元件特性的测量结果。注意，图 15A 示出本实施例所示的发光元件（发光元件 1 至发光元件 3）的元件结构，而图 15B 示出发光元件 4 的元件结构，以与上述发光元件比较。此外，下面示出本实施例 1 中使用的有机化合物的结构式。

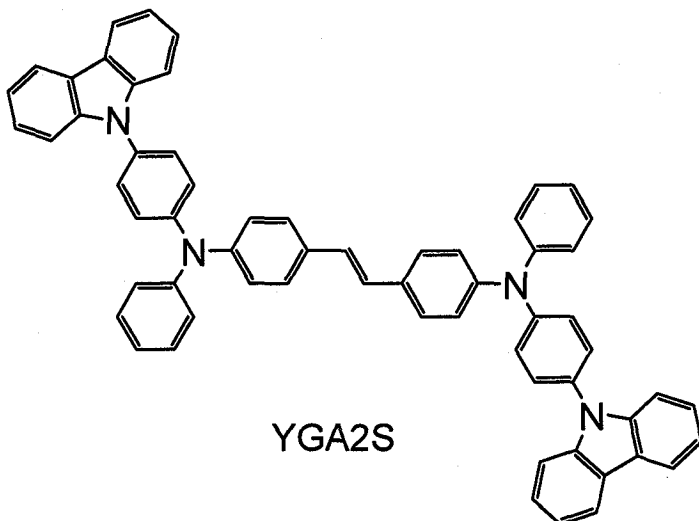
[0240]



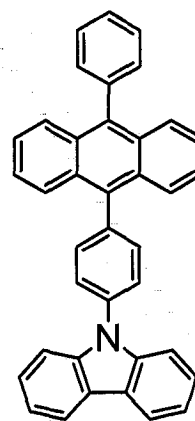
NPB



YGASF

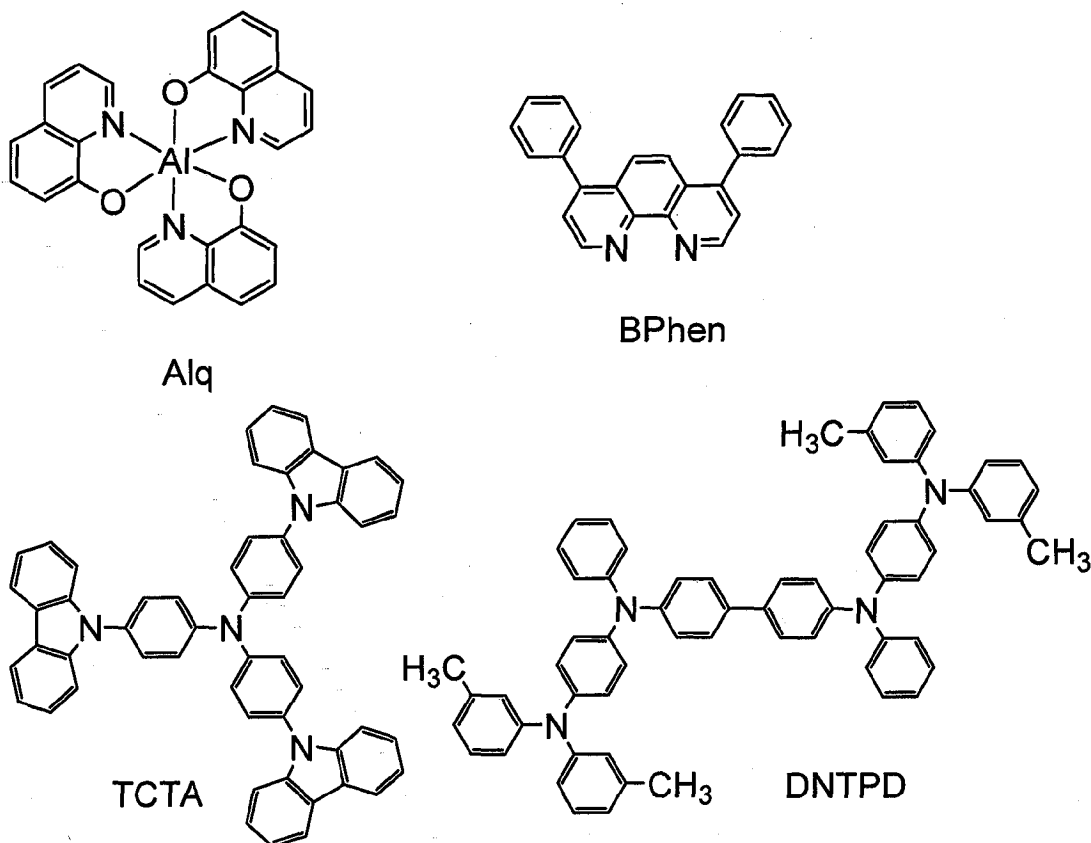


YGA2S



CzPA

[0241]



[0242] 发光元件 1 的制造

[0243] 发光元件 1 是具有在实施方式 1 中参照图 1A 进行说明的结构的发光元件。具体而言,它是当图 15A 中的第二层 1512 的 HOMO 能级比第一层 1511 及第三层 1513 的 HOMO 能级深(第二层 1512 的 HOMO 能级的绝对值较大)时的发光元件。

[0244] 首先,在玻璃衬底 1501 上通过溅射法形成包含氧化硅的氧化钼-氧化锡膜,来形成第一电极 1502。注意,第一电极 1502 的厚度为 110nm,而电极面积为 $2\text{mm} \times 2\text{mm}$ 。

[0245] 接着,在第一电极 1502 上形成层叠有多个层的 EL 层 1503。在本实施例中,EL 层 1503 具有按顺序层叠作为空穴注入层的第一层 1511、作为空穴传输层的第二层 1512、作为空穴传输层的第三层 1513、作为发光层的第四层 1514、作为电子传输层的第五层 1515、作为电子注入层的第六层 1516 的结构。

[0246] 在以将形成有第一电极 1502 的面成为下面的方式将形成有第一电极 1502 的衬底固定在设置在真空蒸镀装置内的衬底支架上,并减压到 10^{-4}Pa 左右,然后在第一电极 1502 上进行 4,4'-双[N-(1-萘基)-N-苯基氨基]联苯(缩写:NPB)和氧化钼(VI)的共蒸镀,从而形成作为空穴注入层的第一层 1511。使其厚度为 30nm,并且控制蒸镀速率以使 NPB 和氧化钼(VI)的重量比为 4:1(=NPB:氧化钼)。注意,共蒸镀法为一种蒸镀法,其中通过在一个处理室内同时使用多个蒸发源来执行蒸镀。

[0247] 接着,通过利用电阻加热的蒸镀法,在第一层 1511 上形成厚度为 10nm 的 N-[4-(9H-咔唑-9-基)苯基]-N-苯基-螺-9,9'-联芴-2-胺(缩写:YGASF),从而作为形成空穴传输层的第二层 1512。

[0248] 接着,通过使用电阻加热的蒸镀法,在第二层 1512 上形成厚度为 20nm 的 4,4'-双 N-(1-萘基)-N-苯基氨基]联苯(缩写:NPB),从而形成作为空穴传输层的第三层

1513。

[0249] 接着,在第三层 1513 上形成作为发光层的第四层 1514。通过进行 9-[4-(N-咔唑基)] 苯基-10-苯基蒽(缩写:CzPA)和 N,N'-双[4-(9H-咔唑-9-基)苯基]-N,N'-二苯基二苯乙烯-4,4'-二胺(缩写:YGA2S)的共蒸镀,来形成厚度为 30nm 的第四层 1514。在此,控制蒸镀速率以使 CzPA 和 YGA2S 的重量比为 1 : 0.04 (= CzPA : YGA2S)。

[0250] 再者,通过利用电阻加热的蒸镀法,在第四层 1514 上形成厚度为 20nm 的三(8-羟基喹啉)铝(III)(缩写:Alq)膜,并在其上形成厚度为 10nm 的红菲绕啉(缩写:BPhen)膜,从而形成电子传输层的第五层 1515。

[0251] 通过在第五层 1515 上形成厚度为 1nm 的氟化锂(LiF)膜,形成电子注入层的第六层 1516。

[0252] 最后,通过利用电阻加热的蒸镀法形成厚度为 200nm 的铝膜,来形成第二电极 1504,从而形成发光元件 1。

[0253] 在氮气氛的手套式操作箱中,以不被暴露在大气的方式密封通过上述步骤获得的本发明的发光元件 1。然后,测量这种发光元件的工作特性。注意,在室温(保持为 25℃的气氛)下进行测量。

[0254] 图 17 示出发光元件 1 的电流密度-亮度特性。图 18 示出电压-亮度特性。图 19 示出亮度-电流效率特性。图 20 示出当流过 1mA 的电流时的发光光谱。

[0255] 当发光元件 1 的亮度为 1000cd/m² 时的 CIE 色度坐标为 (x = 0.16, y = 0.18),并呈现源自 YGA2S 的蓝光。另外,当亮度为 1000cd/m² 时的电流效率为 5.4cd/A,呈现高效率。当亮度为 1000cd/m² 时的驱动电压为 5.6V。

[0256] 发光元件 2 的制造

[0257] 发光元件 2 是与发光元件 1 同样地具有在实施方式 1 中参照图 1A 说明的结构的发光元件。具体而言,它是在图 15A 和 15B 中的第二层 1512 的 HOMO 能级比第一层 1511 及第三层 1513 的 HOMO 能级深(第二层 1512 的 HOMO 能级绝对值较大)的情况下的发光元件。

[0258] 除了使用 4,4',4''-三(N-咔唑基)三苯胺(缩写:TCTA)代替用于发光元件 1 的第二层 1512 的 YGASF 的步骤之外,发光元件 2 的制造步骤与发光元件 1 的制造步骤同样地进行。

[0259] 在氮气氛的手套式操作箱中,以不被暴露在大气的方式密封所获得的本发明的发光元件 2。然后,测量该发光元件的工作特性。注意,在室温(保持为 25℃的气氛)下进行测量。

[0260] 图 17 示出发光元件 2 的电流密度-亮度特性。图 18 示出电压-亮度特性。图 19 示出亮度-电流效率特性。图 20 示出当流过 1mA 的电流时的发光光谱。

[0261] 当发光元件 2 的亮度为 1000cd/m² 时的 CIE 色度坐标为 (x = 0.16, y = 0.18),并呈现源自 YGA2S 的蓝光。另外,当亮度为 1000cd/m² 时的电流效率为 7.7cd/A,呈现高效率。当亮度为 1000cd/m² 时的驱动电压为 6.4V。

[0262] 发光元件 3 的制造

[0263] 发光元件 3 与发光元件 1 及发光元件 2 不同,是具有在实施方式 1 中参照图 1B 说明的结构的发光元件。具体而言,它是在图 15A 中的第二层 1512 的 HOMO 能级比第一层 1511 及第三层 1513 的 HOMO 能级浅(第二层 1512 的 HOMO 能级绝对值较小)的情况下的发光元

件。

[0264] 发光元件 3 使用 4,4'-双(N-{4-[N'-(3-甲基苯基)-N'-苯基氨基]苯基}-N-苯基氨基)联苯(缩写:DNTPD)代替用于发光元件 1 的第二层 1512 的 YGASF 与发光元件 1 同样地制造。

[0265] 在氮气氛的手套式操作箱中,以不被暴露在大气的方式密封所获得的本发明的发光元件 3。然后,测量该发光元件的工作特性。注意,在室温(保持为 25℃的气氛)下进行测量。

[0266] 图 17 示出发光元件 3 的电流密度-亮度特性。图 18 示出电压-亮度特性。图 19 示出亮度-电流效率特性。图 20 示出当流过 1mA 的电流时的发光光谱。

[0267] 当发光元件 3 的亮度为 1000cd/m² 时的 CIE 色度坐标为 (x = 0.16, y = 0.17), 并呈现源自 YGA2S 的蓝光。另外,当亮度为 1000cd/m² 时的电流效率为 5.1cd/A, 呈现高效率。当亮度为 1000cd/m² 时的驱动电压为 5.2V。

[0268] 发光元件 4 的制造

[0269] 接着,制造具有图 15B 所示的结构发光元件 4(不设置上述发光元件 1 至发光元件 3 中的第二层 1512 的结构)作为用来比较的发光元件。下面示出其制造方法。

[0270] 首先,在玻璃衬底 1501 上通过溅射法形成包含氧化硅的氧化铟-氧化锡膜,来形成第一电极 1502。注意,第一电极 1502 的厚度为 110nm,而电极面积为 2mm×2mm。

[0271] 在以将形成有第一电极 1502 的面成为下面的方式将形成有第一电极 1502 的衬底固定在设置在真空蒸镀装置内的衬底支架上,并减压到 10⁻⁴Pa 左右,然后在第一电极 1502 上进行 4,4'-双[N-(1-萘基)-N-苯基氨基]联苯(缩写:NPB)和氧化钼(VI)的共蒸镀,从而形成作为空穴注入层的第一层 1511。其厚度为 30nm,并且控制蒸镀速率以使 NPB 和氧化钼(VI)的重量比为 4:1(=NPB:氧化钼)。注意,共蒸镀法为一种蒸镀法,其中通过在一个处理室内同时使用多个蒸发源来执行蒸镀。

[0272] 接着,通过利用电阻加热的蒸镀法,形成厚度为 30nm 的 4,4'-二[N-(1-萘基)-N-苯基氨基]联苯(缩写:NPB),从而形成作为空穴传输层的第三层 1513。

[0273] 然后,在第三层 1513 上形成发光层的第四层 1514。通过进行 9-[4-(N-咔唑基)]苯基-10-苯基蒽(缩写:CzPA)和 N,N'-双[4-(9H-咔唑-9-某基)苯基]-N,N'-二苯基二苯乙烯-4,4'-二胺(缩写:YGA2S)的共蒸镀,来形成厚度为 30nm 的第四层 1514。在此,控制蒸镀速率以使 CzPA 和 YGA2S 的重量比为 1:0.04(=CzPA:YGA2S)。

[0274] 再者,通过利用电阻加热的蒸镀法,在第四层 1514 上形成厚度为 20nm 的三(8-羟基喹啉)铝(III)(缩写:Alq)膜,并在其上形成 10nm 厚的红菲绕啉(缩写:BPhen)膜,从而形成作为电子传输层的第五层 1515。

[0275] 接着,通过在第五层 1515 上形成 1nm 厚的氟化锂(LiF)膜,形成作为电子注入层的第六层 1516。

[0276] 最后,通过使用电阻加热的蒸镀法形成厚度为 200nm 的铝膜,来形成第二电极 1504,从而制造发光元件 4。

[0277] 在氮气氛的手套式操作箱中,以不被暴露在大气的方式密封通过上述步骤获得的发光元件 4。然后,测量这种发光元件 4 的工作特性。注意,在室温(保持为 25℃的气氛)下进行测量。

[0278] 图 17 示出发光元件 4 的电流密度 - 亮度特性。图 18 示出电压 - 亮度特性。图 19 示出亮度 - 电流效率特性。

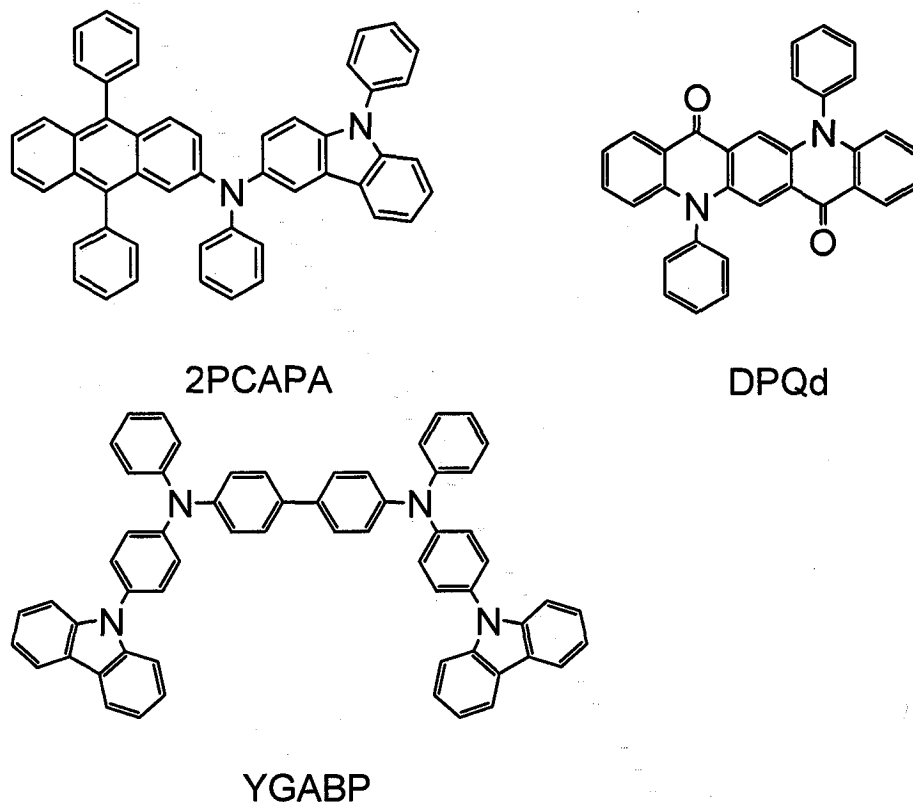
[0279] 当发光元件 4 的亮度为 1000cd/m^2 时的 CIE 色度坐标为 ($x = 0.16, y = 0.17$), 并与发光元件 1 至 3 同样地呈现源自 YGA2S 的蓝光。另外, 发光元件 4 的电流效率为 3.6cd/A , 当与发光元件 1 至发光元件 3 的电流效率进行比较时, 可得知其电流效率比发光元件 1 至发光元件 3 的电流效率低。

[0280] 如上所述, 可得知发光元件 1 至发光元件 3 是与发光元件 4 相比高效率的发光元件。因此, 通过应用本发明, 可以获得高效率的发光元件。

[0281] 实施例 2

[0282] 在本实施例 2 中, 作为本发明的发光元件, 示出具有实施方式 2 所说明的结构的发光元件的制造方法及元件特性的测量结果。注意, 图 16A 示出本实施例所示的发光元件 (发光元件 5 至发光元件 7) 的元件结构, 而图 16B 示出与该发光元件进行比较的发光元件 8 的元件结构。此外, 下面示出用于实施例 2 的有机化合物的结构式。注意, 对于实施例 1 所示的有机化合物参照实施例 1, 而这里省略其说明。

[0283]



[0284] 发光元件 5 的制造

[0285] 发光元件 5 是具有在实施方式 2 中参照图 4A 进行说明的结构的发光元件。具体而言, 它是当图 16A 中的第二层 1612 的 HOMO 能级比第一层 1611 及第三层 1613 的 HOMO 能级深 (第二层 1612 的 HOMO 能级的绝对值较大) 时的发光元件。再者, 如图 6A 和 6B 的概念图所示, 发光元件 5 是当第七层在速度论上控制载流子 (电子) 时的发光元件。

[0286] 首先, 在玻璃衬底 1601 上通过溅射法形成包含氧化硅的氧化铟 - 氧化锡膜, 来形成第一电极 1602。注意, 第一电极 1602 的厚度为 110nm , 而电极面积为 $2\text{mm} \times 2\text{mm}$ 。

[0287] 接着,在第一电极 1602 上形成层叠有多个层的 EL 层 1603。在本实施例中,EL 层 1603 具有按顺序层叠作为空穴注入层的第一层 1611、作为空穴传输层的第二层 1612、作为空穴传输层的第三层 1613、作为发光层的第四层 1614、用来控制电子载流子的移动的载流子控制层的第七层 1617、作为电子传输层的第五层 1615、作为电子注入层的第六层 1616 的结构。

[0288] 在以将形成有第一电极 1602 的面成为下面的方式将形成有第一电极 1602 的衬底固定在设置在真空蒸镀装置内的衬底支架上,并减压到 10^{-4} Pa 左右,然后在第一电极 1602 上进行 4,4'-双[N-(1-萘基)-N-苯基氨基]联苯(缩写:NPB)和氧化钼(VI)的共蒸镀,从而形成作为空穴注入层的第一层 1611。其厚度为 30nm,并且控制蒸镀速率以使 NPB 和氧化钼(VI)的重量比为 4:1(=NPB:氧化钼)。注意,共蒸镀法为一种蒸镀法,其中通过在一个处理室内同时使用多个蒸发源来执行蒸镀。

[0289] 接着,通过利用电阻加热的蒸镀法,在第一层 1611 上形成厚度为 10nm 的 N-[4-(9H-咔唑-9-基)苯基]-N-苯基-螺-9,9'-联芴-2-胺(缩写:YGASF)膜,从而形成作为空穴传输层的第二层 1612。

[0290] 接着,通过利用电阻加热的蒸镀法,在第二层 1612 上形成厚度为 20nm 的 4,4'-双[N-(1-萘基)-N-苯基氨基]联苯(缩写:NPB)膜,从而形成作为空穴传输层的第三层 1613。

[0291] 接着,在第三层 1613 上形成发光层的第四层 1614。通过进行 9-[4-(N-咔唑基)]苯基-10-苯基蒽(缩写:CzPA)和 N-(9,10-二苯基-2-蒽基)-N,9-二苯基-9H-咔唑-3-胺(缩写:2PCAPA)的共蒸镀,来形成厚度为 30nm 的第四层 1614。在此,控制蒸镀速率以使 CzPA 和 2PCAPA 的重量比为 1:0.05(=CzPA:2PCAPA)。

[0292] 再者,在第四层 1614 上进行三(8-羟基喹啉)铝(III)(缩写:Alq)和 N-(9,10-二苯基-2-蒽基)-N,9-二苯基-9H-咔唑-3-胺(缩写:2PCAPA)的共蒸镀,来形成厚度为 10nm 的用来控制电子载流子的移动的载流子控制层的第七层 1617。在此,控制蒸镀速率以使 Alq 和 2PCAPA 的重量比为 1:0.1(=Alq:2PCAPA)。

[0293] 然后,通过利用电阻加热的蒸镀法,在第七层 1617 上形成厚度为 30nm 的三(8-羟基喹啉)铝(III)(缩写:Alq)膜,从而形成作为电子传输层的第五层 1615。

[0294] 接着,通过在第五层 1615 上形成厚度为 1nm 的氟化锂(LiF)膜,形成电子注入层的第六层 1616。

[0295] 最后,通过使用电阻加热的蒸镀法形成厚度为 200nm 的铝膜,来形成第二电极 1604,从而制造发光元件 5。

[0296] 在氮气氛的手套式操作箱中,以不被暴露在大气的方式密封通过上述步骤获得的本发明的发光元件 5。然后,测量该发光元件的工作特性。注意,在室温(保持为 25℃的气氛)下进行测量。

[0297] 图 21 示出发光元件 5 的电流密度-亮度特性。图 22 示出电压-亮度特性。图 23 示出亮度-电流效率特性。图 24 示出当流过 1mA 的电流时的发光光谱。此外,图 25 示出,对于发光元件 5 以 5000cd/m² 的起始亮度进行利用恒流驱动连续点亮测试而得到的结果(纵轴为当以 5000cd/m² 为 100%时的相对亮度)。

[0298] 当发光元件 5 的亮度为 5000cd/m² 时的 CIE 色度坐标为 (x = 0.29, y = 0.63),并

呈现源自 2PCAPA 的绿光。另外,当亮度为 $5000\text{cd}/\text{m}^2$ 时的电流效率为 $19\text{cd}/\text{A}$,呈现高效率。当亮度为 $5000\text{cd}/\text{m}^2$ 时的驱动电压为 8.4V 。

[0299] 再者,对于发光元件 5 以 $5000\text{cd}/\text{m}^2$ 的起始亮度进行利用恒流驱动连续点亮测试。结果,发光元件 5 在 1000 小时之后也保持起始亮度的 81%,就可得知它具有高效率,而且具有长的使用寿命。

[0300] 发光元件 6 的制造

[0301] 发光元件 6 是具有在实施方式 2 中参照图 4A 进行说明的结构的发光元件。具体而言,它是当图 16A 中的第二层 1612 的 HOMO 能级比第一层 1611 及第三层 1613 的 HOMO 能级深(第二层 1612 的 HOMO 能级的绝对值较大)时的发光元件。再者,如图 7 的概念图所示,发光元件 6 是当第七层在热力学上控制载流子(电子)时的发光元件。

[0302] 除了作为用于发光元件 5 的第七层 1617 的 Alq 和 2PCAPA 的共蒸镀膜采用 Alq 和 N, N' - 二苯基喹吡啉酮(缩写:DPQd)的共蒸镀膜之外,与发光元件 5 同样地制造发光元件 6。在此,控制蒸镀速率以使 Alq 和 DPQd 的重量比为 $1 : 0.005 (= \text{Alq} : \text{DPQd})$ 。

[0303] 在氮气气氛的手套式操作箱中,以不被暴露在大气的密封方式所获得的本发明的发光元件 6。然后,测量该发光元件的工作特性。注意,在室温(保持为 25°C 的气氛)下进行测量。

[0304] 图 21 示出发光元件 6 的电流密度-亮度特性。图 22 示出电压-亮度特性。图 23 示出亮度-电流效率特性。图 24 示出当流过 1mA 的电流时的发光光谱。此外,图 25 示出,对于发光元件 6 以 $5000\text{cd}/\text{m}^2$ 的起始亮度进行利用恒流驱动连续点亮测试而得到的结果(纵轴为当以 $5000\text{cd}/\text{m}^2$ 为 100%时的相对亮度)。

[0305] 当发光元件 6 的亮度为 $5000\text{cd}/\text{m}^2$ 时的 CIE 色度坐标为 $(x = 0.29, y = 0.62)$,并呈现源自 2PCAPA 的绿光。另外,当亮度为 $5000\text{cd}/\text{m}^2$ 时的电流效率为 $15\text{cd}/\text{A}$,呈现高效率。当亮度为 $5000\text{cd}/\text{m}^2$ 时的驱动电压为 9V 。

[0306] 再者,对于发光元件 6 以 $5000\text{cd}/\text{m}^2$ 的起始亮度进行利用恒流驱动连续点亮测试。结果,发光元件 6 在 1000 小时之后也保持起始亮度的 80%,就可得知具有高效率,而且具有长的使用寿命。

[0307] 发光元件 7 的制造

[0308] 发光元件 7 是具有在实施方式 2 中参照图 4A 进行说明的结构的发光元件。具体而言,它是当图 16A 中的第二层 1612 的 HOMO 能级比第一层 1611 及第三层 1613 的 HOMO 能级深(第二层 1612 的 HOMO 能级的绝对值较大)时的发光元件。再者,如图 6A 和 6B 的概念图所示,发光元件 6 是当第七层在速度论上控制载流子(电子)时的发光元件。

[0309] 发光元件 7 使用 N, N' - 双[4-(9H-吡唑-9-某基)苯基]-N, N' - 二苯基联苯-4,4' - 二胺(缩写:YGABP)代替用于发光元件 5 的第二层 1612 的 YGASF 并与发光元件 5 同样地制造。

[0310] 在氮气气氛的手套式操作箱中,以不被暴露在大气的密封方式所获得的本发明的发光元件 7。然后,测量该发光元件的工作特性。注意,在室温(保持为 25°C 的气氛)下进行测量。

[0311] 图 21 示出发光元件 7 的电流密度-亮度特性。图 22 示出电压-亮度特性。图 23 示出亮度-电流效率特性。图 24 示出当流过 1mA 的电流时的发光光谱。此外,图 25 示出,

对于发光元件 7 以 $5000\text{cd}/\text{m}^2$ 的起始亮度进行利用恒流驱动连续点亮测试而得到的结果（纵轴为当以 $5000\text{cd}/\text{m}^2$ 为 100% 时的相对亮度）。

[0312] 当发光元件 7 的亮度为 $5000\text{cd}/\text{m}^2$ 时的 CIE 色度坐标为 ($x = 0.29, y = 0.63$)，并呈现源自 2PCAPA 的绿光。另外，当亮度为 $5000\text{cd}/\text{m}^2$ 时的电流效率为 $17\text{cd}/\text{A}$ ，呈现高效率。当亮度为 $5000\text{cd}/\text{m}^2$ 时的驱动电压为 8.1V 。

[0313] 再者，对于发光元件 7 以 $5000\text{cd}/\text{m}^2$ 的起始亮度进行利用恒流驱动连续点亮测试。结果，发光元件 7 在 1000 小时之后也保持起始亮度的 85%，就可得知具有高效率，而且具有长的使用寿命。

[0314] 发光元件 8 的制造

[0315] 接着，制造具有图 16B 所示的结构发光元件 8（不设置上述发光元件 5 至发光元件 7 中的第二层 1612 及第七层 1617 的结构）作为用来比较的发光元件。下面示出其制造方法。

[0316] 首先，在玻璃衬底 1601 上通过溅射法形成包含氧化硅的氧化铟 - 氧化锡膜，来形成第一电极 1602。注意，第一电极 1602 的厚度为 110nm ，而电极面积为 $2\text{mm} \times 2\text{mm}$ 。

[0317] 接着，在以将形成有第一电极 1602 的面成为下面的方式将形成有第一电极 1602 的衬底固定在设置在真空蒸镀装置内的衬底支架上，并减压到 10^{-4}Pa 左右，然后在第一电极 1602 上进行 4,4' - 双 [N-(1-萘基)-N-苯基氨基] 联苯（缩写：NPB）和氧化钼 (VI) 的共蒸镀，从而形成作为空穴注入层的第一层 1611。其厚度为 50nm ，并且控制蒸镀速率以使 NPB 和氧化钼 (VI) 的重量比为 4 : 1 (= NPB : 氧化钼)。注意，共蒸镀法为一种蒸镀法，其中通过在一个处理室内同时使用多个蒸发源来执行蒸镀。

[0318] 接着，通过利用电阻加热的蒸镀法，形成厚度为 10nm 的 4,4' - 双 [N-(1-萘基)-N-苯基氨基] 联苯（缩写：NPB），从而形成作为空穴传输层的第三层 1613。

[0319] 接着，在第三层 1613 上形成发光层的第四层 1614。通过进行 9-[4-(N-咔唑基)] 苯基-10-苯基蒽（缩写：CzPA）和 N-(9,10-二苯基-2-蒽基)-N,9-二苯基-9H-咔唑-3-胺（缩写：2PCAPA）的共蒸镀，来形成厚度为 40nm 的第四层 1614。在此，控制蒸镀速率以使 CzPA 和 2PCAPA 的重量比为 1 : 0.05 (= CzPA : 2PCAPA)。

[0320] 再者，通过利用电阻加热的蒸镀法，在第四层 1614 上形成厚度为 30nm 的三(8-羟基喹啉)铝 (III)（缩写：Alq）膜，从而形成作为电子传输层的第五层 1615。

[0321] 接着，通过在第五层 1615 上形成厚度为 1nm 的氟化锂 (LiF) 膜，形成作为电子注入层的第六层 1616。

[0322] 最后，通过利用电阻加热的蒸镀法形成厚度为 200nm 的铝膜，来形成第二电极 1604，从而制造发光元件 8。

[0323] 在氮气气氛的手套式操作箱中，以不被暴露在大气的密封方式通过上述步骤获得的发光元件 8。然后，测量这种发光元件 8 的工作特性。注意，在室温（保持为 25°C 的气氛）下进行测量。

[0324] 图 21 示出发光元件 8 的电流密度 - 亮度特性。图 22 示出电压 - 亮度特性。图 23 示出亮度 - 电流效率特性。此外，图 25 示出，对于发光元件 8 以 $5000\text{cd}/\text{m}^2$ 的起始亮度进行利用恒流驱动连续点亮测试而得到的结果（纵轴为当以 $5000\text{cd}/\text{m}^2$ 为 100% 时的相对亮度）。

[0325] 当发光元件 8 的亮度为 $5000\text{cd}/\text{m}^2$ 时的 CIE 色度坐标为 ($x = 0.30, y = 0.62$), 而电流效率为 $13\text{cd}/\text{A}$, 并且它与发光元件 5 至发光元件 7 同样地呈现源自 2PCAPA 的绿光。当将发光元件 8 的电流效率与发光元件 5 至发光元件 7 的电流效率进行比较时, 可得知发光元件 8 的电流效率比发光元件 5 至发光元件 7 低。另外, 当以 $5000\text{cd}/\text{m}^2$ 的起始亮度时的电流进行连续发光测试时, 如图 25 所示, 其亮度在 220 小时之后降低至起始亮度的 85%, 并呈现比发光元件 5 至发光元件 7 短的使用寿命。

[0326] 根据上述可得知与发光元件 8 相比, 发光元件 5 至发光元件 7 具有高效率, 而且具有长的使用寿命。因此, 通过应用本发明, 可以获得具有高效率且其使用寿命长的发光元件。

[0327] 实施例 3

[0328] 在本实施例 3 中, 示出具有与在实施例 2 中图 16A 所示的元件结构相同的结构的发光元件 (发光元件 9 至发光元件 11) 的制造方法及元件特性的测量结果。注意, 在本实施例中的说明中也参照图 16A 和 16B。此外, 对于本实施例 3 中使用的有机化合物, 参照实施例 1 或实施例 2, 而在此省略其说明。

[0329] 发光元件 9 的制造

[0330] 发光元件 9 是具有在实施方式 2 中参照图 4A 进行说明的结构的发光元件。具体而言, 它是当图 16A 中的第二层 1612 的 HOMO 能级比第一层 1611 及第三层 1613 的 HOMO 能级深 (第二层 1612 的 HOMO 能级的绝对值较大) 时的发光元件。再者, 如图 6A 和 6B 的概念图所示, 发光元件 9 是当第七层在速度论上控制载流子 (电子) 时的发光元件。

[0331] 首先, 在玻璃衬底 1601 上通过溅射法形成包含氧化硅的氧化铟 - 氧化锡膜, 来形成第一电极 1602。注意, 第一电极 1602 的厚度为 110nm , 而电极面积为 $2\text{mm} \times 2\text{mm}$ 。

[0332] 接着, 在第一电极 1602 上形成层叠有多个层的 EL 层 1603。在本实施例中, EL 层 1603 具有按顺序层叠作为空穴注入层的第一层 1611、作为空穴传输层的第二层 1612、作为空穴传输层的第三层 1613、作为发光层的第四层 1614、用来控制电子载流子的移动的载流子控制层的第七层 1617、作为电子传输层的第五层 1615、作为电子注入层的第六层 1616 的结构。

[0333] 在以将形成有第一电极 1602 的面成为下面的方式将形成有第一电极 1602 的衬底固定在设置在真空蒸镀装置内的衬底支架上, 并减压到 10^{-4}Pa 左右, 然后在第一电极 1602 上进行 4,4'-双 [N-(1-萘基)-N-苯基氨基] 联苯 (缩写: NPB) 和氧化钼 (VI) 的共蒸镀, 从而形成作为空穴注入层的第一层 1611。其厚度为 30nm , 并且控制蒸镀速率以使 NPB 和氧化钼 (VI) 的重量比为 4 : 1 (= NPB : 氧化钼)。注意, 共蒸镀法为一种蒸镀法, 其中通过在一个处理室内同时使用多个蒸发源来执行蒸镀。

[0334] 接着, 通过使用电阻加热的蒸镀法, 在第一层 1611 上形成 10nm 厚的 N-[4-(9H-吡唑-9-某基) 苯基]-N-苯基-螺-9,9'-联芴-2-胺 (缩写: YGASF), 从而形成作为空穴传输层的第二层 1612。

[0335] 接着, 通过利用电阻加热的蒸镀法, 在第二层 1612 上形成厚度为 20nm 的 4,4'-二 [N-(1-萘基)-N-苯基氨基] 联苯 (缩写: NPB), 从而形成作为空穴传输层的第三层 1613。

[0336] 接着, 在第三层 1613 上形成作为发光层的第四层 1614。通过进行 9-[4-(N-吡唑

基)] 苯基-10- 苯基蒽 (缩写 :CzPA) 和 N-(9,10- 二苯基-2- 蒽基)-N,9- 二苯基-9H- 咔唑-3- 胺 (缩写 :2PCAPA) 的共蒸镀,来形成厚度为 30nm 的第四层 1614。在此,控制蒸镀速率以使 CzPA 和 2PCAPA 的重量比为 1 : 0.05 (= CzPA : 2PCAPA)。

[0337] 再者,在第四层 1614 上进行三(8-羟基喹啉)铝(III)(缩写 :Alq) 和 N-(9,10- 二苯基-2- 蒽基)-N,9- 二苯基-9H- 咔唑-3- 胺 (缩写 :2PCAPA) 的共蒸镀,来形成厚度为 10nm 的用来控制电子载流子的移动的载流子控制层的第七层 1617。在此,控制蒸镀速率以使 Alq 和 2PCAPA 的重量比为 1 : 0.1 (= Alq : 2PCAPA)。

[0338] 再者,通过利用电阻加热的蒸镀法,在第七层 1617 上形成厚度为 30nm 的红菲咯啉 (缩写 :BPhen) 膜,从而形成作为电子传输层的第五层 1615。

[0339] 接着,通过在第五层 1615 上形成厚度为 1nm 的氟化锂 (LiF) 膜,形成作为电子注入层的第六层 1616。

[0340] 最后,通过利用电阻加热的蒸镀法形成厚度为 200nm 的铝膜,来形成第二电极 1604,从而制造发光元件 9。

[0341] 在氮气氛的手套式操作箱中,以不被暴露在大气的通过上述步骤获得的本发明的发光元件 9。然后,测量该发光元件的工作特性。注意,在室温 (保持为 25℃的气氛) 下进行测量。

[0342] 图 26 示出发光元件 9 的电流密度-亮度特性。图 27 示出电压-亮度特性。图 28 示出亮度-电流效率特性。图 29 示出当流过 1mA 的电流时的发光光谱。此外,图 30 示出,对于发光元件 9 以 5000cd/m² 的起始亮度进行利用恒流驱动连续点亮测试而得到的结果 (纵轴为当以 5000cd/m² 为 100% 时的相对亮度)。

[0343] 当发光元件 9 的亮度为 5000cd/m² 时的 CIE 色度坐标为 (x = 0.29, y = 0.63), 并呈现源自 2PCAPA 的绿光。另外,当亮度为 5000cd/m² 时的电流效率为 24cd/A, 呈现非常高的效率。当亮度为 5000cd/m² 时的驱动电压为 5.4V。

[0344] 再者,对于发光元件 9 以 5000cd/m² 的起始亮度进行利用恒流驱动连续点亮测试。结果,发光元件 9 在 1000 小时之后也保持起始亮度的 71%, 就可得知具有高效率,而且具有长的使用寿命。

[0345] 发光元件 10 的制造

[0346] 发光元件 10 是具有在实施方式 2 中参照图 4A 进行说明的结构的发光元件。具体而言,它是当图 16A 中的第二层 1612 的 HOMO 能级比第一层 1611 及第三层 1613 的 HOMO 能级深 (第二层 1612 的 HOMO 能级的绝对值较大) 时的发光元件。再者,如图 7 的概念图所示,发光元件 10 是当第七层在热力学上控制载流子 (电子) 时的发光元件。

[0347] 除了作为用于发光元件 9 的第七层 1617 的 Alq 和 2PCAPA 的共蒸镀膜采用 Alq 和 N, N' - 二苯基喹吡啶酮 (缩写 :DPQd) 的共蒸镀膜之外,与发光元件 5 同样地制造发光元件 10。在此,控制蒸镀速率以使 Alq 和 DPQd 的重量比为 1 : 0.005 (= Alq : DPQd)。

[0348] 在氮气氛的手套式操作箱中,以不被暴露在大气的方式密封所获得的本发明的发光元件 10。然后,测量该发光元件的工作特性。注意,在室温 (保持为 25℃的气氛) 下进行测量。

[0349] 图 26 示出发光元件 10 的电流密度-亮度特性。图 27 示出电压-亮度特性。图 28 示出亮度-电流效率特性。图 29 示出当流过 1mA 的电流时的发光光谱。此外,图 30 示

出,对于发光元件 10 以 $5000\text{cd}/\text{m}^2$ 的起始亮度进行利用恒流驱动连续点亮测试而得到的结果(纵轴为当以 $5000\text{cd}/\text{m}^2$ 为 100%时的相对亮度)。

[0350] 当发光元件 10 的亮度为 $5000\text{cd}/\text{m}^2$ 时的 CIE 色度坐标为 ($x = 0.28$, $y = 0.62$), 并呈现源自 2PCAPA 的绿光。另外,当亮度为 $5000\text{cd}/\text{m}^2$ 时的电流效率为 $19\text{cd}/\text{A}$, 呈现非常高的效率。当亮度为 $5000\text{cd}/\text{m}^2$ 时的驱动电压为 6.4V 。

[0351] 再者,对于发光元件 10 以 $5000\text{cd}/\text{m}^2$ 的起始亮度进行利用恒流驱动连续发光测试。结果,发光元件 10 在 1000 小时之后也保持起始亮度的 80%,就可得知具有高效率,而且具有长的使用寿命。

[0352] 发光元件 11 的制造

[0353] 发光元件 11 是具有在实施方式 2 中参照图 4A 进行说明的结构发光元件。具体而言,它是当图 16A 中的第二层 1612 的 HOMO 能级比第一层 1611 及第三层 1613 的 HOMO 能级深(第二层 1612 的 HOMO 能级的绝对值较大)时的发光元件。再者,如图 6A 和 6B 的概念图所示,发光元件 11 是当第七层在速度论上控制载流子(电子)时的发光元件。

[0354] 除了将 $\text{N,N}'$ -双[4-(9H-咔唑-9-某基)苯基]- $\text{N,N}'$ -二苯基联苯-4,4'-二胺(缩写:YGABP)作为用于发光元件 9 的第二层 1612 的 YGASF 之外,与发光元件 9 同样地制造发光元件 11。

[0355] 在氮气氛的手套式操作箱中,以不被暴露在大气的密封方式所获得的本发明的发光元件 11。然后,测量该发光元件的工作特性。注意,在室温(保持为 25°C 的气氛)下进行测量。

[0356] 图 26 示出发光元件 11 的电流密度-亮度特性。图 27 示出电压-亮度特性。图 28 示出亮度-电流效率特性。图 29 示出当流过 1mA 的电流时的发光光谱。此外,图 30 示出,对于发光元件 11 以 $5000\text{cd}/\text{m}^2$ 的起始亮度进行利用恒流驱动连续点亮测试而得到的结果(纵轴为当以 $5000\text{cd}/\text{m}^2$ 为 100%时的相对亮度)。

[0357] 当发光元件 11 的亮度为 $5000\text{cd}/\text{m}^2$ 时的 CIE 色度坐标为 ($x = 0.29$, $y = 0.63$), 并呈现源自 2PCAPA 的绿光。另外,当亮度为 $5000\text{cd}/\text{m}^2$ 时的电流效率为 $22\text{cd}/\text{A}$, 呈现非常高的效率。当亮度为 $5000\text{cd}/\text{m}^2$ 时的驱动电压为 5.2V 。

[0358] 再者,对于发光元件 11 以 $5000\text{cd}/\text{m}^2$ 的起始亮度进行利用恒流驱动连续发光测试。结果,发光元件 11 在 1000 小时之后也保持起始亮度的 77%,就可得知具有高效率,而且具有长的使用寿命。

[0359] 发光元件 12 的制造

[0360] 接着,制造具有图 16B 所示的结构发光元件 12(不设置上述发光元件 9 至发光元件 11 中的第二层 1612 及第七层 1617 的结构)作为用来比较的发光元件。下面示出其制造方法。

[0361] 首先,在玻璃衬底 1601 上通过溅射法形成包含氧化硅的氧化铟-氧化锡膜,来形成第一电极 1602。注意,第一电极 1602 的厚度为 110nm ,而电极面积为 $2\text{mm} \times 2\text{mm}$ 。

[0362] 在以将形成有第一电极 1602 的面成为下面的方式将形成有第一电极 1602 的衬底固定在设置在真空蒸镀装置内的衬底支架上,并减压到 10^{-4}Pa 左右,然后在第一电极 1602 上进行 4,4'-双[N-(1-萘基)-N-苯基氨基]联苯(缩写:NPB)和氧化钼(VI)的共蒸镀,从而形成作为空穴注入层的第一层 1611。其厚度为 50nm ,并且控制蒸镀速率以使 NPB 和氧

化钼(VI)的重量比为4:1(=NPB:氧化钼)。注意,共蒸镀法为一种蒸镀法,其中通过在一个处理室内同时使用多个蒸发源来执行蒸镀。

[0363] 接着,通过使用电阻加热的蒸镀法,形成厚度为10nm的4,4'-双[N-(1-萘基)-N-苯基氨基]联苯(缩写:NPB),从而形成作为空穴传输层的第三层1613。

[0364] 接着,在第三层1613上形成发光层的第四层1614。通过进行9-[4-(N-咔唑基)]苯基-10-苯基蒽(缩写:CzPA)和N-(9,10-二苯基-2-蒽基)-N,9-二苯基-9H-咔唑-3-胺(缩写:2PCAPA)的共蒸镀,来形成厚度为40nm的第四层1614。在此,控制蒸镀速率以使CzPA和2PCAPA的重量比为1:0.05(=CzPA:2PCAPA)。

[0365] 再者,通过使用电阻加热的蒸镀法,在第四层1614上形成厚度为30nm厚的红菲咯啉(缩写:BPhen)膜,从而形成作为电子传输层的第五层1615。

[0366] 接着,通过在第五层1615上形成厚度为1nm的氟化锂(LiF)膜,形成作为电子注入层的第六层1616。

[0367] 最后,通过利用电阻加热的蒸镀法形成厚度为200nm的铝膜,来形成第二电极1604,从而制造发光元件12。

[0368] 在氮气氛的手套式操作箱中,以不被暴露在大气的方式密封通过上述步骤获得的发光元件12。然后,测量这种发光元件4的工作特性。注意,在室温(保持为25℃的气氛)下进行测量。

[0369] 图26示出发光元件12的电流密度-亮度特性。图27示出电压-亮度特性。图28示出亮度-电流效率特性。此外,图30示出,对于发光元件12以5000cd/m²的起始亮度进行利用恒流驱动连续点亮测试而得到的结果(纵轴为当以5000cd/m²为100%时的相对亮度)。

[0370] 当发光元件12的亮度为5000cd/m²时的CIE色度坐标为(x=0.30, y=0.62),而电流效率为17cd/A,并且它与发光元件9至发光元件11同样地呈现源自2PCAPA的绿光。当将发光元件12的电流效率与发光元件9至发光元件11的电流效率进行比较时,知道发光元件12的电流效率比发光元件9至发光元件11低。另外,当以5000cd/m²的起始亮度时的电流进行连续发光测试时,如图30所示,其亮度在180小时之后降低到起始亮度的70%,并呈现比发光元件9至发光元件11短的使用寿命。

[0371] 根据上述就可得知与发光元件12相比,发光元件9至发光元件11具有高效率,并且具有长的使用寿命。因此,通过应用本发明,可以获得具有高效率且其使用寿命长的发光元件。

[0372] 实施例4

[0373] 在本实施例中,通过循环伏安测量法(CV)测量N-[4-(9H-咔唑-9-某基)苯基]-N-苯基-螺环-9,9'-二芴-2-胺(简称:YGASF)、N,N'-双[4-(9H-咔唑-9-某基)苯基]-N,N'-二苯基联苯-4,4'-二胺(简称:YGABP)、4,4',4''-三(N-咔唑基)三苯胺(简称:TCTA)、以及4,4'-双[N-(1-萘基)-N-苯基]联苯(简称:NPB)的氧化反应特性,该YGASF、YGABP、TCTA、NPB用于实施例1、实施例2、及实施例3中所制造的发光元件(发光元件1至发光元件3、发光元件5至发光元件7、发光元件9至发光元件11)中用作空穴传输层的第二层(图15A中的附图标记1512,图16A中的附图标记1612)及第三层(图15A和15B中的附图标记1513,图16A和16B中的附图标记1613)。

[0374] 此外,根据该测量结果,求得 YGASF、YGABP、TCTA、NPB 的 HOMO 能级。注意,使用电化学分析仪(由 BAS Inc. 生产,ALS 600A 型或 600C 型)进行测量。

[0375] 对于用于 CV 测量的溶液,使用脱水二甲基甲酰胺(DMF)(由 Aldrich Inc. 生产,99.8%,目录编号:22705-6)作为溶剂,将作为支持电解质的高氯酸四-n-丁基铵($n\text{-Bu}_4\text{NClO}_4$)(由 Tokyo Chemical Industry Co., Ltd. 生产,目录编号:T0836)溶解于溶剂中,并使其浓度为 100mmol/L。再者,使测量的对象溶解,并使其浓度为 10mmol/L。但是,在不完全溶解时,使用其澄清液体用于 CV 测量。另外,将铂电极(PTE 铂电极,由 BAS Inc. 生产)用作工作电极,将铂电极(VC-3 用 Pt 对置电极(5cm),由 BAS Inc. 生产)用作辅助电极,将 Ag/Ag^+ 电极(RE5 非水溶剂类参考电极,由 BAS Inc. 生产)用作参考电极。注意,测量是在室温(20℃至 25℃)下进行的。

[0376] 参考电极的相对于真空能级的电势能的计算

[0377] 首先,算出在本实施例 4 中使用的参考电极(Ag/Ag^+ 电极)的相对于真空能级的电势能(eV)。也就是说,算出 Ag/Ag^+ 电极的费密能级。已知的是,在甲醇中的二茂络铁的氧化还原电位相对于标准氢电极为 +0.610[V vs. SHE](参照文件:Christian R. Goldsmith et al., J. Am. Chem. Soc., Vol. 124, No. 1, 83-96, 2002)。另一方面,通过利用在本实施例 4 中使用的参考电极来求得在甲醇中的二茂络铁的氧化还原电位,其结果是 +0.20V[vs. Ag/Ag^+]。从而,可以得知在本实施例 4 中使用的参考电极的电势能比标准氢电极低 0.41[eV]。

[0378] 在此,已知的是,标准氢电极的相对于真空能级的电势能差是 -4.44eV(参照文献:大西敏博、小山珠美,高分子 EL 材料(共立出版),p. 64-67)。综上所述,可以求得本实施例 4 所使用的参考电极的相对于真空能级的电势能为 $-4.44-0.41 = -4.85$ [eV]。

[0379] 测量例 1;YGASF

[0380] 在本测量例 1 中,通过循环伏安测量法(CV)测量 YGASF 的氧化反应特性。其中的扫描速度为 0.1V/sec。图 31 示出其测量结果。注意,通过将相对于参考电极的工作电极的电位从 -0.18V 扫描到 +0.80V,然后从 +0.80V 扫描到 -0.18V,来测量氧化反应特性。

[0381] 从图 31 可见,氧化峰值电位 E_{pa} 为 +0.63V,还原峰值电位 E_{pc} 为 +0.55V。从而,可算出 +0.59V 的半波电位(E_{pc} 和 E_{pa} 的中间电位)。这表示 YGASF 由 +0.59[V vs. Ag/Ag^+] 的电氧化,并且该能量相当于 HOMO 能级。在此,由于如上所述在本实施例 4 中使用的参考电极的相对于真空能级的电势能为 -4.85[eV],因此可以得知 YGASF 的 HOMO 能级为 $-4.85-(+0.59) = -5.44$ [eV]。

[0382] 测量例 2;YGABP

[0383] 在本测量例 2 中,通过循环伏安测量法(CV)测量 YGABP 的氧化反应特性。其中的扫描速度为 0.1V/sec。图 32 示出其测量结果。注意,通过将相对于参考电极的工作电极的电位从 -0.20V 扫描到 +1.00V,然后从 +1.00V 扫描到 -0.20V,来测量氧化反应特性。

[0384] 从图 32 可见,氧化峰值电位 E_{pa} 为 +0.66V,还原峰值电位 E_{pc} 为 +0.50V。从而,可算出 +0.58V 的半波电位(E_{pc} 和 E_{pa} 的中间电位)。这表示 YGABP 由 +0.58[V vs. Ag/Ag^+] 的电氧化,并且该能量相当于 HOMO 能级。在此,由于如上所述在本实施例 4 中使用的参考电极的相对于真空能级的电势能为 -4.85[eV],因此可以得知 YGABP 的 HOMO 能级为 $-4.85-(+0.58) = -5.43$ [eV]。

[0385] 测量例 3;TCTA

[0386] 在本测量例 3 中,通过循环伏安测量法 (CV) 测量 TCTA 的氧化反应特性。扫描速度为 0.1V/sec。图 33 示出其测量结果。注意,通过将相对于参考电极的作用电极的电位从 -0.10V 扫描到 +0.80V,然后将它从 +0.80V 扫描到 -0.10V,来测量氧化反应特性。

[0387] 从图 33 可见,氧化峰值电位 E_{pa} 为 +0.57V,还原峰值电位 E_{pc} 为 +0.49V。从而,可算出 +0.53V 的半波电位 (E_{pc} 和 E_{pa} 的中间电位)。这表示 TCTA 由 +0.53[V vs. Ag/Ag⁺] 的电能氧化,并且该能量相当于 HOMO 能级。在此,如上所述在本实施例 4 中使用的参考电极的相对于真空能级的电势能为 -4.85[eV],因此可以得知 TCTA 的 HOMO 能级为 $-4.85-(+0.53) = -5.38$ [eV]。

[0388] 测量例 4 ;NPB

[0389] 在本测量例 4 中,通过循环伏安测量法 (CV) 测量 TCTA 的氧化反应特性。扫描速度为 0.1V/sec。图 34 示出其测量结果。注意,通过将相对于参考电极的作用电极的电位从 -0.20V 扫描到 0.80V,然后从 +0.80V 扫描到 0.20V,来测量氧化反应特性。

[0390] 从图 34 可见,氧化峰值电位 E_{pa} 为 +0.45V,还原峰值电位 E_{pc} 为 +0.39V。从而,可算出 +0.42V 的半波电位 (E_{pc} 和 E_{pa} 的中间电位)。这表示 NPB 由 +0.42[V vs. Ag/Ag⁺] 的电能氧化,并且该能量相当于 HOMO 能级。在此,如上所述在本实施例 4 中使用的参考电极的相对于真空能级的电势能为 -4.85[eV],因此可以得知 NPB 的 HOMO 能级为 $-4.85-(+0.42) = -5.27$ [eV]。

[0391] 测量例 5 ;DNTPD

[0392] 在本测量例 5 中,通过循环伏安测量法 (CV) 测量 DNTPD 的氧化反应特性。扫描速度为 0.1V/sec。图 35 示出其测量结果。注意,通过将相对于参考电极的作用电极的电位从 -0.05V 扫描到 +1.20V,然后从 +1.20V 扫描到 -0.05V,来测量氧化反应特性。

[0393] 从图 35 可见,氧化峰值电位 E_{pa} 为 +0.26V,还原峰值电位 E_{pc} 为 +0.15V。从而,可求得 +0.21V 的半波电位 (E_{pc} 和 E_{pa} 的中间电位)。这表示 NPB 由 +0.21[V vs. Ag/Ag⁺] 的电能氧化,并且该能量相当于 HOMO 能级。在此,如上所述在本实施例 4 中使用的参考电极的相对于真空能级的电势能为 -4.85[eV],因此可以得知 DNTPD 的 HOMO 能级为 $-4.85-(+0.21) = -5.06$ [eV]。

[0394] 注意,当对如上所述那样求得的 YGASF、YGABP、TCTA、NPB 的 HOMO 能级进行比较时,可以得知 YGASF 的 HOMO 能级比 NPB 低 0.17[eV],YGABP 的 HOMO 能级比 NPB 低 0.16[eV],TCTA 的 HOMO 能级比 NPB 低 0.16[eV]。此外,当将 DNTPD 的 HOMO 能级与 NPB 的 HOMO 能级进行比较时,DNTPD 的 HOMO 能级比 NPB 高 0.21[eV]。

[0395] 由此,通过使用 YGASF、YGABP、TCTA、或 DNTPD 形成作为第一空穴传输层的第二层(图 15A 中的附图标记 1512、图 16A 中的附图标记 1612),并使用 NPB 形成作为第二空穴传输层的第三层(图 15A 和 15B 中的附图标记 1513、图 16A 和 16B 中的附图标记 1613),在第二层和第三层之间产生抑制空穴的移动的能带。就是说,第二层(图 15A 中的附图标记 1512、图 16A 中的附图标记 1612)可以抑制注入到第三层的空穴(图 15A 和 15B 中的附图标记 1513、图 16A 和 16B 中的附图标记 1613),来降低其移动速度。

[0396] 因此,可以说,本发明的发光元件的第一空穴传输层的第二层中使用 YGASF、YGABP、TCTA 或 DNTPD 的实施例 1 至实施例 3 的元件结构适合于本发明。

[0397] 实施例 5

[0398] 在本实施例中,通过循环伏安测量法(CV)测量三(8-羟基喹啉)铝(III)(简称:Alq)、N, N' -二苯基喹吡啶酮(简称:DPQd)、N-(9,10-二苯基-2-萘基)-N,9-二苯基-9H-咔唑-3-胺(简称:2PCAPA)的还原反应特性,该Alq、DPQd、2PCAPA用于实施例2中所制造的发光元件(发光元件5至发光元件7)、及实施例3中所制造的发光元件(发光元件9至发光元件11)中用作控制电子载流子的迁移的载流子控制层的第七层(图16A中的附图标记1617)。此外,根据该测量结果,求得Alq、DPQd、2PCAPA的LUMO能级。注意,使用电化学分析仪(由BAS Inc. 生产,ALS 600A型或600C型)进行测量。

[0399] 对于用于CV测量的溶液,使用脱水二甲基甲酰胺(DMF)(由Aldrich Inc. 生产,99.8%,目录编号:22705-6)作为溶剂,将作为支持电解质的高氯酸盐四-n-丁基铵($n\text{-Bu}_4\text{NClO}_4$)(由Tokyo Chemical Industry Co., Ltd. 生产,目录编号:T0836)溶解于溶剂中,并使其浓度为100mmol/L。再者,使测量的对象溶解,并使其浓度为10mmol/L。但是,不完全溶解时,使用其澄清液体用于CV测量。另外,将铂电极(由BAS Inc. 生产,PTE铂电极)用作工作电极,将铂电极(由BAS Inc. 生产,VC-3用Pt对置电极(5cm))用作辅助电极,将Ag/Ag⁺电极(由BAS Inc. 生产,RE5非水溶剂参考电极)用作参考电极。注意,测量是在室温(20℃至25℃)下进行的。

[0400] 参考电极的相对于真空能级的电势能的计算

[0401] 首先,求得在本实施例5中使用的参考电极(Ag/Ag⁺电极)的相对于真空能级的电势能(eV)。也就是说,求得Ag/Ag⁺电极的费密能级。已知的是,在甲醇中的二茂络铁的氧化还原电位相对于标准氢电极为+0.610[V vs. SHE](参照文件:Christian R. Goldsmith et al., J. Am. Chem. Soc., Vol. 124, No. 1, 83-96, 2002)。另一方面,通过利用在本实施例5中使用的参考电极来求得在甲醇中的二茂络铁的氧化还原电位,其结果是+0.20V[vs. Ag/Ag⁺]。从而,可以得知在本实施例5中使用的参考电极的电势能比标准氢电极低0.41[eV]。

[0402] 在此,已知的是,标准氢电极的相对于真空能级的电势能差是-4.44eV(参照文献:大西敏博、小山珠美,高分子EL材料(共立出版),p. 64-67)。综上所述,可以求得本实施例5所使用的参考电极的相对于真空能级的电势能为-4.44-0.41=-4.85[eV]。

[0403] 测量例6;Alq

[0404] 在本测量例6中,通过循环伏安测量法(CV)测量Alq的还原反应特性。扫描速度为0.1V/sec。图36示出其测量结果。注意,通过将相对于参考电极的作用电极的电位从-0.69V扫描到-2.40V,然后从-2.40V扫描到-0.69V,来测量还原反应特性。

[0405] 从图36可见,还原峰值电位 E_{pc} 为-2.20V,氧化峰值电位 E_{pa} 为-2.12V。从而,可求得-2.16V的半波电位(E_{pc} 和 E_{pa} 的中间电位)。这表示Alq由-2.16[V vs. Ag/Ag⁺]的电位还原,并且该能量相当于LUMO能级。在此,如上所述在本实施例5中使用的参考电极的相对于真空能级的电势能为-4.85[eV],因此可以得知Alq的LUMO能级为-4.85-(-2.16)=-2.69[eV]。

[0406] 测量例7;DPQd

[0407] 在本测量例7中,通过循环伏安测量法(CV)测量DPQd的还原反应特性。扫描速度为0.1V/sec。图37示出其测量结果。注意,通过将相对于参考电极的作用电极的电位从-0.40V扫描到-2.10V,然后从-2.10V扫描到-0.40V,来测量还原反应特性。此外,DPQd的溶解性差,当制备浓度为10mmol/L的溶液时也产生不溶解的DPQd,因此在不溶解的DPQd

沉淀后的状态下,提取澄清液体而将其使用于测量。

[0408] 从图 37 可见,还原峰值电位 E_{pc} 为 $-1.69V$,氧化峰值电位 E_{pa} 为 $-1.63V$ 。因此,可算出 $-1.66V$ 的半波电位 (E_{pc} 和 E_{pa} 的中间电位)。这表示 DPQd 由 $-1.66[V \text{ vs. } Ag/Ag^+]$ 的电还原,并且该能量相当于 LUMO 能级。在此,如上所述在本实施例 5 中使用的参考电极的相对于真空能级的电势能为 $-4.85[eV]$,因此可以得知 DPQd 的 LUMO 能级为 $-4.85 - (-1.66) = -3.19[eV]$ 。

[0409] 测量例 8 ;2PCAPA

[0410] 在本测量例 8 中,通过循环伏安测量法 (CV) 测量 DPQd 的还原反应特性。扫描速度为 $0.1V/sec$ 。图 38 示出其测量结果。注意,通过将相对于参考电极的作用电极的电位从 $-0.41V$ 扫描到 $-2.50V$,然后将它从 $-2.50V$ 扫描到 $-0.41V$,来测量还原反应特性。

[0411] 从图 38 可见,还原峰值电位 E_{pc} 为 $-2.21V$,氧化峰值电位 E_{pa} 为 $-2.14V$ 。因此,可算出 $-2.18V$ 的半波电位 (E_{pc} 和 E_{pa} 的中间电位)。这表示 Alq 由 $-2.18[V \text{ vs. } Ag/Ag^+]$ 的电还原,并且该电能相当于 LUMO 能级。在此,如上所述在本实施例 5 中使用的参考电极的相对于真空能级的电势能为 $-4.85[eV]$,因此可以得知 2PCAPA 的 LUMO 能级为 $-4.85 - (-2.18) = -2.67[eV]$ 。

[0412] 通过当对上述那样得到的 Alq 和 DPQd 的 LUMO 能级进行比较时,可以得知 DPQd 的 LUMO 能级比 Alq 低 $0.50[eV]$ 。这意味着,通过将 DPQd 添加到 Alq 中,该 DPQd 作为电子陷阱发挥作用。这表示实施方式 2 所说明的第七层在热力学上控制载流子 (电子),并且利用作为电子传输材料的金属络合物 (Alq) 和具有电子陷阱性的喹吖啶酮衍生物 (DPQd) 形成第七层的情况。

[0413] 此外,当对如上所述那样求得的 Alq 和 2PCAPA 的 LUMO 能级进行比较时,可以得知 2PCAPA 的 LUMO 能级和 Alq 的 LUMO 能级只相差 $0.02[eV]$ 。这意味着,通过将 2PCAPA 添加到 Alq 中,电子容易移动到 2PCAPA,从而层整体的电子移动速度降低。这表示在实施方式 2 中说明的第七层在速度论上控制载流子 (电子) 的移动的情况,即由作为电子传输材料的金属络合物 (Alq) 和具有空穴传输性的芳香胺 (2PCAPA) 形成第七层的情况。

[0414] 因此,可得知包括组合 Alq 和 DPQd、或 Alq 和 2PCAPA 而成的载流子控制层的元件结构适合于本发明。

[0415] 本说明书根据 2007 年 9 月 27 日在日本专利局受理的日本专利申请编号 2007-250934 而制作,所述申请内容包括在本说明书中。

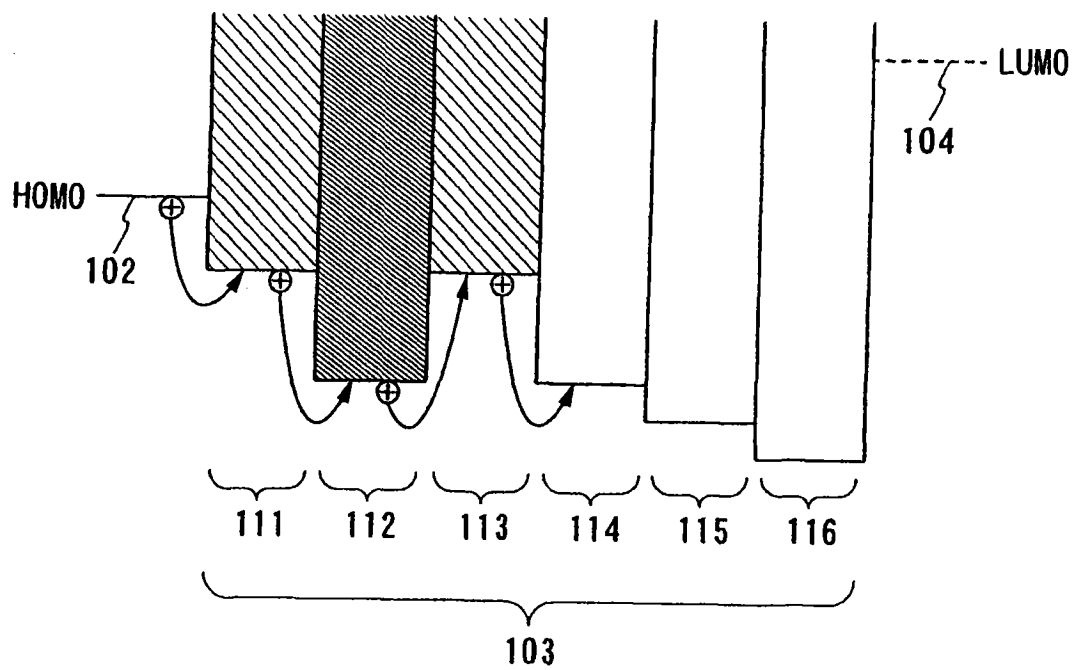


图 1A

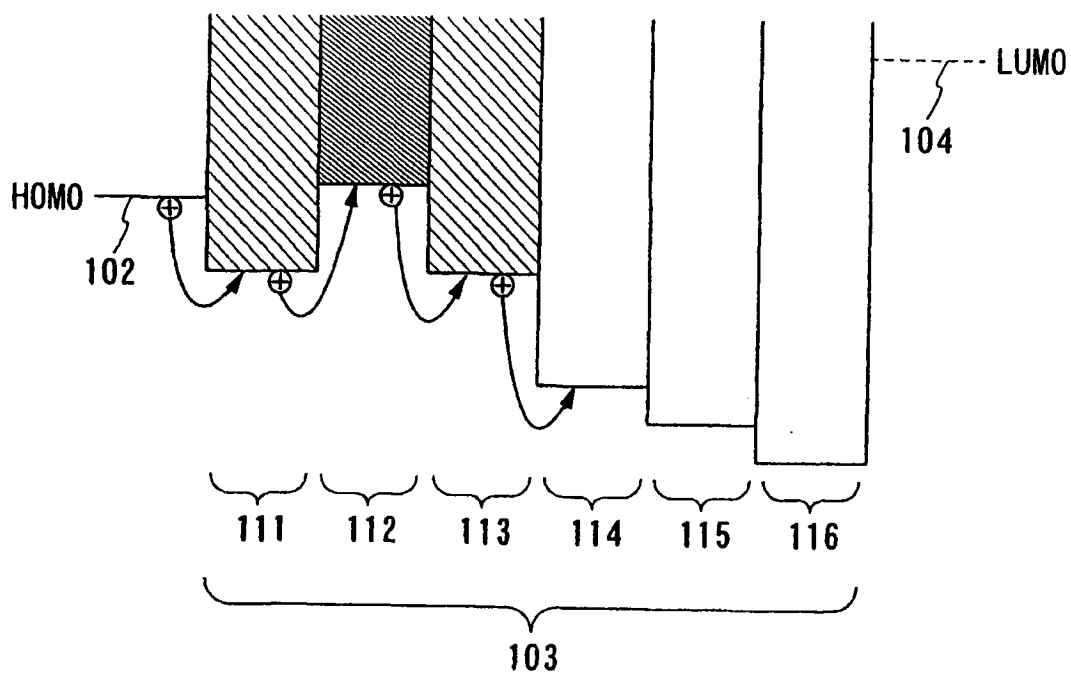


图 1B

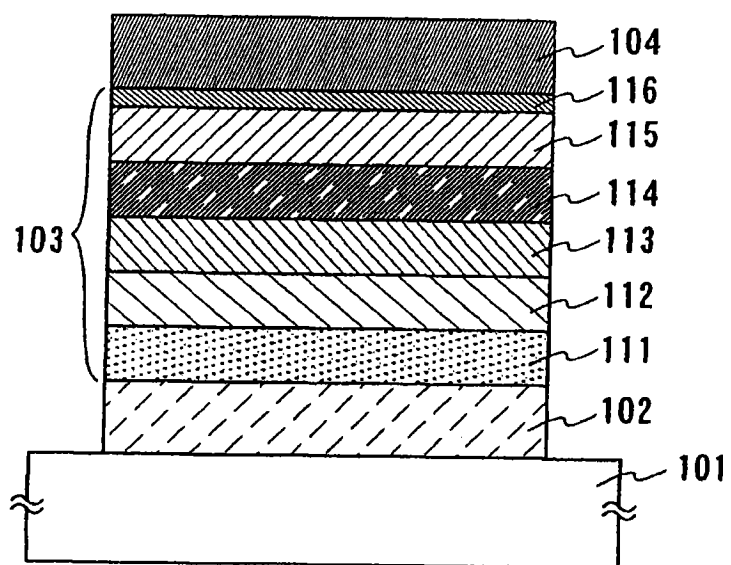


图 2A

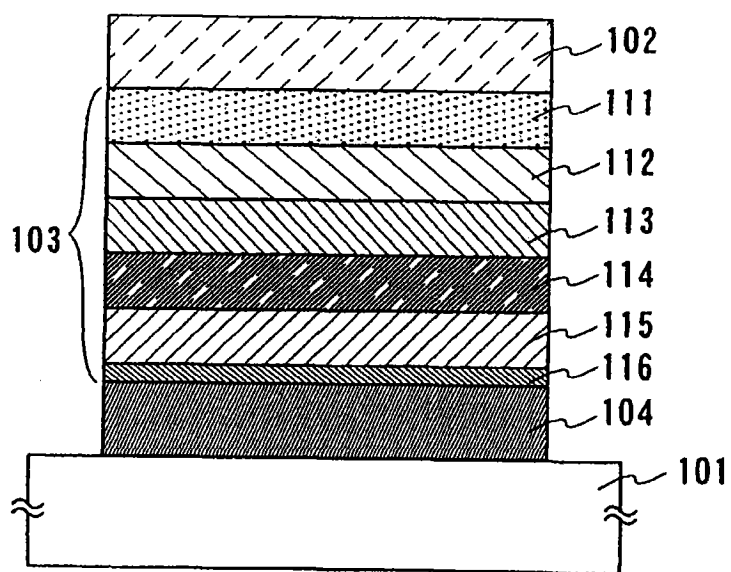


图 2B

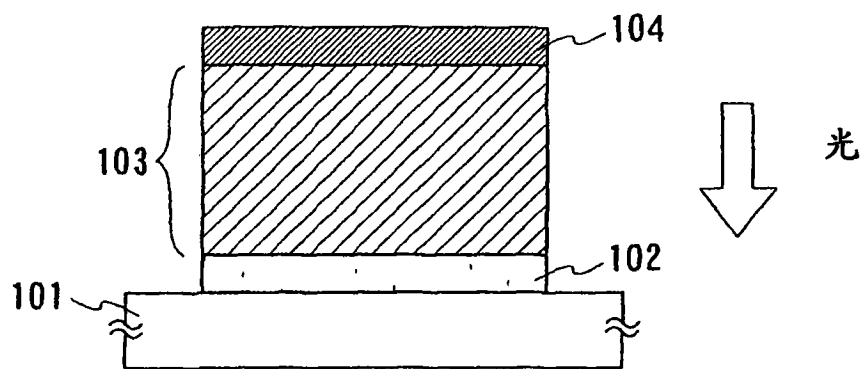


图 3A

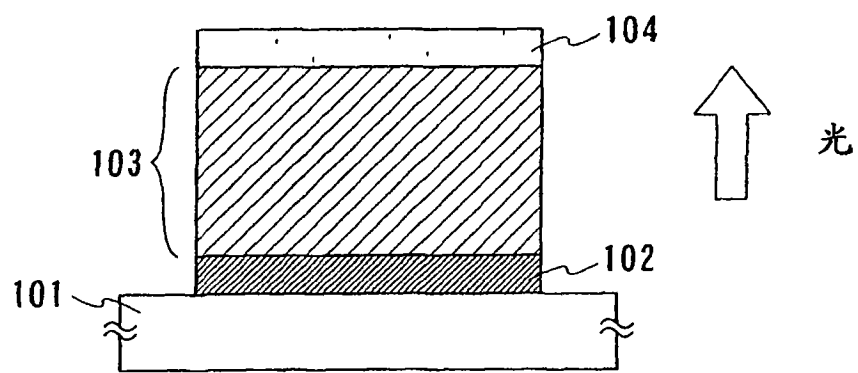


图 3B

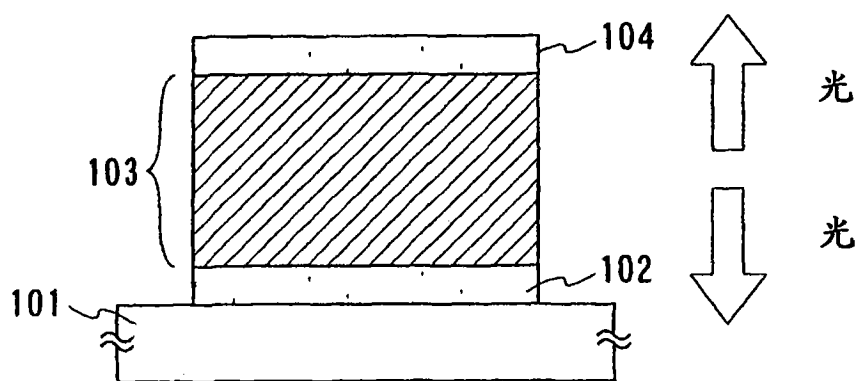


图 3C

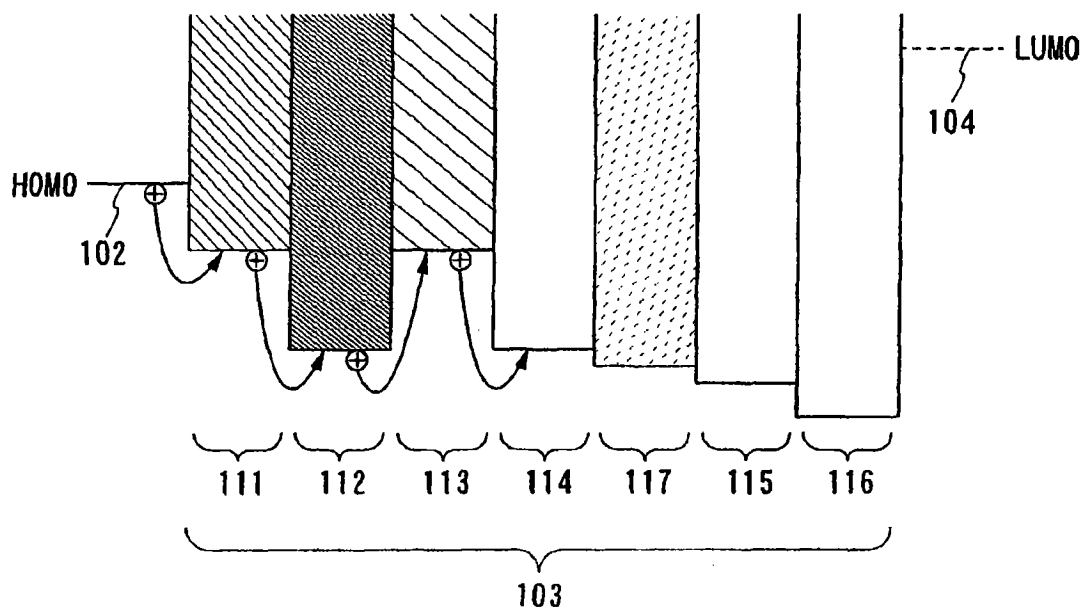


图 4A

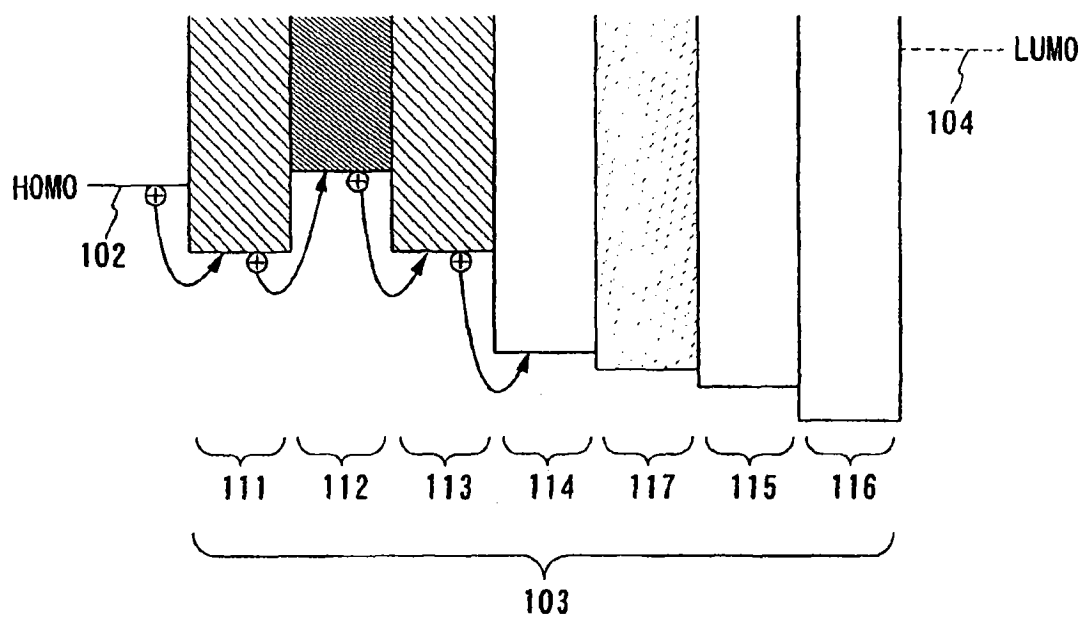


图 4B

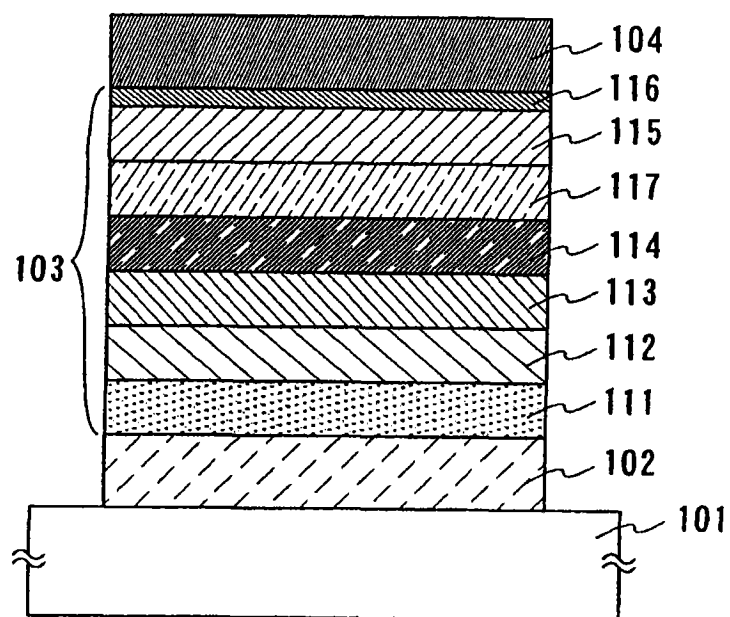


图 5A

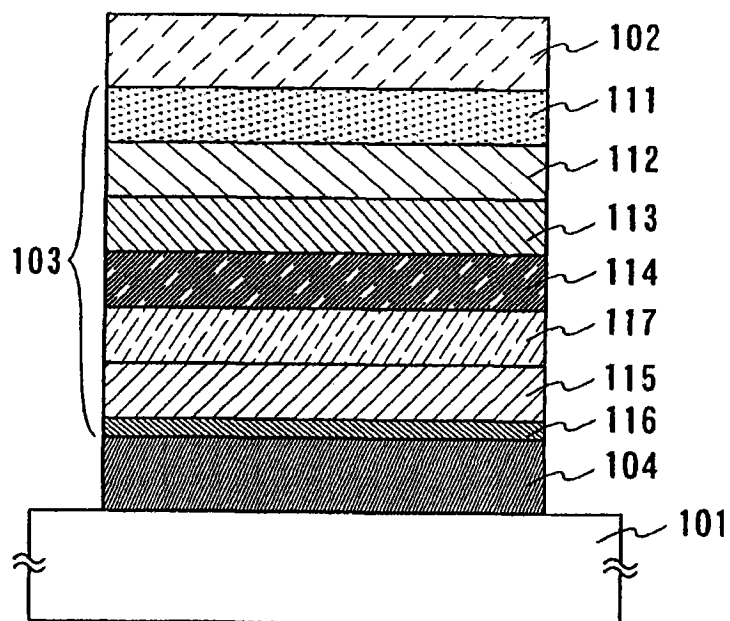


图 5B

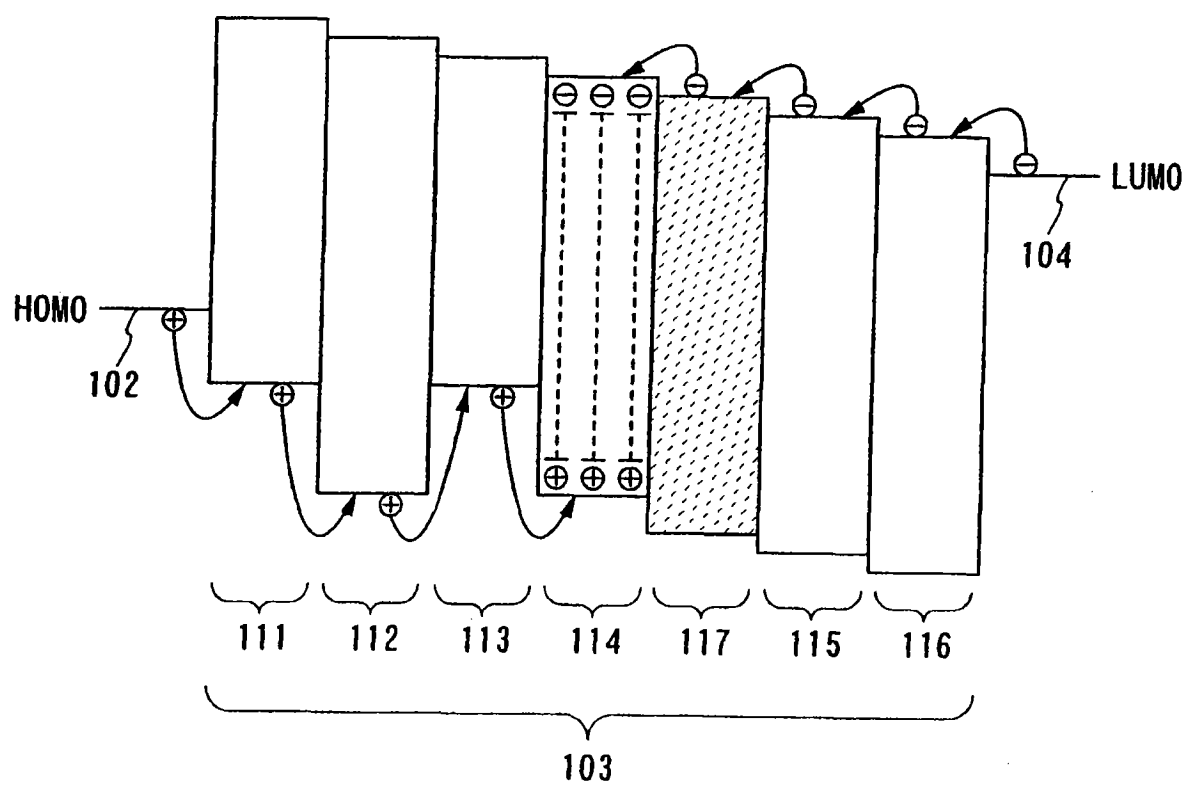


图 6A

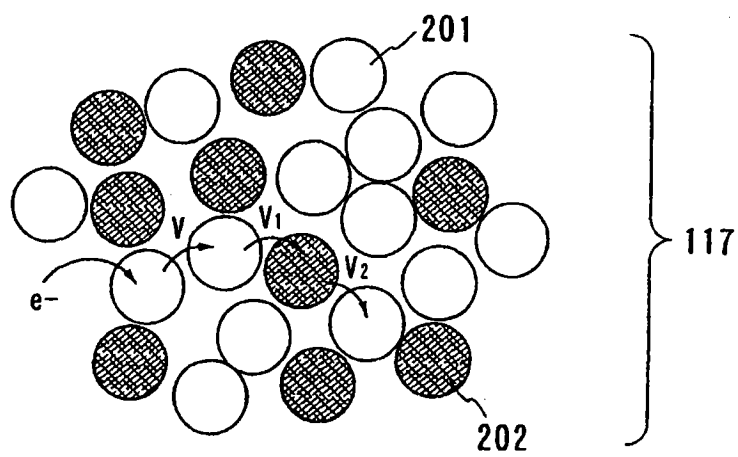


图 6B

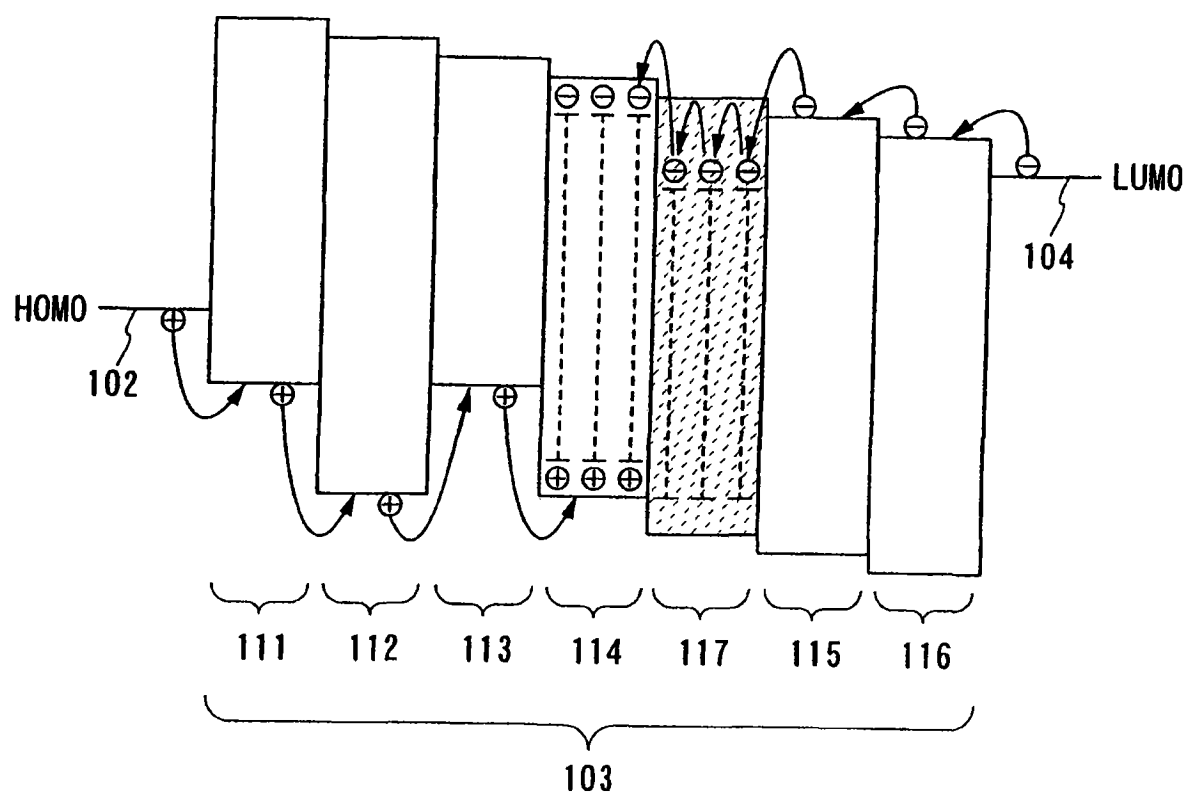


图 7

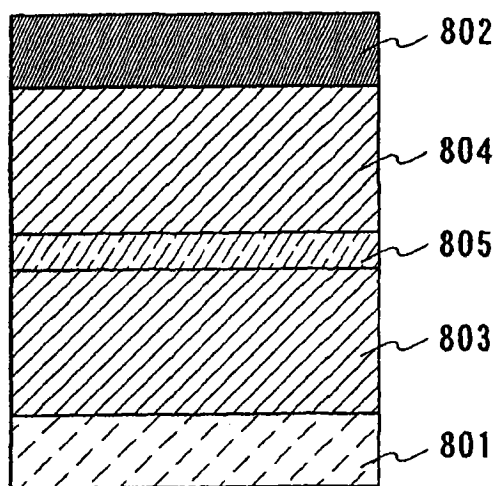


图 8

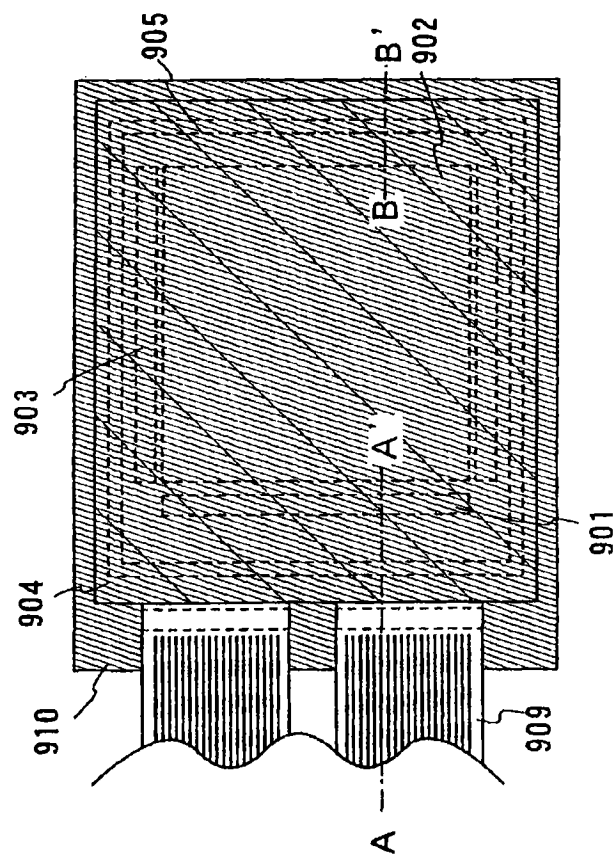


图9A

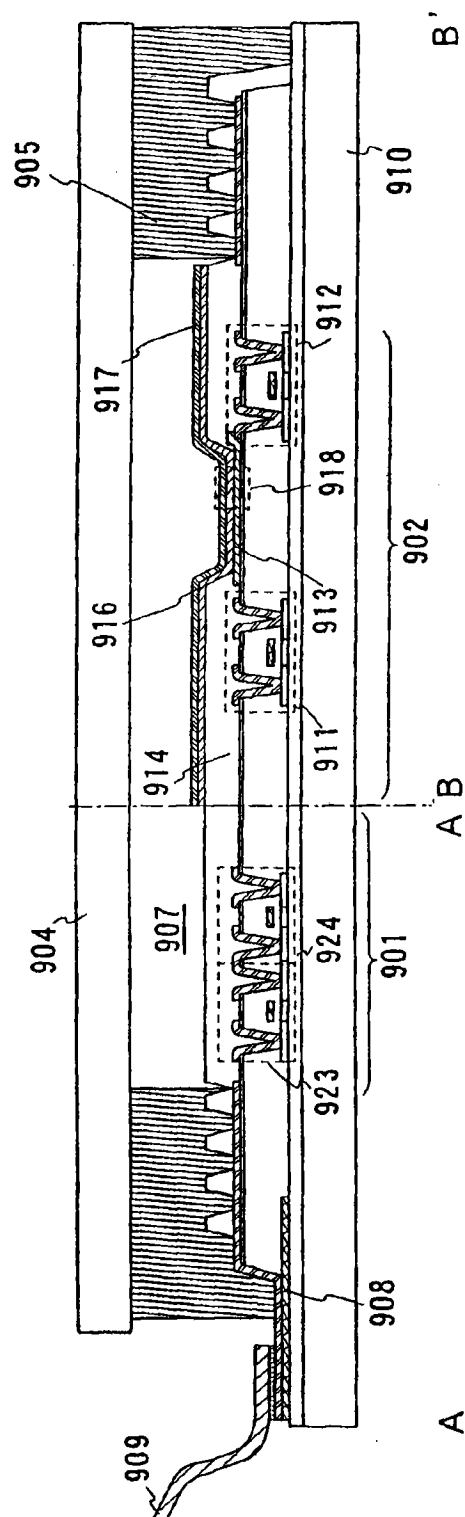


图9B

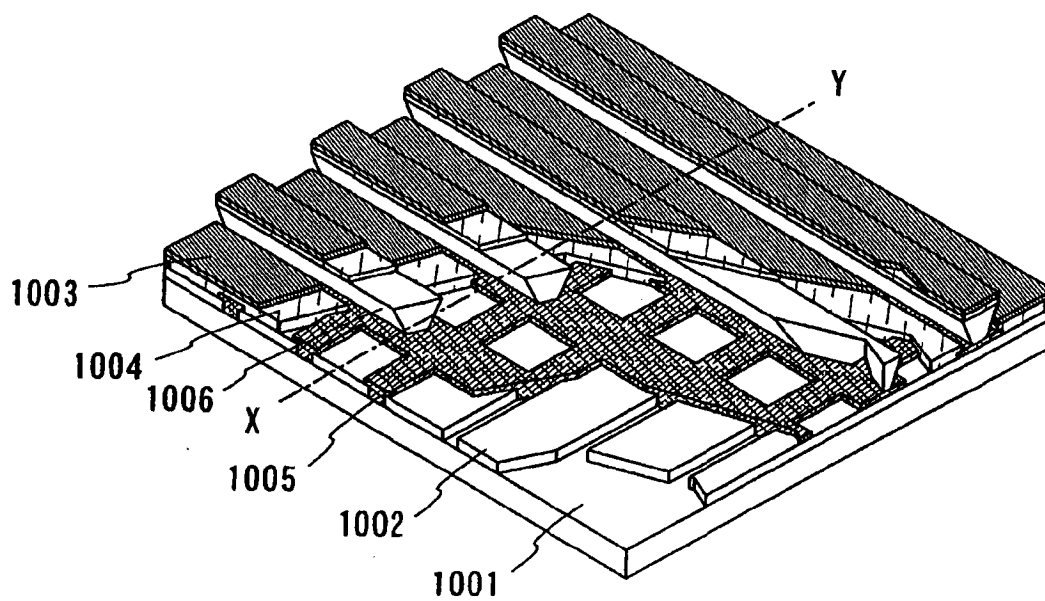


图 10A

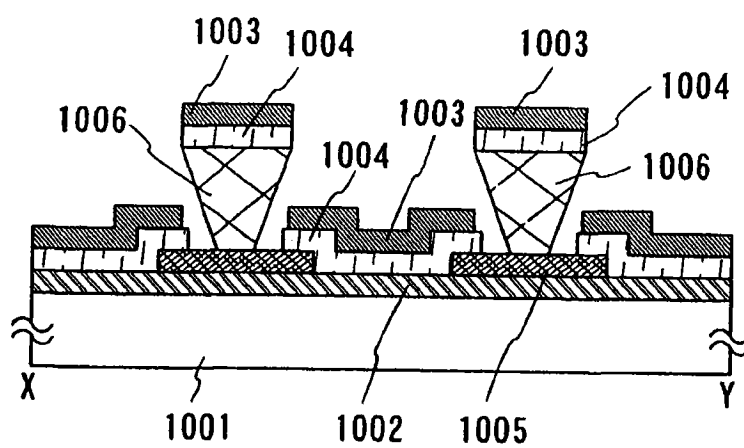


图 10B

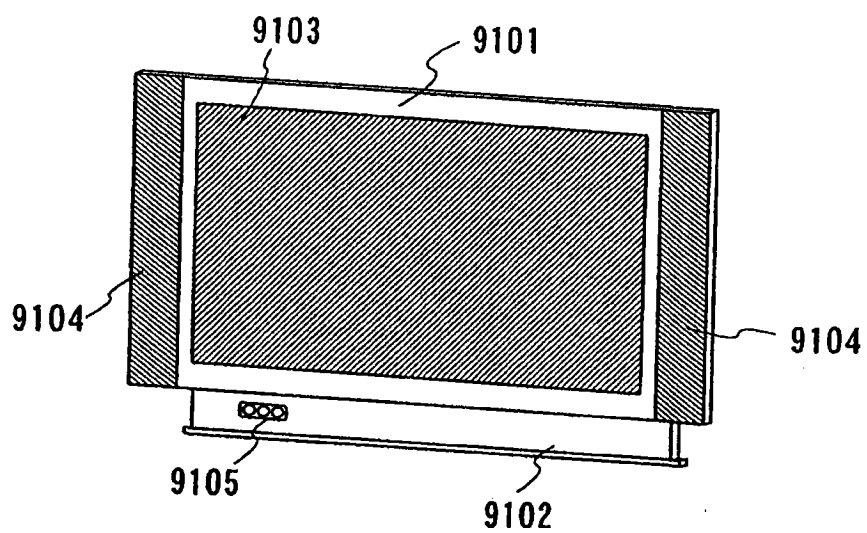


图 11A

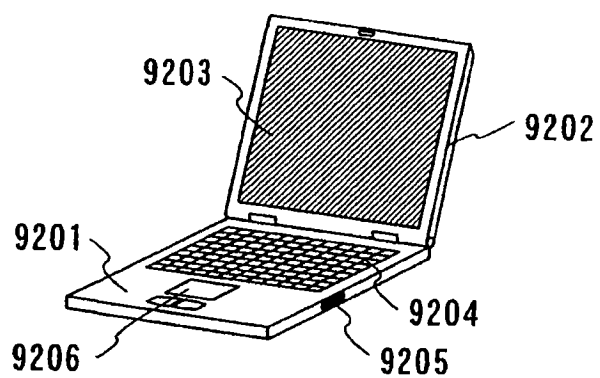


图 11B

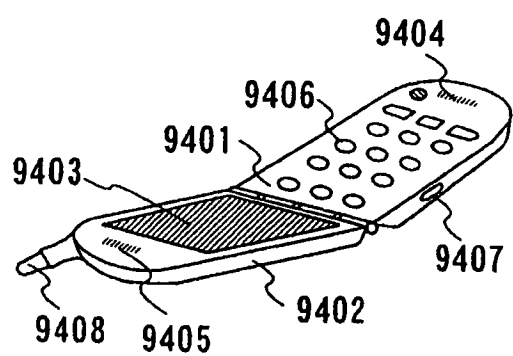


图 11C

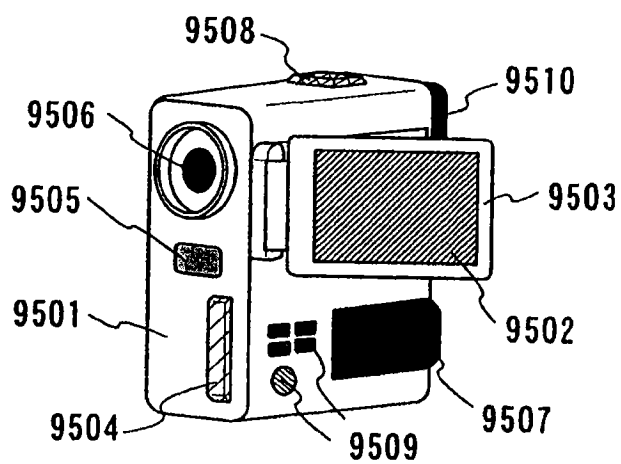


图 11D

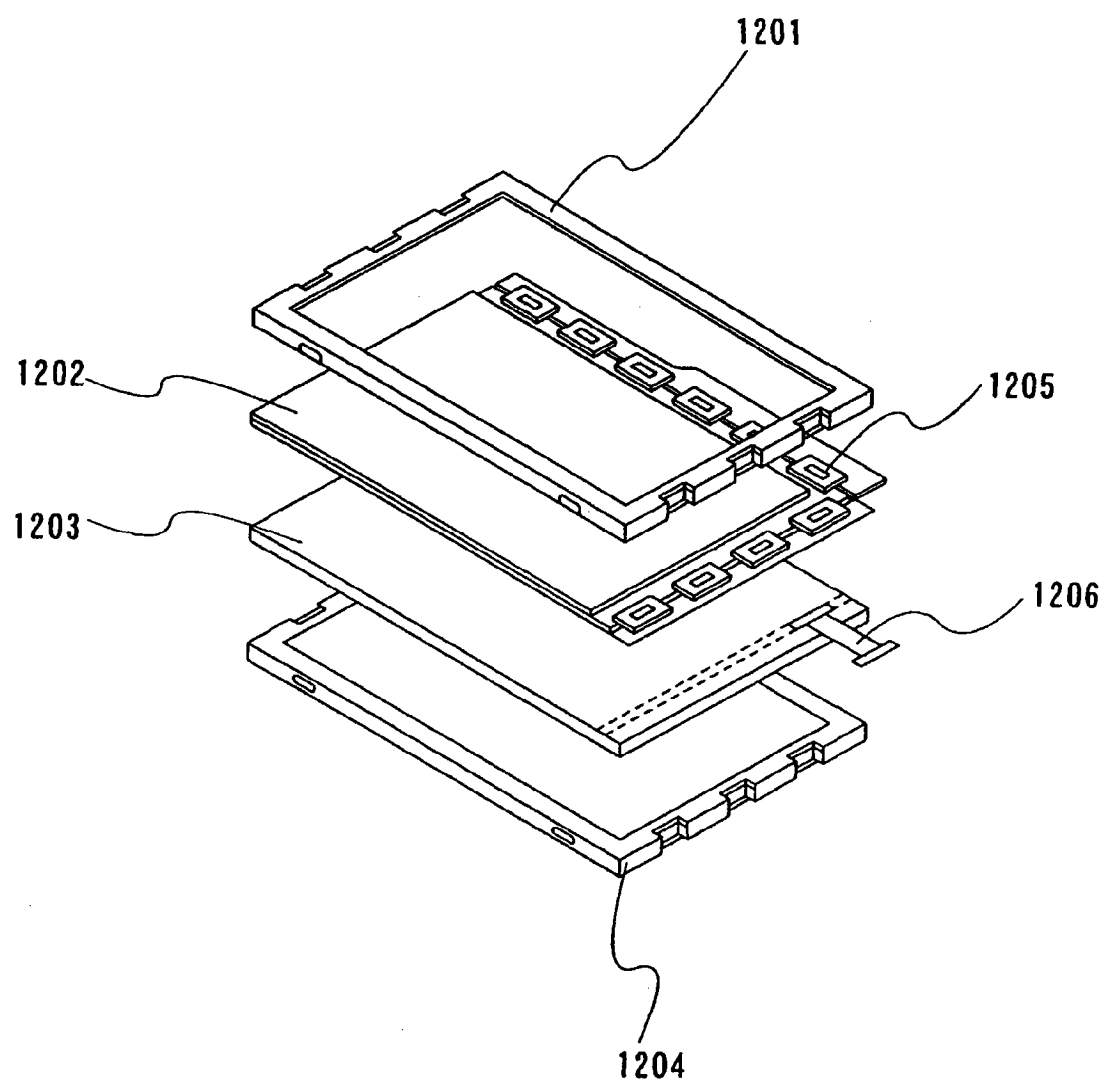


图 12

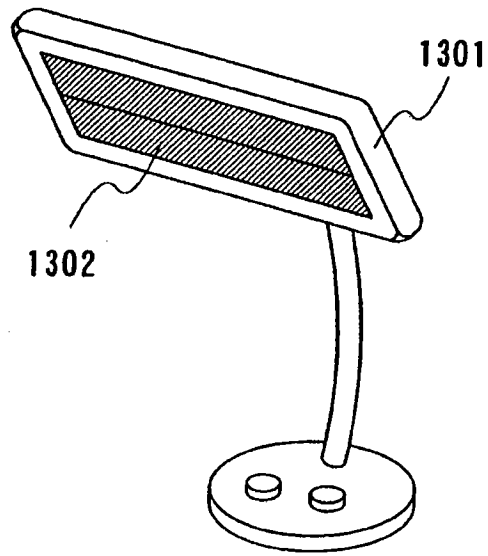


图 13

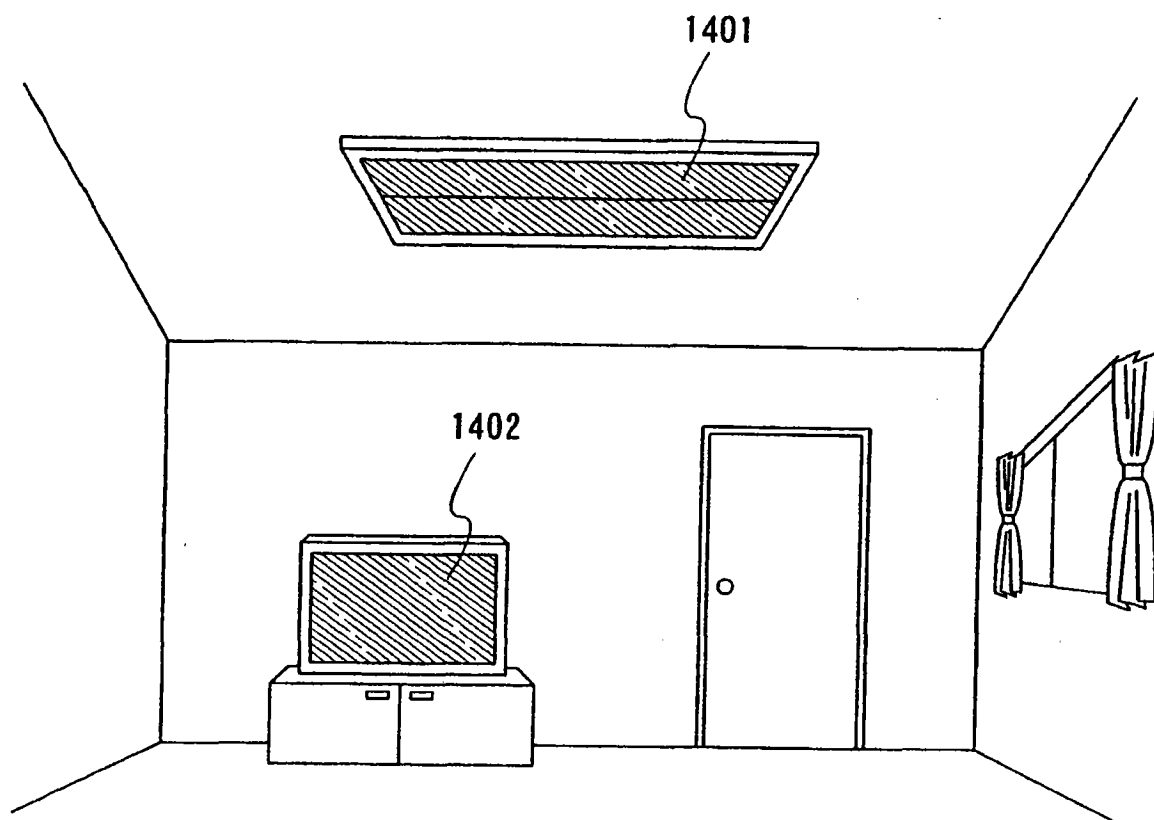


图 14

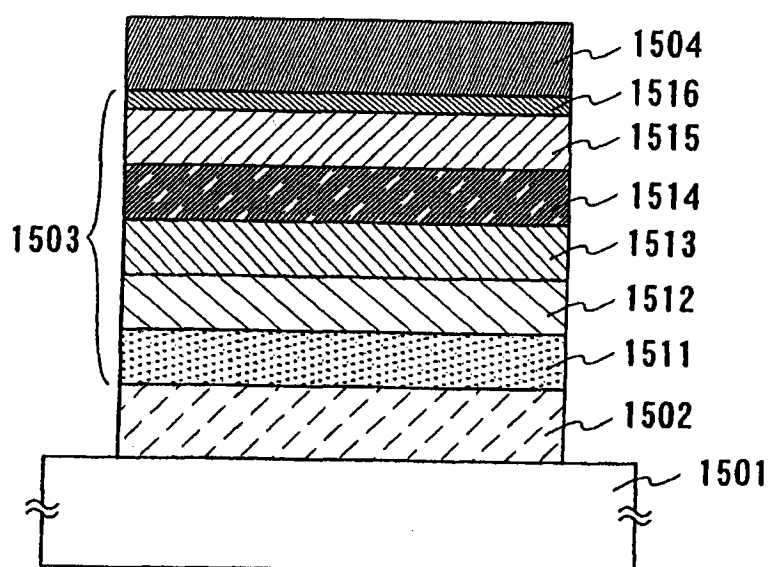


图 15A

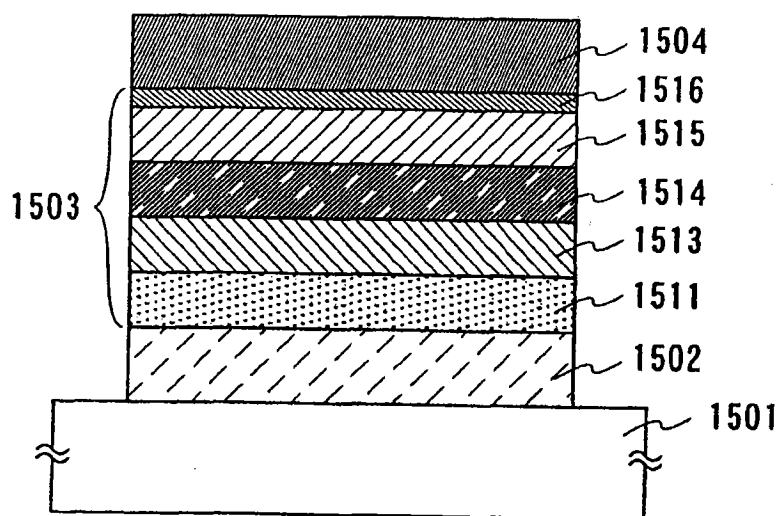


图 15B

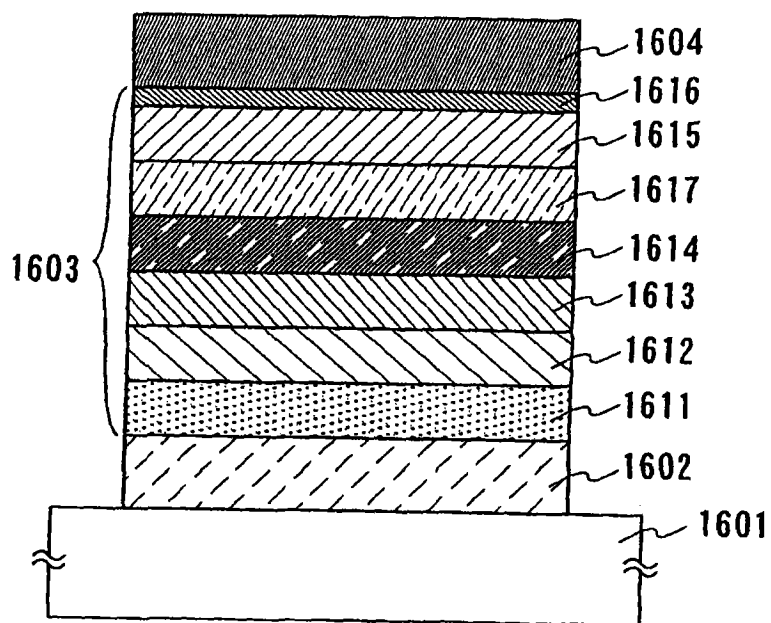


图 16A

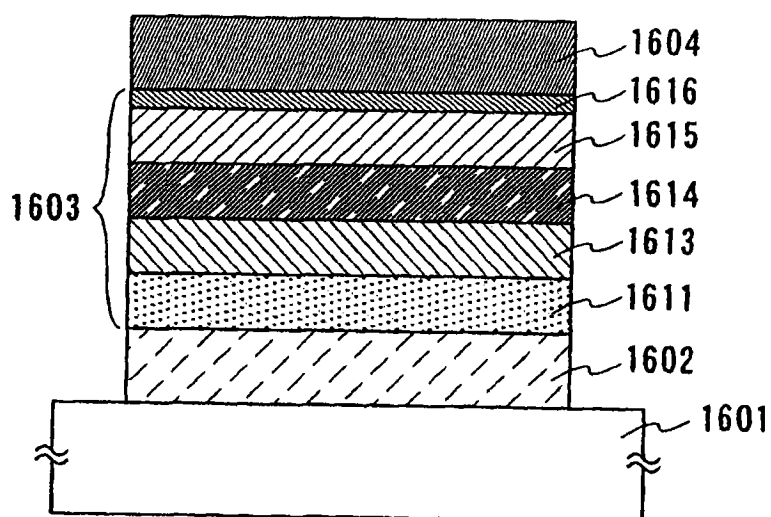


图 16B

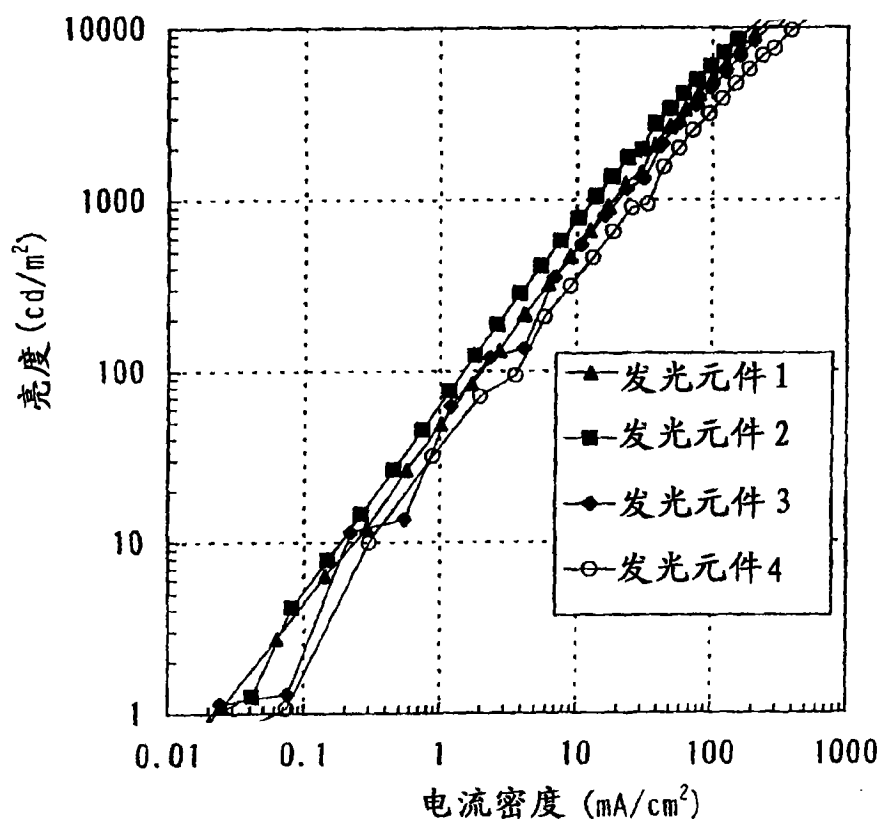


图 17

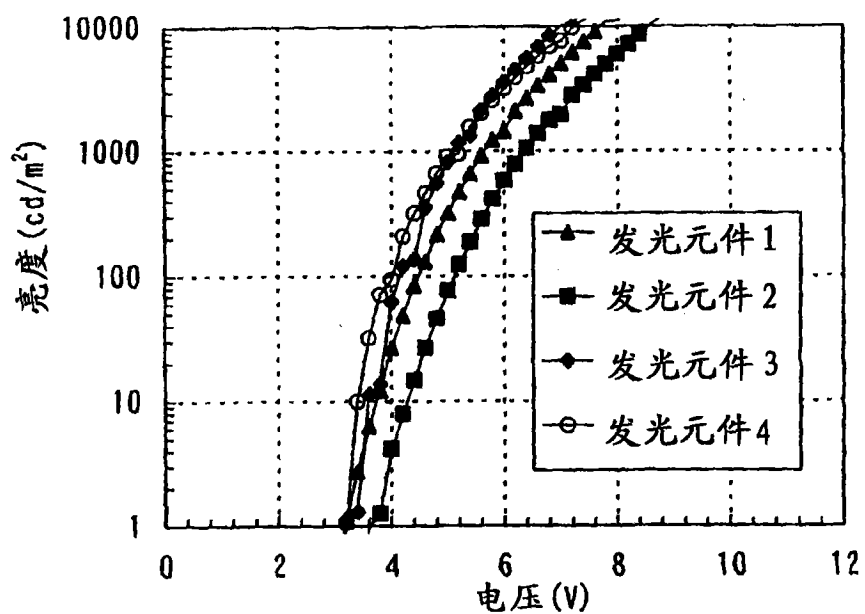


图 18

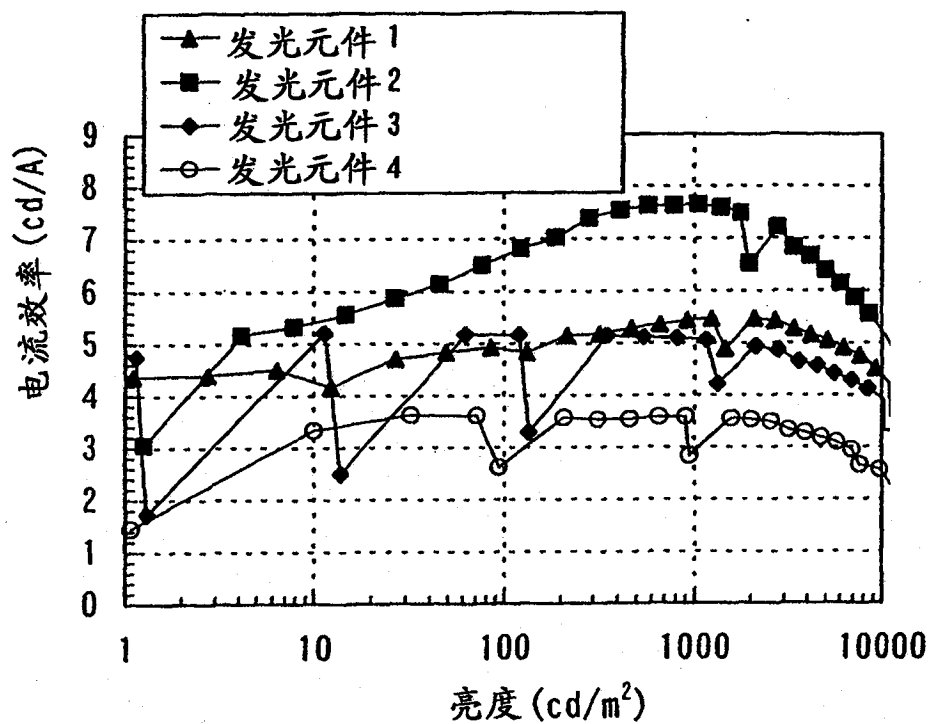


图 19

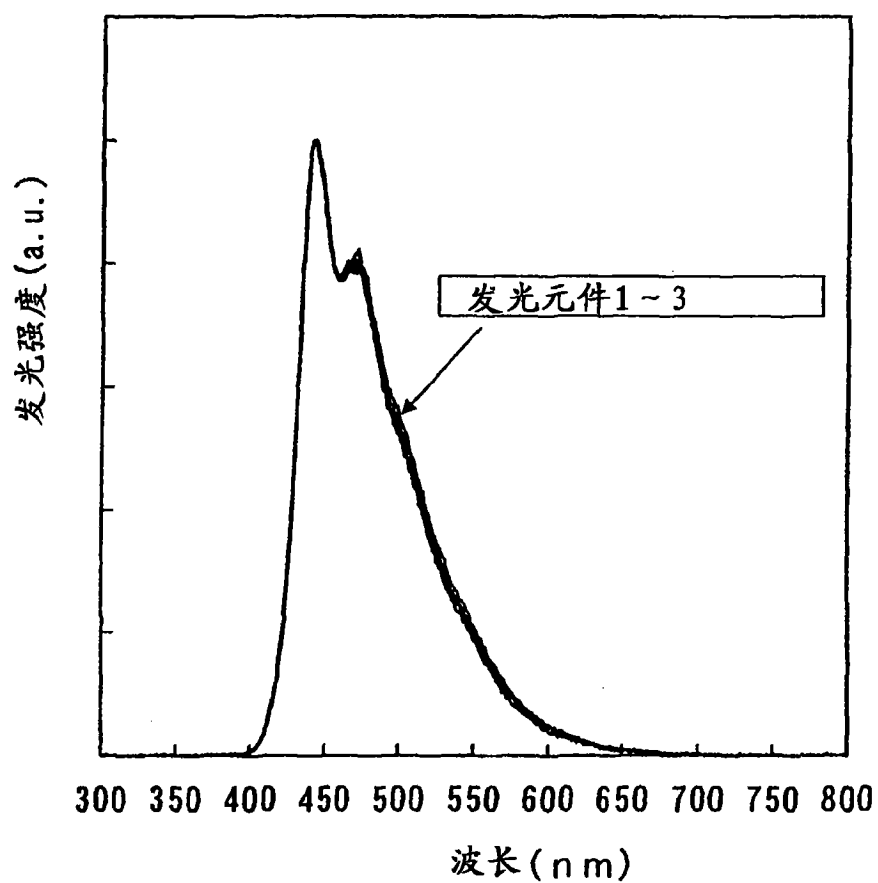


图 20

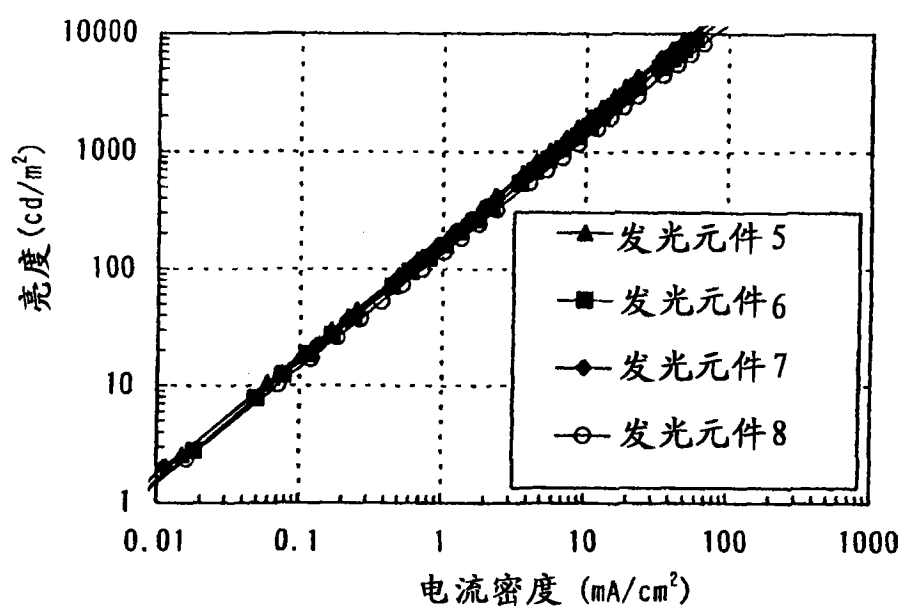


图 21

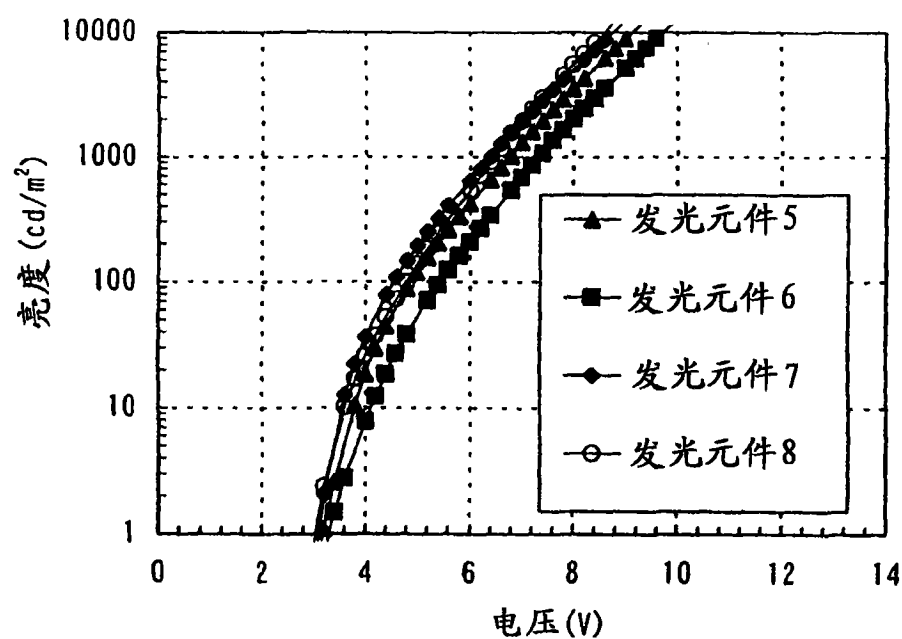


图 22

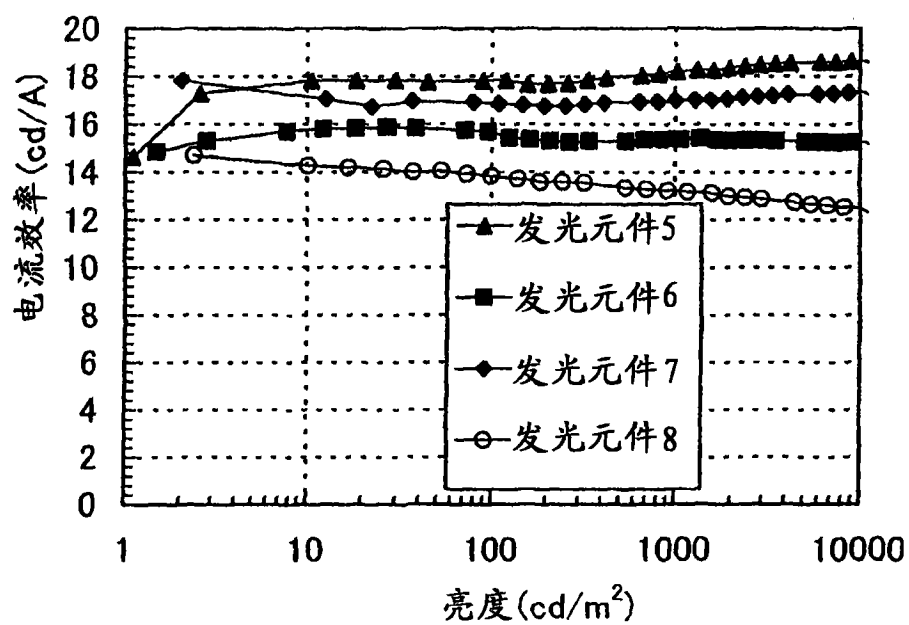


图 23

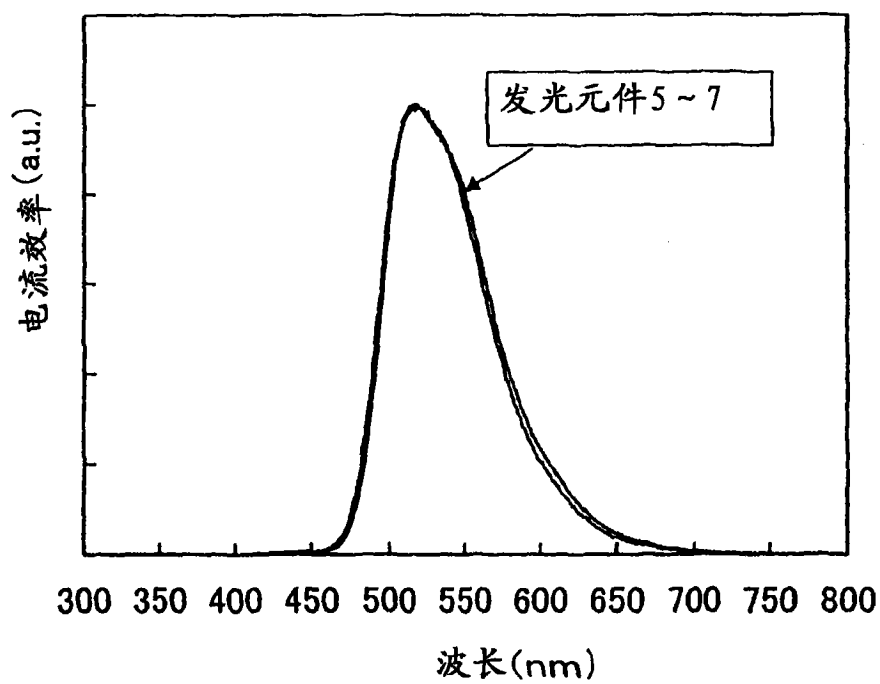


图 24

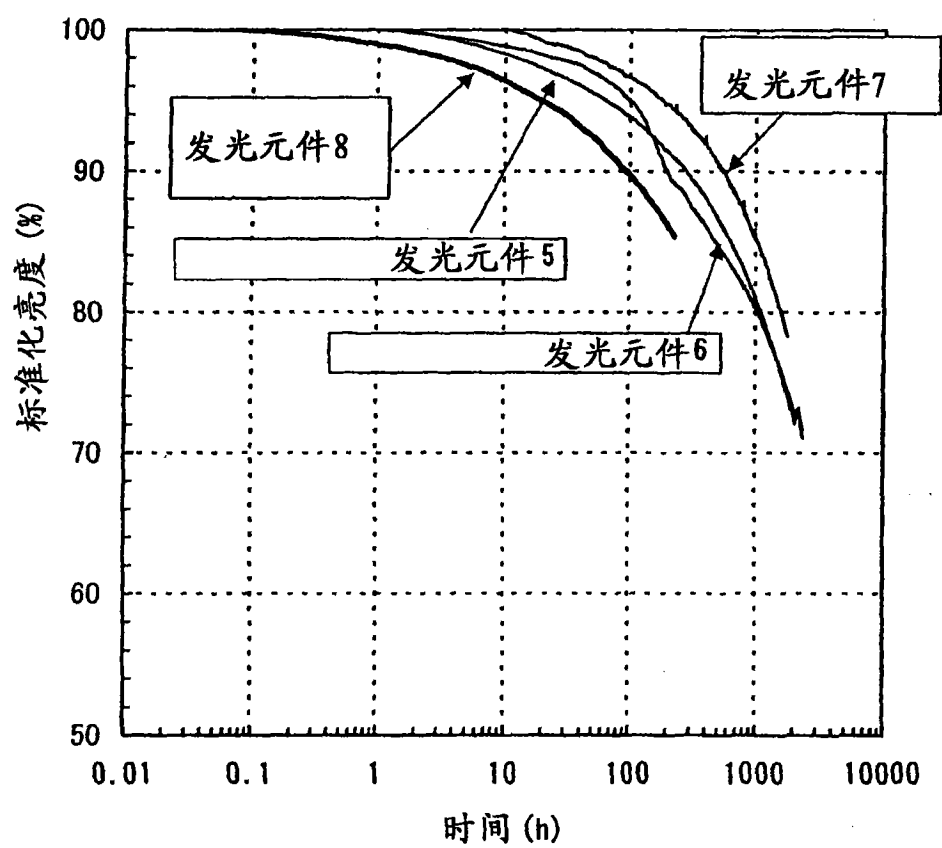


图 25

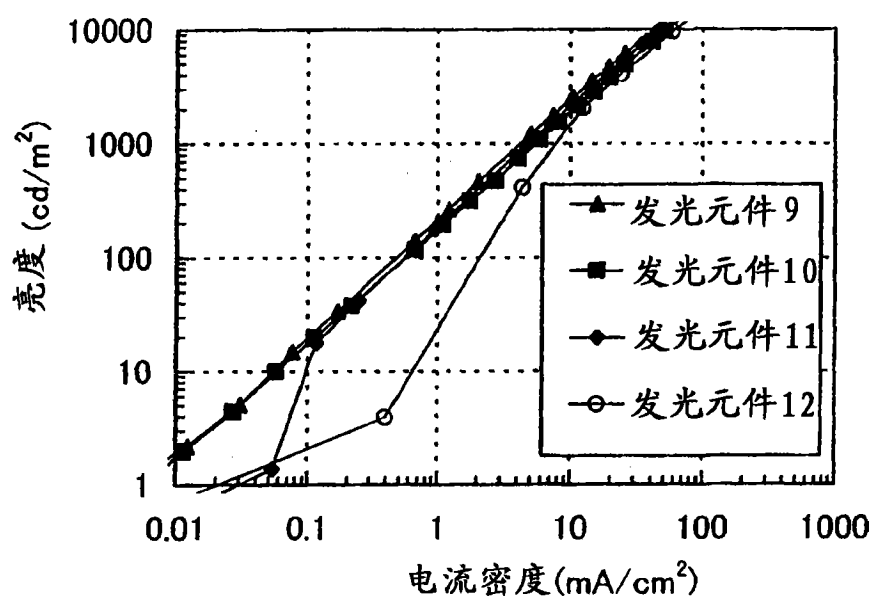


图 26

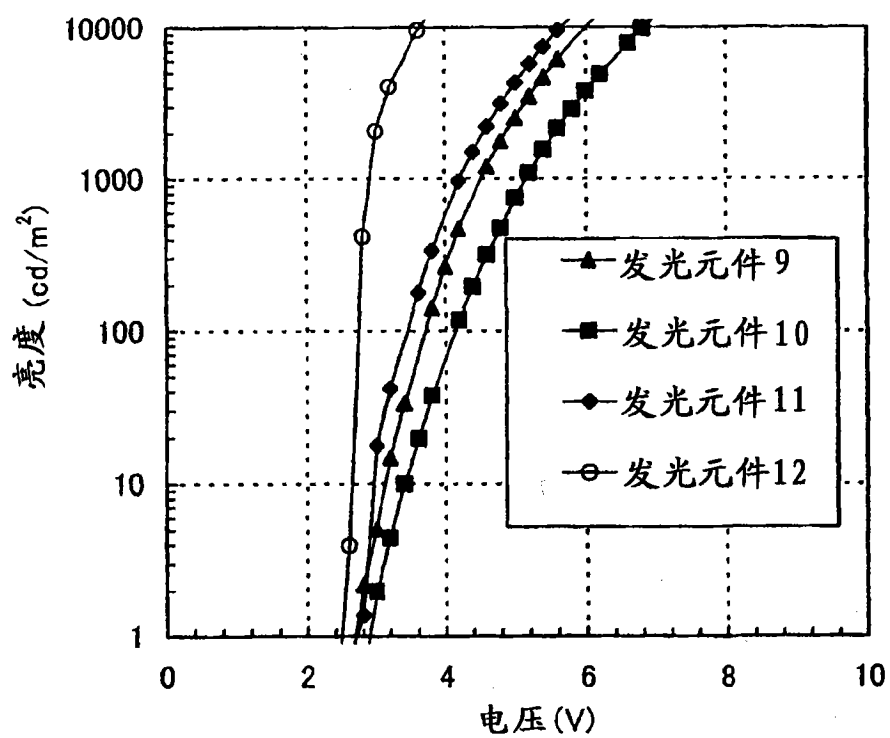


图 27

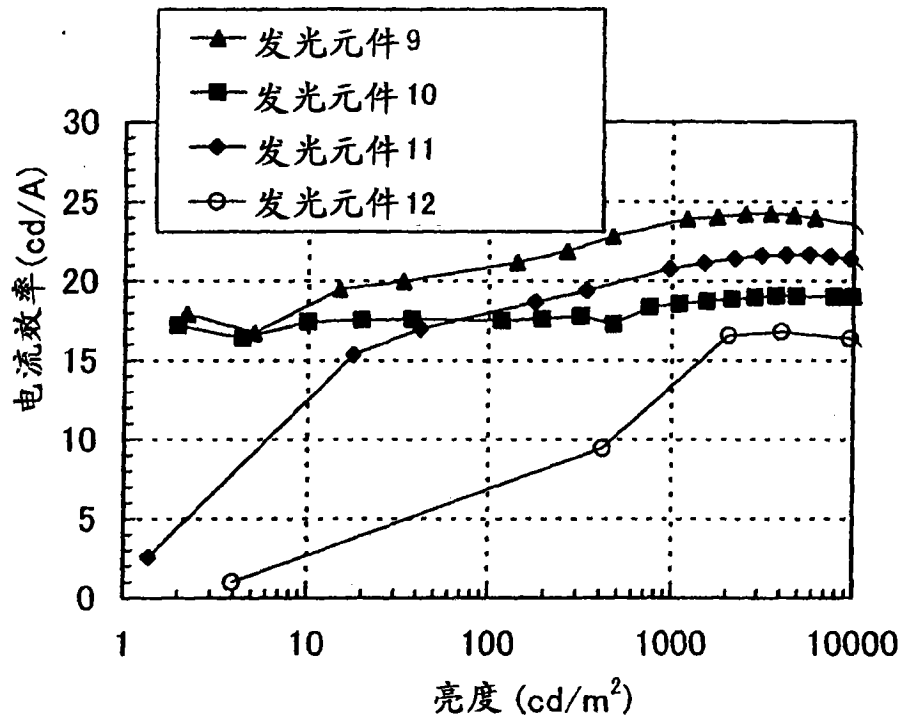


图 28

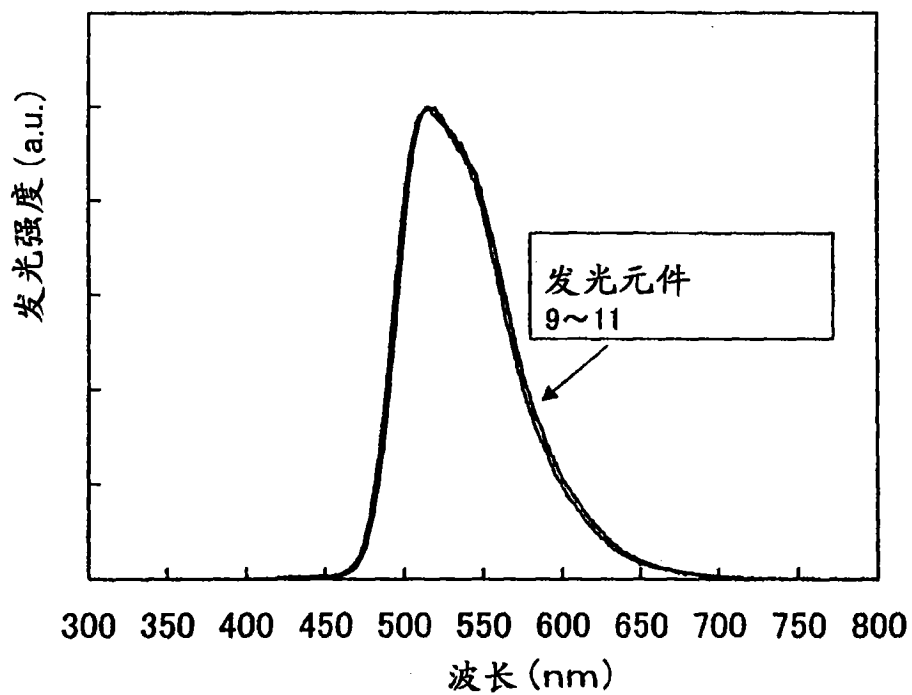


图 29

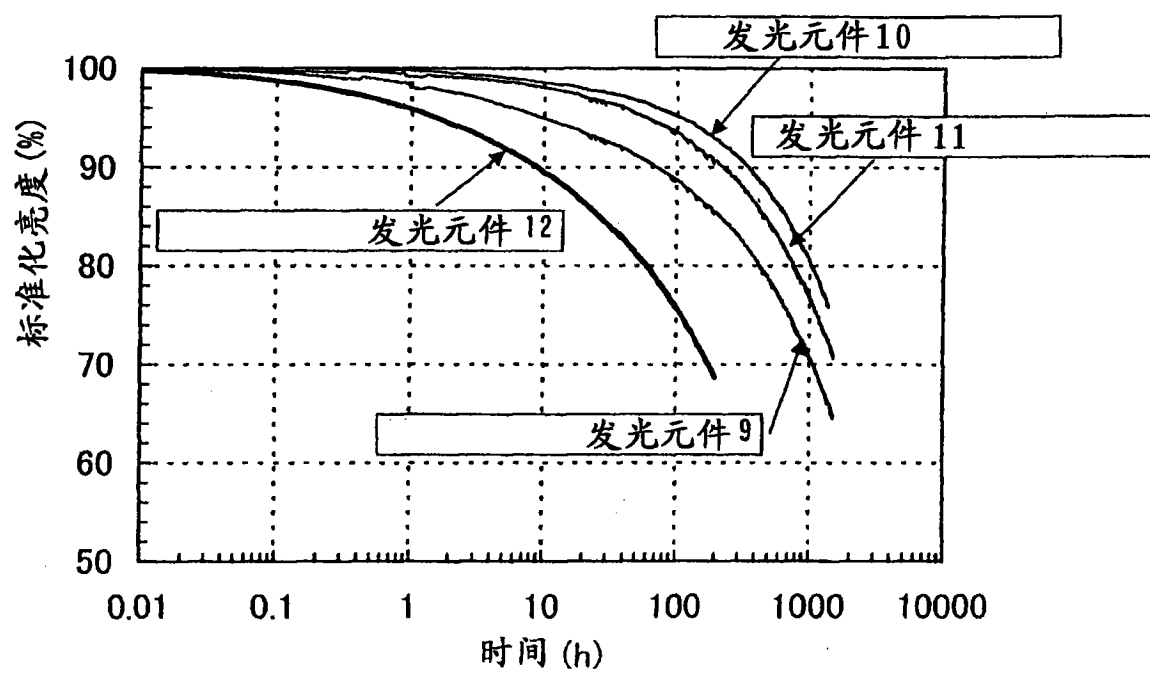


图 30

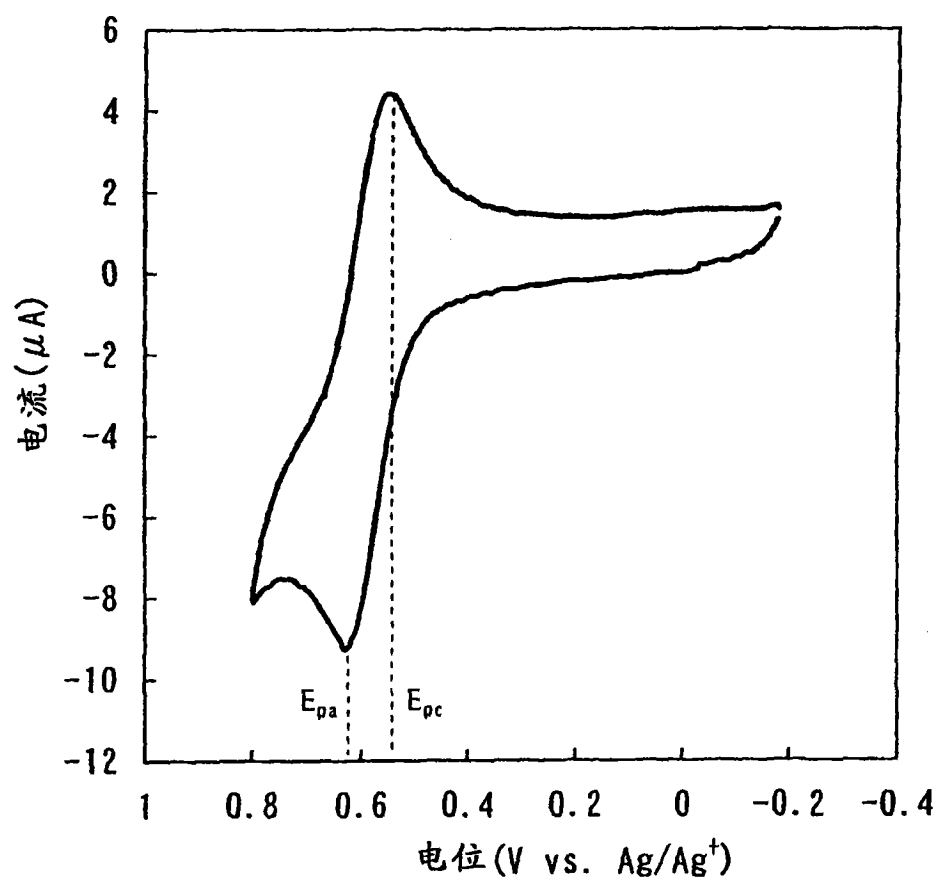


图 31

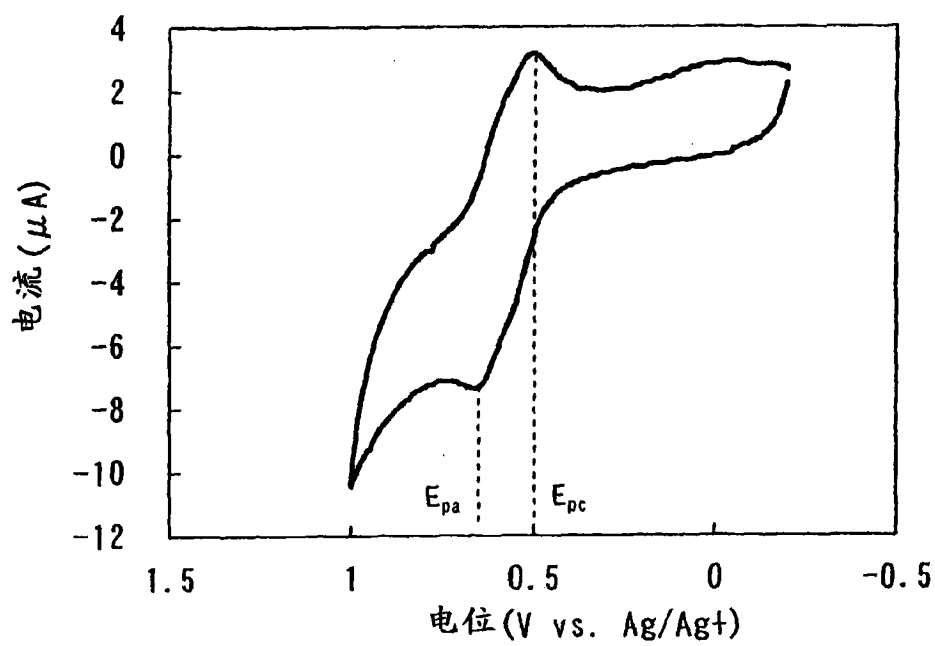


图 32

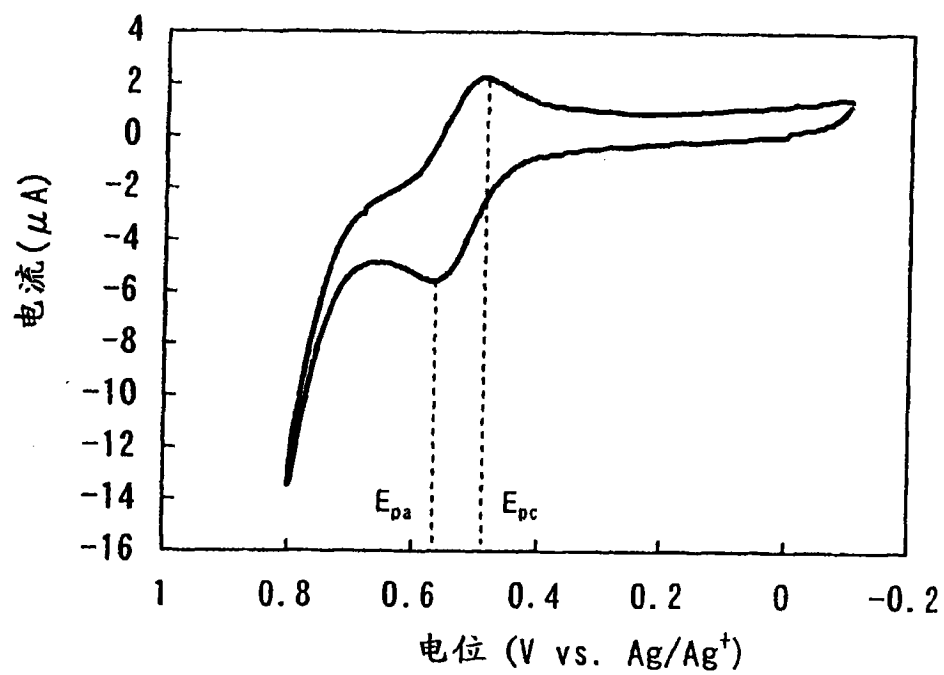


图 33

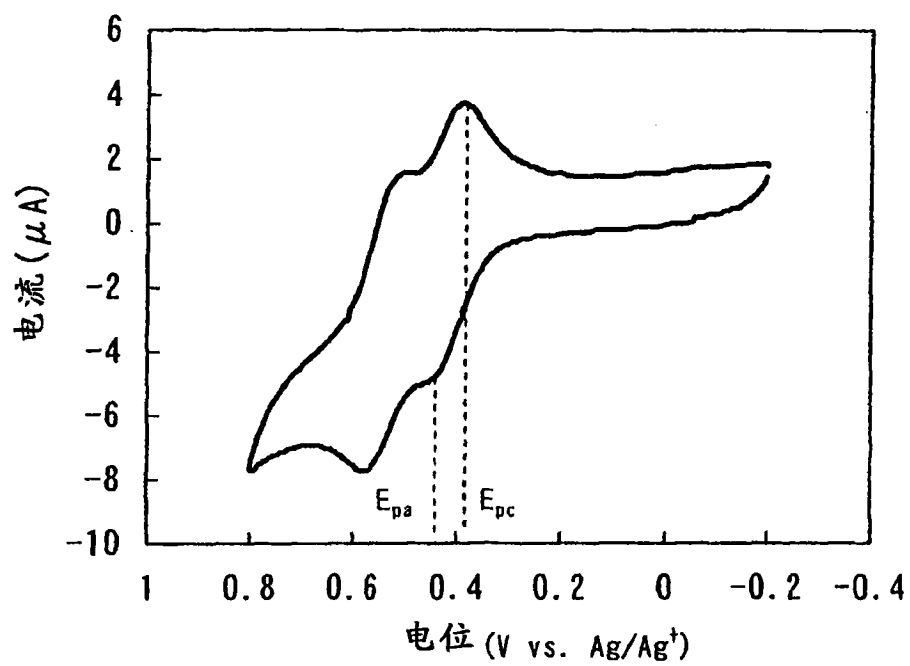


图 34

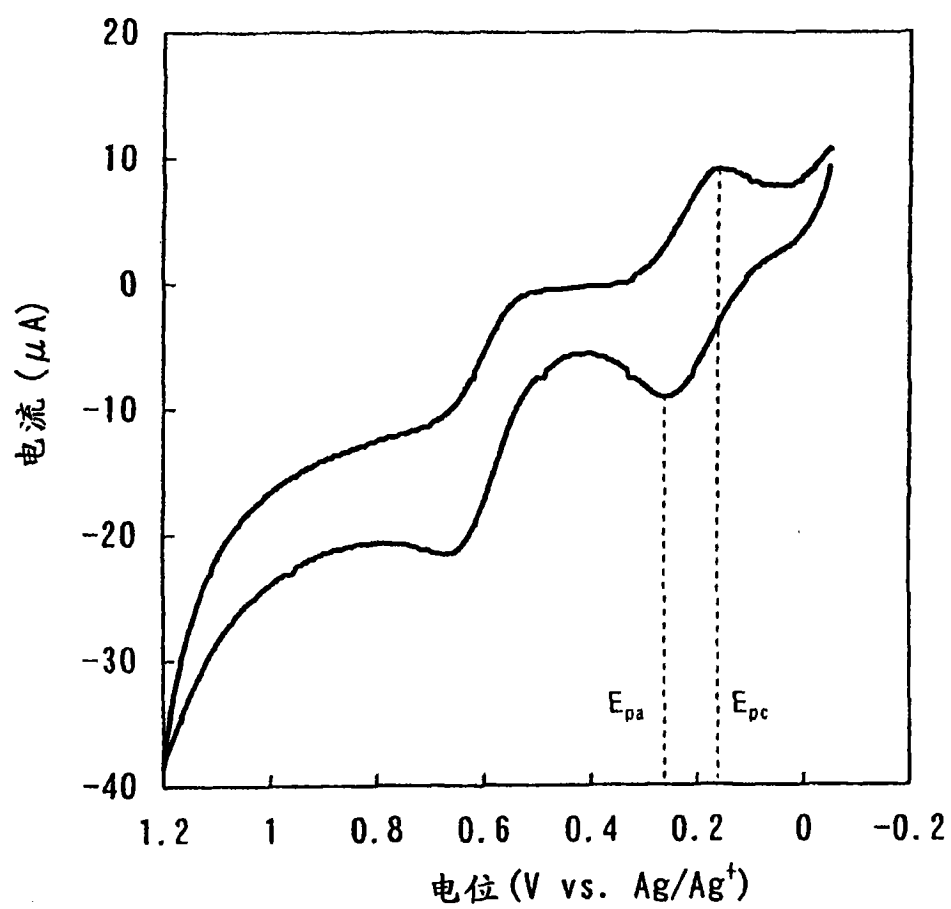


图 35

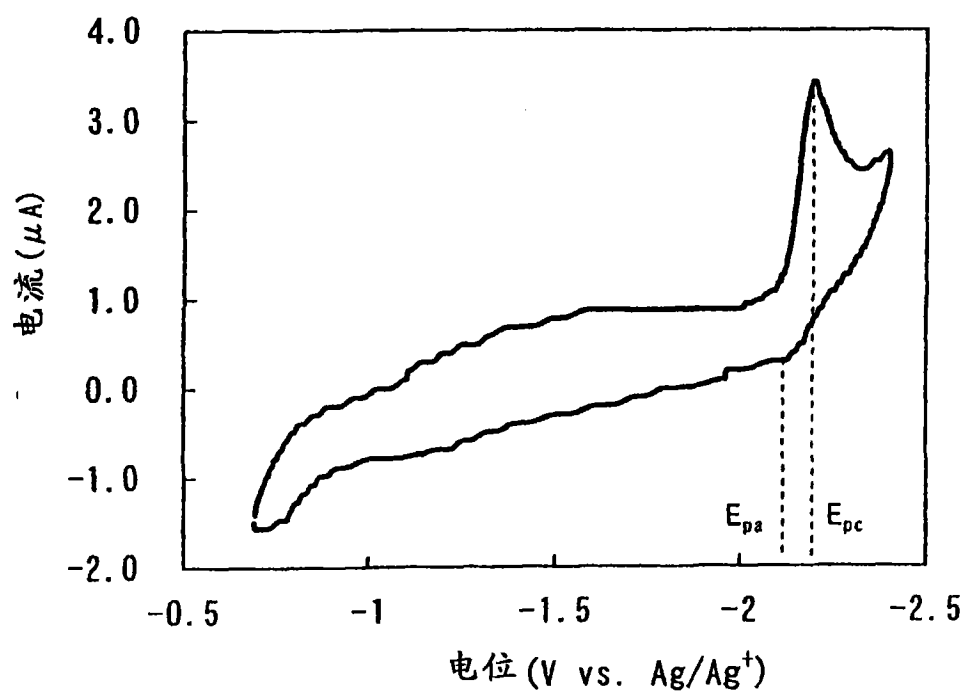


图 36

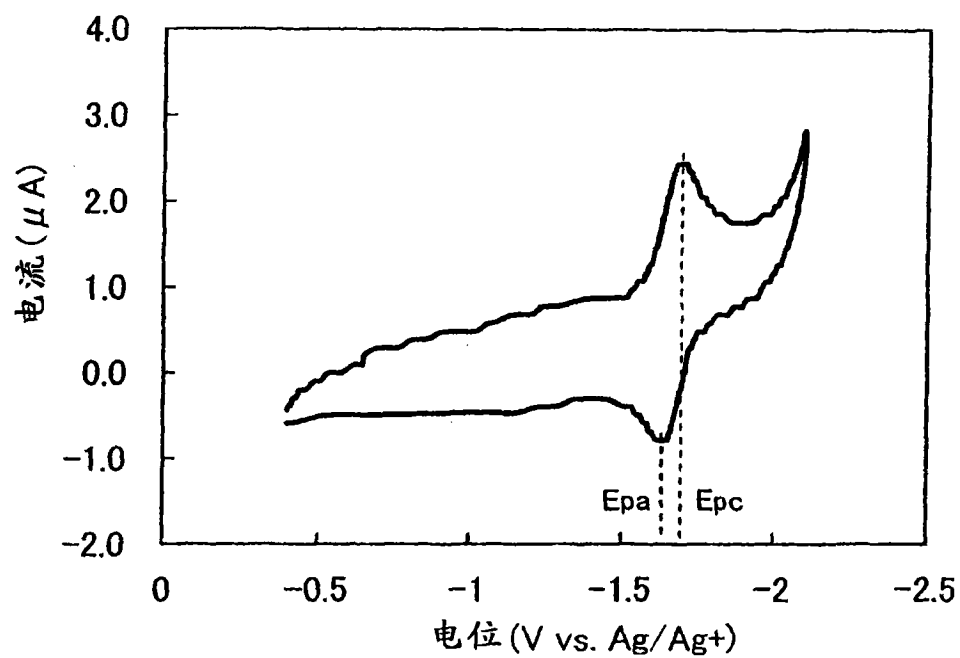


图 37

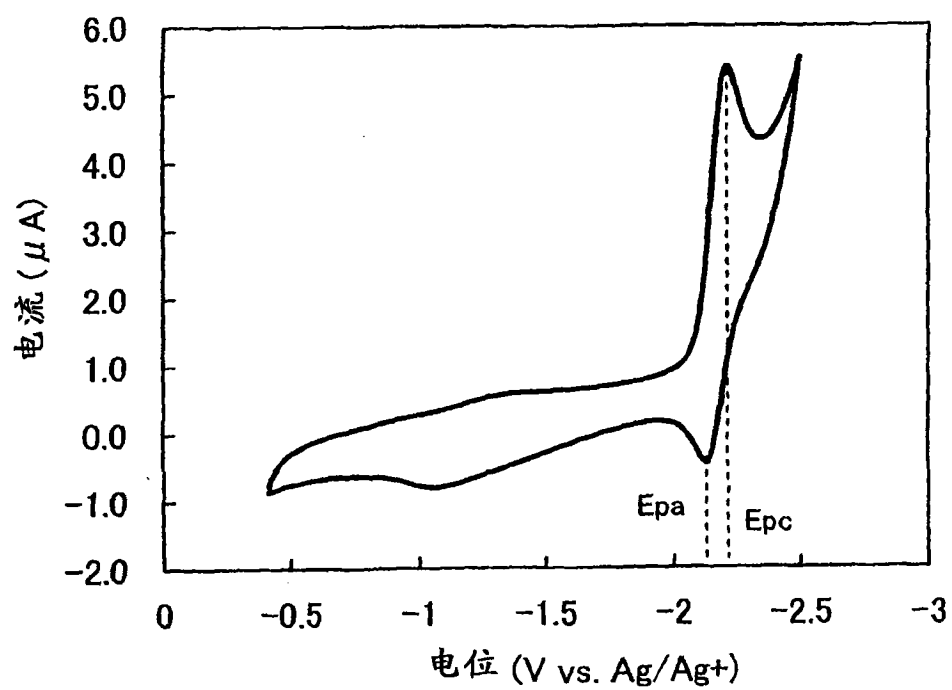


图 38