



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101740697 B

(45) 授权公告日 2013. 05. 01

(21) 申请号 200910211516. X

(22) 申请日 2009. 11. 04

(30) 优先权数据

2008-282794 2008. 11. 04 JP

(73) 专利权人 佳能株式会社

地址 日本东京

(72) 发明人 米原隆夫

(74) 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专

利商标事务所 11038

代理人 罗银燕

(51) Int. Cl.

H01L 33/32 (2010. 01)

H01L 33/00 (2010. 01)

H01L 27/15 (2006. 01)

B41J 2/45 (2006. 01)

G03G 15/01 (2006. 01)

(56) 对比文件

US 2007/0085093 A1, 2007. 04. 19, 说明书第 [0003], [0038]–[0166], [0294] 段、附图 1A–3, 57A, 57B, 62–71.

US 20050042787 A1, 2005. 02. 24, 全文.

CN 1508284 A, 2004. 06. 30, 全文.

US 2006/0246636 A1, 2006. 11. 02, 全文.

审查员 季茂源

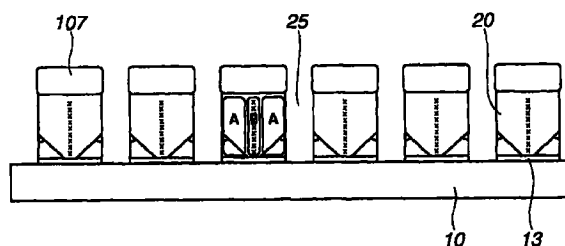
权利要求书3页 说明书11页 附图12页

(54) 发明名称

氮化镓系化合物半导体层的形成和转移方法及基板结构

(57) 摘要

本发明公开一种氮化镓系化合物半导体层的形成和转移方法及基板结构。所述方法包括：在第一基板上形成包含氧化硅的第一层；部分地去除第一层以形成第一基板上的露出部分；在具有露出部分的第一基板上沉积非晶氮化镓系化合物半导体；蒸发第一层上的半导体以在第一基板的露出部分上形成半导体的核；通过半导体的核的尺寸的增大、核的合并、晶体生长、刻面的形成、位错线的弯曲、向第一层上的横向晶体生长、相邻晶粒之间的碰撞、横向生长的晶体的合并、位错网的形成和平坦表面的形成，在第一基板上形成半导体的外延层；和去除第一基板上的露出部分上的半导体的外延层，以形成分开沟槽。



1. 一种形成氮化镓系化合物半导体层的形成方法,所述形成方法包括:

在蓝宝石或 SiC 基板的第一基板上形成包含氧化硅的第一层;

部分地去除所述第一层以形成所述第一基板上的露出部分;

在具有所述露出部分的所述第一基板上沉积非晶氮化镓系化合物半导体;

蒸发所述第一层上的所述非晶氮化镓系化合物半导体以在所述第一基板的所述露出部分上形成所述非晶氮化镓系化合物半导体的核;

通过所述非晶氮化镓系化合物半导体的核中的至少一个的尺寸的增大、核的合并、晶体生长、刻面的形成、位错线的弯曲、向所述第一层上的横向晶体生长、相邻晶粒之间的碰撞、横向生长的晶体的合并、位错网的形成和平坦表面的形成,在所述第一基板上形成氮化镓系化合物半导体的外延层;和

去除所述第一基板上的所述露出部分上的所述氮化镓系化合物半导体的外延层,以形成分开沟槽,

其中,所述外延层的至少一部分通过使用预定厚度的接合层被选择性地转移,以及所述预定厚度在 1.0 微米至 10 微米的范围中。

2. 根据权利要求 1 的形成方法,其中,所述氮化镓系化合物半导体包含 GaN、AlGaIn 和 GaInN 中的至少一种。

3. 一种将通过根据权利要求 1 的形成方法在第一基板上获得的氮化镓系化合物半导体层转移到另一基板的转移方法,所述转移方法包括:

露出所述第一基板上的所述第一层的端部;

制备其上形成有能够在经受预定处理时变为可分离状态的分离层并且其中形成有贯穿沟槽的第二基板;

通过所述分离层使所述第一基板与所述第二基板接合;

使蚀刻剂通过所述贯穿沟槽和所述分开沟槽与所述第一层接触以选择性蚀刻所述第一层,从而将所述第一基板上的所述外延层转移到所述第二基板;

使转移到所述第二基板的所述外延层的所述至少一部分与第三基板接合;和

使所述第二基板在所述分离层处与所述外延层分开,以将所述外延层从所述第二基板转移到所述第三基板。

4. 根据权利要求 3 的转移方法,其中,所述第三基板是硅基板或金属基板。

5. 根据权利要求 3 的转移方法,其中,所述外延层在晶片尺度上从所述第二基板被转移到所述第三基板。

6. 根据权利要求 3 的转移方法,其中,所述预定厚度的接合层被布置在所述外延层的所述至少一部分和所述第三基板上的要向其转移所述外延层的所述至少一部分的区域中的至少一个上,所述外延层的所述至少一部分通过所述接合层与所述第三基板接合,并且,所述第二基板在所述分离层处与接合到所述第三基板的所述外延层的所述至少一部分分开。

7. 根据权利要求 6 的转移方法,其中,在所述第三基板上的除了要向其转移所述外延层的所述至少一部分的区域以外的区域上形成预定的凹凸。

8. 根据权利要求 3 的转移方法,其中,所述第二基板是透明的,所述分离层包含当经受光照射时发生分解或接合强度的降低的材料,并且,要转移的所述外延层和所述第二基板

之间的所述分离层被光照射,以使要转移的所述外延层在所述分离层处与所述第二基板分开。

9. 根据权利要求 3 的转移方法,其中,所述分离层包含当经受加热或冷却时发生分解或接合强度的降低的材料,并且,要转移的所述外延层和所述第二基板之间的所述分离层被加热或冷却,以使要转移的所述外延层在所述分离层处与所述第二基板分开。

10. 一种基板结构,包括:

选自于硅基板、金属基板和透明基板中的一个基板;和

通过根据权利要求 1 的形成方法获得并与所述一个基板接合的氮化镓系化合物半导体层。

11. 一种使用根据权利要求 10 的基板结构的器件,包含:

在所述氮化镓系化合物半导体层或所述一个基板上形成的电极。

12. 一种 LED 阵列,包含:

多个 LED,各通过处理根据权利要求 10 的基板结构而制造;和

被配置为驱动所述 LED 的驱动器电路。

13. 一种 LED 打印机头,包含:

根据权利要求 12 的 LED 阵列;和

被布置为面对所述 LED 阵列的棒状透镜阵列。

14. 一种 LED 打印机,包含:

包含根据权利要求 12 的 LED 阵列的 LED 打印机头;

感光部件;

静电充电器件;和

图像形成部分,被配置为用来自被用作光源的所述 LED 打印机头的光在所述感光部件上形成静电潜像。

15. 一种 LED 彩色打印机,包含:

多个 LED 打印机头,各包含根据权利要求 12 的 LED 阵列;

多个感光部件;

多个静电充电器件;和

多个图像形成部分,各被配置为用来自被用作光源的所述 LED 打印机头的光在所述感光部件上形成静电潜像。

16. 一种集成电路,包含:

通过处理根据权利要求 10 的基板结构而制造的晶体管;和

被配置为驱动所述晶体管的驱动器电路。

17. 一种形成氮化镓系化合物半导体层的方法,包括:

在蓝宝石或 SiC 基板的第一基板上形成包含氧化硅的第一层;

部分地去除所述第一层以形成所述第一基板上的露出部分;

在具有所述露出部分的所述第一基板上沉积非晶氮化镓系化合物半导体;

蒸发所述第一层上的所述非晶氮化镓系化合物半导体以在所述第一基板的所述露出部分上形成所述非晶氮化镓系化合物半导体的核;

在所述第一基板上形成氮化镓系化合物半导体的外延层;和

去除所述第一基板上的所述露出部分上的氮化镓系化合物半导体的外延层,以形成分开沟槽,

其中,所述外延层的至少一部分通过使用预定厚度的接合层被选择性地转移,以及所述预定厚度在 1.0 微米至 10 微米的范围中。

18. 一种将通过根据权利要求 17 的方法在第一基板上获得的外延层转移到不同于第一基板的另一基板的转移方法,所述转移方法包括:

露出所述第一基板上的所述第一层的端部;

制备其上形成有能够在经受预定处理时变为可分离状态的分离层并且其中形成有贯穿沟槽的第二基板;

通过所述分离层使所述第一基板与所述第二基板接合;

使蚀刻剂通过所述贯穿沟槽和所述分开沟槽与所述第一层接触以选择性蚀刻所述第一层,从而将所述第一基板上的所述外延层转移到所述第二基板;

使转移到所述第二基板的所述外延层的所述至少一部分与第三基板接合。

19. 根据权利要求 18 的转移方法,还包括:

使所述第二基板在所述分离层处与所述外延层分开,以将所述外延层从所述第二基板转移到所述第三基板。

氮化镓系化合物半导体层的形成和转移方法及基板结构

技术领域

[0001] 本发明涉及氮化镓系化合物半导体层的形成方法。并且,本发明涉及使用所述形成方法而制造的发光器件(LED)、电子器件、LED阵列、LED打印机头、LED打印机等。

背景技术

[0002] 常规上,已通过金属有机化学气相沉积(MOCVD)方法在蓝宝石基板或碳化硅(SiC)的单晶基板上形成作为蓝色发光二极管和激光器的主材料的GaN外延层。使用GaN外延层的器件在市场上被销售。但是,该器件的成本的一半以上被其基板和外延层的成本占用。因此,在对于代替电灯泡和荧光灯的固态照明应用这种技术时,存在很大的成本障碍。例如,已经报导,虽然其在市场上的制品能够以90W电灯泡的功耗的十分之一照明、其寿命在50000小时之上、并且其性能大大超过电灯泡的性能,但其成本为电灯泡的成本的约几十至百倍。

[0003] 蓝宝石基板最一般地被用作用于生长GaN外延层的单晶底层(underlayer)晶片(参见日本专利No. 2628404)。最初,蓝宝石基板是自20世纪60年代作为用于SOI(绝缘体上硅)结构(所谓的SOS(蓝宝石上硅))的硅异质外延生长的底层基板被开发的。诸如8英寸晶片的大直径晶片已被开发。因此,与蓝宝石基板相关的技术是用于异质外延生长的最成熟的晶片技术中的一种。但是,与硅晶片相比,类似于GaAs晶片,蓝宝石基板的成本为十倍以上,由此其应用范围受到限制。换句话说,硅晶片的成本最低,其质量高,并且其直径大。此外,对于最佳的GaN系外延生长,8英寸蓝宝石基板还不是可用的,并且,由于其晶体质量,因此当前只能使用6英寸蓝宝石基板。因此,对于具有有利的晶体质量的半导体层的生长,8英寸蓝宝石基板不能说是最佳的。

[0004] 并且,硅基板上的GaN单晶外延生长已被研究(参见日本专利公开No. 2006-222402)。但是,由于由晶格常数差异所导致的晶体缺陷,因此,尽管该技术被应用于诸如晶体管的电子器件,但难以应用于更易受晶体缺陷影响的诸如LED和激光器的发光器件。

[0005] 并且,美国专利No. 6420242公开了以下技术。在该技术中,用从蓝宝石基板的底表面施加的短波长激光来加热在蓝宝石基板上生长的GaN外延层,只有接近GaN和基板之间的界面的部分被熔融而分解为金属Ga和氮气,并且,器件或器件区域被剥离到异种基板上。但是,由于器件区域被逐次转移,因此其生产率对于获取大面积基板是极大障碍。因此,该技术不易于付诸实用。

[0006] 如上所述,用于在蓝宝石基板上形成GaN外延层的技术会有成本方面的问题。用于在晶格常数与GaN大不相同的硅基板等上形成GaN外延层的技术会有晶体缺陷方面的问题。并且,用于将蓝宝石基板上生长的GaN外延层转移到异种基板的技术会有生产率方面的问题。

发明内容

[0007] 根据本发明的一个方面,一种方法包括:在包含蓝宝石基板或 SiC 基板的第一基板上形成包含氧化硅 (silicon oxide) 的第一层;部分地去除第一层以形成第一基板上的露出部分;在具有露出部分的第一基板上沉积非晶氮化镓系化合物半导体;蒸发第一层上的半导体以在第一基板的露出部分上形成半导体的核 (core);通过半导体的核中的至少一个的尺寸的增大、核的合并、晶体生长、刻面 (facet) 的形成、位错线的弯曲、向第一层上的横向晶体生长、相邻晶粒之间的碰撞、横向生长的晶体的合并、位错网的形成和平坦表面的形成,在第一基板上形成半导体的外延层;和去除第一基板上的露出部分上的半导体的外延层,以形成分开沟槽 (separating groove)。

[0008] 从参照附图对示例性实施例和例子的以下描述,本发明的进一步的特征将变得明显。

附图说明

[0009] 图 1A 是示出根据本发明的氮化镓系化合物半导体层的形成方法的实施例中的第一基板的截面图。

[0010] 图 1B 是图 1A 的平面图。

[0011] 图 2A 和图 2B 是示出在形成方法的处理步骤中的第一基板的截面图。

[0012] 图 3A 和图 3B 是示出在形成方法的处理步骤中其上形成有氮化镓系化合物半导体层的第一基板的截面图。

[0013] 图 4 是示出在形成方法的处理步骤中具有其中形成有分开沟槽的氮化镓系化合物半导体层的第一基板的截面图。

[0014] 图 5A 是示出在形成方法的处理步骤中其上形成有氮化镓系化合物半导体层的第一基板的截面图。

[0015] 图 5B 是示出比较例的截面图。

[0016] 图 5C 是示出图 5A 和图 5B 所示的氮化镓系化合物半导体层的特性的表格。

[0017] 图 6A 和图 6B 是示出第二基板的截面图。

[0018] 图 7 是示出贯穿 (penetrating) 沟槽和带状氮化镓系化合物半导体层之间的位置关系的平面图。

[0019] 图 8 是示出相互接合 (bond) 的第一基板和第二基板的截面图。

[0020] 图 9 是示出从第一基板转移到第二基板的氮化镓系化合物半导体层的截面图。

[0021] 图 10 是示出相互接合的第二基板和第三基板的截面图。

[0022] 图 11 是示出从第二基板转移到第三基板的氮化镓系化合物半导体层的截面图。

[0023] 图 12A 和图 12B 是示出在第三基板上形成接合层的步骤的截面图。

[0024] 图 13A 和图 13B 是示出将转移到第二基板上的氮化镓系化合物半导体层选择性地转移到第三基板的步骤的截面图。

[0025] 图 14A 和图 14B 是示出将从第二基板转移的氮化镓系化合物半导体层选择性地转移到第四基板的步骤的截面图。

[0026] 图 15 是示出第二基板的表面上被构图的分离 (release) 层的组合的截面图。

[0027] 图 16 是示出使用通过根据本发明的转移方法而被转移在 Si 基板上的氮化镓系化合物半导体层的 LED 器件的截面图。

[0028] 图 17 是示出使用通过根据本发明的转移方法而被转移在 Si 基板上的氮化镓系化合物半导体层的蓝色 LED 固态扫描仪的截面图。

[0029] 图 18 是示出使用通过根据本发明的转移方法而被转移在 Si 基板上的氮化镓系化合物半导体层的、诸如 HEMT(高电子迁移率晶体管)或 MIS(金属-绝缘体半导体)的 GaN 晶体管的截面图。

[0030] 图 19 是示出 LED 打印机头的例子的透视图。

[0031] 图 20 是示出能够以分时(time sharing)的方式被驱动使得可以减少电极数量的发光器件阵列电路的平面图。

[0032] 图 21A 是示出 LED 打印机的例子的配置的示图。

[0033] 图 21B 是示出 LED 彩色打印机的例子的配置的示图。

具体实施方式

[0034] 以下描述本发明的实施例。本发明的形成方法的关键点在于,从在第一基板的没有第一层的露出部分上形成的非晶氮化镓系化合物半导体的核开始,通过使用向第一层上的横向晶体生长而在第一基板上形成氮化镓系化合物半导体的外延层,并且,第一基板的露出部分上的氮化镓系化合物半导体的外延层被去除。

[0035] 并且,本发明的转移方法的关键点在于,通过使用第一层的蚀刻牺牲层的高选择性蚀刻性能来蚀刻第一层的蚀刻牺牲层,以将通过以上的形成方法形成在第一基板上的氮化镓系化合物半导体的外延层转移到另一基板,并且,通过使用以上的另一基板和外延层之间的分离层处的分开,以将整个外延层或其一部分转移到硅基板、金属基板或像玻璃基板的透明基板等的又一基板。

[0036] 基于以上的概念,本发明的形成方法包括上述的步骤。

[0037] 将描述形成方法的第一到第六步骤。虽然氮化镓系化合物半导体可包含 GaN、AlGaN、GaInN 等,但对于 GaN 的化合物半导体和蓝宝石基板的第一基板进行以下的描述。并且,虽然主要包含氧化硅的第一层可含有少量的氮化硅等,但将对于 SiO₂ 的第一层进行以下的描述。

[0038] 首先,在第一和第二步骤中,如图 1A 和图 1B 所示,在直径为 2 至 8 英寸的蓝宝石基板 10(例如,图 1A 和图 1B 所示)上形成 SiO₂ 的带状层 13(例如,图 1A 所示)。可通过溅射、使用 SiH₄ 的 CVD 等形成 SiO₂ 的层 13。层 13 通过蚀刻被成形为带状层。例如,带状层 13 具有几十微米的宽度和小于一(1)微米的厚度,并且,带之间的距离为几微米。由此,在蓝宝石基板 10 上形成带状露出部分。重要的是,为了形成下面描述的氮化镓系化合物半导体的平坦表面,以均匀的间距以相同的宽度和相同的厚度形成 SiO₂ 的带状层 13。

[0039] 在第三和第四步骤中,如图 2A 所示,通过 MOCVD 生长方法在例如 470°C 的低温下在具有露出部分的蓝宝石基板 10 上沉积厚度为 25nm 的非晶 GaN 15。例如,在配备有用于支撑蓝宝石基板 10 的基座、加热器、用于喷射反应气体的管等的反应器中执行该步骤。使用三甲基镓(TMg)作为 Ga 的气体源,并且,使用氢气作为载体从反应气体喷射管喷出 N 源氨。然后,如图 2B 所示,基板的温度上升到例如 1100°C 以使非晶 GaN 15 分裂(split),并且, SiO₂ 层 13 上的非晶 GaN 15 被蒸发。由此,在蓝宝石基板 10 的露出部分上形成非晶 GaN 的核 16。

[0040] 在第五步骤中, TMG 和氨的源气体再次被引入反应器中。由此, 执行氮化镓系化合物半导体的蓝宝石基板 10 上的核 16 的尺寸增大、核的合并、晶体生长、刻面的形成、位错线的弯曲 (参见图 3A)、向第一层 13 上的横向晶体生长、相邻晶粒之间的碰撞、横向生长的晶体的合并、位错网的形成和平坦表面的形成 (参见图 3B)。通过这些步骤, 在蓝宝石基板 10 上形成氮化镓系化合物半导体的 MOCVD 外延层 20。外延层 20 的厚度与 SiO_2 层 13 的带宽度一致, 这里它约为几十微米。代替 MOCVD 气相生长方法, 也可通过 MBE 方法生长氮化镓系化合物半导体的外延层。

[0041] 在第六步骤中, 如图 4 所示, 蓝宝石基板 10 的露出部分上的氮化镓系化合物半导体的外延层 20 被去除, 以形成槽 (trench) 或分开沟槽 25。例如, 可通过使用通过 RIE (氯基气体) 构图的抗蚀剂掩模 107 或使用激光划线器的槽形成方法来形成分开沟槽 25。因此, SiO_2 层 13 的端部被露出。分开沟槽 25 用作下面描述的选择性蚀刻时的蚀刻剂流路。也可通过使用普通的机械切割装置来形成分开沟槽 25, 但在这种情况下外延层在整个晶片尺度 (scale) 上的转移变得不可能。但是, 例如, 当制备用作第二基板的多个载体分割部分 (segment) 时, 可通过使用倒装芯片 (flip chip) 接合器来执行向直径比蓝宝石基板大的 12 英寸硅基板的转移。该转移也是有用的。

[0042] 将描述形成分开沟槽 25 的目的。一种目的是用于形成蚀刻剂流路, 另一种目的是用于消除具有相对大的缺陷密度的部分。参照图 5A 至 5C 描述 GaN 外延层中的缺陷密度分布和 LED 的效率的比较。图 5A 示出本实施例的 GaN 外延层 20, 图 5B 示出在蓝宝石基板的整个表面上生长的常规的 GaN 外延层。并且, 图 5C 示出图 5A 和图 5B 所示的各自区域 A、B、C 和 D 的面积、缺陷密度、LED 的内部量子效率、LED 的外部效率和 LED 的总效率。如从图 5C 可以看出的那样, 图 5A 中的区域 C 的晶体质量相对低, 由此在本实施例中区域 C 被去除, 并且只有区域 A 和 B 被用于器件的制造。

[0043] 区域 C 的这种去除导致产生分开沟槽 25, 因此, 由此所产生的分开沟槽 25 也被用于将蚀刻剂引向蚀刻牺牲层的 SiO_2 层 13 的端部。通过对蚀刻牺牲层进行蚀刻, GaN 外延层可被转移到另一基板。由此, 昂贵的蓝宝石基板变得可再次使用, 并且制造成本可降低。与本实施例相比, 在图 5B 的比较例中, 虽然 GaN 外延层的晶体质量与本实施例中的区域 B 大致相等, 但蓝宝石基板不能被再次使用。因此, 制造成本不可避免地变得相对高。

[0044] 将描述包含上述步骤的根据本发明的转移方法的实施例。

[0045] 第三基板典型地是硅基板, 并且, 整个外延层或其一部分从第二基板被转移到第三基板。代替以上的硅基板, 也可使用金属基板。在使用金属基板的情况下, 应考虑以下各点。在电子器件、高频晶体管、可用作用于雷达和通信的大输出放大器等的 GaN 系 HEMT 中, 器件特性可由于大的生热而被劣化。由此, 在对于具有较高的热导率的器件的应用中, 使用热导率比蓝宝石和硅高的 SiC。

[0046] 因此, 金属基板可代替 Si 基板等用作相对低成本的基板。Cu 是有效的, 但是, 由于使基板和 GaN 之间的热膨胀系数的差落入给定范围内是重要的, 因此 W/Cu 合金是更有效的。Al、W 和 Ti 也是可用的。虽然热导率是有利的, 但是, 由于热膨胀系数的差, 因此存在如下的情况: 在制造器件中的热处理步骤时或在器件使用中生热时, 产生应力, 并且器件从金属基板分离。因此, 考虑制造和使用器件时的条件, 鉴于基板的热膨胀系数的匹配和耐热性, 选择最佳的金属材料是重要的。

[0047] 露出第一层的端部的步骤与图 4 所示的步骤相同。在下一步骤中,制备例如 Si 转移晶片 100 的第二基板,并且,如图 6B 和图 7 所示,形成贯穿沟槽(蚀刻剂流路)150。在转移晶片 100 的一个表面上放置例如双面粘接片(adhesive sheet)的分离层 115,并且如图 6B 所示,还在分离层 115 中形成孔。孔与贯穿沟槽 150 连接。

[0048] 可通过喷砂(在晶片 100 的厚度超过 50 微米的情况下是合适的)、激光划线器(在晶片 100 的厚度超过 40 微米的情况下是合适的)、RIE(Bosch 处理)(在晶片 100 的厚度低于 40 微米的情况下是合适的)等来形成贯穿沟槽 150。可通过激光处理来形成双面粘接片 115 中的孔。例如,双面粘接片 115 可包含热可分离粘接层、辐射(radiation)可分离粘接层等。辐射可分离粘接层包含当经受光照射时发生分解或接合强度的降低的材料。热可分离粘接层包含当经受加热或冷却时发生分解或接合强度的降低的材料。

[0049] 在下一步骤中,具有覆盖有抗蚀剂 107 的带状 GaN 外延层 20 的第一基板或蓝宝石基板 10 通过分离层或双面粘接片 115 与第二基板或转移晶片 100 接合。图 7 中示出这种状态下转移晶片 100 中的贯穿沟槽 150 和带状 GaN 外延层 20 之间的位置关系。在图 8 中示出其截面。

[0050] 在下一步骤中,由此接合的第一基板(蓝宝石基板 10)和第二基板(转移晶片 100)被浸入蚀刻剂(HF 溶液)中,并且,使蚀刻剂通过贯穿沟槽 150 和分开沟槽(槽)25 与第一层 13 接触。

[0051] 由此,如图 9 所示,第一层(SiO_2 层)13 被选择性蚀刻,并且,蓝宝石基板 10 上的外延层 20 被转移到转移晶片 100。这里,对于 HF 溶液, GaN 等的氮化镓系化合物半导体与 SiO_2 相比具有无限大的蚀刻选择性。因此, SiO_2 层 13 被完全地选择性蚀刻。当向蚀刻剂添加表面活性剂以改善蚀刻剂的润湿性能时,可以有效地增加蚀刻速度。

[0052] 由此分开的蓝宝石基板 10 可作为生长基板被再次使用。由于昂贵的蓝宝石晶片是可再次使用的,因此氮化镓系化合物半导体层的制造成本可降低。由于蓝宝石基板比 Si 基板和 GaAs 基板更稳定、更牢固(stubborn)和更耐热,因此对于再次使用来说蓝宝石基板是高度耐用的。与蓝宝石(Al_2O_3)的 2050℃的熔点相比, Si 和 GaAs 的熔点分别是 1420℃和 1238℃。并且,与 As 原子有可能选择性脱落的 GaAs 不同,铝原子和氧原子之间的结合强。因此,蓝宝石是热牢固的,并且在物理上是刚性的(rigid)。

[0053] 在下一步骤中,被转移到第二基板(转移晶片 100)的外延层 20 与第三基板(Si 晶片 200)接合。并且,第二基板在分离层 115 处与外延层分开,以将外延层从第二基板转移到第三基板。整个外延层 20 可被转移。作为替代方案,其一部分可被选择性转移。

[0054] 将描述前一情况的整体转移。图 10 示出外延层 20 通过分子间力(范德瓦尔斯力)直接与硅晶片(第三基板)200 接合的例子。在这种情况下,为了增加接合力,使用诸如氩、氧或氮的等离子体活性物种(active species)对硅晶片 200 执行表面等离子体活性化处理是有效的。在外延层 20 被应用于 LED 的情况下,为了增加光输出的效率,在硅基板 200 和 GaN-LED 层之间的界面处插入例如 SiO_2 (它可改变折光力)或反射层是有效的。在这种情况下,可以使用能容易地控制粘性(粘接性)的有机绝缘层(旋涂聚合物)。并且,可通过有机绝缘层在低于 500℃的低温下实现足够强的接合。当外延层 20 与硅晶片 200 直接接合时,可在高于 500℃的温度下通过热处理形成共价键,并由此增加接合力。

[0055] 如图 11 所示,在分离层 115 包含热可分离粘接层的情况下,分离层 115 被加热到

高于 100℃ 的温度,以使第二基板 100 在分离层处与外延层 20 分开。通过在热可分离粘接层中形成气泡,使转移 Si 晶片 100 分开。还能够通过用灰化剂 (asher) 去除抗蚀剂 107,使第二基板 100 与外延层 20 分开。与蓝宝石基板 10 类似,由此分开的具有贯穿沟槽 150 的 Si 晶片 100 可在去除保留的分离层 (双面片) 115 之后作为转移晶片被再次使用。这也可对氮化镓系化合物半导体层的制造成本的降低作贡献。

[0056] 并且,外延层 20 的一部分可被选择性转移。在这种情况下,预定厚度的接合层 (有机绝缘层等) 被放置在外延层 20 的一部分和第三基板 200 上的向其转移外延层的区域中的至少一个上。并且,外延层 20 的所述部分利用接合层与第三基板接合。然后,只有利用接合层与第三基板 200 接合的部分在分离层 115 处与第二基板 100 分开。

[0057] 将描述以上步骤的例子。预定厚度的接合层 205 被附着到要被选择性转移的第一功能区域 101 (外延层 20 的一部分) 和第三基板 200 的要向其转移第一功能区域 101 的区域中的至少一个上。在本实施例中,如图 12A 和图 12B 所示,接合层 205 被放置在具有驱动器电路的硅基板的第三基板 200 上。首先,如图 12A 所示,在第三基板 200 上形成接合层 205 (例如,有机绝缘层)。

[0058] 然后,仅向第三基板 200 上的第一功能区域 101 (参见图 13A) 的转移预期 (expected) 区域执行利用抗蚀剂 206 的掩蔽。如图 12B 所示,通过化学蚀刻或 RIE 执行蚀刻,以仅在第三基板 200 的转移预期区域上形成接合层 205,并且,通过灰化剂等去除抗蚀剂 206。这里,接合层 205 的厚度约为 2.0 微米,并且,其表面被充分平滑化。利用这种厚度,当第一功能区域 101 与接合层 205 接合时,可以防止第二功能区域 102 (参见图 13A) 对于第三基板 200 的表面的强大压力。

[0059] 在本例子中,接合层 205 的厚度约在 1.0 微米至 10 微米的范围内。当厚度在 1.0 微米之下时,接合效果降低。当厚度在 10 微米之上时,存在这样一种可能性,即,在功能区域被转移到第三基板之后,在功能区域利用金属布线与在第三基板上形成的驱动器电路等电连接时,发生台阶处的布线破坏等的情形。

[0060] 并且,根据需要,如图 12B 所示,本实施例的转移方法可包含如下的步骤:在第三基板 200 的除了要向其转移第一功能区域 101 的区域以外的区域中的表面上,形成预定的凹凸 (unevenness) 208。利用这种凹凸 208,即使接合时第二功能区域 102 由于应力等而与第三基板 200 的表面接触,也可更加有效防止第二功能区域 102 和第三基板 200 之间的接合。例如,可通过在形成接合层 205 时执行的过度蚀刻来形成凹凸 208。与接合层 205 的表面相比,凹凸 208 的表面足够粗糙。例如,接合层 205 的表面的平滑度 R_{pv} (凹凸的峰谷差的最大值) 在约 2nm 之下,并且, R_a (峰谷差的平均值) 在约 0.2nm 之下。与此相对照,凹凸 208 的表面粗糙度 R_{pv} 可超过约 2nm,并且,凹凸 208 的 R_a 可超过约 0.2nm。

[0061] 如上所述,在放置在第二基板 100 上的分离层 115 上设置多个岛状的功能区域 101 和 102。在本例子中,在第三基板 200 上的以上区域的表面上形成凹凸 208。接合层 205 由有机材料形成。作为有机材料,存在聚酰亚胺等。也可使用环氧基的接合层。代替以上的有机材料层,也可使用旋涂聚合物和有机旋涂玻璃 (SOG)。在这些材料中,向像氧化硅层的无机绝缘氧化层添加甲基自由基 (radical)、乙基自由基、苯基自由基等,并由此增加塑性 (plasticity)。例如,在电路区域形成在第三基板 200 的硅基板上和 / 或中的情况下,可以执行以下的处理。使用有机 SOG,用于增加电路区域上的平坦性的氧化硅绝缘层在第三基板

200 上形成至预定的厚度,并且被构图。氧化硅绝缘层在约 100℃的预烘焙温度下具有给定的粘着性。

[0062] 在本例子中,预烘焙处理之后的接合层 205 的表面的这种粘着性对于下面的接合步骤中的有效接合是有益的。一般地,粘性(粘着性或粘接性)被认为是由于包含于有机绝缘材料(例如,旋涂聚合物)中的水解自由基的硅烷醇基、有机组分的烷氧基等而出现的。由于在处理温度下进行脱水缩合反应,因此这些成分可导致晶片或器件之间的结(junction)或接合强度。关于塑性,有机成分之中的非水解自由基对高温(> 400℃)下的材料的塑性的稳定性有贡献。接合的关键因素被认为是表面平坦性和粒子(grain)。与其相关,可通过具有塑性和粘性的有机绝缘层的存在来缓和用于具有器件结构的底层和接合表面的平坦性。

[0063] 并且,关于粒子的影响,一些尺寸的粒子可由于有机绝缘层的塑性而被掩埋于有机绝缘层中。因此,可基本上消除粒子的影响。塑性也用于大大松弛当增加层厚时存储的应变。当用于增加塑性的有机成分的量少并且形成相对厚的层(超过一(1)微米)时,可能出现像裂纹的缺陷。由于这些原因,当包含于有机 SOG 中的水解和非水解自由基中的有机成分的量被设为在约 1(一)wt. %之上时,可以获得适当的粘着性和塑性。因此,即使具有微米量级的厚度的层也可以是稳定的层。

[0064] 如上所述,第三基板 200 例如为半导体基板、硅基板、在其表面上具有氧化层的硅晶片、具有电路(例如,驱动器电路)的硅晶片等。在制造包含化合物半导体叠层的 LED 的情况下,驱动器电路例如是用于驱动控制 LED 的电路。硅基板可以为在其表面上具有外延硅层的基板以及所谓的 CZ 晶片。代替硅基板,也可使用绝缘体上硅(SOI)基板。

[0065] 将描述第一功能区域 101 通过接合层 205 与第三基板 200 接合的步骤、以及第二基板 100 在分离部分或层 115 处与第一功能区域 101 分开的步骤。如图 13A 所示,放置在第二基板 100 上的分离部分 115 上的第一功能区域 101 与接合层 205 对准并接合。如图 13B 所示,第二基板 100 在分离部分 115 处与第一功能区域 101 分开。在本例子中,分离层 115 是双面粘接片,其在片基材 115c 的一个表面上包含 UV 可分离粘接层 115a,并在片基材 115c 的另一表面上包含热可分离粘接层 115b。这里,从透明基板 100 侧执行 UV 光的照射,以导致 UV 可分离粘接层 115a 的分解或接合强度的降低。因此,第二基板 100 与第一功能区域 101 分开。由于遮光层 117 的存在,因此对于分离部分 115 的与第二功能区域 102 对应的部分不执行 UV 照射。因此,分离层 115a 的该部分保持不变,并且,如图 13B 所示,第二功能区域 102 保留在第二基板 100 上。在该步骤中,UV 激光可会聚成微细光斑并且被扫描。

[0066] 在本例子中,还能够省略遮光层 117,并且执行全面的光照射,使得第二基板 100 可在可分离层 115a 处与第一功能区域 101 分开。在这种情况下,发生可分离层 115a 的完全分解或接合强度的降低,并且,与接合层 205 接合的第一功能区域 101 借助于第一功能区域 101 和接合层 205 之间的这种接合力而与第二基板 100 分开。此时,在不与第三基板 200 接合的第二功能区域 102 的部分中,分离部分 115 的 UV 可分离粘接层 115a 的粘接性也降低。但是,没有来自第三基板 200 的剥离力作用于第二功能区域 102 上,使得第二功能区域 102 保留于第二基板 100 上。

[0067] 当条件(例如,分离层的材料、照射光的波长、光强度、照射时间等)被适当确定时,可以在维持可靠性的同时以相对低的成本容易地执行该方法,而不使用遮光层。在这种

全面 UV 照射的情况下,可以使用用于产生 UV 光的 i 线 (365nm) UV 灯或 LED。在这种情况下,通过分离部分 115 的弱化的 UV 可分离粘接层 115a 保留于第二基板 100 上的第二功能区域 102 也可进一步被转移到另一基板。另一基板可以是第二基板,并且第二功能区域 102 被转移到第三基板 200 的与第一功能区域 101 已经被转移到的部分不同的部分。

[0068] 分离部分 115 可具有另一配置。例如,UV 可分离粘接层 115a 和热可分离粘接层 115b 可被颠倒。分离部分 115 还可包含 UV 或热可分离粘接层和压敏可分离粘接层。并且,如图 15 所示,可以在第二基板 100 上附着具有不同性能的分层 120 和 121,分别对应于第一和第二功能区域 101 和 102。例如,一个是 UV 可分离粘接层,另一个是热可分离粘接层。作为替代方案,一个是第一辐射可分离粘接层,另一个是通过波长与第一辐射可分离粘接层不同的光的照射而发生分解或接合强度的降低的第二辐射可分离粘接层。此外,一个是第一热可分离粘接层,另一个是在与第一热可分离粘接层不同的温度下发生分解或接合强度的降低的第二热可分离粘接层。

[0069] 代替使用片 (sheet),可通过真空蒸发等在第二基板 100 上形成具有可分离粘接层的分离部分 115。更具体而言,分离层可由包含热发泡囊体 (thermal foaming capsule) 的材料形成。UV 可分离粘接材料可以是其交联由于 UV 能量照射而破坏的材料、或包含能够通过吸收 UV 光而发泡的囊体的材料。热可分离粘接材料可以是 REVALPHA (NITTO DENKO 的产品名称) 等。

[0070] 当第二功能区域 102 被转移到又一基板时,可以执行与用于第一功能区域 101 的转移基本上相同的处理。换句话说,如图 14A 所示,在第四基板 300 上形成接合层 305 (例如,有机绝缘层),并且,仅对于第二功能区域 102 的转移区域执行利用抗蚀剂层的掩蔽。然后,通过化学蚀刻或 RIE 执行蚀刻,以仅在基板 300 的转移预期区域上形成接合层 305。

[0071] 然后,如图 14A 所示,第二功能区域 102 与接合层 305 对准并接合。如图 14B 所示,第二基板 100 在可分离层 115b 处与第二功能区域 102 分开。这里,可分离层 115b 在约 170°C 下经受加热,以导致分离层 115 的热可分离粘接层 115b 的分解或接合强度的降低。然后,通过剥离去除抗蚀剂 107。

[0072] 将描述针对使用通过本发明的方法形成的氮化镓系化合物半导体层的 LED 器件、LED 阵列、LED 打印机头和 LED 打印机的例子。

[0073] LED 的例子使用被转移到 Si 基板的氮化镓系化合物半导体的外延层 20。该器件是蓝色 (荧光白色) 照明固态 LED。该 LED 器件具有图 16 所示的配置。从器件表面,布置有 ITO 透明电极 410、p 型 GaN 接触层 412、InGa_{0.02}Ga_{0.98}N 多量子阱活性层 414、n 型 GaN 接触层 416、n⁺ 低电阻 Si 基板 200 和底表面 Al 电极 418。

[0074] 可通过在图 3A 和图 3B 所示的上述形成步骤中适当地改变反应器中的温度、源气体等,制造这种外延层 20 的结构。例如,可在以下的步骤中在第一基板 10 上制造多量子阱活性层 414 和 p 型 GaN 接触层 412。首先,在 840°C 的生长温度下形成 In_{0.02}Ga_{0.98}N 阻挡层。然后,交替形成五个厚度为 3nm 的 In_{0.15}Ga_{0.85}N 阱层和五个厚度为 9nm 的 In_{0.02}Ga_{0.98}N 阻挡层。然后,生长温度升高到 1000°C,并且,形成厚度为 200nm 的掺杂 Mg 的 p 型 GaN 层 412。图 16 示出由此制造的外延层 20 被转移到 Si 基板 200 的结构。使用三甲基镓 (TMG) 作为源气体以形成 GaN,并且使用 TMG 和三甲基铟 (TMIIn) 作为源气体以形成 InGa_{0.02}Ga_{0.98}N。并且,当要形成 GaAlIn 时,还使用三甲基铝 (TMAI) 作为源气体。

[0075] 与在蓝宝石基板上形成的常规的 LED 相比,本例子的 LED 具有以下特性。

[0076] 可以形成基板底表面电极 418,由此表面侧的电极 410 的数量可减少为常规数量的一半。因此,可加大器件的发光区域。为了改善输出效率,可通过接合方法将用于折射率的改变的 SiO_2 和反射镜 (Al、Ag 等) 插入基板 200 的界面中。具有物理和热的稳定性的蓝宝石基板 (第一基板 10) 可被再次使用,并由此可大大降低制造成本。

[0077] 用于电子照相的蓝色 LED 固态扫描仪的例子也使用被转移到 Si 基板的氮化镓系化合物半导体的外延层 20。该器件 (LED/CMOS 驱动器电路) 具有图 17 所示的配置。从器件表面,布置有 p 型 Au/Ni 电极 510、p 型 GaN 接触层 512、InGaN 量子阱活性层 514、n 型 GaN 接触层 516、n 型 Au/Ni 电极 518、和具有内置的 CMOS 驱动器电路的 Si 基板 200。

[0078] 这里,驱动器 IC (驱动器电路) 与 LED 器件连接。在图 17 的配置中,在具有构成驱动器 IC 的 MOS 晶体管 560 的硅基板 200 上,形成有机材料的绝缘层 520 (参见图 13A 和图 13B 的接合层 205)。在绝缘层 520 上设置包含氮化镓系化合物半导体叠层的 LED 发光区域 570。并且,附图标记 580 表示另一绝缘层,附图标记 550 表示形成 MOS 晶体管 560 的源极或漏极区域的布线接合焊盘 (pad)。例如,可从如图 13B 所示的第三基板 200 的结构来制造这种配置。

[0079] 与在 GaAs 基板上形成的常规的红外 LED (760nm 的波长) 相比,本例子的 LED 器件具有以下特性。

[0080] 常规上,使用激光器或 LED 作为用于电子照相的红外 (750nm 的波长) 光源。与此相对照,当使用蓝色范围 (半波长) 光源时,光斑尺寸可减半。即,假如波长约为 450nm,那么可实现与 True 2400dpi 对应的 10 微米的光斑直径。由于用于 LED 阵列的驱动器电路可在底层硅中构建,因此接合布线的数量可大大减少。因此,整个头单元的成本可大大降低。具有物理和热的稳定性的蓝宝石基板可被再次使用,并且由此可大大降低制造成本。

[0081] 并且,在第三基板上的氮化镓系化合物半导体层和致密布置在第二基板上的氮化镓系化合物半导体层之间的密度比在转移方法中为 1 : n 的情况下,生长基板可被有效使用,并由此可进一步降低成本。在转移方法中执行单个基板上的多个活性层的选择性转移的情况下,成本可望进一步降低。

[0082] GaN 晶体管 (HEMT 或 MIS) 的例子也使用被转移到 Si 基板的氮化镓系化合物半导体的外延层 20。该器件具有图 18 所示的配置。从器件表面,布置有 Al 栅极电极 610、 SiO_2 绝缘层 612、未掺杂的 AlGaIn 活性层 614、Ti/Al 源极电极 616、 n^+ 源极区域 (Si 离子注入) 618、i-GaN 层 620、 n^+ 低电阻 Si 基板 200 和底表面 Al 电极 622。

[0083] 与在蓝宝石基板上形成的常规的 LED 相比,本例子的器件具有以下特性。

[0084] 可以形成基板底表面电极 622,使得器件层的电势不浮动,并且可被确定和控制。因此,器件操作的稳定性和可靠性可得到改善。可以在底层 Si 基板 200 中制造并连接硅电路 (CMOS、双极、耐高压 FET 等)。具有物理和热的稳定性的蓝宝石基板可被再次使用,并且由此可大大降低制造成本。缺陷密度可降低为小于直接在 Si 上生长的 GaN/Si,使得器件的性能、可靠性、均匀性和产量可得到改善。与常规的 GaAs-HEMT 相比,以上的 GaN-HEMT 可在几 GHz 的 C 带中构建大输出放大器。因此,它可对蜂窝电话基站、卫星通信装置、雷达发射器等的小型化和功耗减少作贡献。

[0085] 将描述通过使用氮化镓系化合物半导体层的以上形成方法和转移方法制造的 LED

阵列的例子。可通过使用以上的形成方法和转移方法来实现如图 19 所示的 LED 阵列。图 19 示出在印刷电路板 5000 上连接和布置驱动电路和 LED 阵列 4000 的结构。可以以下面的方式使用氮化镓系化合物半导体层的转移方法来获得驱动电路和 LED 阵列。如图 13A 和图 13B 所示,在硅基板上形成多个 LED 器件,并且,在印刷电路板 5000 上布置通过使用切割来分割硅基板所获取的多个部分。各 LED 器件和各驱动电路的截面结构与图 17 所示的包含 LED 发光区域的 LED 器件和驱动器电路类似。

[0086] 在图 19 的结构中,在印刷电路板 5000 上线状地 (linearly) 布置多组的 LED 阵列 / 驱动电路 4000。在 LED 阵列 / 驱动电路 4000 中,LED 器件和驱动器 IC 的驱动器器件如图 17 所示的那样被电连接。根据需要,可面对 LED 阵列 4000 而放置棒状透镜阵列 3000 (例如,SLA:Selfoc 透镜阵列)。因此,可以制造 LED 打印头。通过棒状透镜阵列 3000 会聚从线状地布置的 LED 阵列 4000 发射的光,以通过 LED 阵列实现图像形成。

[0087] 在 LED 器件构成层被形成在硅基板上而其间插入金属层或 DBR 镜的情况下,由于指向性能的改善,可以获得微细的光斑。在这种情况下,可以不使用棒状透镜阵列而构建 LED 打印头。

[0088] 图 20 示出用于矩阵驱动的结构。可以以分时的方式驱动图 20 中的发光器件阵列电路 8500,以减少电极的数量。在图 20 中,附图标记 8011 表示 n 型电极,附图标记 8017 表示 p 型电极,附图标记 8021 表示 n 型 AlGaAs 上的绝缘层,附图标记 8022 表示 p 型 GaAs 接触层上的绝缘层,附图标记 8023 表示发光区域。

[0089] 可通过使用根据本发明的氮化镓系化合物半导体层的形成方法和转移方法,来实现上述的低成本高性能 LED 阵列和 LED 打印头。

[0090] 图 21A 示出使用上述的 LED 打印头的 LED 打印机的例子。LED 打印机包含 LED 打印头、感光鼓和静电充电器件。图像形成单元通过使用来自 LED 打印头的光源的光束,在感光鼓上形成静电潜像。

[0091] 在示出 LED 打印机的配置的示意性截面图的图 21A 中,在打印机主体 8100 中放置可沿顺时针方向旋转的感光鼓 8106。在感光鼓 8106 之上,布置 LED 打印头 8104,用于曝光感光鼓。LED 打印头 8104 包含具有各根据图像信号而发光的多个发光二极管的 LED 阵列 8105、和用于在感光鼓 8106 上形成各发光二极管的辐射图案的图像的棒状透镜阵列 8101。棒状透镜阵列 8101 具有上述的配置。通过棒状透镜阵列 8101 导致发光二极管的图像形成平面与感光鼓 8106 的表面一致。换句话说,通过棒状透镜阵列实现发光二极管的辐射表面和感光鼓的感光表面之间的光学共轭关系。

[0092] 在感光鼓 8106 的周围,设置用于对感光鼓 8106 的表面均匀充电的静电充电器件 8103、和用于根据打印头 8104 的曝光图案使调色剂附着到感光鼓 8106 以形成调色剂图像的显影器件 8102。还布置有用于将调色剂图像转印到像复印片材的转移材料的转印静电充电器件 8107、和用于收集在转印之后保留于感光鼓 8106 上的废弃调色剂的清洁部分 8108。

[0093] 并且,在打印机主体 8100 中,布置有用于容纳转印材料的片材盒 8109、和用于将转印材料馈送到感光鼓 8106 和静电充电器件 8107 之间的位置的片材馈送部分 8110。并且,布置有用于在转印材料上定影转印的调色剂图像的定影器件 8112、用于将转印材料传输到定影器件 8112 的传输部分 8111、和用于支撑在定影之后排出的转印材料的片材排出

盘 8113。

[0094] 将描述 LED 彩色打印机的例子。LED 彩色打印机包含多组的 LED 打印机头、感光鼓、静电充电器件、和用于通过使用 LED 打印机头作为光源在感光鼓上形成静电潜像的图像形成单元。图 21B 示出 LED 彩色打印机的示意性配置。在图 21B 中，附图标记 9001、9002、9003 和 9004 分别表示品红色 (M)、青色 (C)、黄色 (Y) 和黑色 (K) 的感光鼓。附图标记 9005、9006、9007 和 9008 表示各自的 LED 打印机头。附图标记 9009 表示用于传输转印材料并使转印材料与各自的感光鼓 9001、9002、9003 和 9004 接触的传输带。附图标记 9010 表示用于馈送片材的对齐辊，附图标记 9011 表示定影辊。

[0095] 并且，附图标记 9012 表示用于在传输带 9009 上吸附支撑转印材料的充电器。附图标记 9013 表示电荷消除器件，附图标记 9014 表示用于检测转印材料的前端的传感器。

[0096] 可通过使用根据本发明的氮化镓系化合物半导体层的形成方法和转移方法，实现上述的低成本高性能 LED 打印机。

[0097] 本发明可被应用于在半导体基板上以阵列布置氮化镓系化合物半导体层的半导体器件的阵列器件。特别地，本发明可被应用于使用具有在半导体基板上形成的氮化镓系化合物半导体层的 LED 器件的 LED 打印机、显示装置、光学收发器器件、光学接收器器件等。在光学接收器器件的情况下，可以提供可靠的扫描仪。

[0098] 除了这里另外讨论的以外，在附图中以轮廓线或以框的形式示出的各种组件各是公知的，并且它们的内部构造和操作对于本发明的最佳方式的制造或使用、或者对于本发明的最佳方式的描述都不是关键的。

[0099] 本申请要求在 2008 年 11 月 4 日提交的日本专利申请 No. 2008-282794 的益处，在此通过参考而并入其全部内容。

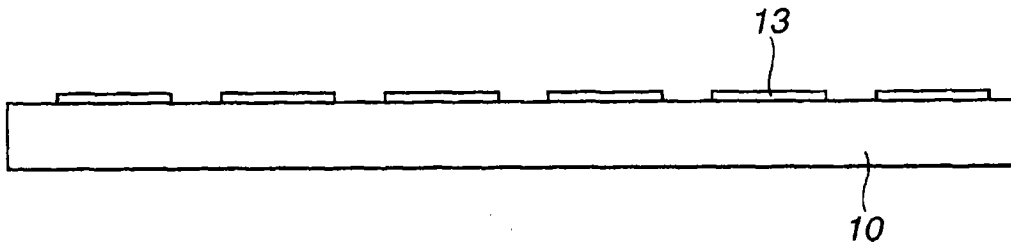


图 1A

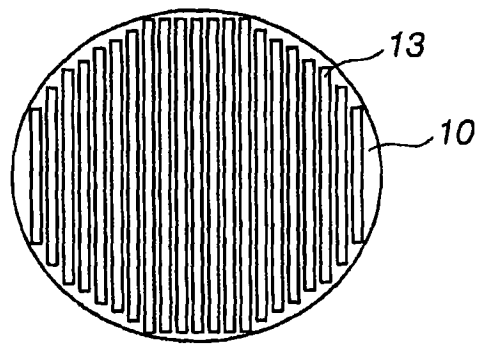


图 1B

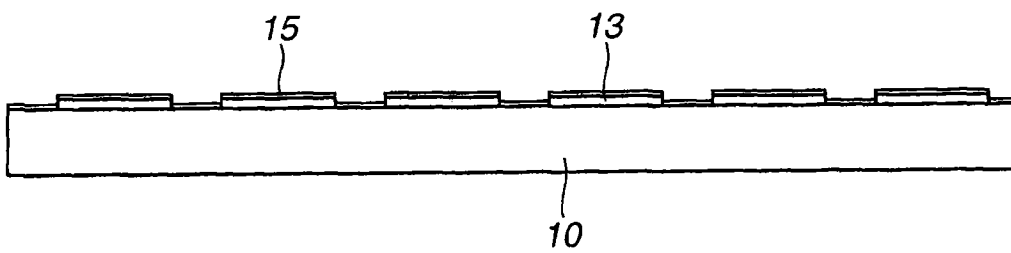


图 2A

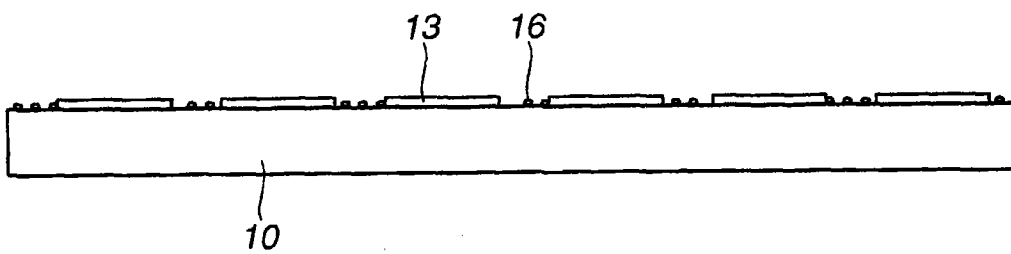


图 2B

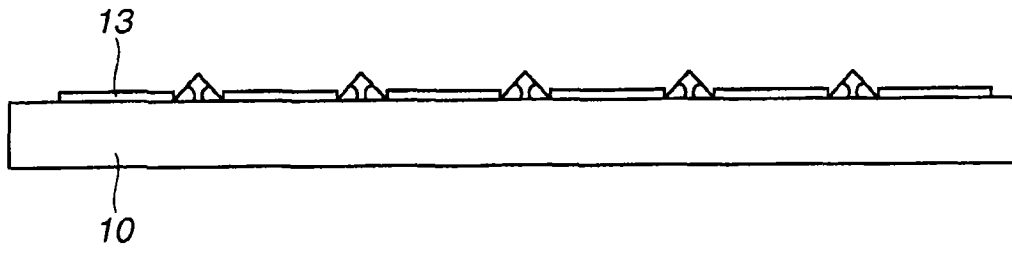


图 3A

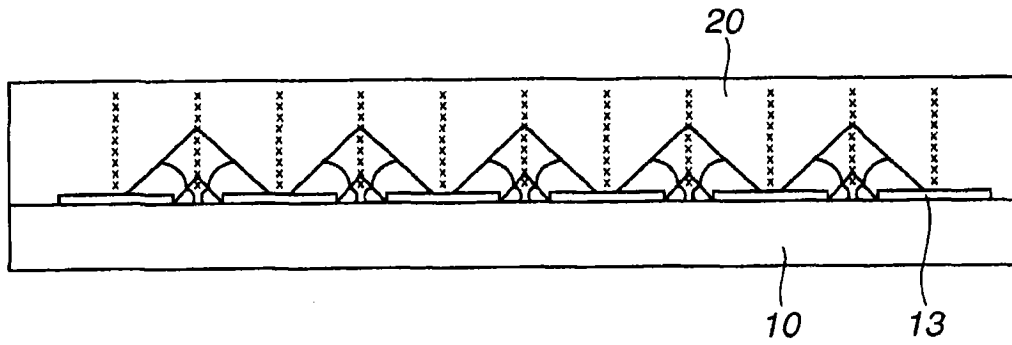


图 3B

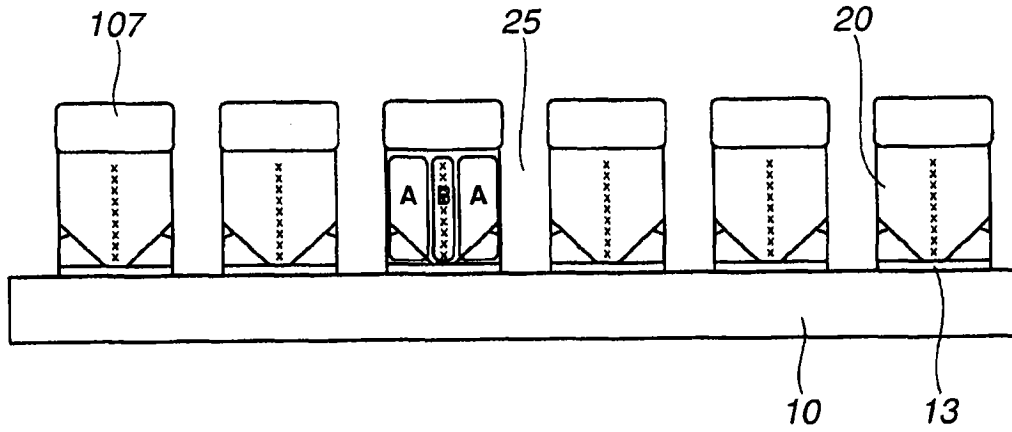


图 4

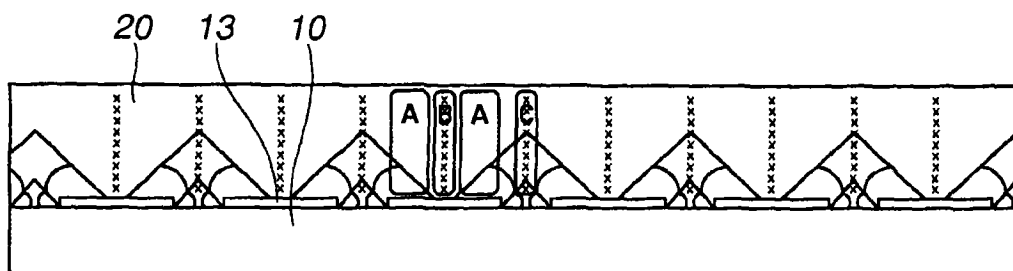


图 5A

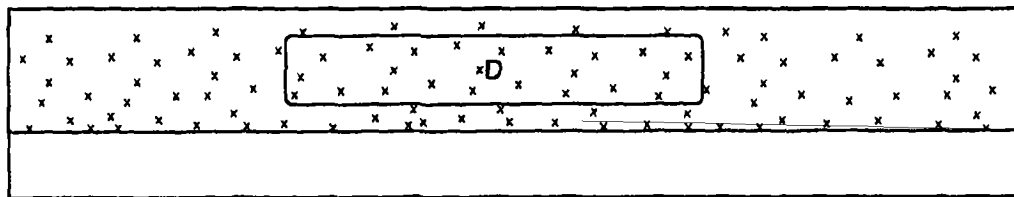


图 5B

区域	面积(a.u.)	缺陷密度 /cm ²	LED的内部 效率 (a.u.)	LED的外部 效率 (a.u.)	LED的总 效率 (a.u.)
A	~ 4	10 ⁶⁻⁷	~ 1.2	~ 1.1 (由于 SiO ₂)	~ 1.32
B	~ 1	10 ⁸⁻¹⁰ ⁹	~ 0.9	~ 1.1	~ 0.99
C	~ 1	10 ⁸⁻¹⁰ ⁹	~ 0.9	~ 1.0	~ 0.90
D	-	10 ⁷⁻¹⁰ ⁸	1.0	1.0	1.0

图 5C

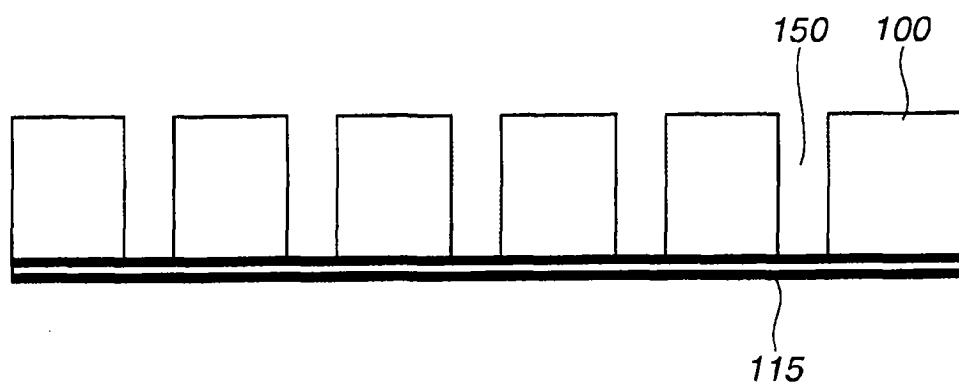


图 6A

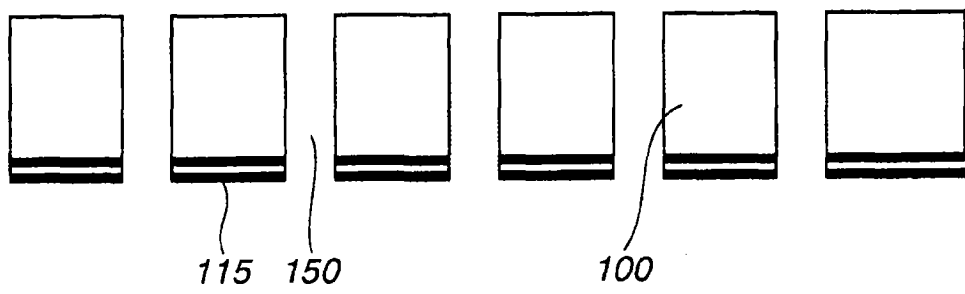


图 6B

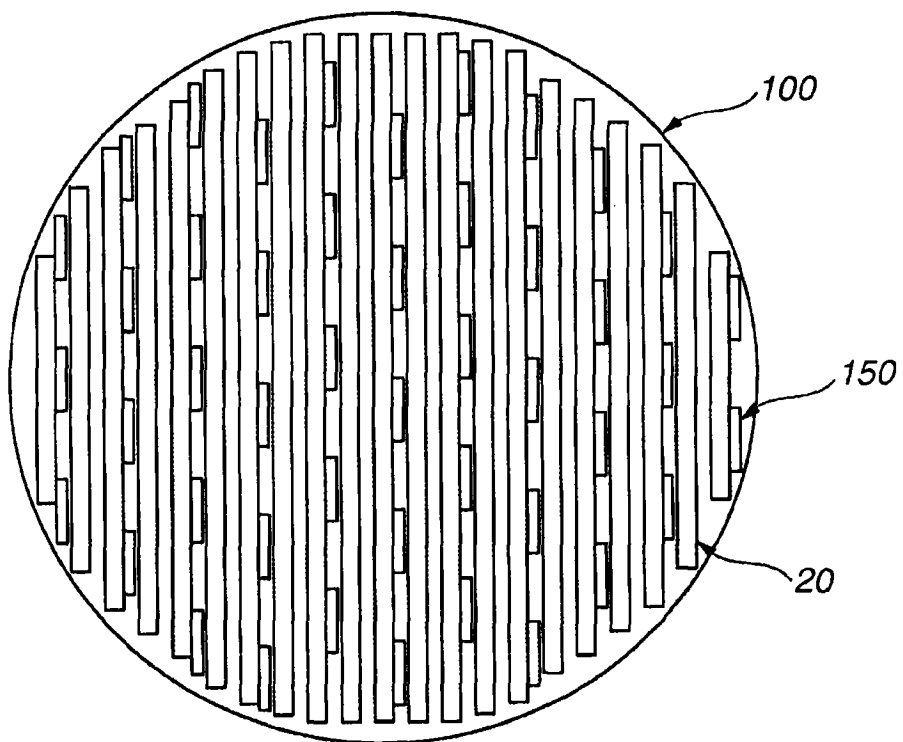


图 7

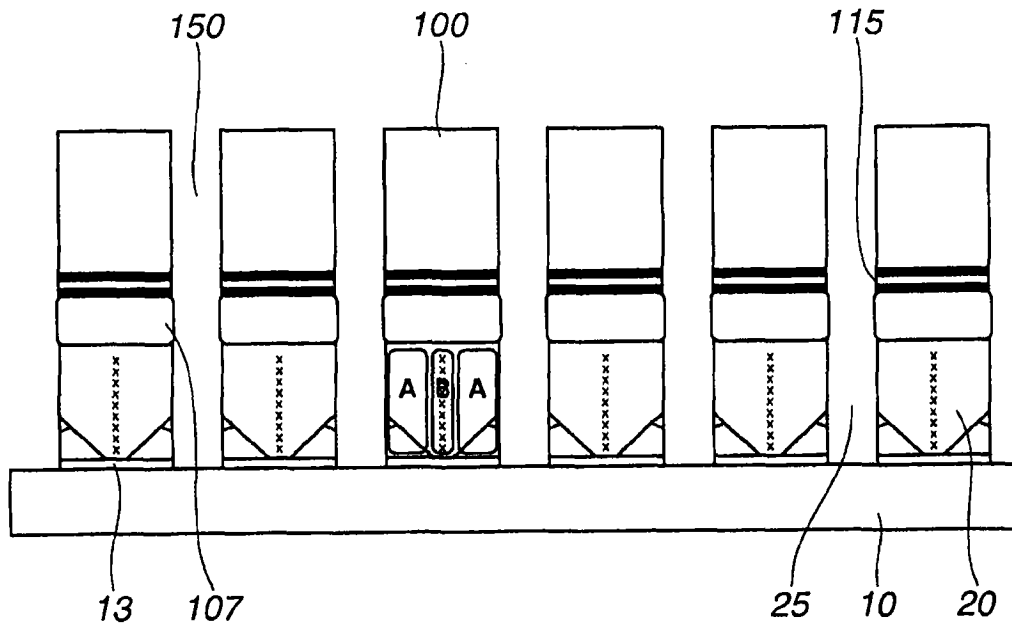


图 8

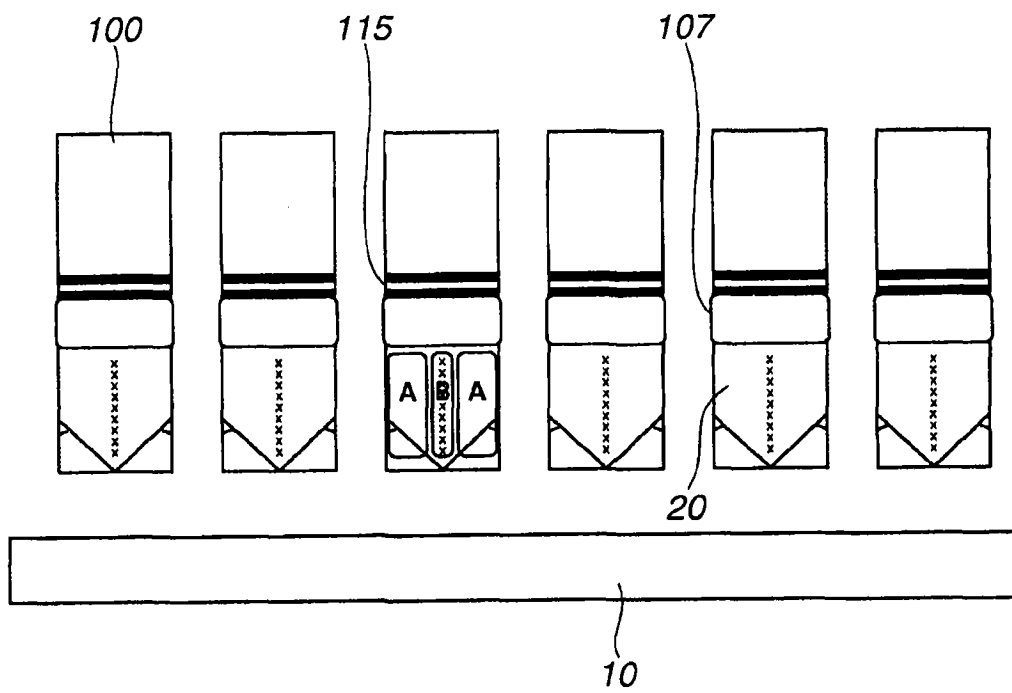


图 9

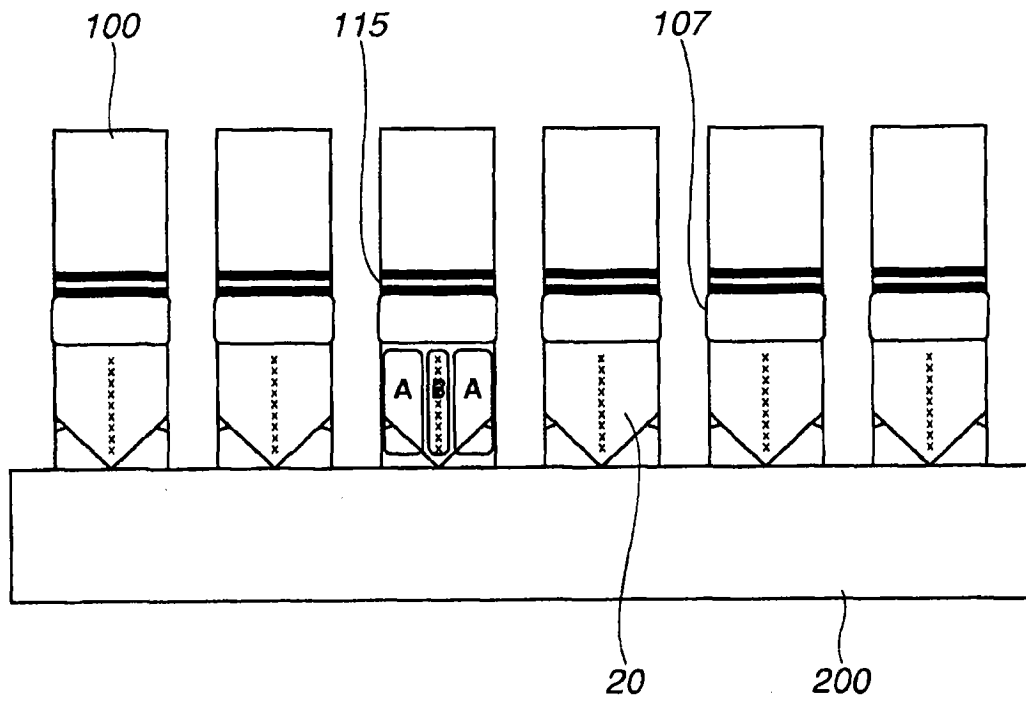


图 10

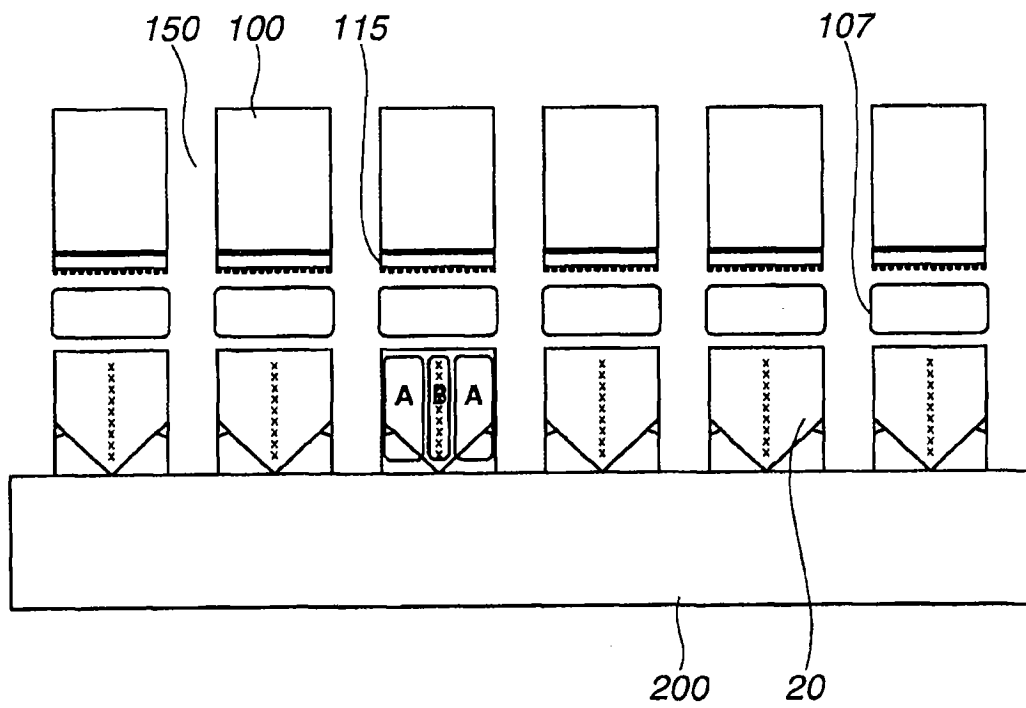


图 11

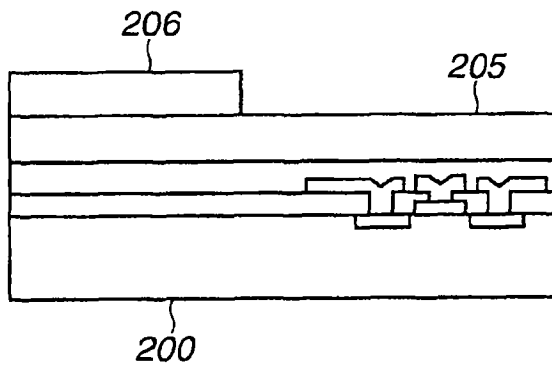


图 12A

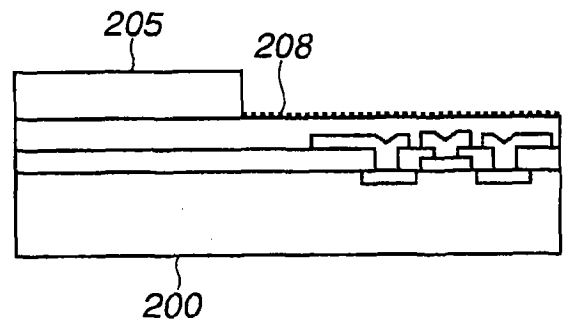


图 12B

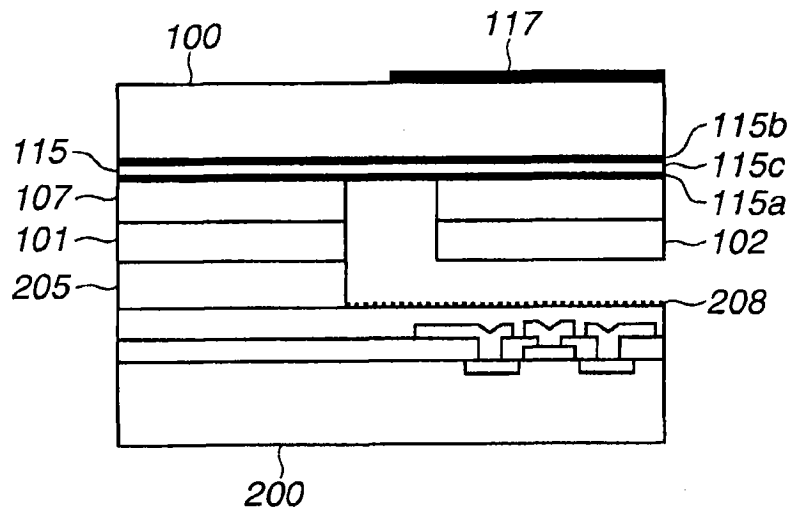


图 13A

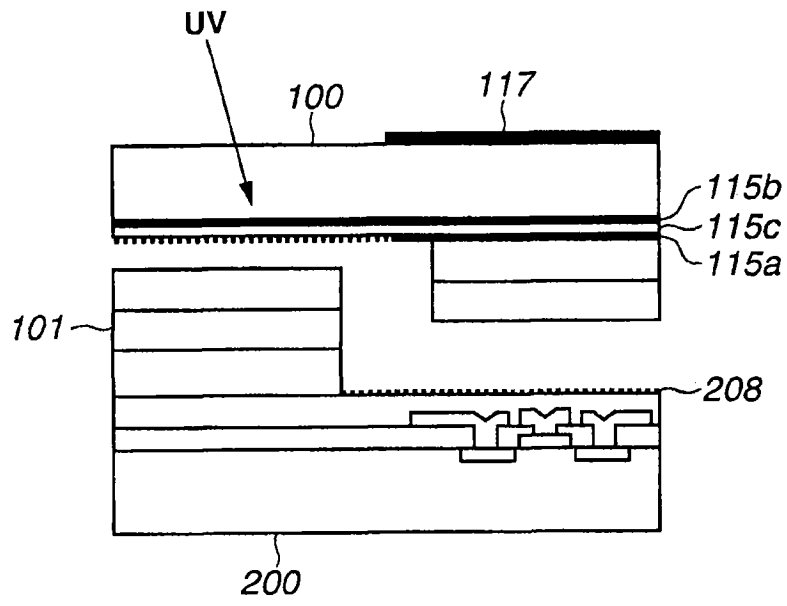


图 13B

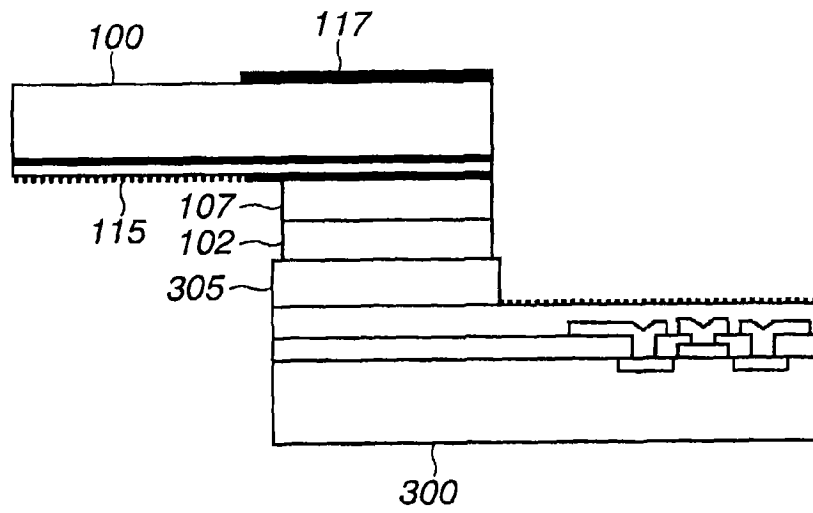


图 14A

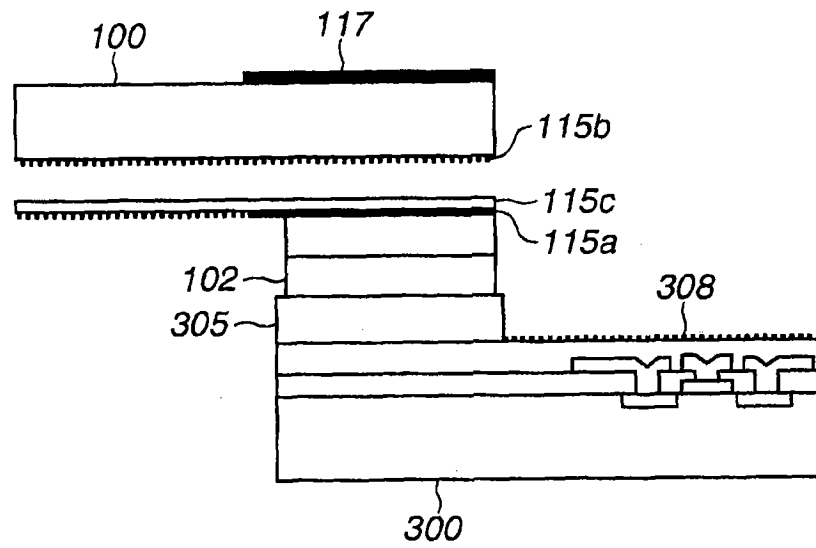


图 14B

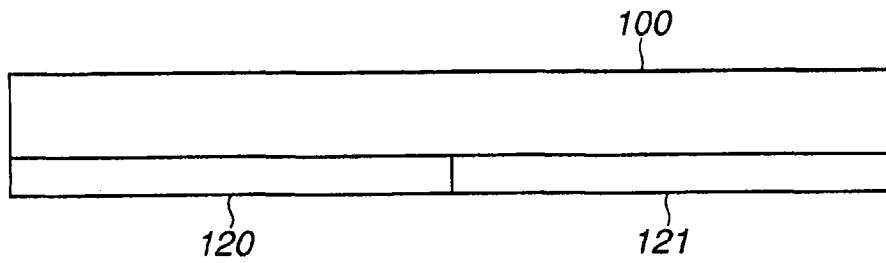


图 15

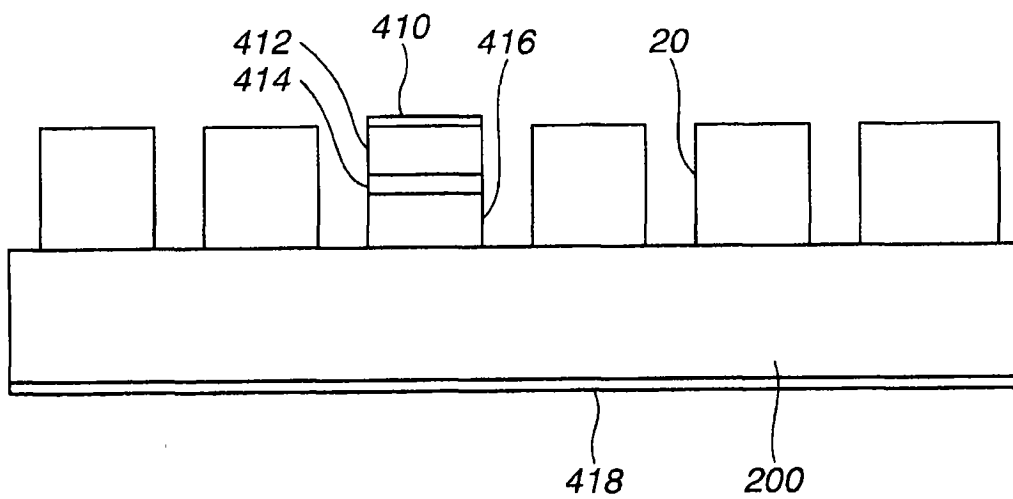


图 16

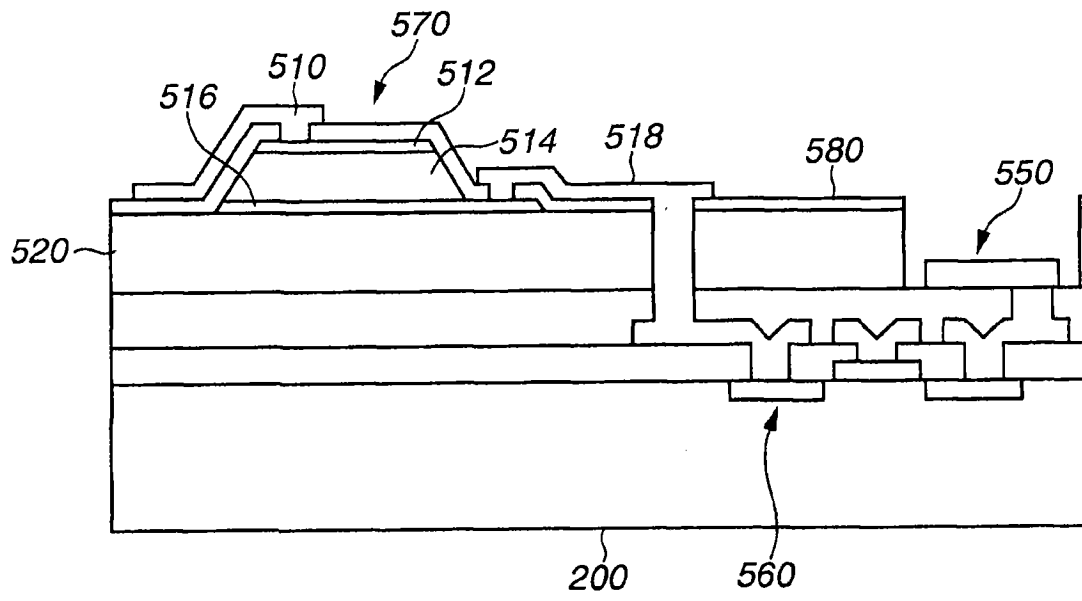


图 17

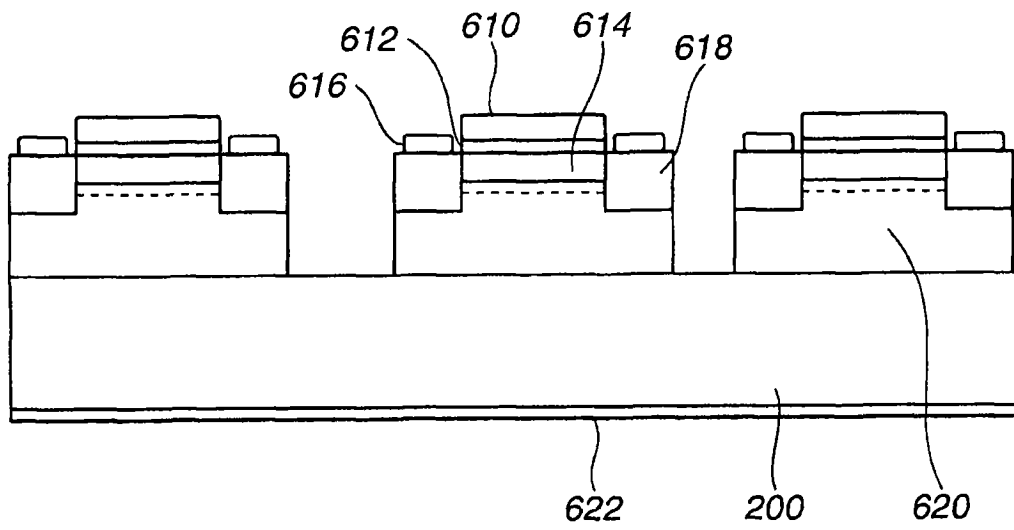


图 18

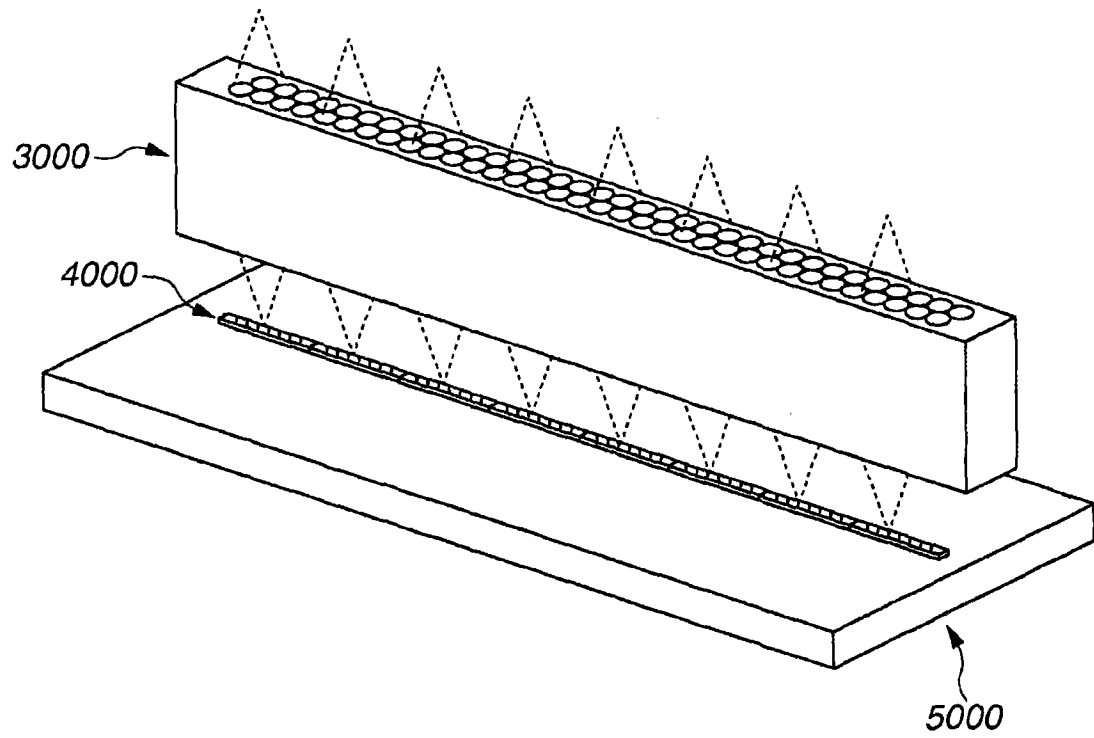


图 19

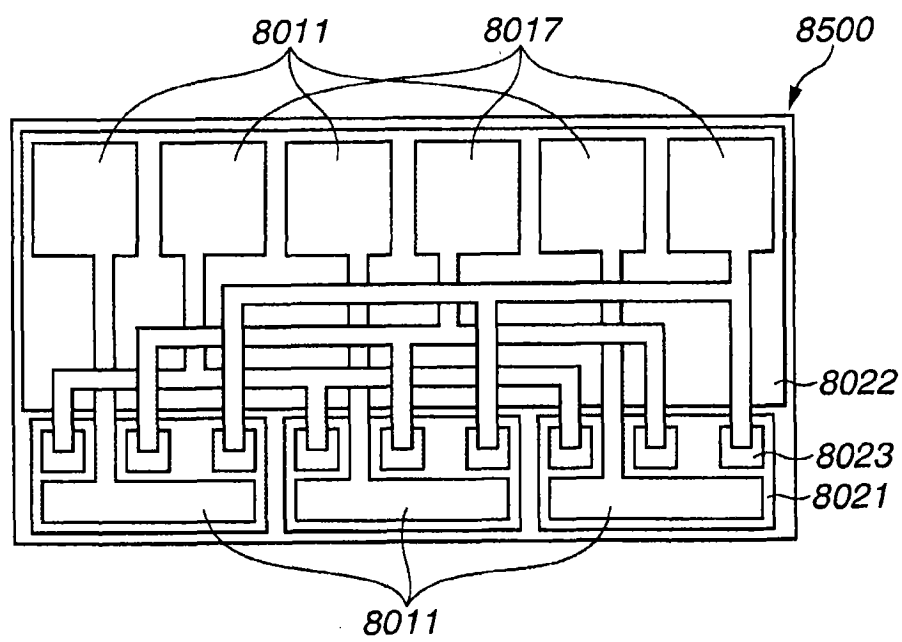


图 20

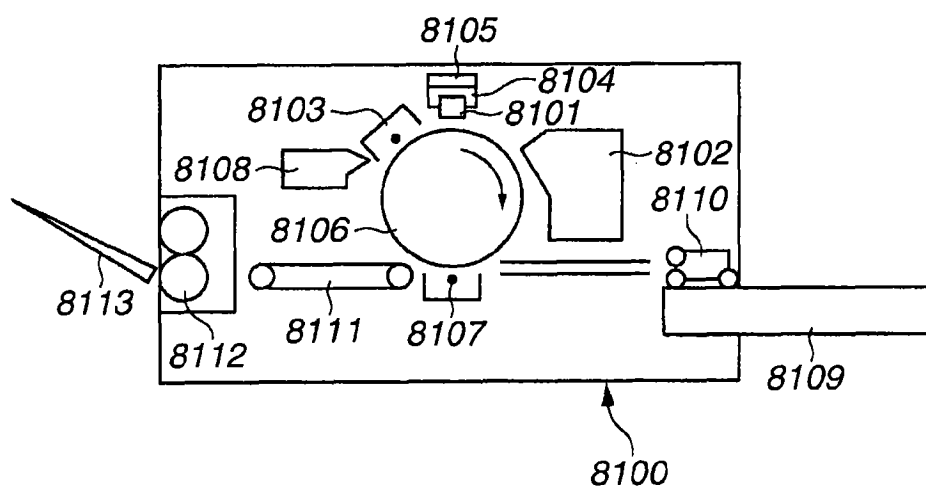


图 21A

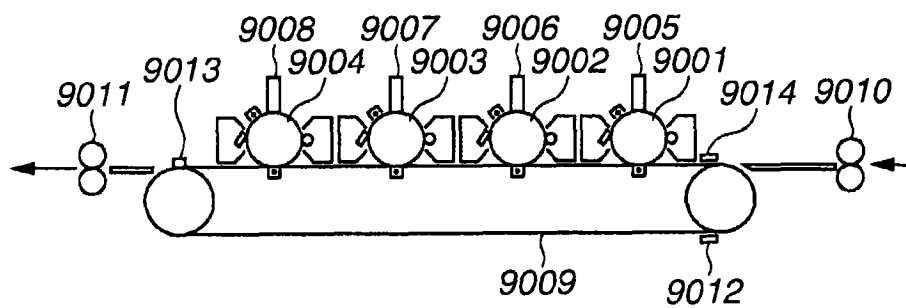


图 21B