



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105264676 A

(43) 申请公布日 2016. 01. 20

(21) 申请号 201480030587. 9

(74) 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

(22) 申请日 2014. 04. 15

11105

代理人 张劲松

(30) 优先权数据

2013-086049 2013. 04. 16 JP

2013-086050 2013. 04. 16 JP

2013-086051 2013. 04. 16 JP

(51) Int. Cl.

H01L 33/22(2006. 01)

H01L 33/10(2006. 01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2015. 11. 27

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2014/060763 2014. 04. 15

(87) PCT国际申请的公布数据

W02014/171467 JA 2014. 10. 23

(71) 申请人 崇高种子公司

地址 日本爱知县

(72) 发明人 北野司 森美登里 近藤俊行

铃木敦志 难波江宏一 大矢昌辉

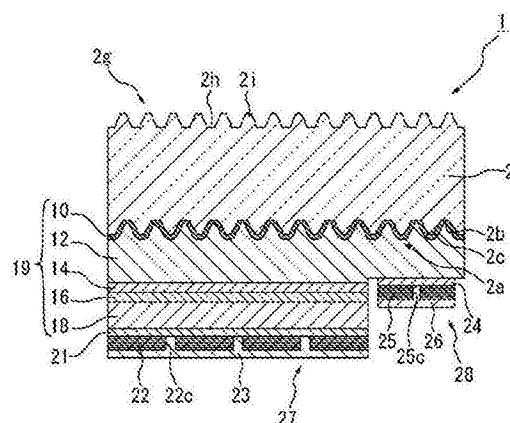
权利要求书4页 说明书21页 附图25页

(54) 发明名称

LED 元件及其制造方法

(57) 摘要

本发明提供一种可以进一步提高光取出效率的 LED 元件及其制造方法。该 LED 元件具备：包含发光层的半导体层叠部；衍射面，其被从发光层发出的光入射，并以比该光的光学波长大且比该光的相干长度小的周期形成凸部，按照布拉格衍射条件以多种模式反射入射光，并且按照布拉格衍射条件以多种模式透射入射光；反射面，其将由衍射面衍射的光反射并再次入射到所述衍射面，其中，半导体层叠部在凸部的周围无间隙地形成在衍射面上，并且在衍射面俯视时平坦部的比例为 40% 以上。



1. 一种 LED 元件, 具备:

包含发光层的半导体层叠部;

衍射面, 其被从所述发光层发出的光入射, 并以比该光的光学波长大且比该光的相干长度小的周期形成凸部, 按照布拉格衍射条件以多种模式反射入射光, 并且按照布拉格衍射条件以多种模式透射入射光;

反射面, 其将由所述衍射面衍射的光反射并再次入射到所述衍射面,

所述半导体层叠部在所述凸部的周围无间隙地形成在所述衍射面上,

在所述衍射面, 俯视时所述平坦部的比例为 40% 以上。

2. 如权利要求 1 所述的 LED 元件, 其中,

所述发光层发出蓝色光,

所述凸部俯视时配置在假想的三角格子或者四角格子的交点,

构成所述假想的三角格子或者四角格子的三角形或者四边形不是正多边形, 其各边的长度比所述蓝色光的光学波长的 2 倍大且比相干长度小。

3. 如权利要求 2 所述的 LED 元件, 其中,

所述凸部配置在假想的三角格子的交点,

构成所述假想的三角格子的三角形的一个边的长度为所述蓝色光的光学波长的 2 倍以上且 460nm 以下、或者 550nm 以上且 800nm 以下。

4. 如权利要求 3 所述的 LED 元件, 其中,

构成所述假想的三角格子的三角形为等腰三角形。

5. 如权利要求 4 所述的 LED 元件, 其中,

所述等腰三角形的等边和底边的其中一方的长度为所述蓝色光的光学波长的 2 倍以上且 460nm 以下, 另一方的长度为 550nm 以上且 800nm 以下。

6. 如权利要求 5 所述的 LED 元件, 其中,

所述蓝宝石衬底的表面形成为所述凸部以比所述蓝色光的光学波长的 2 倍大且比相干长度小的周期配置的垂直化蛾眼面,

所述垂直化蛾眼面构成为, 反射及透射从所述半导体层叠部侧向该垂直化蛾眼面入射的光, 在超过临界角的角度区域, 与在所述半导体层叠部侧向该垂直化蛾眼面入射的光的强度分布相比, 在所述半导体层叠部侧从该垂直化蛾眼面通过反射射出的光的强度分布偏向与所述半导体层叠部和所述蓝宝石衬底的界面垂直的方向, 并且, 在超过临界角的角度区域, 与在所述半导体层叠部侧向该垂直化蛾眼面入射的光的强度分布相比, 在所述蓝宝石衬底侧从该垂直化蛾眼面通过透射射出的光的强度分布偏向与所述界面垂直的方向,

具有对透射所述垂直化蛾眼面的光进行反射的反射部,

具备透射蛾眼面, 该透射蛾眼面具有比从所述发光层发出的光的光学波长的 2 倍小的周期的凹部或凸部,

通过所述垂直化蛾眼面的反射及透射, 以偏向与所述界面垂直的方向的方式调整了强度分布的光, 在通过所述透射蛾眼面抑制菲涅耳反射的状态下向元件外部射出。

7. 如权利要求 6 所述的 LED 元件, 其中,

所述反射部越接近于与所述界面垂直的角度, 其反射率越高。

8. 如权利要求 7 所述的 LED 元件, 其中,

具备形成于所述半导体层叠部上的电极，

所述电极具有：形成于所述半导体层叠部上的扩散电极层；蛾眼层，该蛾眼层形成在所述扩散电极层上，表面形成具有比从所述发光层发出的光的光学波长的 2 倍小的周期的凹部或凸部的所述透射蛾眼面，

所述蛾眼层由对于从所述发光层发出的光，消光系数比构成所述扩散电极层的材料小且折射率与构成所述扩散电极层的材料大体相同的材料构成。

9. 如权利要求 8 所述的 LED 元件，其中，

所述扩散电极层由 ITO 构成，

所述蛾眼层由 ZrO_2 构成。

10. 一种 LED 元件的制造方法，制造权利要求 9 所述的 LED 元件，包含：

在蓝宝石衬底的表面上形成掩模层的掩模层形成工序；

在所述掩模层上形成抗蚀剂膜的抗蚀剂膜形成工序；

在所述抗蚀剂膜形成规定的图案的图案形成工序；

以所述抗蚀剂膜为掩膜进行所述掩模层的蚀刻的掩膜层的蚀刻工序；

以被蚀刻的所述掩模层为掩模，进行所述蓝宝石衬底的蚀刻而形成所述凸部的衬底的蚀刻工序；

在被蚀刻的所述蓝宝石衬底的表面上形成所述半导体层叠部的半导体形成工序。

11. 如权利要求 10 所述的 LED 元件的制造方法，其中，

所述掩膜层包含金属掩膜，并通过该金属掩膜的厚度来控制凸部的基端部的大小。

12. 一种 LED 元件的制造方法，制造权利要求 1 所述的 LED 元件，包含：

在蓝宝石衬底的表面上形成掩模层的掩模层形成工序；

在所述掩模层上形成抗蚀剂膜的抗蚀剂膜形成工序；

在所述抗蚀剂膜形成规定的图案的图案形成工序；

以所述抗蚀剂膜为掩膜进行所述掩膜层的蚀刻的掩膜层的蚀刻工序；

以被蚀刻的所述掩模层为掩模，进行所述蓝宝石衬底的蚀刻而形成所述凸部的衬底的蚀刻工序；

在被蚀刻的所述蓝宝石衬底的表面上形成所述半导体层叠部的半导体形成工序。

13. 如权利要求 12 所述的 LED 元件的制造方法，其中，

所述掩膜层包含金属掩膜，并通过该金属掩膜的厚度来控制凸部的基端部的大小。

14. 一种 LED 元件，具备：

蓝宝石衬底；

形成于所述蓝宝石衬底的表面上并包含发出蓝色光的发光层的半导体层叠部，

所述蓝宝石衬底的表面具有俯视时配置在假想的三角格子或者四角格子的交点的多个凹部或凸部，

构成所述假想的三角格子或者四角格子的三角形或者四边形不是正多边形，其各边的长度比所述蓝色光的光学波长的 2 倍大且比相干长度小。

15. 如权利要求 14 所述的 LED 元件，其中，

所述凹部或者凸部配置在假想的三角格子的交点，

构成所述假想的三角格子的三角形的一个边的长度为所述蓝色光的光学波长的 2 倍

以上且 460nm 以下、或者 550nm 以上且 800nm 以下。

16. 如权利要求 15 所述的 LED 元件, 其中,
构成所述假想的三角格子的三角形为等腰三角形。

17. 如权利要求 16 所述的 LED 元件, 其中,
所述等腰三角形的等边和底边的其中一方的长度为所述蓝色光的光学波长的 2 倍以上且 460nm 以下、另一方的长度为 550nm 以上且 800nm 以下。

18. 如权利要求 14 ~ 17 的任意一项所述的 LED 元件, 其中,
所述蓝宝石衬底的表面形成为所述凹部或者凸部以比所述蓝色光的光学波长的 2 倍大且比相干长度小的周期配置的垂直化蛾眼面,

所述垂直化蛾眼面构成为, 反射及透射从所述半导体层叠部侧向该垂直化蛾眼面入射的光, 在超过临界角的角度区域, 与在所述半导体层叠部侧向该垂直化蛾眼面入射的光的强度分布相比, 在所述半导体层叠部侧从该垂直化蛾眼面通过反射射出的光的强度分布偏向与所述半导体层叠部和所述蓝宝石衬底的界面垂直的方向, 并且, 在超过临界角的角度区域, 与在所述半导体层叠部侧向该垂直化蛾眼面入射的光的强度分布相比, 在所述蓝宝石衬底侧从该垂直化蛾眼面通过透射射出的光的强度分布偏向与所述界面垂直的方向,

具有对透射所述垂直化蛾眼面的光进行反射的反射部,

具备透射蛾眼面, 该透射蛾眼面具有比从所述发光层发出的光的光学波长的 2 倍小的周期的凹部或凸部,

通过所述垂直化蛾眼面的反射及透射, 以偏向与所述界面垂直的方向的方式调整了强度分布的光, 在通过所述透射蛾眼面抑制菲涅耳反射的状态下向元件外部射出。

19. 如权利要求 18 所述的 LED 元件, 其中,
所述反射部越接近于与所述界面垂直的角度, 其反射率越高。

20. 一种 LED 元件, 具备,

衬底;

形成于所述衬底的表面上的包含发光层的半导体层叠部;

形成于所述衬底的背面上的反射部;

形成于所述半导体层叠部上的电极,

所述电极具有: 形成于所述半导体层叠部上的扩散电极层; 蛾眼层, 该蛾眼层形成在所述扩散电极层上, 表面形成具有比从所述发光层发出的光的光学波长的 2 倍小的周期的凹部或凸部的透射蛾眼面,

所述蛾眼层由对于从所述发光层发出的光, 消光系数比构成所述扩散电极层的材料小且折射率与构成所述扩散电极层的材料大体相同的材料构成。

21. 如权利要求 20 所述的 LED 元件, 其中,

所述扩散电极层由 ITO 构成,

所述蛾眼层由 ZrO_2 构成。

22. 如权利要求 20 或者 21 所述的 LED 元件, 其中,

所述衬底由蓝宝石形成,

所述蓝宝石衬底的表面形成垂直化蛾眼面, 该垂直化蛾眼面具有比从所述发光层发出的光的光学波长的 2 倍大且比相干长度小的周期的多个凹部或凸部,

所述垂直化蛾眼面构成为,反射及透射从所述半导体层叠部侧向该垂直化蛾眼面入射的光,在超过临界角的角度区域,与在所述半导体层叠部侧向该垂直化蛾眼面入射的光的强度分布相比,在所述半导体层叠部侧从该垂直化蛾眼面通过反射射出的光的强度分布偏向与所述半导体层叠部和所述蓝宝石衬底的界面垂直的方向,并且,在超过临界角的角度区域,与在所述半导体层叠部侧向该垂直化蛾眼面入射的光的强度分布相比,在所述蓝宝石衬底侧从该垂直化蛾眼面通过透射射出的光的强度分布偏向与所述界面垂直的方向,

通过所述垂直化蛾眼面的反射及透射,以偏向与所述界面垂直的方向的方式调整了强度分布的光,在通过所述透射蛾眼面抑制菲涅耳反射的状态下向元件外部射出。

23. 如权利要求 22 所述的 LED 元件,其中,

所述反射部越接近于与所述界面垂直的角度,其反射率越高。

LED 元件及其制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种 LED 元件及其制造方法。

背景技术

[0002] 公知有一种 LED 元件,其具备:III 族氮化物半导体,其形成于蓝宝石衬底的表面上并包含发光层;衍射面,其形成于蓝宝石衬底的表面侧,入射从发光层发出的光,以比该光的光学波长大且比该光的相干长度小的周期形成有凹部或凸部;A1 反射膜,其形成于衬底的背面侧,反射由衍射面衍射的光,再使其向衍射面入射(参照专利文献 1)。在该 LED 元件中,使通过衍射作用透射的光再入射到衍射面,通过利用衍射面再利用衍射作用使其透射,可以以多种模式向元件外部取出光。

[0003] 现有技术文献

[0004] 专利文献

[0005] 专利文献 1: 国际公开第 2011/027679 号

发明内容

[0006] 发明所要解决的课题

[0007] 本申请发明人调查研究光取出效率的进一步提高。

[0008] 本发明是鉴于上述情况而创立的,其目的在于,提供可以进一步提高光取出效率的 LED 元件及其制造方法。

[0009] 用于解决课题的技术方案

[0010] 为实现所述目的,本发明提供一种 LED 元件,其具备:包含发光层的半导体层叠部;衍射面,其被从所述发光层发出的光入射,并以比该光的光学波长大且比该光的相干长度小的周期形成凸部,按照布拉格衍射条件以多种模式反射入射光,并且按照布拉格衍射条件以多种模式透射入射光;反射面,其将由所述衍射面衍射的光进行反射并向所述衍射面再次入射。所述半导体层叠部在所述凸部的周围无间隙地形成在所述衍射面上,在所述衍射面,俯视时所述平坦部的比例为 40% 以上。

[0011] 另外,本发明提供一种 LED 元件的制造方法,在制造上述 LED 元件时,包含:在蓝宝石衬底的表面上形成掩模层的掩模层形成工序;在所述掩模层上形成抗蚀剂膜的抗蚀剂膜形成工序;在所述抗蚀剂膜形成规定的图案的图案形成工序;以所述抗蚀剂膜作为掩膜进行所述掩模层的蚀刻的掩模层的蚀刻工序;以被蚀刻的所述掩模层作为掩模,进行所述蓝宝石衬底的蚀刻而形成所述凸部的衬底的蚀刻工序;在被蚀刻的所述蓝宝石衬底的表面上形成所述半导体层叠部的半导体形成工序。

[0012] 进而,提供一种 LED 元件,其具备:蓝宝石衬底;形成于所述蓝宝石衬底的表面上并包含发出蓝色光的发光层的半导体层叠部,所述蓝宝石衬底的表面具有俯视时配置在假想的三角格子或者四角格子的交点的多个凹部或者凸部,构成所述假想的三角格子或者四角格子的三角形或者四边形不是正多边形,其各边的长度比所述蓝色光的光学波长的 2 倍

大且比相干长度小。

[0013] 进而,提供一种 LED 元件,其具备:衬底;形成于所述衬底的表面上的包含发光层的半导体层叠部;形成于所述衬底的背面上的反射部;形成于所述半导体层叠部上的电极。所述电极具有:形成于所述半导体层叠部上的扩散电极层;蛾眼层,该蛾眼层形成在所述扩散电极层上,表面形成具有比从所述发光层发出的光的光学波长的 2 倍小的周期的凹部或凸部的透射蛾眼面,所述蛾眼层由对于从所述发光层发出的光,消光系数比构成所述扩散电极层的材料小且折射率与构成所述扩散电极层的材料大体相同的材料构成。

[0014] 发明效果

[0015] 根据本发明的 LED 元件,可以进一步提高光取出效率。

附图说明

[0016] 图 1 是表示本发明第一实施方式的 LED 元件的示意剖面图;

[0017] 图 2 是表示不同的折射率的界面的光的衍射作用的说明图,(a) 表示在界面反射的状态,(b) 表示透过界面的状态;

[0018] 图 3 是表示凹部或凸部的周期为 500nm 的情况下的 III 属氮化物半导体层和蓝宝石衬底的界面的从半导体层侧向界面入射的光的入射角、和在界面的衍射作用下的透射角的关系的曲线图;

[0019] 图 4 是表示凹部或凸部的周期为 500nm 的情况下的 III 属氮化物半导体层和蓝宝石衬底的界面的从半导体层侧向界面入射的光的入射角、和在界面的衍射作用下的反射角的关系的曲线图;

[0020] 图 5 是表示元件内部的光的行进方向的说明图;

[0021] 图 6 是 LED 元件的局部放大示意剖面图;

[0022] 图 7 表示蓝宝石衬底,(a) 是示意立体图,(b) 是表示 A — A 剖面的示意说明图,(c) 是示意放大说明图;

[0023] 图 8 是表示凸部的配置状态的平面示意图,(a) 是假想的三角格子为正三角形时的状态,(b) 是假想的三角格子为等腰三角形时的状态;

[0024] 图 9 是表示假想的三角格子或者四角格子为正多边形时的一个边的长度和光取出效率的关系的曲线图;

[0025] 图 10 是表示假想的三角格子为等腰三角形时的等边的长度和光取出效率的关系的曲线图;

[0026] 图 11 是等离子体蚀刻装置的概略说明图;

[0027] 图 12 是表示蓝宝石衬底的蚀刻方法的流程图;

[0028] 图 13A 表示蓝宝石衬底及掩模层的蚀刻方法的过程,(a) 表示加工前的蓝宝石衬底,(b) 表示在蓝宝石上形成掩模层的状态,(c) 表示在掩模层上形成抗蚀剂膜的状态,(d) 表示模型与抗蚀剂膜接触的状态,(e) 表示在抗蚀剂膜上形成图案的状态;

[0029] 图 13B 表示蓝宝石衬底及掩模层的蚀刻方法的过程,(f) 表示除去了抗蚀剂膜的残膜的状态,(g) 表示使抗蚀剂膜改质的状态,(h) 表示以抗蚀剂膜为掩模蚀刻掩模层的状态,(i) 表示以掩模层为掩模蚀刻蓝宝石衬底的状态;

[0030] 图 13C 表示蓝宝石衬底及掩模层的蚀刻方法的过程,(j) 表示以掩模层为掩模进

一步蚀刻蓝宝石衬底的状态, (k) 表示从蓝宝石衬底除去残留的掩模层的状态, (l) 表示对蓝宝石衬底实施湿式蚀刻的状态;

[0031] 图 14 是表示改变 Ni 层的厚度时的凸部的基端部的直径和凸部的高度的关系的曲线图;

[0032] 图 15 是表示凸部的周期以及 C 面区域的比例和位错密度是否达到规定值以下的表格图;

[0033] 图 16 是表示实施例 1 的反射部的反射率的曲线图;

[0034] 图 17 是表示实施例 2 的反射部的反射率的曲线图;

[0035] 图 18 是表示本发明的第二实施方式的 LED 元件的示意剖面图;

[0036] 图 19 是 LED 元件的局部放大示意剖面图;

[0037] 图 20 是表示实施例 3 的反射部的反射率的曲线图;

[0038] 图 21 是表示实施例 4 的反射部的反射率的曲线图;

[0039] 图 22 是表示本发明第二实施方式的 LED 元件的示意剖面图;

[0040] 图 23 是表示元件内部的光的行进方向的说明图;

[0041] 图 24 是加工蛾眼层的说明图, (a) 表示在透射蛾眼面形成有第一掩膜层的状态, (b) 表示在第一掩膜层上形成有抗蚀剂层的状态, (c) 表示对抗蚀剂层有选择性地照射电子射线的状态, (d) 表示将抗蚀剂层显影并除去的状态, (e) 表示形成有第二掩膜层的状态;

[0042] 图 25 是加工蛾眼层的说明图, (a) 表示完全除去抗蚀剂层的状态, (b) 表示以第二掩膜层为掩膜蚀刻第一掩膜层的状态, (c) 表示除去第二掩膜层的状态, (d) 表示以第一掩膜层为掩膜蚀刻透射蛾眼面的状态, (e) 表示除去第一掩膜层的状态。

[0043] 符号说明

- [0044] 1 LED 元件
- [0045] 2 蓝宝石衬底
- [0046] 2a 垂直化蛾眼面
- [0047] 2b 平坦部
- [0048] 2c 凸部
- [0049] 2d 侧面
- [0050] 2e 弯曲部
- [0051] 2f 上面
- [0052] 2g 透射蛾眼面
- [0053] 2h 平坦部
- [0054] 2i 凸部
- [0055] 10 缓冲层
- [0056] 12 n 型 GaN 层
- [0057] 14 发光层
- [0058] 16 电子阻挡层
- [0059] 18 p 型 GaN 层
- [0060] 19 半导体层叠部

[0061]	21	扩散电极
[0062]	22	电介质多层膜
[0063]	22a	第一材料
[0064]	22b	第二材料
[0065]	22c	通孔
[0066]	23	金属电极
[0067]	24	扩散电极
[0068]	25	电介质多层膜
[0069]	25a	通孔
[0070]	26	金属电极
[0071]	27	p 侧电极
[0072]	28	n 侧电极
[0073]	30	掩模层
[0074]	31	SiO ₂ 层
[0075]	32	Ni 层
[0076]	40	抗蚀剂膜
[0077]	41	凹凸构造
[0078]	42	残膜
[0079]	43	凸部
[0080]	50	模型
[0081]	51	凹凸构造
[0082]	91	等离子体蚀刻装置
[0083]	92	衬底保持台
[0084]	93	容器
[0085]	94	线圈
[0086]	95	电源
[0087]	96	石英板
[0088]	97	冷却控制部
[0089]	98	等离子体
[0090]	101	LED 元件
[0091]	102	蓝宝石衬底
[0092]	102a	垂直化蛾眼面
[0093]	110	缓冲层
[0094]	112	n 型 GaN 层
[0095]	114	发光层
[0096]	116	电子阻挡层
[0097]	118	p 型 GaN 层
[0098]	119	半导体层叠部
[0099]	122	焊盘电极

[0100]	124	电介质多层膜
[0101]	124a	第一材料
[0102]	124b	第二材料
[0103]	126	Al 层
[0104]	127	p 侧电极
[0105]	127g	透射蛾眼面
[0106]	128	n 侧电极
[0107]	201	LED 元件
[0108]	202	蓝宝石衬底
[0109]	202a	垂直化蛾眼面
[0110]	202b	平坦部
[0111]	202c	凸部
[0112]	210	缓冲层
[0113]	212	n 型 GaN 层
[0114]	214	发光层
[0115]	216	电子阻挡层
[0116]	218	p 型 GaN 层
[0117]	219	半导体层叠部
[0118]	221	扩散电极层
[0119]	222	蛾眼层
[0120]	223	焊盘电极
[0121]	224	电介质多层膜
[0122]	226	Al 层
[0123]	227	p 侧电极
[0124]	227g	透射蛾眼面
[0125]	227h	平坦部
[0126]	227i	凸部
[0127]	228	n 侧电极
[0128]	330	第一掩膜层
[0129]	330a	开口
[0130]	332	抗蚀剂层
[0131]	332a	开口
[0132]	334	型版掩模
[0133]	334a	开口
[0134]	336	第二掩膜层

具体实施方式

[0135] 图 1 是表示本发明第一实施方式的 LED 元件的示意剖面图。

[0136] 如图 1 所示, LED 元件 1 是在蓝宝石衬底 2 的表面上形成有由 III 族氮化物半导

体层构成的半导体层叠部 19 的元件。该 LED 元件 1 是倒装片型,主要从蓝宝石衬底 2 的背面侧取出光。半导体层叠部 19 从蓝宝石衬底 2 侧按顺序具有缓冲层 10、n 型 GaN 层 12、发光层 14、电子阻挡层 16、p 型 GaN 层 18。在 p 型 GaN 层 18 上形成有 p 侧电极 27,并且在 n 型 GaN 层 12 上形成有 n 侧电极 28。

[0137] 如图 1 所示,缓冲层 10 形成于蓝宝石衬底 2 的表面上,由 AlN 构成。本实施方式中,缓冲层 10 通过 MOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition) 法形成,但也可以使用溅射法。作为第一导电型层的 n 型 GaN 层 12 形成于缓冲层 10 上,由 n - GaN 构成。发光层 14 形成于 n 型 GaN 层 12 上,由 GaInN/GaN 构成,通过电子及空穴的注入而发出蓝色光。在此,蓝色光是指例如峰值波长为 430nm 以上 480nm 以下的光。本实施方式中,发光层 14 的发光的峰值波长为 450nm。

[0138] 电子阻挡层 16 形成于发光层 14 上,由 p - AlGaIn 构成。作为第二导电型层的 p 型 GaN 层 18 形成于电子阻挡层 16 上,由 p - GaN 构成。从 n 型 GaN 层 12 至 p 型 GaN 层 18 通过 III 族氮化物半导体的外延成长而形成,在蓝宝石衬底 2 的表面周期性地形成有凸部 2c,但在 III 族氮化物半导体的成长初期实现横方向成长的平坦化。此外,至少包含第一导电型层、活性层及第二导电型层,只要是在对第一导电型层及第二导电型层施加电压时,只要通过电子及空穴的再结合使活性层发光,则半导体层的层构成就是任意的。

[0139] 蓝宝石衬底 2 的表面形成垂直化蛾眼面 2a,蓝宝石衬底 2 的背面形成透射蛾眼面 2g。蓝宝石衬底 2 的表面形成有平坦部 2b、和周期性形成于平坦部 2b 的多个凸部 2c。本实施方式中,在各凸部 2c 的周围无空隙地形成有半导体层叠部 19。各凸部 2c 的形状除圆锥、多角锥等锥状外,还可以形成切下锥的上部的圆锥台、多角锥台等锥台状。各凸部 2c 以衍射从发光层 14 发出的光的方式设计。本实施方式中,通过周期性配置的各凸部 2c,可以得到光的垂直化作用。在此,光的垂直化作用是指光的强度分布与向垂直化蛾眼面入射前相比,反射及透射之后一方偏向相对于蓝宝石衬底 2 和半导体层叠部 19 的界面垂直的方向。

[0140] 另外,蓝宝石衬底 2 的背面形成有平坦部 2h、和周期性形成于平坦部 2h 的多个凸部 2i。各凸部 2i 的形状除圆锥、多角锥等锥状外,还可以形成切下锥的上部的圆锥台、多角锥台等锥台状。透射蛾眼面的凸部 2i 的周期比垂直化蛾眼面的凸部 2c 的周期短。本实施方式中,通过周期性配置的各凸部 2i,抑制和外部的界面的菲涅耳反射。

[0141] 图 2 是表示不同的折射率的界面的光的衍射作用的说明图,(a) 表示由界面反射的状态,(b) 表示透射界面的状态。

[0142] 在此,根据布拉格的衍射条件,光在界面反射的情况下,相对于入射角 θ_{in} ,反射角 θ_{ref} 应满足的条件为如下式 (1)。

$$[0143] \quad d \cdot n_1 \cdot (\sin \theta_{in} - \sin \theta_{ref}) = m \cdot \lambda \quad (1)$$

[0144] 在此, n_1 为入射侧的介质的折射率, λ 为入射的光的波长, m 为整数。光从半导体层叠部 19 向蓝宝石衬底 2 入射的情况下, n_1 为 III 族氮化物半导体的折射率。如图 2(a) 所示,以满足上述式 (1) 的反射角 θ_{ref} 反射向界面入射的光。

[0145] 另一方面,根据布拉格的衍射条件,光在界面透射的情况下,相对于入射角 θ_{in} ,透射角 θ_{out} 应满足的条件为如下式 (2)。

$$[0146] \quad d \cdot (n_1 \cdot \sin \theta_{in} - n_2 \cdot \sin \theta_{out}) = m' \cdot \lambda \quad (2)$$

[0147] 在此, n_2 为射出侧的介质的折射率, m' 为整数。例如,光从半导体层叠部 19 向蓝

宝石衬底 2 入射的情况下, n_2 为蓝宝石的折射率。如图 2(b) 所示, 以满足上述式 (2) 的透射角 θ_{out} 透射向界面入射的光。

[0148] 为了使满足上述式 (1) 及式 (2) 的衍射条件的反射角 θ_{ref} 及透射角 θ_{out} 存在, 蓝宝石衬底 2 的表面的周期必须比元件内部的光学波长即 (λ/n_1) 及 (λ/n_2) 大。因此, 蓝宝石衬底 2 的表面以衍射光存在的方式将周期设定为比 (λ/n_1) 及 (λ/n_2) 大。

[0149] 图 3 是表示以凹部或凸部的周期为 500nm 的情况下的 III 属氮化物半导体层和蓝宝石衬底的界面的从半导体层侧向界面入射的光的入射角、和在界面的衍射作用下的透射角的关系的曲线图。另外, 图 4 是表示以凹部或凸部的周期为 500nm 的情况下的 III 属氮化物半导体层和蓝宝石衬底的界面的从半导体层侧向界面入射的光的入射角、和在界面的衍射作用下的反射角的关系的曲线图。

[0150] 作为向垂直化蛾眼面 2a 入射的光, 与一般的平坦面一样存在全反射的临界角。在 GaN 系半导体层和蓝宝石衬底 2 的界面, 临界角为 45.9° 。如图 3 所示, 在超过临界角的区域, 可进行满足上述式 (2) 的衍射条件的 $m' = 1, 2, 3, 4$ 下的衍射模式下的透射。另外, 如图 4 所示, 在超过临界角的区域, 可进行满足上述式 (1) 的衍射条件的 $m = 1, 2, 3, 4$ 下的衍射模式下的反射。在临界角为 45.9° 的情况下, 超过临界角的光输出约为 70%, 未超过临界角的光输出约为 30%。即, 取出超过临界角的区域的光非常有助于 LED 元件 1 的光取出效率的提高。

[0151] 在此, 在透射角 θ_{out} 比入射角 θ_{in} 小的区域, 透过垂直化蛾眼面 2a 的光相对于蓝宝石衬底 2 和 III 族氮化物半导体层的界面以偏垂直的方式角度变化。图 3 中用剖面线表示该区域。如图 3 所示, 对于透过垂直化蛾眼面 2a 的光, 在超过临界角的区域, $m' = 1, 2, 3$ 的衍射模式的光在全部的角度区域以偏垂直的方式角度变化。 $m' = 4$ 的衍射模式的光在一部分角度区域没有偏垂直, 但由于衍射次数大的光的强度较小, 所以影响小, 在该一部分的角度区域实际上还以偏垂直角度变化。即, 与在半导体层叠部 19 侧向垂直化蛾眼面 2a 入射的光的强度分布比较, 在蓝宝石衬底 2 侧透过垂直化蛾眼面 2a 射出的光的强度分布偏向与半导体层叠部 19 和蓝宝石衬底 2 的界面垂直的方向。

[0152] 另外, 在反射角 θ_{ref} 比入射角 θ_{in} 小的区域, 在垂直化蛾眼面 2a 反射的光相对于蓝宝石衬底 2 和 III 族氮化物半导体层的界面以偏垂直的方式角度变化。图 4 中用剖面线表示该区域。如图 4 所示, 对于在垂直化蛾眼面 2a 反射的光, 在超过临界角的区域, $m = 1, 2, 3$ 的衍射模式的光在全部的角度区域以偏垂直的方式角度变化。 $m = 4$ 的衍射模式的光在一部分角度区域没有偏垂直, 但由于衍射次数大的光的强度较小, 所以影响小, 在该一部分的角度区域实际上还以偏垂直的方式角度变化。即, 与在半导体层叠部 19 侧向垂直化蛾眼面 2a 入射的光的强度分布比较, 在半导体层叠部 19 侧从垂直化蛾眼面 2a 通过反射射出的光的强度分布偏向与半导体层叠部 19 和蓝宝石衬底 2 的界面垂直的方向。

[0153] 图 5 是表示元件内部的光的行进方向的说明图。

[0154] 如图 5 所示, 从发光层 14 发出的光中, 向蓝宝石衬底 2 超过临界角入射的光在垂直化蛾眼面 2a 比入射时向偏垂直的方向透射及反射。即, 透过垂直化蛾眼面 2a 的光在向偏垂直角度变化的状态下向透射蛾眼面 2g 入射。另外, 由垂直化蛾眼面 2a 反射的光在向偏垂直角度变化的状态下通过 p 侧电极 27 及 n 侧电极 28 反射后, 向垂直化蛾眼面 2a 再次入射。这时的入射角比前面的入射角偏垂直。其结果, 可以使向透射蛾眼面 2g 入射的光偏

垂直。

[0155] 图 6 是 LED 元件的局部放大示意剖面图。

[0156] 如图 6 所示, p 侧电极 27 具有:形成于 p 型 GaN 层 18 上的扩散电极 21、形成于扩散电极 21 上的规定区域的电介质多层膜 22、形成于电介质多层膜 22 上的金属电极 23。扩散电极 21 全面地形成于 p 型 GaN 层 18, 例如, 由 ITO(Indium Tin Oxide) 等透明材料构成。另外, 电介质多层膜 22 重复多对折射率不同的第一材料 22a 和第二材料 22b 而构成。电介质多层膜 22 例如将第一材料 22a 采用 ZrO_2 (折射率:2.18), 第二材料 22b 采用 SiO_2 (折射率:1.46), 可以将对数设为 5。此外, 也可以使用与 ZrO_2 和 SiO_2 不同的材料构成电介质多层膜 22, 例如, 也可以使用 AlN (折射率:2.18)、 Nb_2O_3 (折射率:2.4)、 Ta_2O_3 (折射率:2.35) 等。金属电极 23 被覆电介质多层膜 22, 例如, 由 Al 等金属材料构成。金属电极 23 通过形成于电介质多层膜 22 的通孔 22c 与扩散电极 21 电连接。

[0157] 如图 6 所示, n 侧电极 28 从 p 型 GaN 层 18 蚀刻 n 型 GaN 层 12, 形成于露出的 n 型 GaN 层 12 上。n 侧电极 28 具有:形成于 n 型 GaN 层 12 上的扩散电极 24、形成于扩散电极 24 上的规定区域的电介质多层膜 25、形成于电介质多层膜 25 上的金属电极 26。扩散电极 24 全面地形成于 n 型 GaN 层 12, 例如, 由 ITO(Indium Tin Oxide) 等透明材料构成。另外, 电介质多层膜 25 重复多对折射率不同的第一材料 25a 和第二材料 25b 构成。电介质多层膜 25 例如第一材料 25a 采用 ZrO_2 (折射率:2.18), 第二材料 25b 采用 SiO_2 (折射率:1.46), 可以将对数设为 5。此外, 也可以使用与 ZrO_2 和 SiO_2 不同的材料构成电介质多层膜 25, 例如, 也可以使用 AlN (折射率:2.18)、 Nb_2O_3 (折射率:2.4)、 Ta_2O_3 (折射率:2.35) 等。金属电极 26 被覆电介质多层膜 25, 例如, 由 Al 等金属材料构成。金属电极 26 通过形成于电介质多层膜 25 的通孔 25a 与扩散电极 24 电连接。

[0158] 在该 LED 元件 1 中, p 侧电极 27 及 n 侧电极 28 形成反射部。p 侧电极 27 及 n 侧电极 28 分别越接近于垂直角度, 反射率越高。向反射部除入射从发光层 14 发出并直接入射的光外, 还入射由蓝宝石衬底 2 的垂直化蛾眼面 2a 反射并相对于界面以偏垂直的方式角度变化的光。即, 向反射部入射的光的强度分布与蓝宝石衬底 2 的表面为平坦面的情况比较, 为偏向垂直的状态。

[0159] 接着, 参照图 7, 对蓝宝石衬底 2 详细叙述。图 7 表示蓝宝石衬底, (a) 为示意立体图, (b) 为表示 A—A 剖面的示意说明图, (c) 为示意放大说明图。

[0160] 如图 7(a) 所示, 垂直化蛾眼面 2a 在俯视时以各凸部 2c 的中心为正三角形的顶点的位置的方式以规定的周期排列形成于假想的三角格子的交点。另外, 也可以是以各凸部 2c 的中心为等腰三角形的顶点的位置的方式配置。各凸部 2c 的周期比从发光层 14 发出的光的光学波长大, 且比该光的相干长度小。另外, 在此所说的周期是指相邻的凸部 2c 的高度的峰值位置的距离。另外, 光学波长是指实际的波长除以折射率所得的值。另外, 相干长度相当于因规定的光谱宽度的光子群的各波长不同, 从而波的周期性振动相互抵消, 至可干涉性消失的距离。相干长度 l_c 如果将光的波长设为 λ , 该光的半幅值设为 $\Delta \lambda$, 则大体为 $l_c = (\lambda^2 / \Delta \lambda)$ 的关系。在此, 各凸部 2c 的周期在光学波长的 1 倍以上, 相对于临界角以上的角度的入射光, 衍射作用逐渐有效地起作用, 如果比从发光层 14 发出的光的光学波长的 2 倍大, 则透射模式及反射模式的数量充分增加, 所以优选。另外, 各凸部 2c 的周期优选为从发光层 14 发出的光的相干长度的一半以下。

[0161] 在本实施方式,构成假想的三角格子的正三角形的一个边的长度为 460nm。即,各凸部 2c 的主要周期为 460nm 以及 797nm。另外,蓝宝石衬底 2 以俯视时平坦部 2b 的比例为 40% 以上的方式构成。从发光层 14 发出的光的波长为 450nm, III 族氮化物半导体层的折射率为 2.4, 因此,其光学波长为 187.5nm。另外,从发光层 14 发出的光的半幅值为 27nm, 因此,该光的相干长度为 7500nm。即,垂直化蛾眼面 2a 的周期比发光层 14 的光学波长的 2 倍大,且为相干长度的一半以下。

[0162] 图 8 是表示凸部的配置状态的平面示意图, (a) 是假想的三角格子为正三角形时的状态, (b) 是假想的三角格子为等腰三角形时的状态。

[0163] 这里,如图 8(a) 所示,当假想的三角格子为正三角形时,对于各凸部 2c,位于最接近的距离 a1 的凸部 2c 间隔 60° 而存在 6 个。即,如图 8(a) 所示,将规定的凸部 2c 作为基准,最接近的凸部 2c 位于 0° 方向、 60° 方向、 120° 方向、 180° 方向、 240° 方向以及 300° 方向。其中, 0° 方向和 180° 方向、 60° 方向和 240° 方向、 120° 方向和 300° 方向是等价的方向。

[0164] 另外,其次接近距离 a2 的凸部 2c 位于 30° 方向、 90° 方向、 150° 方向、 210° 方向、 270° 方向以及 330° 方向。其中, 30° 方向和 210° 方向、 90° 方向和 270° 方向、 150° 方向和 330° 方向是等价的方向。即,假想的三角格子为正三角形的情况下,主要存在距离 a1 和距离 a2 的两种类的周期。

[0165] 另一方面,如图 8(b) 所示,当假想的三角格子为等腰三角形时,对于各凸部 2c,位于等边的距离 b1 的凸部 2c,如果底角为 θ 时,则位于 θ 方向、 $(180^\circ - \theta)$ 方向、 $(180^\circ + \theta)$ 方向、 $(360^\circ - \theta)$ 方向。其中, θ 方向和 $(180^\circ + \theta)$ 方向、以及, $(180^\circ - \theta)$ 方向和 $(360^\circ - \theta)$ 方向是等价的方向。

[0166] 另外,对于各凸部 2c,位于底边的距离 b2 的凸部 2c 位于 0° 方向和 180° 方向。这两个方向是等价的方向。

[0167] 进而,对于各凸部 2c,位于 $(2 \cdot b1 \cdot \sin \theta)$ 的距离 b3 的凸部 2c 位于 90° 方向和 270° 方向。这两个方向是等价的方向。

[0168] 进而,另外对于各凸部 2c,位于 $((3/2 \times b2)^2 + (b1 \cdot \sin \theta)^2)^{1/2}$ 的距离 b4 的凸部 2c 位于 $\tan^{-1}(b3/3 \cdot b2)$ 方向、 $(180^\circ - \tan^{-1}(b3/3 \cdot b2))$ 方向、 $(180^\circ + \tan^{-1}(b3/3 \cdot b2))$ 方向以及 $(360^\circ - \tan^{-1}(b3/3 \cdot b2))$ 方向。其中, $\tan^{-1}(b3/3 \cdot b2)$ 方向和 $(180^\circ + \tan^{-1}(b3/3 \cdot b2))$ 方向、以及、 $(180^\circ - \tan^{-1}(b3/3 \cdot b2))$ 方向和 $(360^\circ - \tan^{-1}(b3/3 \cdot b2))$ 方向是等价的方向。

[0169] 即,假想的三角格子为等腰三角形的情况下,主要存在距离 b1、距离 b2、距离 b3 以及距离 b4 的四种类的周期,可利用于光取出的衍射模式变多。

[0170] 图 9 是表示假想的三角格子或者四角格子为正多边形时的一个边的长度和光取出效率的关系的曲线图。

[0171] 如图 9 所示,将假想的三角格子或者四角格子作为正多边形,通过模拟的方式计算了一个边的长度和光取出效率的关系。具体地,将光的波长设为 450nm,计算了 GaN 系半导体和蓝宝石衬底的界面的从 GaN 系半导体向蓝宝石衬底的透射率。

[0172] 其结果,假想的三角格子中,将一个边的长度设为 460nm 以下的情况和设为 550nm 以上且 800nm 以下的情况时具有比较良好的透射率。另外,假想的四角格子中,将一个边的

长度设为 500nm 以下的情况时具有比较良好的透射率。

[0173] 图 10 是表示假想的三角格子为等腰三角形时的等边的长度和光取出效率的关系的曲线图。

[0174] 如图 10 所示,将假想的三角格子作为等腰三角形,通过模拟的方式计算了等边的长度和光取出效率的关系。具体地,将底边的长度设为 600nm、光的波长设为 450nm,计算了 GaN 系半导体和蓝宝石衬底的界面的从 GaN 系半导体向蓝宝石衬底的透射率。

[0175] 其结果,与将假想的三角格子作为正三角形时的情况同样,将等边的长度设为 460nm 以下的情况和设为 550nm 以上且 800nm 以下的情况时具有比较良好的透射率。

[0176] 另外,当等腰三角形的等边的长度和正三角形的一个边的长度相同时,将三角格子作为等腰三角形的情况一方透射率稍高。具体地,在等边以及一个边的长度为 400nm 时、460nm 时、500nm 时、700nm 透射率分别提高 4%、5%、1%、1%。此外,等腰三角形的底边为 600nm 而等边也为 600nm 时,与正三角形具有相等的透射率。另外,等边为 800nm 时,与一个边为 800nm 的正三角形是大体相等的透射率。

[0177] 由此,可理解为,假想的三角格子中,等腰三角形一方比正三角形的光取出效率更高。此时,等腰三角形的等边以及底边分别优选为 460nm 以下、或者 550nm 以上且 800nm 以下。另外,认为在 460nm 以下的区域和 550nm 以上且 800nm 以下的区域中,光的入射角度和透射率的关系呈现出不同的倾向。即,更优选等腰三角形的等边以及底边的一方设为 460nm 以下,而另一方设为 550nm 以上且 800nm 以下。

[0178] 在本实施方式中,如图 7(c) 所示,垂直化蛾眼面 2a 的各凸部 2c 具有:从平坦部 2b 向上方延伸的侧面 2d、从侧面 2d 的上端向凸部 2c 的中心侧弯曲延伸的弯曲部 2e、和与弯曲部 2e 连续地形成的平坦的上面 2f。如后述,通过由侧面 2d 和上面 2f 的会合部形成角的弯曲部 2e 形成前的凸部 2c 的湿式蚀刻去掉角,由此形成弯曲部 2e。此外,也可以实施湿式蚀刻,直至平坦的上面 2f 消失,凸部 2c 的上侧全体为弯曲部 2e。本实施方式中,具体而言,各凸部 2c 的基端部的直径为 380nm,高度为 350nm。蓝宝石衬底 2 的垂直化蛾眼面 2a 除各凸部 2c 外均为平坦部 2b,并助长半导体的横方向成长。

[0179] 另外,蓝宝石衬底 2 的背面的透射蛾眼面 2g 在俯视时以各凸部 2i 的中心为三角形的顶点的位置的方式以规定的周期排列形成于假想的三角格子的交点。各凸部 2i 的最短周期比从发光层 14 发出的光的光学波长的 2 倍小。本实施方式中,构成假想的三角格子的正三角形的一个边的长度为 300nm。即,各凸部 2i 的最短周期为 300nm。从发光层 14 发出的光的波长为 450nm,蓝宝石的折射率为 1.78,因此,其光学波长为 252.8nm。即,透射蛾眼面 2g 中的最短的周期比发光层 14 的光学波长的 2 倍小。此外,蛾眼面的周期只要为光学波长的 2 倍以下,就可以抑制界面的菲涅耳反射。菲涅耳反射抑制作用,只要凸部 2i 的最短周期比光学波长的 2 倍小就能够充分获得。另外,如果将凸部 2i 的全部周期都设为比光学波长的 2 倍小,则能够获得更大的菲涅耳反射抑制作用。透射蛾眼面 2g 的周期随着光学波长从 2 倍趋近于 1 倍,菲涅耳反射的抑制作用增大。如果蓝宝石衬底 2 的外部是树脂及空气,则透射蛾眼面 2g 的周期只要是光学波长的 1.25 倍以下,就可以得到与 1 倍以下大体相同的菲涅耳反射的抑制作用。

[0180] 在此,参照图 11 ~ 图 13C,对 LED 元件 1 用的蓝宝石衬底 2 的制作方法进行说明。图 11 是用于加工蓝宝石衬底的等离子体蚀刻装置的概略说明图。

[0181] 如图 11 所示,等离子体蚀刻装置 91 为感应耦合型 (ICP),具有:保持蓝宝石衬底 2 的平板状的衬底保持台 92、收纳衬底保持台 92 的容器 93、经由石英板 96 设置在容器 93 的上方的线圈 94、与衬底保持台 92 连接的电源 95。线圈 94 为立体螺旋形的线圈,从线圈中央供给高频率电力,线圈外周的末端接地。蚀刻对象的蓝宝石衬底 2 直接或经由输送用托盘载置于衬底保持台 92。在衬底保持台 92 内装有用于冷却蓝宝石衬底 2 的冷却机构,通过冷却控制部 97 控制。容器 93 具有供给口,可供给 O_2 气、Ar 气等各种气体。

[0182] 通过该等离子体蚀刻装置 1 进行蚀刻时,在衬底保持台 92 上载置蓝宝石衬底 2 后,排出容器 93 内的空气形成减压状态。而且,向容器 93 内供给规定的处理气体,调整容器 93 内的气体压力。之后,向线圈 94 及衬底保持台 92 供给规定时间的高输出的高频电力,生成反应气体的等离子体 98。通过该等离子体 98 进行蓝宝石衬底 2 的蚀刻。

[0183] 接着,参照图 12、图 13A、图 13B 及图 13C,对使用等离子体蚀刻装置 1 的蚀刻方法进行说明。

[0184] 图 12 是表示蚀刻方法的流程图。如图 12 所示,本实施方式的蚀刻方法包含下述工序:掩模层形成工序 S1、抗蚀剂膜形成工序 S2、图案形成工序 S3、残膜除去工序 S4、抗蚀剂改质工序 S5、掩模层的蚀刻工序 S6、蓝宝石衬底的蚀刻工序 S7、掩模层除去工序 S8、弯曲部形成工序 S9。

[0185] 图 13A 表示蓝宝石衬底及掩模层的蚀刻方法的过程,(a) 表示加工前的蓝宝石衬底,(b) 表示在蓝宝石衬底上形成掩模层的状态,(c) 表示在掩模层上形成抗蚀剂膜的状态,(d) 表示使模型与抗蚀剂膜接触的状态,(e) 表示在抗蚀剂膜形成有图案的状态。

[0186] 图 13B 表示蓝宝石衬底及掩模层的蚀刻方法的过程,(f) 表示除去抗蚀剂膜的残膜的状态,(g) 表示使抗蚀剂膜改质的状态,(h) 表示以抗蚀剂膜为掩模蚀刻掩模层的状态,(i) 表示以掩模层为掩模蚀刻蓝宝石衬底的状态。此外,改质后的抗蚀剂膜在图中通过涂抹来表现。

[0187] 图 13C 表示蓝宝石衬底及掩模层的蚀刻方法的过程,(j) 表示以掩模层为掩模进一步蚀刻蓝宝石衬底的状态,(k) 表示从蓝宝石衬底除去残留的掩模层的状态,(l) 表示对蓝宝石衬底实施湿式蚀刻的状态。

[0188] 首先,如图 13A(a) 所示,准备加工前的蓝宝石衬底 2。在蚀刻之前,用规定的清洗液清洗蓝宝石衬底 2。本实施方式中,蓝宝石衬底 2 为蓝宝石衬底。

[0189] 接着,如图 13A(b) 所示,在蓝宝石衬底 2 上形成掩模层 30(掩模层形成工序:S1)。本实施方式中,掩模层 30 具有:蓝宝石衬底 2 上的 SiO_2 层 31、 SiO_2 层 31 上的 Ni 层 32。各层 31、112 的厚度是任意的,但例如可以将 SiO_2 层设为 1nm 以上 100nm 以下,将 Ni 层 32 设为 1nm 以上 200nm 以下。另外,掩模层 30 也可以形成单层。掩模层 30 通过溅射法、真空蒸镀法、CVD 法等形式。

[0190] 接着,如图 13A(c) 所示,在掩模层 30 上形成抗蚀剂膜 40(抗蚀剂膜形成工序:S2)。本实施方式中,作为抗蚀剂膜 40 使用热塑性树脂,通过旋涂法以均匀的厚度形成。抗蚀剂膜 40 例如由环氧系树脂构成,厚度例如为 100nm 以上 300nm 以下。此外,作为抗蚀剂膜 40 也可以使用光固化性树脂。

[0191] 然后,使抗蚀剂膜 40 与蓝宝石衬底 2 一起加热软化,如图 13A(d) 所示,用模型 50 冲压抗蚀剂膜 40。在模型 50 的接触面形成有凹凸构造 51,抗蚀剂膜 40 沿着凹凸构造 51

变形。

[0192] 之后,一直保持冲压状态,使抗蚀剂膜 40 与蓝宝石衬底 2 一起冷却固化。然后,通过将模型 50 从抗蚀剂膜 40 剥离,如图 13A(e) 所示,在抗蚀剂膜 40 上转印凹凸构造 41 (图案形成工序:S3)。在此,凹凸构造 41 的周期为 $1\mu\text{m}$ 以下。本实施方式中,凹凸构造 41 的周期为 460nm。另外,在本实施方式中,凹凸构造 41 的凸部 43 的直径为 100nm 以上 300nm 以下,例如为 230nm。另外,凸部 43 的高度为 100nm 以上 300nm 以下,例如为 250nm。在该状态下,在抗蚀剂膜 40 的凹部形成有残膜 42。

[0193] 如上所述,将形成有抗蚀剂膜 40 的蓝宝石衬底 2 安装于等离子体蚀刻装置 1 的衬底保持台 92。然后,例如,通过等离子体灰化除掉残膜 42,如图 13B(f) 所示,使被加工材料即掩模层 30 露出(残膜除去工序:S4)。本实施方式中,作为等离子体灰化的处理气体使用 O_2 气。这时,抗蚀剂膜 40 的凸部 43 也受灰化的影响,凸部 43 的侧面 44 不与掩模层 30 的表面垂直,仅倾斜规定的角度。

[0194] 而且,如图 13B(g) 所示,在改质用条件下,使抗蚀剂膜 40 暴露在等离子体中,使抗蚀剂膜 40 改质,提高蚀刻选择比(抗蚀剂改质工序:S5)。本实施方式中,作为抗蚀剂膜 40 的改质用的处理气体使用 Ar 气。另外,本实施方式中,作为改质用条件,用于向蓝宝石衬底 2 侧感应等离子体的电源 95 的偏压输出设定为比后述的蚀刻用条件低。

[0195] 之后,在蚀刻用条件下暴露在等离子体内,以蚀刻选择比提高的抗蚀剂膜 40 为掩模进行作为被加工材料的掩模层 30 的蚀刻(掩模层的蚀刻工序:S6)。本实施方式中,作为抗蚀剂膜 40 的蚀刻用的处理气体使用 Ar 气。由此,如图 13B(h) 所示,在掩模层 30 上形成图案 33。

[0196] 在此,对于改质用条件和蚀刻用条件,可以适当变更处理气体、天线输出、偏压输出等,但,如本实施方式,优选使用相同的处理气体而变更偏压输出。具体而言,对于改质用条件,如果将处理气体设为 Ar 气,将线圈 94 的天线输出设为 350W,将电源 95 的偏压输出设为 50W,则可观察到抗蚀剂膜 40 的固化。此外,对于蚀刻用条件,如果将处理气体设为 Ar 气,将线圈 94 的天线输出设为 350W,将电源 95 的偏压输出设为 100W,则可观察到掩模层 30 的蚀刻。另外,对于蚀刻用条件,除降低偏压输出外,即使还降低天线输出,或减少气体流量,也可进行抗蚀的固化。

[0197] 接着,如图 13B(i) 所示,以掩模层 30 为掩模,进行蓝宝石衬底 2 的蚀刻(蓝宝石衬底的蚀刻工序:S7)。本实施方式中,在掩模层 30 上残留抗蚀剂膜 40 的状态下进行蚀刻。另外,进行作为处理气体使用 BCl_3 气体等氯系气体的等离子体蚀刻。

[0198] 而且,如图 13C(j) 所示,如果蚀刻继续进行,则在蓝宝石衬底 2 上形成垂直化蛾眼面 2a。本实施方式中,垂直化蛾眼面 2a 的凹凸构造的高度为 350nm。此外,也可以使凹凸构造的高度比 350nm 大。在此,凹凸构造的高度例如假设小到如 300nm,则如图 13B(i) 所示,也可以在抗蚀剂膜 40 残留的状态下结束蚀刻。

[0199] 在本实施方式中,通过掩模层 30 的 SiO_2 层 31,助长侧面蚀刻,垂直化蛾眼面 2a 的凸部 2c 的侧面 2d 倾斜。另外,通过抗蚀剂膜 40 的侧面 43 的倾斜角还可以控制侧面蚀刻的状态。此外,如果将掩模层 30 作为 Ni 层 32 的单层,则可以使凸部 2c 的侧面 2d 形成与主面大体垂直。

[0200] 另外,在本实施方式中,通过 Ni 层 32 的厚度来控制凸部 2c 的基端部的大小。本

申请的发明人发现,通过控制作为金属掩膜的 Ni 层 32 的厚度,能够调整凸部 2c 的基端部的直径。图 14 是表示使 Ni 层的厚度改变时的凸部的基端部的直径和凸部的高度的关系的曲线图。试验中全部使用同一个模型 50,使 Ni 层 32 的厚度和凸部 2c 的高度改变而获取了数据。具体而言,将 Ni 层 32 的厚度设为 50nm、75nm、100nm 的三种类型,将凸部 2c 的高度设为 400nm、500nm、600nm、700nm 的四种类。此外,对于蚀刻后的凸部 2c 的高度,也存在没有达到像严格期望的高度的试验品。如图 14 所示,可理解为 Ni 层 32 的厚度越厚,则凸部 2c 的基端部的直径越大。由此,可以无需改变模型 50 的型状,就能够使凸部 2c 的基端部变化。

[0201] 之后,如图 13C(k) 所示,使用规定的剥离液,除去残留于蓝宝石衬底 2 上的掩模层 30(掩模层除去工序:S8)。本实施方式中,通过使用高温的硝酸,除去 Ni 层 32 之后,使用氢氟酸除去 SiO₂层 31。另外,即使抗蚀剂膜 40 残留于掩模层 30 上,也可以通过高温的硝酸与 Ni 层 32 一起除去,但在抗蚀剂膜 40 的残留量多的情况下,优选通过 O₂灰化预先除去抗蚀剂膜 40。

[0202] 而且,如图 13C(l) 所示,通过湿式蚀刻,除去凸部 2c 的角而形成弯曲部(弯曲部形成工序:S9)。在此,蚀刻液是任意的,例如可以使用加热到 170℃左右的磷酸水溶液即所谓的“热磷酸”。此外,该弯曲部形成工序可以适当省略。经过以上的工序,可制作表面具有凹凸构造的蓝宝石衬底 2。

[0203] 根据该蓝宝石衬底 2 的蚀刻方法,因将抗蚀剂膜 40 曝露在等离子体使其改质,所以可以提高掩模层 30 和抗蚀剂膜 40 的蚀刻的选择比。由此,容易对掩模层 30 实施细微、深的形状的加工,可以充分地形成微细的形状的掩模层 30。

[0204] 另外,通过等离子体蚀刻装置 1,可以连续地进行抗蚀剂膜 40 的改质和掩模层 30 的蚀刻,工时数也没有显著增加。本实施方式中,通过使电源 95 的偏压输出变化,进行抗蚀剂膜 40 的改质和掩模层 30 的蚀刻,可以简单地提高抗蚀剂膜 40 的选择比。

[0205] 另外,以充分厚的掩模层 30 为掩模,进行蓝宝石衬底 2 的蚀刻,因此,容易对蓝宝石衬底 2 实施细微且深的形状的加工。特别是在蓝宝石衬底上,形成周期为 1 μm 以下深度为 300nm 以上的凹凸构造目前通过在形成有掩模层的衬底上形成抗蚀剂膜,利用抗蚀剂膜进行掩模层的蚀刻的蚀刻方法是不可能的,但用本实施方式的蚀刻方法是可能的。特别是在本实施方式的蚀刻方法中,适宜形成周期为 1 μm 以下深度为 500nm 以上的凹凸构造。

[0206] 纳米级周期的凹凸构造称为蛾眼,但在蓝宝石上进行该蛾眼的加工的情况下,由于蓝宝石是难削磨材料,所以仅可以加工至 200nm 左右的深度。然而,200nm 左右的台阶中有时作为蛾眼是不充分。本实施方式的蚀刻方法可以说是解决了对蓝宝石衬底实施蛾眼加工的情况的新的课题。

[0207] 此外,作为被加工材料,表示了由 SiO₂/Ni 构成的掩模层 30,但当然掩模层 30 也可以是 Ni 的单层或其它材料。总之,只要是使抗蚀剂改质并提高掩模层 30 和抗蚀剂膜 40 的蚀刻选择比即可。

[0208] 另外,表示了使等离子体蚀刻装置 1 的偏压输出变化来作为改质用条件和蚀刻用条件的情况,但除了使天线输出、气体流量变化外,例如也可以通过变更处理气体而设定。总之,改质用条件只要是在抗蚀剂在等离子体曝露时改质,蚀刻选择比提高的条件即可。

[0209] 另外,表示了作为掩模层 30 包含 Ni 层 32 的情况,但即使是其它材料的蚀刻,不用

说也可以应用本发明。此外,本实施方式的蓝宝石衬底的蚀刻方法也可以适用于 SiC、Si、GaAs、GaN、InP、ZnO 等衬底。

[0210] 在如上制作的蓝宝石衬底 2 的垂直化蛾眼面 2a,利用横方向成长使由 III 族氮化物半导体构成的半导体层叠部 19 外延成长(半导体形成工序),形成 p 侧电极 27 及 n 侧电极 28(电极形成工序)。之后,在蓝宝石衬底 2 的背面通过与表面的垂直化蛾眼面 2a 同样的工序形成凸部 2i 后,通过切割分割为多个 LED 元件 1,由此,制造出 LED 元件 1。

[0211] 这里,本申请的发明人对使蓝宝石衬底 2 的平坦部 2b 的比例发生变化,并且使半导体层叠部 19 为规定厚度时,位错密度是否变为规定值以下的情况进行了考查。具体而言,将平坦部 2b 作为 C 面,并使凸部 2c 的周期等发生变化,对半导体层叠部 19 的厚度为 $2.5\mu\text{m}$ 时位错密度是否为 $2\times 10^8/\text{cm}^2$ 以下的情况进行了考查。考查使用凸部 2c 以位于正三角形的顶点的位置的方式排列形成在三角格子的交点的试验品进行。该考查结果如图 15 所示。图 15 是表示凸部 2c 的周期以及 C 面区域的比例、和位错密度是否为规定值以下的表格。此外,图 15 中所示的周期是与正三角形的一个边的长度相当的周期。

[0212] 如图 15 所示,可理解为当凸部 2c 的周期为 600nm 以上时,则位错密度为 $2\times 10^8/\text{cm}^2$ 以下。另外,可理解为即使周期为 460nm,只要平坦部 2b 的比例为 41% 以上,则位错密度就为 $2\times 10^8/\text{cm}^2$ 以下。即,通过将凸部 2c 的周期设为 600nm 以上或者将平坦部 2b 的比例设为 41% 以上,则即使半导体层叠部 19 变薄也能够获得良好的结晶品质。

[0213] 在如上构成的 LED 元件 1 中,通过将平坦部 2b 的比例设为 41% 以上,则能够不损害发光层 14 的结晶品质,而使半导体层叠部 19 变薄。另外,只要具有与目前的同等程度的半导体层叠部 19 的厚度,就能够提高发光层 14 的结晶品质,能够进一步提高光取出效率。

[0214] 另外,通过控制金属掩膜的厚度,能够控制凸部 2c 的基端部,从而可以使用相同的模型 50 制造不同的凸部 2c,能够实现模型 50 的通用化从而降低制造成本。

[0215] 另外,由于具备垂直化蛾眼面 2a,因此,在蓝宝石衬底 2 和 III 族氮化物半导体层的界面以超过全反射临界角的角度入射的光可以形成相对于界面偏垂直。另外,因具备抑制菲涅耳反射的透射蛾眼面 2g,所以在蓝宝石衬底 2 和元件外部的界面,可以顺利地元件外部取出偏垂直的光。这样,虽然蓝宝石衬底 2 的表面和背面均进行凹凸加工,但被赋予垂直化功能和菲涅耳反射抑制功能这两种不同的功能,通过这些功能的协同效果,可以质地提高光取出效率。

[0216] 另外,可使从发光层 14 发出的光达到蓝宝石衬底 2 的背面的距离极短,可以抑制元件内部的光的吸收。LED 元件中,超过界面的临界角的角度区域的光会向横方向传递,因此,存在会在元件内部吸收光的问题,但通过垂直化蛾眼面 2a 将超过临界角的角度区域的光形成偏垂直,可抑制偏垂直的光的透射蛾眼面 2g 的菲涅耳反射,因此,可以质地减少在元件内部吸收的光。

[0217] 另外,蓝宝石衬底 2 的表面具有以俯视时配置在假想的三角格子的交点的多个凸部 2c,当使构成假想的三角格子的三角形不是正三角形时,则能够利用多种衍射模式取出光。尤其是,使构成假想的三角格子的三角形的一个边的长度为蓝色光的光学波长的 2 倍以上 460nm 以下、或者 550nm 以上且 800nm 以下时,则能够提高光取出效率。另外,使构成假想的三角格子的三角形为等腰三角形时,则能够规则地配置凸部 2c,并且增加衍射模式。进而,通过将等腰三角形的等边设为蓝色光的光学波长的 2 倍以上且 460nm 以下,将底边设

为 550nm 以上且 800 以下,则能够利用不同性质的衍射模式取出光。

[0218] 在此,本申请发明人发现,作为 p 侧电极 27 及 n 侧电极 28,使用电介质多层膜 22、25 及金属层 23、26 的组合,由此,LED 元件 1 的光取出效率显著增大。即,根据电介质多层膜 22、25 和金属层 23、26 的组合,越接近与界面垂直的角度,反射率越高,对相对于界面偏垂直的光成为有利的反射条件。

[0219] 图 16 是表示实施例 1 的反射部的反射率的曲线图。实施例 1 中将形成于 IT0 上的电介质多层膜通过 ZrO_2 和 SiO_2 的组合,将对数设为 5,与电介质多层膜重叠而形成 A1 层。如图 16 所示,在入射角从 0 度~45 度的角度区域实现 98% 以上的反射率。另外,在入射角从 0 度~75 度的角度区域实现 90% 以上的反射率。这样,电介质多层膜和金属层的组合对相对于界面偏垂直的光为有利的反射条件。

[0220] 图 17 是表示实施例 2 的反射部的反射率的曲线图。实施例 2 中,在 IT0 上只形成 A1 层。如图 17 所示,不论入射角,大体为 84% 的一定的反射率。这样,也可以将反射部作为仅 A1 层的金属的单层。

[0221] 图 18 是表示本发明第二实施方式的 LED 元件的示意剖面图。

[0222] 如图 18 所示,该 LED 元件 101 是在蓝宝石衬底 102 的表面上形成有由 III 族氮化物半导体层构成的半导体层叠部 119 的元件。该 LED 元件 101 是面朝上型,主要从蓝宝石衬底 102 的相反侧取出光。半导体层叠部 119 从蓝宝石衬底 102 侧按顺序具有缓冲层 110、n 型 GaN 层 112、发光层 114、电子阻挡层 116、p 型 GaN 层 118。在 p 型 GaN 层 118 上形成有 p 侧电极 127,并且在 n 型 GaN 层 112 上形成有 n 侧电极 128。

[0223] 如图 18 所示,缓冲层 110 形成于蓝宝石衬底 102 的表面上,由 AlN 构成。n 型 GaN 层 112 形成于缓冲层 110 上,由 n - GaN 构成。发光层 114 形成于 n 型 GaN 层 112 上,由 GaInN/GaN 构成。本实施方式中,发光层 114 的发光峰值波长为 450nm。

[0224] 电子阻挡层 116 形成于发光层 114 上,由 p - AlGaIn 构成。p 型 GaN 层 118 形成于电子阻挡层 116 上,由 p - GaN 构成。从 n 型 GaN 层 112 至 p 型 GaN 层 118 通过 III 族氮化物半导体的外延成长而形成,在蓝宝石衬底 102 的表面周期性形成有凸部 102c,但在 III 族氮化物半导体的成长初期实现横方向成长的平坦化。此外,至少还包含第一导电型层、活性层及第二导电型层,只要在对第一导电型层及第二导电型层施加电压时,通过电子及空穴的再结合在活性层发光,则半导体层的层构成是任意的。

[0225] 本实施方式中,蓝宝石衬底 102 的表面形成垂直化蛾眼面 102a,p 侧电极 127 形成透射蛾眼面 127g。蓝宝石衬底 102 的表面形成有平坦部 102b、周期性形成于平坦部 102b 的多个凸部 102c。另外,蓝宝石衬底 102 构成为俯视时平坦部 102b 的比例为 40% 以上。各凸部 102c 的形状除圆锥、多角锥等锥状外,还可以采用切掉锥的上部的圆锥台、多角锥台等锥台状。各凸部 102c 以衍射从发光层 114 发出的光的方式设计。本实施方式中,通过周期性配置的各凸部 102c,可以得到光的垂直化作用。

[0226] p 侧电极 127 具有形成于 p 型 GaN 层 118 上的扩散电极 121、形成于扩散电极 121 上的局部的焊盘电极 122。扩散电极 121 全面地形成于 p 型 GaN 层 118,例如,由 IT0 (Indium Tin Oxide) 等透明材料构成。另外,焊盘电极 122 例如由 Al 等金属材料构成。扩散电极 121 的表面形成有平坦部 127h、和周期性形成于平坦部 127h 的多个凸部 127i。各凸部 127i 的形状除圆锥、多角锥等锥状外,还可以采用切掉锥的上部的圆锥台、多角锥台等锥台状。

透射蛾眼面的凸部 127i 的周期比发光层 114 的光学波长的 2 倍小。本实施方式中,通过周期性配置的各凸部 127i 抑制和外部的界面的菲涅耳反射。

[0227] n 侧电极 128 形成于从 p 型 GaN 层 118 蚀刻 n 型 GaN 层 112, 露出的 n 型 GaN 层 112 上。n 侧电极 128 形成于 n 型 GaN 层 112 上, 例如由 Al 等金属材料构成。

[0228] 图 19 是 LED 元件的局部放大示意剖面图。

[0229] 如图 19 所示, 在蓝宝石衬底 102 的背面侧形成有电介质多层膜 124。电介质多层膜 124 由折射率不同的第一材料 124a 和第二材料 124b 重复多对而构成。电介质多层膜 124 由金属层即 Al 层 126 被覆。在该发光元件 101 中, 电介质多层膜 124 及 Al 层 126 形成反射部, 由该反射部反射从发光层 114 发出并通过衍射作用透过了垂直化蛾眼面 102a 的光。而且, 将通过衍射作用透射的光再入射到衍射面 102a, 可以通过在衍射面 102a 再次利用衍射作用进行透射, 由此, 能够以多种模式向元件外部取出光。

[0230] 在如上构成的 LED 元件 101 中, 通过将平坦部 102b 的比例设为 41% 以上, 则能够不损害发光层 114 的结晶品质, 而使半导体层叠部 119 变薄。另外, 只要具有与目前的同等程度的半导体层叠部 119 的厚度, 就能够提高发光层 114 的结晶品质, 能够进一步提高光取出效率。

[0231] 另外, 因具备垂直化蛾眼面 102a, 所以在蓝宝石衬底 102 和 III 族氮化物半导体层的界面, 可以将以超过全反射临界角的角度入射的光形成偏垂直。另外, 因具备透射蛾眼面 127g, 所以在蓝宝石衬底 102 和元件外部的界面, 可以抑制作为偏垂直的光的菲涅耳反射。由此, 可以质地提高光取出效率。

[0232] 另外, 从发光层 114 发出的光可以明显地缩短到达 p 侧电极 127 的表面的距离, 可以抑制元件内部的光的吸收。在 LED 元件中, 超过界面的临界角角度区域的光会向横方向传播, 所以存在会在元件内部吸收光的问题, 但通过在垂直化蛾眼面 102a 使超过临界角的角度区域的光为偏垂直, 可以质地减少由元件内部吸收的光。

[0233] 另外, 蓝宝石衬底 102 的表面具有以俯视时配置在假想的三角格子的交点的多个凸部 102c, 当使构成假想的三角格子的三角形不是正三角形时, 则能够利用多种衍射模式取出光。尤其是, 使构成假想的三角格子的三角形的一个边的长度为蓝色光的光学波长的 2 倍以上且 460nm 以下、或者 550nm 以上且 800nm 以下时, 则能够提高光取出效率。另外, 使构成假想的三角格子的三角形为等腰三角形时, 则能够规则地配置凸部 102c, 并且增加衍射模式。进而, 通过将等腰三角形的等边设为蓝色光的光学波长的 2 倍以上 460nm 以下, 将底边设为 550nm 以上且 800nm 以下, 则能够利用不同性质的衍射模式取出光。

[0234] 在此, 本申请发明人发现, 通过使用电介质多层膜 124 及金属层 126 的组合作为蓝宝石衬底 102 的背面的反射部, LED 元件 101 的光取出效率显著增大。即, 当为电介质多层膜 124 和金属层 126 的组合时, 越接近与界面垂直的角度, 反射率越高, 对相对于界面偏垂直的光为有利的反射条件。

[0235] 图 20 是表示实施例 3 的反射部的反射率的曲线图。实施例 3 中, 将形成于蓝宝石衬底上的电介质多层膜通过 ZrO_2 和 SiO_2 的组合, 将对数为 5, 与电介质多层膜重叠形成 Al 层。如图 20 所示, 在入射角从 0 度~55 度的角度区域, 实现 99% 以上的反射率。另外, 在入射角从 0 度~60 度的角度区域实现 98% 以上的反射率。另外, 在入射角从 0 度~75 度的角度区域实现 92% 以上的反射率。这样, 电介质多层膜和金属层的组合, 对相对于界面偏

垂直的光为有利的反射条件。

[0236] 图 21 是表示实施例 4 的反射部的反射率的曲线图。实施例 4 中,在蓝宝石衬底上仅形成 A1 层。如图 21 所示,不论入射角,为大体 88% 的一定的反射率。如此,也可以将反射部作为仅 A1 层的金属的单层。

[0237] 图 22 是表示本发明第三实施方式的 LED 元件的示意剖面图。

[0238] 如图 22 所示,该 LED 元件 201 是面朝上型,是在蓝宝石衬底 202 的表面上形成有由 III 族氮化物半导体层构成的半导体层叠部 219 的元件。半导体层叠部 219 从蓝宝石衬底 202 侧按顺序具有缓冲层 210、n 型 GaN 层 212、发光层 214、电子阻挡层 216、p 型 GaN 层 218。在 p 型 GaN 层 218 上形成有 p 侧电极 227,并且在 n 型 GaN 层 212 上形成有 n 侧电极 228。

[0239] 如图 22 所示,缓冲层 210 形成于蓝宝石衬底 2 的表面上,由 AlN 构成。本实施方式中,缓冲层 210 通过 MOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition) 法形成,但也可以使用溅射法。作为第一导电型层的 n 型 GaN 层 212 形成于缓冲层 210 上,由 n - GaN 构成。发光层 214 形成于 n 型 GaN 层 212 上,由 GaInN/GaN 构成,通过电子及空穴的注入而发出蓝色光。在此,蓝色光是指例如峰值波长为 430nm 以上且 480nm 以下的光。本实施方式中,发光层 214 的发光峰值波长为 450nm。

[0240] 电子阻挡层 216 形成于发光层 214 上,由 p - AlGaIn 构成。作为第二导电型层的 p 型 GaN 层 218 形成于电子阻挡层 216 上,由 p - GaN 构成。从 n 型 GaN 层 212 至 p 型 GaN 层 218 通过 III 族氮化物半导体的外延成长而形成,在蓝宝石衬底 2 的表面周期性地形成有凸部 2c,但在 III 族氮化物半导体的成长初期实现横方向成长的平坦化。此外,至少包含第一导电型层、活性层及第二导电型层,只要是在对第一导电型层及第二导电型层施加电压时,只要通过电子及空穴的再结合使活性层发光,则半导体层的层构成就是任意的。

[0241] 蓝宝石衬底 202 的表面形成垂直化蛾眼面 202a, p 侧电极 227 形成透射蛾眼面 227g。蓝宝石衬底 202 的表面形成有平坦部 202b、以及周期性地形成于平坦部 202b 的多个凸部 202c。另外,蓝宝石衬底 202 构成为俯视时平坦部 202b 的比例为 40% 以上。各凸部 202c 的形状除圆锥、多角锥等锥状外,还可以采用切掉锥的上部的圆锥台、多角锥台等锥台状。各凸部 202c 以衍射从发光层 214 发出的光的方式设计。本实施方式中,通过周期性配置的各凸部 202c,可以得到光的垂直化作用。在此,光的垂直化作用是指光的强度分布与向垂直化蛾眼面入射前相比,反射及透射之后的一方偏向相对于蓝宝石衬底 202 和半导体层叠部 219 的界面垂直的方向。

[0242] 在蓝宝石衬底 202 的背面侧形成有电介质多层膜 224。电介质多层膜 224 由金属层即 A1 层 226 被覆。在该发光元件 201 中,电介质多层膜 224 及 A1 层 226 形成反射部,由该反射部反射从发光层 214 发出并通过衍射作用透过了垂直化蛾眼面 202a 的光。而且,将通过衍射作用透射的光再入射到衍射面 202a,可以通过在衍射面 202a 再次利用衍射作用进行透射,由此,能够以多种模式向元件外部取出光。

[0243] p 侧电极 227 具有形成于 p 型 GaN 层 218 上的扩散电极层 221、和形成于扩散电极层 221 上的蛾眼层 222。另外,本实施方式中, p 侧电极 227 具有贯穿扩散电极层 221 以及蛾眼层 222 并与 p 型 GaN 层 218 相接触的焊盘电极 223。扩散电极层 221 形成于除焊盘电极 223 的形成区域之外的 p 型 GaN 层 218 上,由透明材料构成。蛾眼层 222 形成于除焊盘

电极 223 的形成区域之外的扩散电极层 221 上,由透明材料构成。蛾眼层 222 由消光系数比构成扩散电极层 221 的材料小且折射率与构成扩散电极层 221 的材料大体相同的材料构成。折射率大体相同是指,在此扩散电极层 221 和蛾眼层 222 的折射率的差为相对于蛾眼层 222 的折射率为 20% 以内。另外,扩散电极层 221 由表面电阻比蛾眼层 222 小的材料构成,比蛾眼层 222 更薄地形成。另外,扩散电极层 221 的厚度比蛾眼层 222 更薄。另外,焊盘电极 223 例如由 Al 等金属材料构成。另外,焊盘电极 223 由相对于半导体层叠部 219 的附着力比相对于扩散电极层 221 的附着力更高的材料构成。

[0244] 本实施方式中,扩散电极层 221 由厚度 100nm 的 ITO (Indium Tin Oxide) 形成,蛾眼层 222 由厚度 400nm 的 ZrO_2 形成。针对 450nm 波长的光,ITO 的消光系数为 0.04, ZrO_2 的消光系数大体为 0。另外,针对 450nm 波长的光,ITO 的折射率为 2.04, ZrO_2 的折射率为 2.24。此外,作为扩散电极层 221 例如可以使用 IZO (indium zinc oxide) 等材料,作为蛾眼层 222 例如也可以使用 Nb_2O_5 等材料。

[0245] 蛾眼层 222 的表面形成有平坦部 227h、和周期性形成于平坦部 227h 的多个凸部 227i。各凸部 227i 的形状除圆锥、多角锥等锥状外,还可以采用切掉锥的上部的圆锥台、多角锥台等锥台状。透射蛾眼面的凸部 227i 的周期比发光层 214 的光学波长的 2 倍小。本实施方式中,通过周期性地配置的各凸部 227i 抑制和外部的界面的菲涅耳反射。

[0246] n 侧电极 228 形成于从 p 型 GaN 层 218 蚀刻 n 型 GaN 层 212,露出的 n 型 GaN 层 212 上。n 侧电极 228 形成于 n 型 GaN 层 212 上,例如由 Al 等金属材料构成。

[0247] 图 23 是表示元件内部的光的行进方向的说明图。

[0248] 如图 23 所示,从发光层 214 发出的光中,向蓝宝石衬底 202 超过临界角入射的光在垂直化蛾眼面 202a 比入射时向偏垂直的方向透射及反射。即,由垂直化蛾眼面 202a 反射的光,在向偏垂直角度变化的状态下向透射蛾眼面 227g 入射。另外,透过垂直化蛾眼面 202a 的光,在向偏垂直角度变化的状态下通过由后叙的电介质多层膜 224 以及 Al 层 226 构成的反射部反射后,再次入射到垂直化蛾眼面 202a。这时的入射角比前面的入射角偏垂直。其结果,可以使向透射蛾眼面 227g 入射的光偏垂直。

[0249] 另外,p 侧电极 227 的透射蛾眼面 227g 在俯视时以各凸部 227i 的中心为正三角形的顶点的位置的方式以规定的周期排列形成于假想的三角格子的交点。各凸部 227i 的最短周期比从发光层 214 发出的光的光学波长的 2 倍小。即,在透射蛾眼面 227g 中菲涅耳反射得到抑制。本实施方式中,构成假想的三角格子的正三角形的一个边的长度为 300nm。即,各凸部 227i 的最短周期为 300nm。从发光层 214 发出的光的波长为 450nm, ZrO_2 的折射率为 2.24,因此,其光学波长为 200.9nm。即,透射蛾眼面 227g 的最短的周期比发光层 214 的光学波长的 2 倍小。此外,蛾眼面的周期只要为光学波长的 2 倍以下,就可以抑制界面的菲涅耳反射。菲涅耳反射抑制作用,只要凸部 227i 的最短周期比光学波长的 2 倍小就能够充分获得。另外,如果将凸部 227i 的全部周期都设为比光学波长的 2 倍小,则能够获得更大的菲涅耳反射抑制作用。透射蛾眼面 227g 的周期随着光学波长从 2 倍趋近于 1 倍,菲涅耳反射的抑制作用增大。如果蛾眼层 222 的外部是树脂及空气,则透射蛾眼面 227g 的周期只要是光学波长的 1.25 倍以下,就可以得到与 1 倍以下大体相同的菲涅耳反射的抑制作用。

[0250] 接着,参照图 24 以及图 25 对 p 侧电极 227 的透射蛾眼面 227g 的形成方法进行说明。图 24 是加工蛾眼层的说明图,(a) 表示在透射蛾眼面形成有第一掩膜层的状态,(b) 表

示在第一掩膜层上形成有抗蚀剂层的状态, (c) 表示对抗蚀剂层有选择性地照射电子射线的状态, (d) 表示将抗蚀剂层显影并除去的状态, (e) 表示形成有第二掩膜层的状态。

[0251] 首先, 如图 24(a) 所示, 在蛾眼层 222 的表面形成第一掩膜层 330。第一掩膜层 330 例如由 SiO_2 形成, 通过溅射法、真空蒸镀法、CVD 法等形式形成。第一掩膜层 330 的厚度可以是任意, 例如为 $1.0\ \mu\text{m}$ 。

[0252] 接着, 如图 24(b) 所示, 在蛾眼层 222 的第一掩膜层 330 上形成抗蚀剂层 332。抗蚀剂层 332 例如由日本化成工业公司 (ゼオン社) 生产的 ZEP 等电子束感光材料形成, 涂沫在第一掩膜层 330 上。抗蚀剂层 332 的厚度可以是任意, 例如为 $100\text{nm} \sim 2.0\ \mu\text{m}$ 。

[0253] 接着, 如图 24(c) 所示, 隔离抗蚀剂层 332 并设置型版掩膜 334。抗蚀剂层 332 和型版掩膜 334 之间间隔 $1.0\ \mu\text{m} \sim 100\ \mu\text{m}$ 的间隙。型版掩膜 334 例如由钻石、 SiC 等材料形成, 厚度可以是任意, 例如为 $500\text{nm} \sim 100\ \mu\text{m}$ 。型版掩膜 334 具有选择性地透射电子射线的开口 334a。

[0254] 然后, 如图 24(c) 所示, 向型版掩膜 334 照射电子射线, 将抗蚀剂层 332 暴露于穿过型版掩膜 334 的各开口 334a 的电子射线。具体而言, 例如使用 $10 \sim 100\ \mu\text{C}/\text{cm}^2$ 的电子束, 将型版掩膜 334 的图案转印到抗蚀剂层 332。

[0255] 电子射线的照射完成之后, 利用规定的显影液显影抗蚀剂层 332。由此, 如图 24(d) 所示, 电子射线照射的部位显影液溶出, 残留电子射线没有照射的部位, 而形成开口 332a。作为抗蚀剂层 332 当使用了日本化成工业公司 (ゼオン社) 生产的 ZEP 时, 则作为显影液例如可以使用醋酸铝。

[0256] 接着, 如图 24(e) 所示, 在抗蚀剂层 332 被图案化的第一掩膜层 330 上形成第二掩膜层 336。由此, 在第一掩膜层 330 上利用电子射线照射而对第二掩膜层 336 图案化。第二掩膜层 336 例如由 Ni 形成, 通过溅射法、真空蒸镀法、CVD 法等形式形成。第二掩膜层 336 的厚度可以是任意, 例如为 20nm 。

[0257] 图 25 是加工蛾眼层的说明图, (a) 表示完全除去抗蚀剂层的状态, (b) 表示以第二掩膜层为掩膜蚀刻第一掩膜层的状态, (c) 表示除去第二掩膜层的状态, (d) 表示以第一掩膜层为掩膜蚀刻透射蛾眼面的状态, (e) 表示除去第一掩膜层的状态。

[0258] 如图 25(a) 所示, 使用剥离液除去抗蚀剂层 332。例如可以通过将抗蚀剂层 332 浸泡在剥离液中并且照射超声波仅规定时间除去。具体而言, 作为剥离液例如可以使用二乙基甲酮。由此, 在第一掩膜层 330 上形成将型版掩膜 334 的开口 334a 的图案反转了的第二掩膜层 336 的图案。

[0259] 接着, 如图 25(b) 所示, 将第二掩膜层 336 作为掩膜进行第一掩膜层 330 的干式蚀刻。由此, 在第一掩膜层 330 形成开口 330a, 并形成第一掩膜层 330 的图案。此时, 作为蚀刻气体, 使用蛾眼层 222 以及第一掩膜层 330 比第二掩膜层 336 更有耐性的气体。例如, 在第一掩膜层 330 为 SiO_2 、第二掩膜层 336 为 Ni 的情况下, 当使用 SF_6 等氟系气体时, 则相对于 SiO_2 , Ni 蚀刻的选择比为 100 左右, 因此, 能够可靠地进行第一掩膜层 330 的图案化。

[0260] 然后, 如图 25(c) 所示, 除去第一掩膜层 330 上的第二掩膜层 336。第一掩膜层 330 为 SiO_2 、第二掩膜层 336 为 Ni 的情况下, 可以通过浸渍在用水稀释以 1:1 左右比例混合的盐酸以及硝酸中, 或者通过利用氩气的干式蚀刻除去 Ni 。

[0261] 接着, 如图 25(d) 所示, 将第一掩膜层 330 作为掩膜进行蛾眼层 222 的干式蚀刻。

此时,蛾眼层 222 中仅除去了第一掩膜层 330 的部位暴露于蚀刻气体中,因此,能够在蛾眼层 222 上转印型版掩膜 334 的各开口 334a 的反转图案。此时,由于第一掩膜层 330 比蛾眼层 222 对蚀刻气体的耐性更大,因此,可以选择性地蚀刻没有被第一掩膜层 330 被覆的位置。之后,在蛾眼层 222 的蚀刻深度达到所期望的深度时结束蚀刻。在此,作为蚀刻气体,例如可以使用 Cl_2 等氯系气体、以及氟系气体。而且,由于氟系气体不可以蚀刻 ITO,因此,在使用 ITO 作为电流扩散层 221 的情况下,不会出现超越蛾眼层 222 而使电流扩散层 221 被加工的情况。即,作为凹凸形成蛾眼层 222 所需的最小限度的厚度,即使蚀刻时电流扩散层 221 露出,也不会使电流扩散层 221 被蚀刻。

[0262] 然后,如图 25(e) 所示,使用规定的剥离液除去残留在蛾眼层 222 上的第一掩膜层 330。作为剥离液,例如在第一掩膜层 330 使用 SiO_2 的情况下可以使用稀氢氟酸。此时,如果在 p 型 GaN 层 218 的焊盘电极 223 形成区域形成有由 SiO_2 形成的掩膜,则该掩膜也能够一起除去。然后,在蛾眼层 222 上形成焊盘电极 223。这样,在 p 侧电极 227 的表面形成凸部 227i 之后,利用切割分割成多个 LED 元件 201,由此,来制造 LED 元件 201。

[0263] 如上所述构成的 LED 元件 201 中,从半导体层叠部 219 流向 p 侧电极 227 的电流,经由扩散电极层 221 使电流扩散后,向焊盘电极 223 流入电流。此时,扩散电极层 221 由于表面电阻低,因此,能够可靠地扩散电流。而且,由于焊盘电极 223 与电流扩散层 221 直接接触,因此,无需经由蛾眼层 222,而能够使电流从电流扩散层 221 向焊盘电极 223 直接地流入。在此,由于焊盘电极 223 是比扩散电极层 221 相对于半导体层叠部 219 的附着力更高的材料,因此,焊盘电极 223 不会由于机械负荷等而从半导体层叠部 219 简单地剥离。

[0264] 另一方面,入射到 p 侧电极 227 的光,通过扩散电极层 221、蛾眼层 222 而射出到元件外部。在此,由于将消光系数高的扩散电极层 221 做成薄型,将消光系数低的蛾眼层 222 做成较厚,因此可以减小 p 侧电极 227 的光吸收。由此,能够提高 LED 元件 201 的光取出效率。另外,由于扩散电极层 221 和蛾眼层 222 折射率大体相同,因此,能够抑制在其界面的全反射。

[0265] 另外,由于具备垂直化蛾眼面 202a,因此,在蓝宝石衬底 202 和 III 族氮化物半导体层的界面以超过全反射临界角的角度入射的光可以形成相对于界面偏垂直。另外,因具备抑制菲涅耳反射的透射蛾眼面 227g,所以在蓝宝石衬底 202 和元件外部的界面,可以顺利地向元件外部取出偏垂直的光。这样,可以质地提高光取出效率。

[0266] 另外,可使从发光层 214 发出的光达到透射蛾眼面 227g 的距离极短,可以抑制元件内部的光的吸收。LED 元件中,超过界面的临界角的角度区域的光会向横方向传递,因此,存在会在元件内部吸收光的问题,但通过垂直化蛾眼面 202a 将超过临界角的角度区域的光形成偏垂直,可抑制偏垂直的光的透射蛾眼面 227g 的菲涅耳反射,因此,可以质地减少在元件内部吸收的光。

[0267] 另外,通过将平坦部 202b 的比例设为 41% 以上,则能够不损害发光层 214 的结晶品质,而使半导体层叠部 219 变薄。另外,只要具有与目前的同等程度的半导体层叠部 219 的厚度,就能够提高发光层 214 的结晶品质,能够进一步提高光取出效率。

[0268] 另外,使蓝宝石衬底 202 的表面具有以俯视时配置在假想的三角格子的交点的多个凸部 202c,当使构成假想的三角格子的三角形不是正三角形时,则能够利用多种衍射模式取出光。尤其是,使构成假想的三角格子的三角形的一个边的长度为蓝色光的光学波长

的 2 倍以上且 460nm 以下、或者 550nm 以上且 800nm 以下时,则能够提高光取出效率。另外,使构成假想的三角格子的三角形为等腰三角形时,则能够规则地配置凸部 202c,并且增加衍射模式。进而,通过将等腰三角形的等边设为蓝色光的光学波长的 2 倍以上且 460nm 以下,将底边设为 550nm 以上且 800nm 以下,则能够利用不同性质的衍射模式取出光。

[0269] 在此,本申请发明人发现,通过使用电介质多层膜 224 及金属层 226 的组合作为蓝宝石衬底 202 的背面的反射部,LED 元件 201 的光取出效率显著增大。即,当为电介质多层膜 224 和金属层 226 的组合时,越接近与界面垂直的角度,反射率越高,对相对于界面偏垂直的光为有利的反射条件。

[0270] 此外,在上述各实施方式,表示由周期性形成的凸部构成垂直化蛾眼面及透射蛾眼面的构造,但不用说也可以由周期性形成的凹部构成各蛾眼面。另外,表示透射蛾眼面仅形成在 p 侧电极的构造,但也可以进一步形成在 n 侧电极。另外,凸部或凹部除排列形成于三角格子的交点外,例如,也可以排列形成于假想的正方格子的交点。

[0271] 以上,对本发明的实施方式进行了说明,但上述记载的实施方式并不是限定本发明请求的范围的内容。另外,请留意在实施方式中所说明的特征的组合的全部并不限定于是用于解决发明的课题的必须的手段。

[0272] 产业上的可利用性

[0273] 本发明的 LED 发光元件及其制造方法,可以使光取出效率进一步提高,因此,在产业上有用。

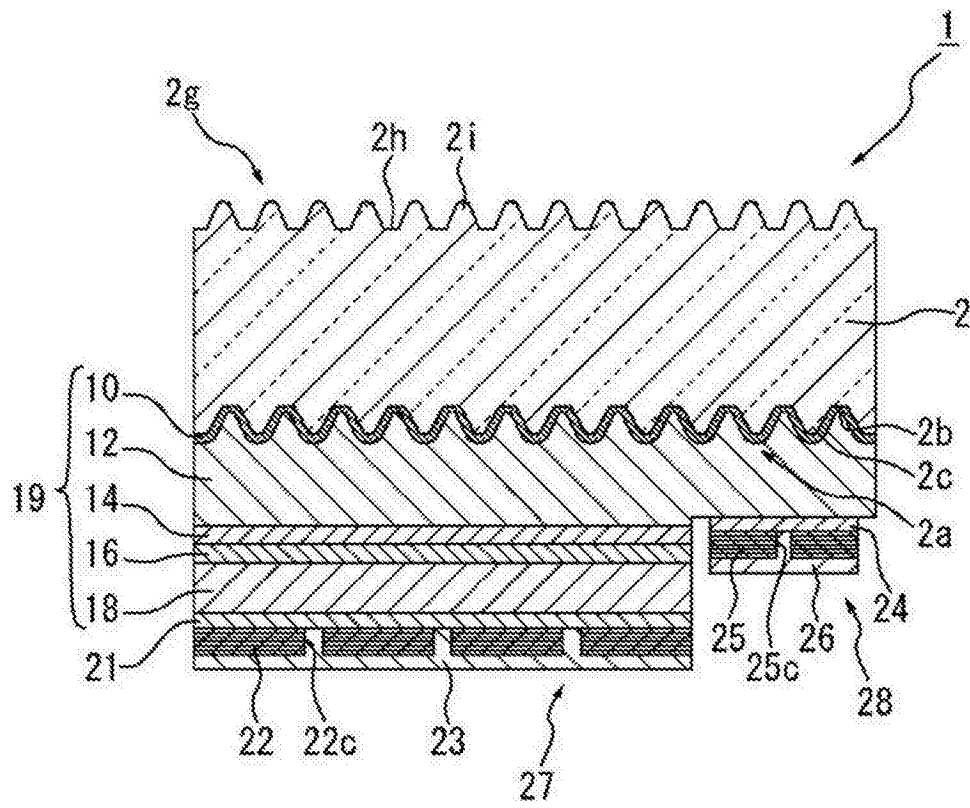


图 1

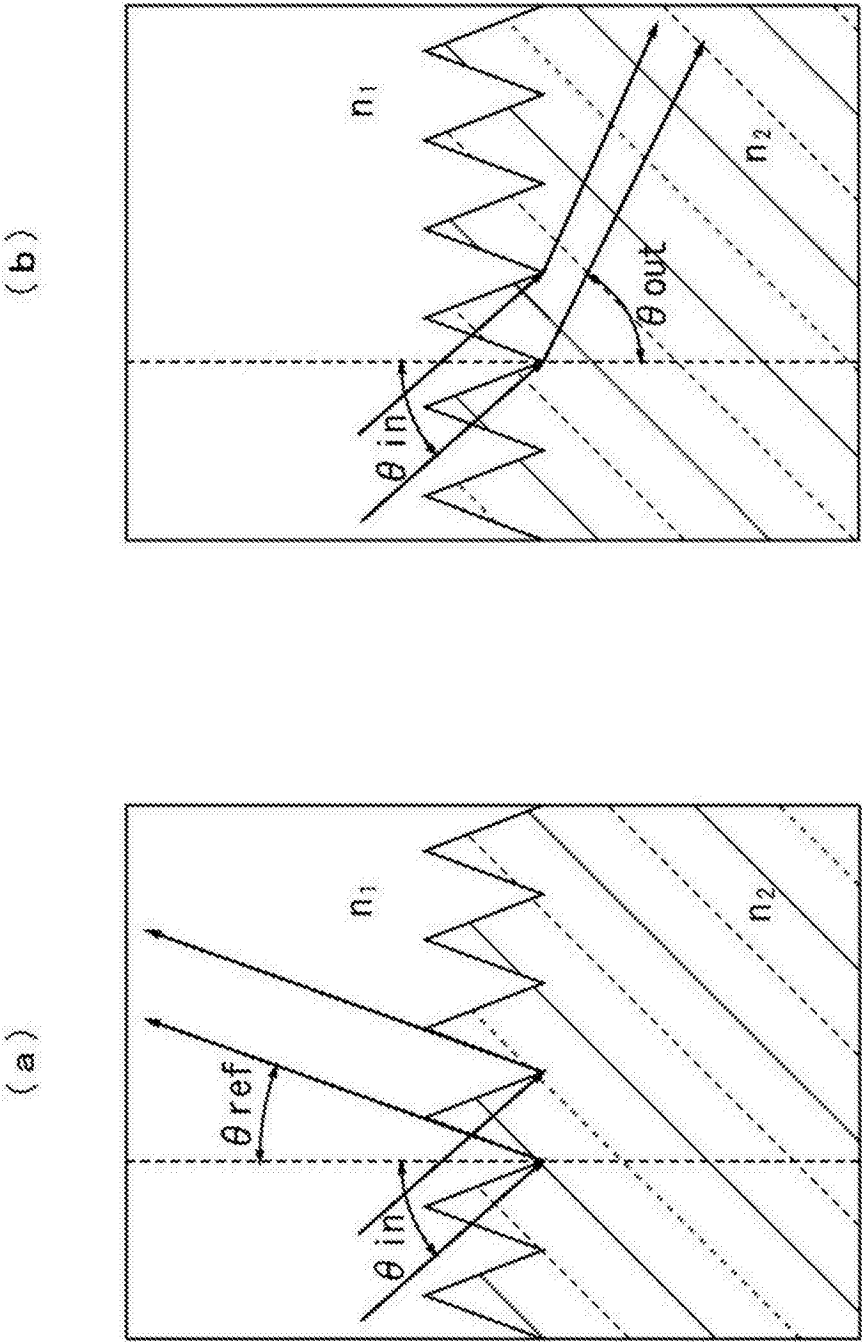


图 2

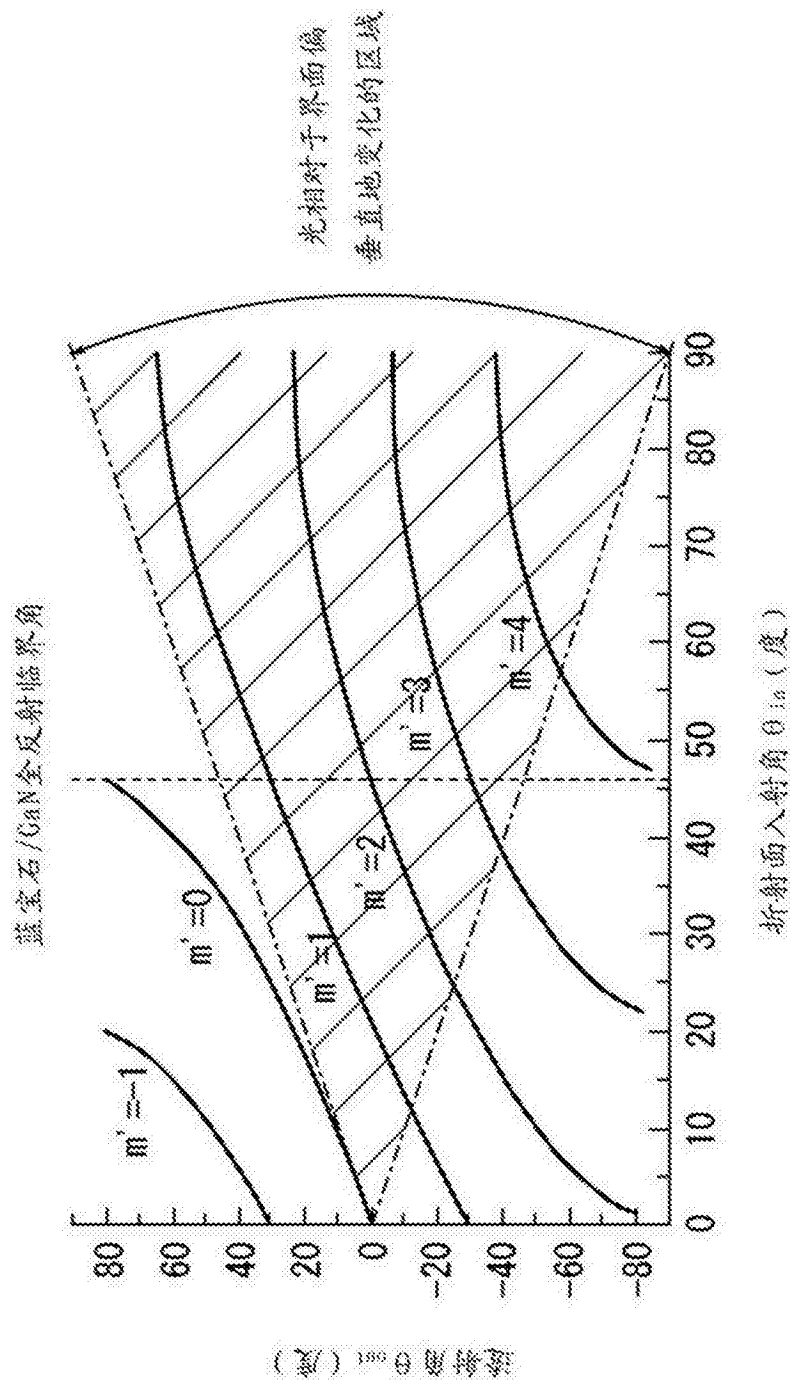


图 3

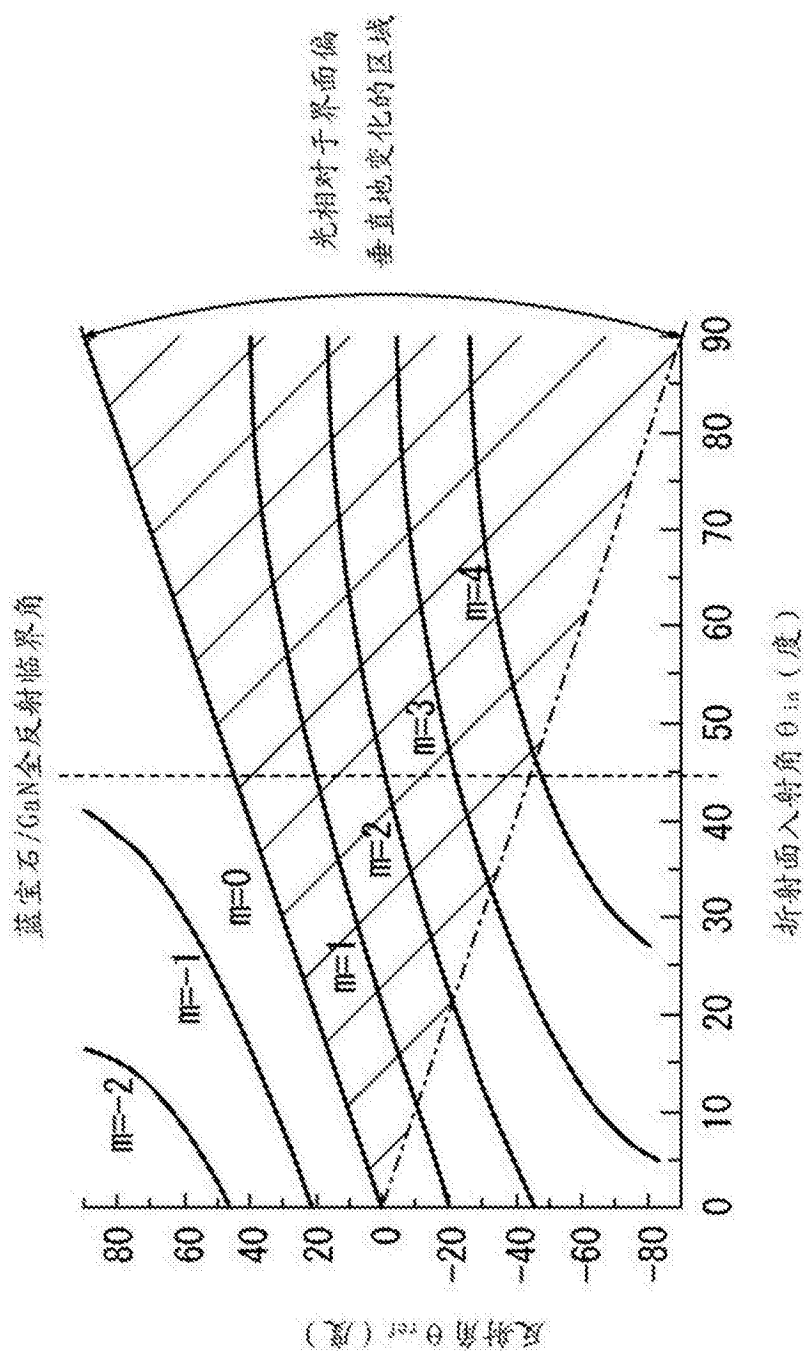


图 4

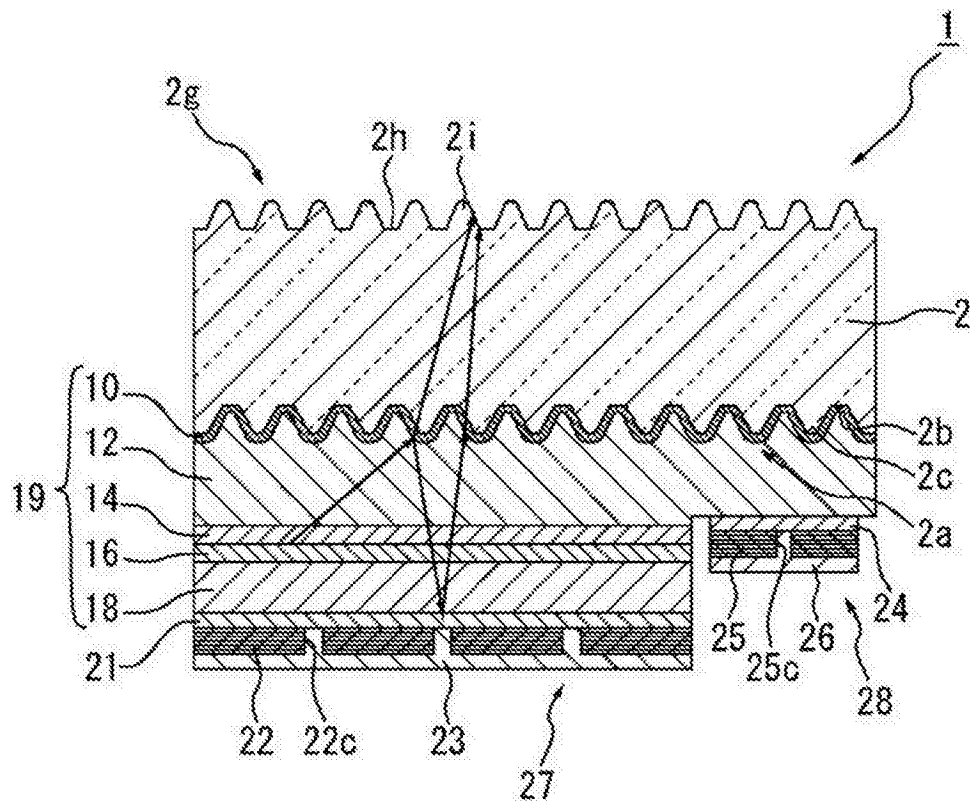


图 5

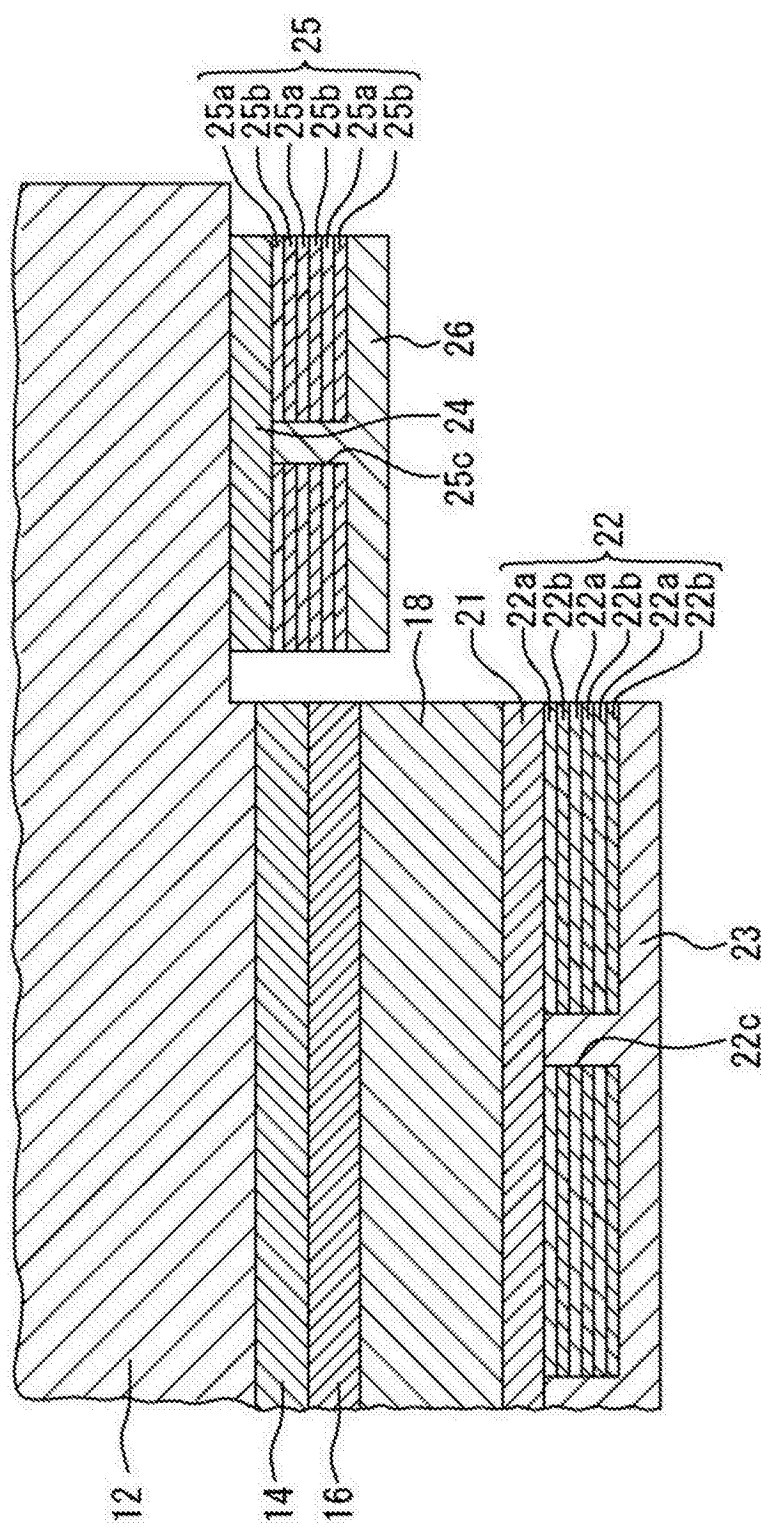


图 6

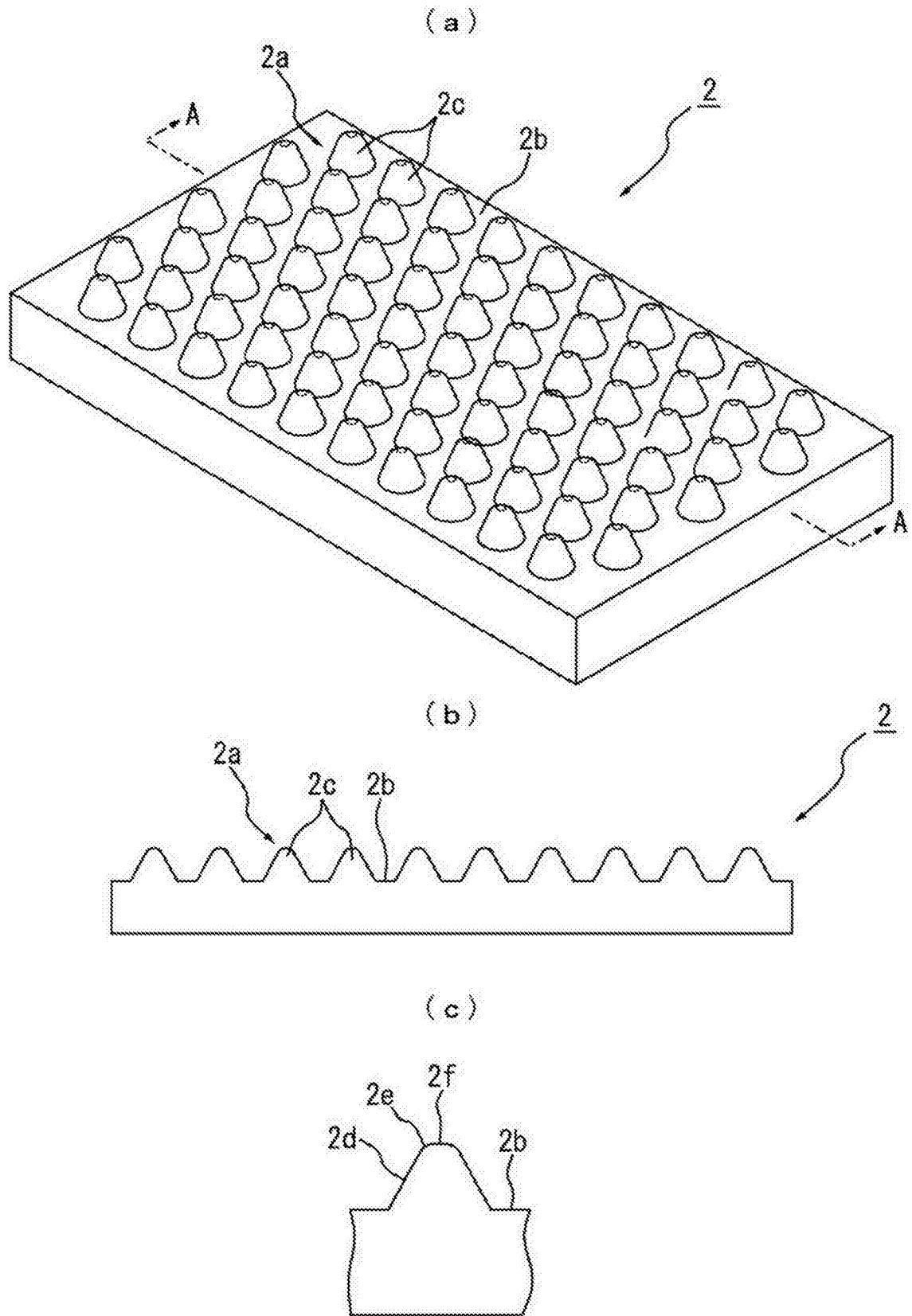
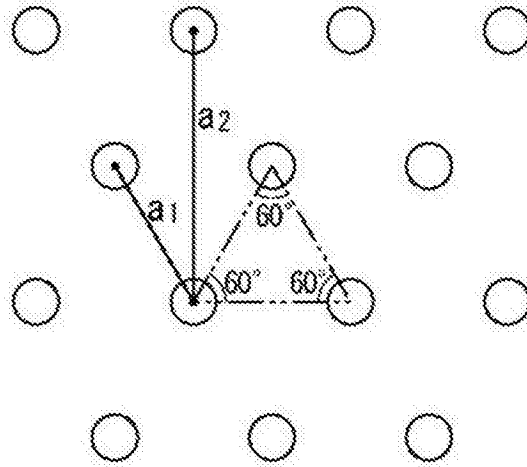


图 7

(a)



(b)

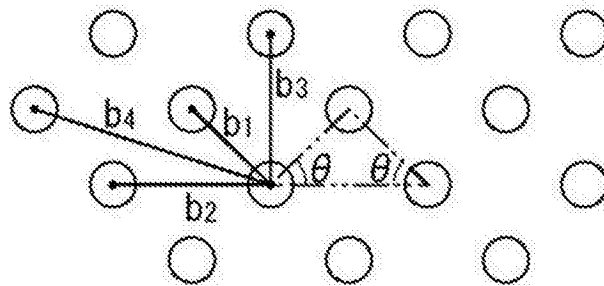


图 8

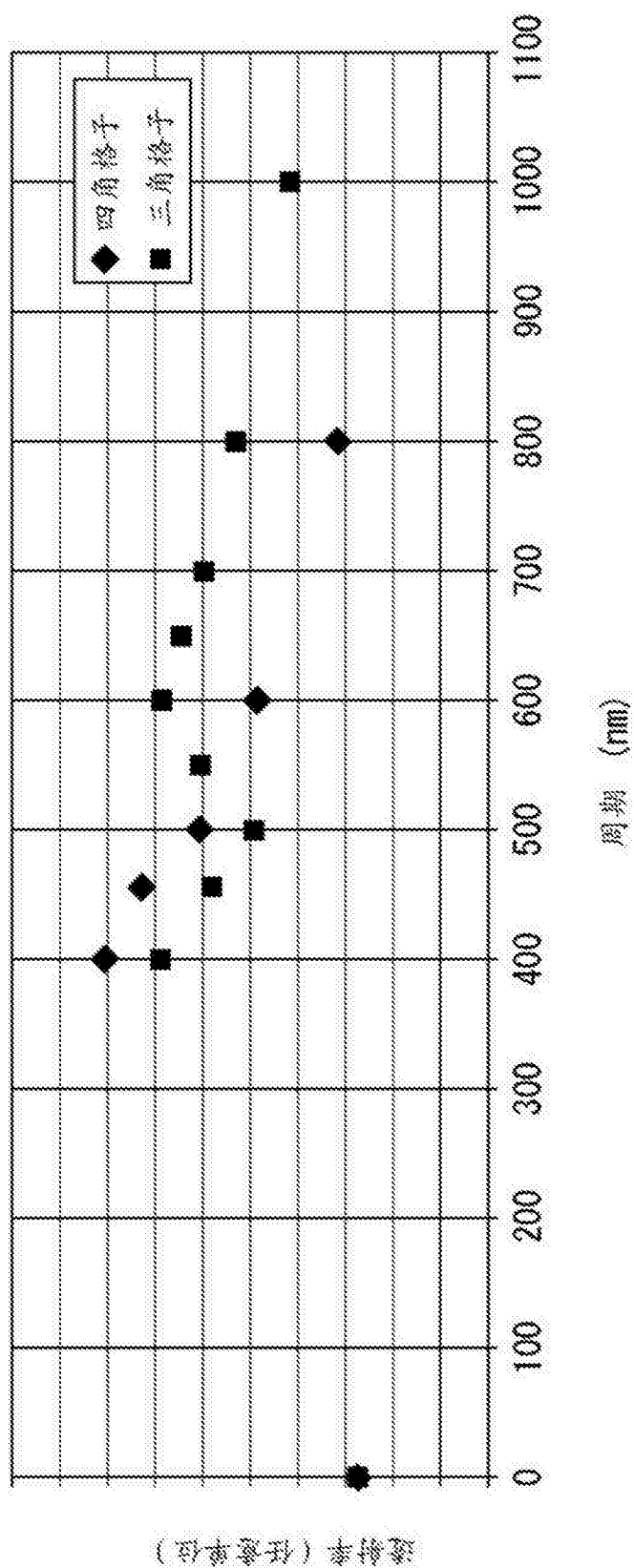


图 9

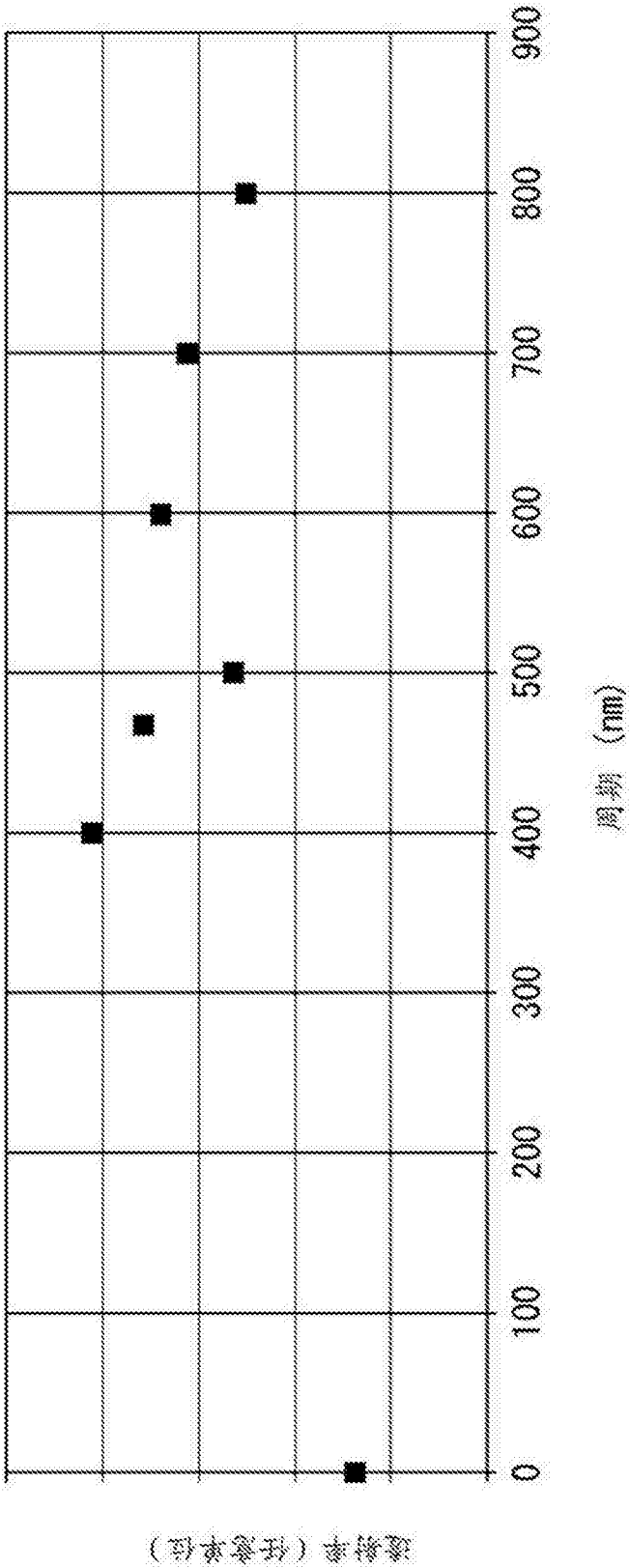


图 10

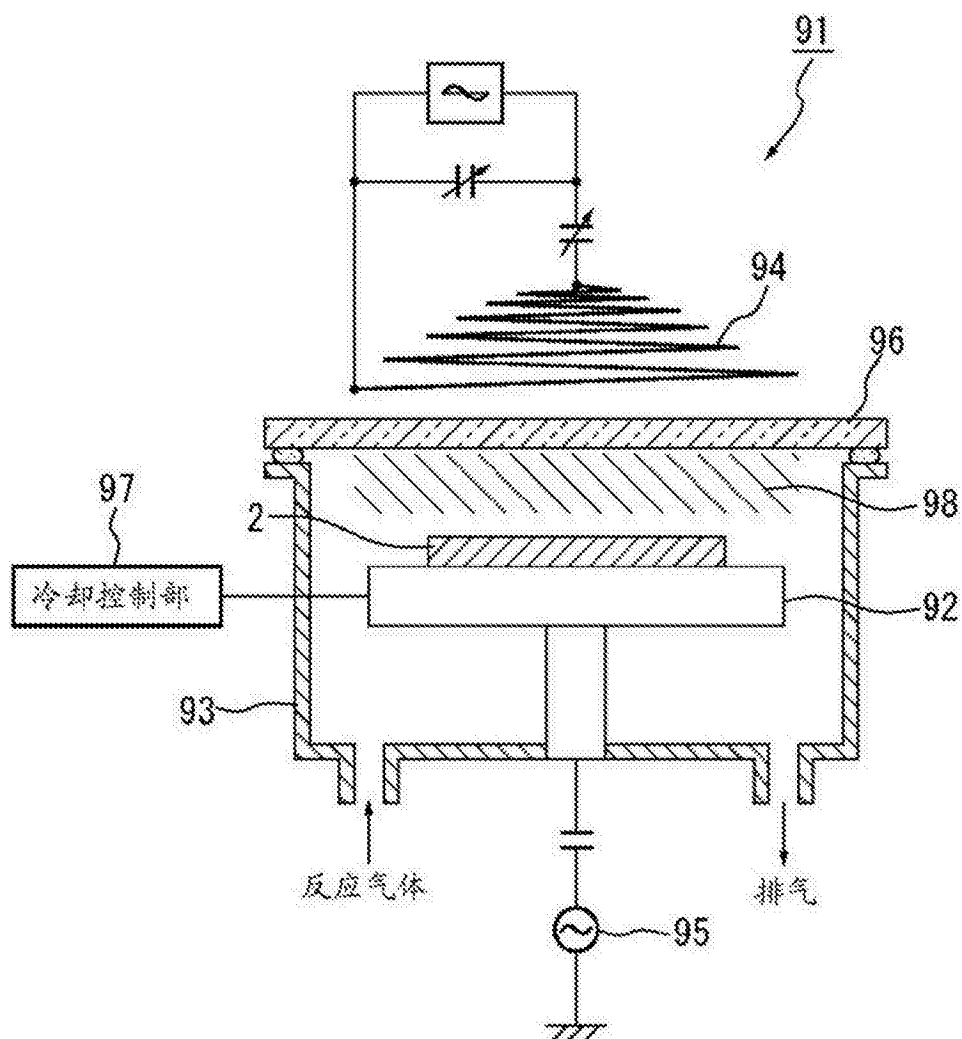


图 11

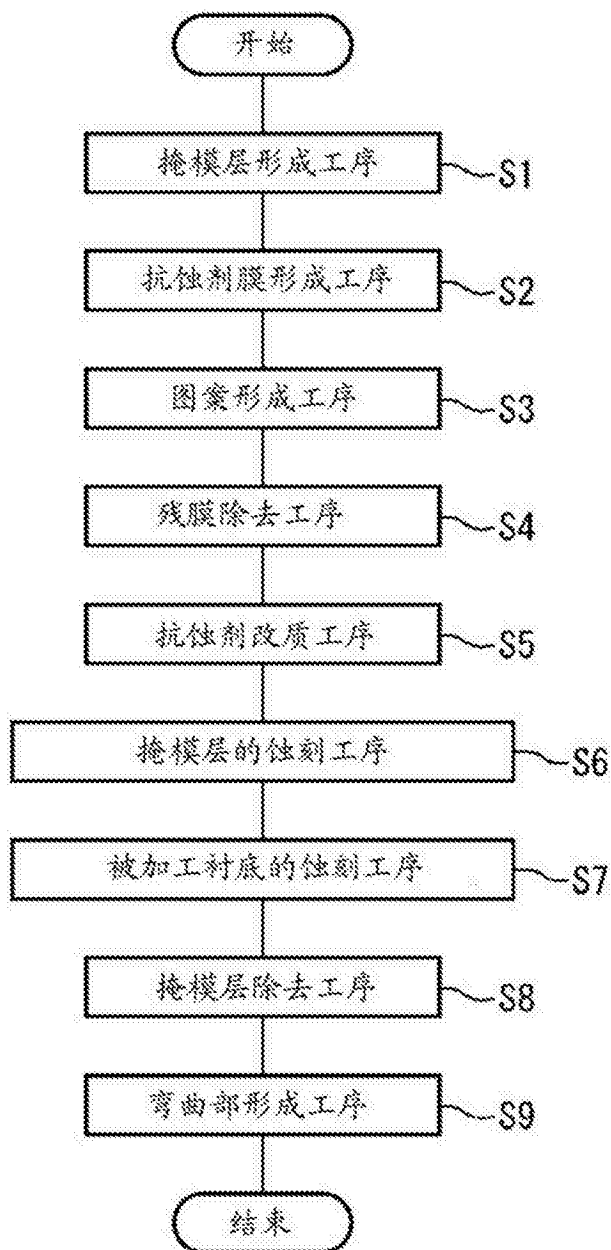


图 12

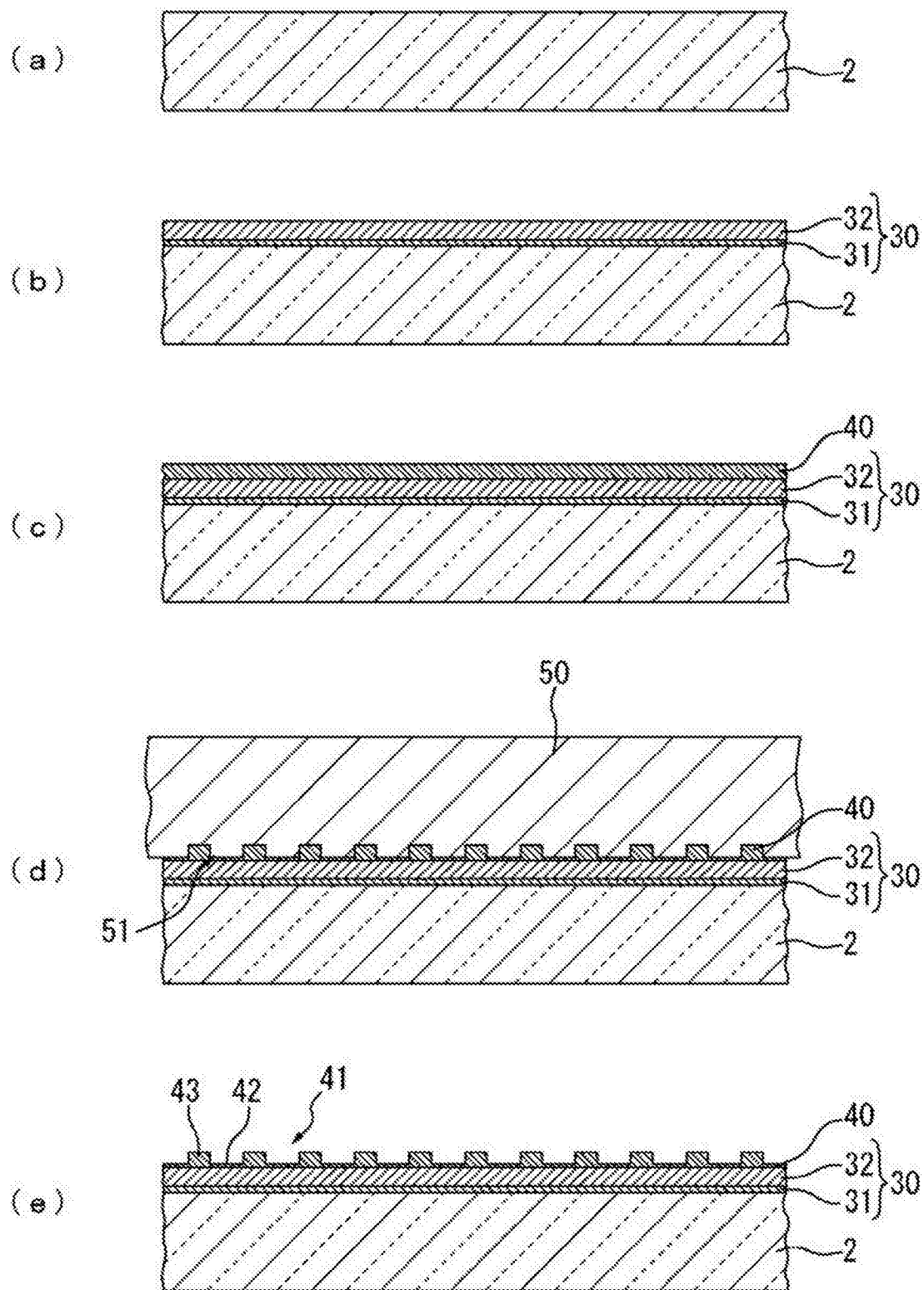


图 13A

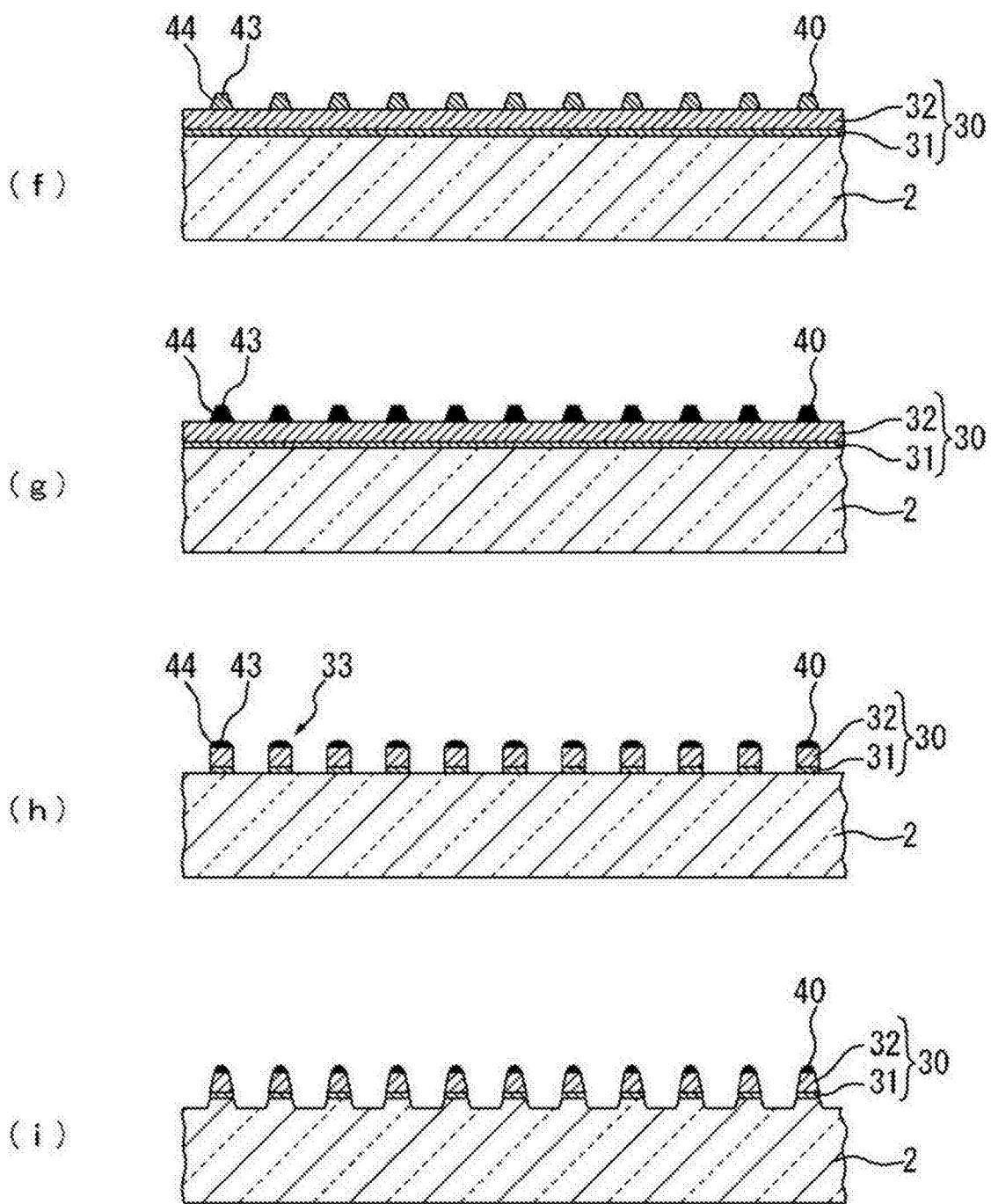


图 13B

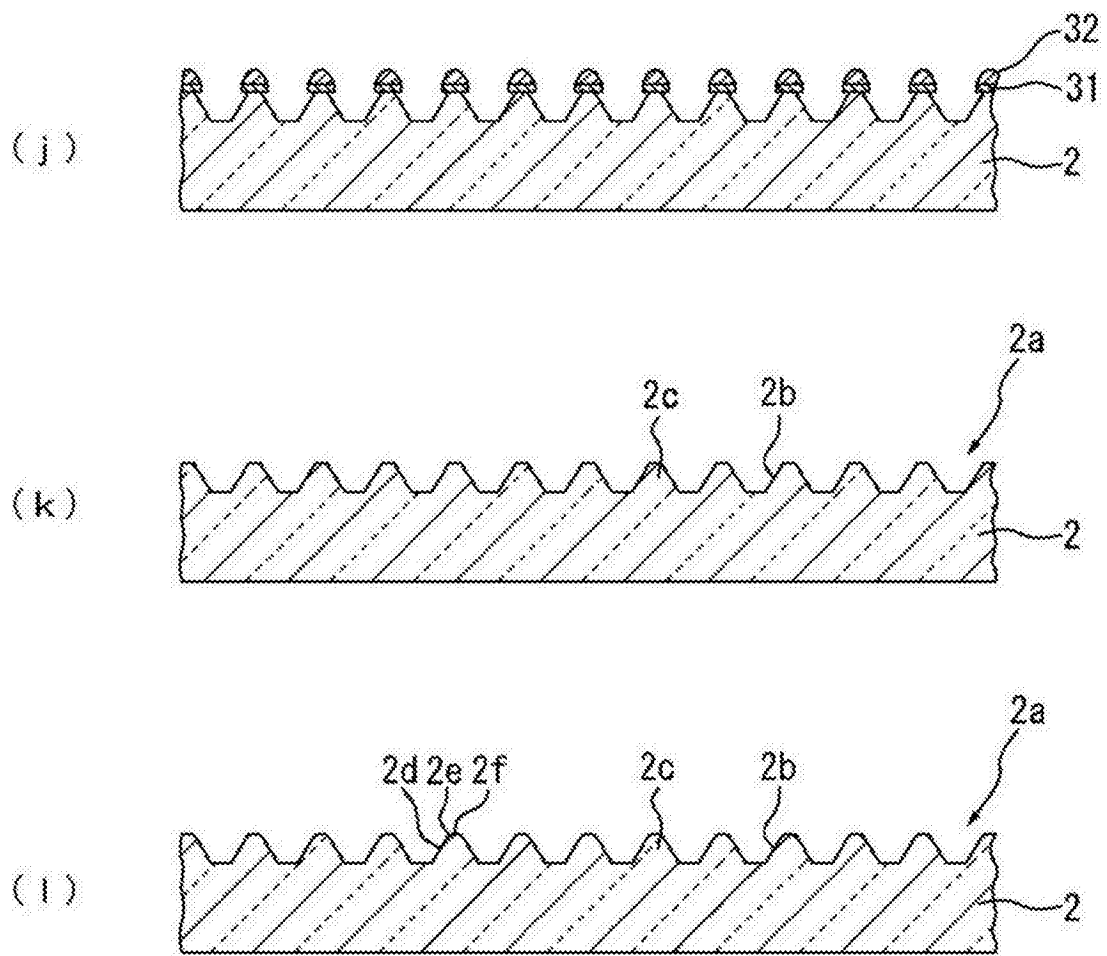


图 13C

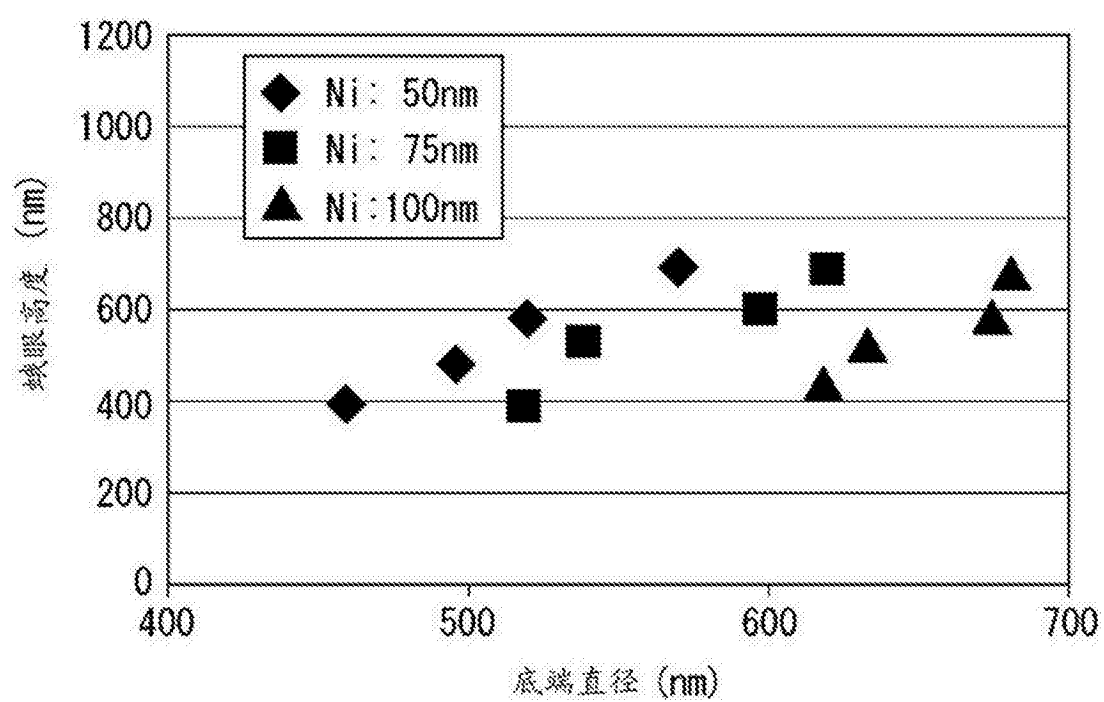


图 14

C面区域 周期	34%	35%	41%	45%	47%	63%	65%	69%	72%	76%
460nm		X	○		○					
600nm	○			○			○			
800nm						○			○	○

图 15

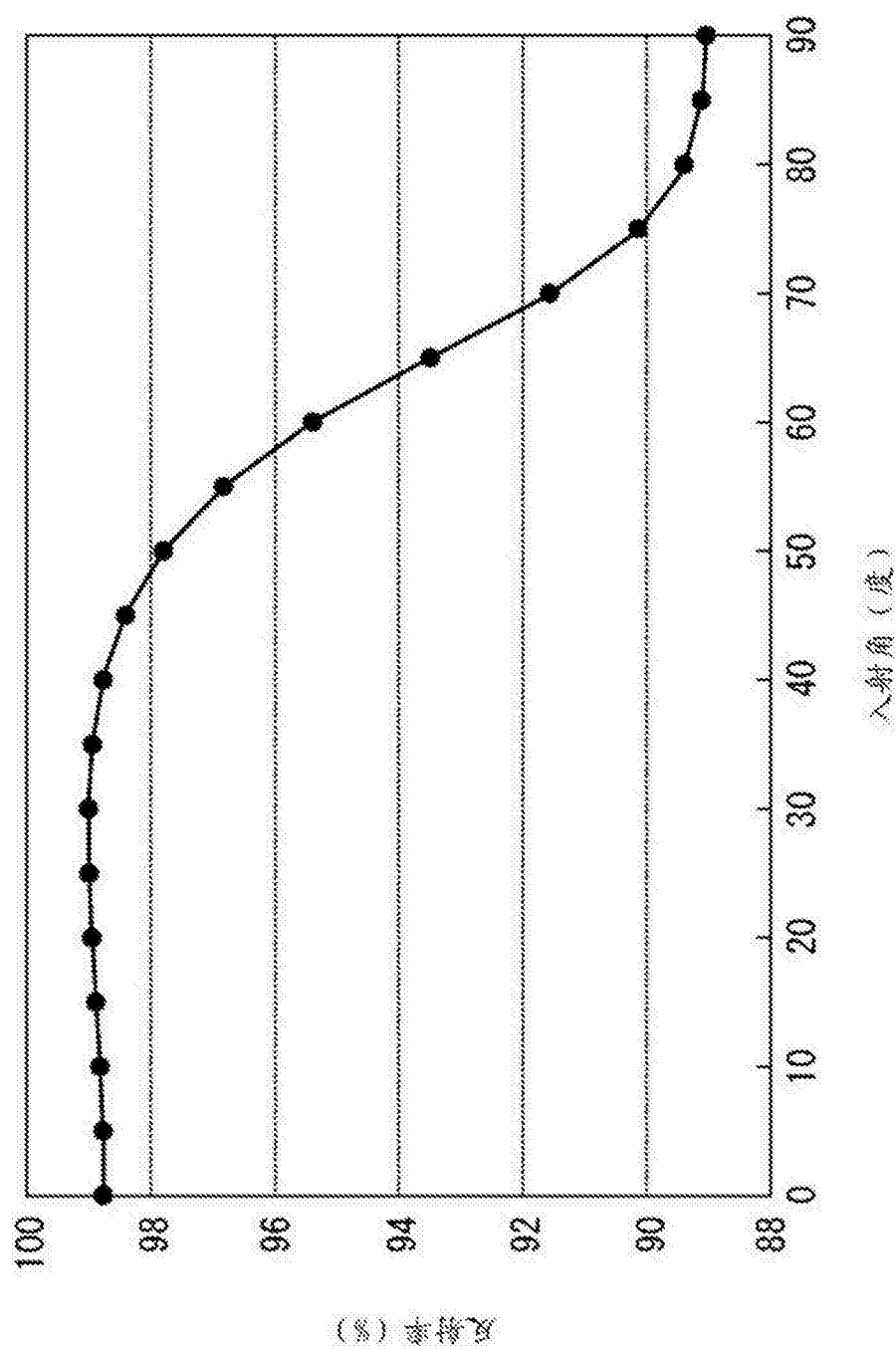


图 16

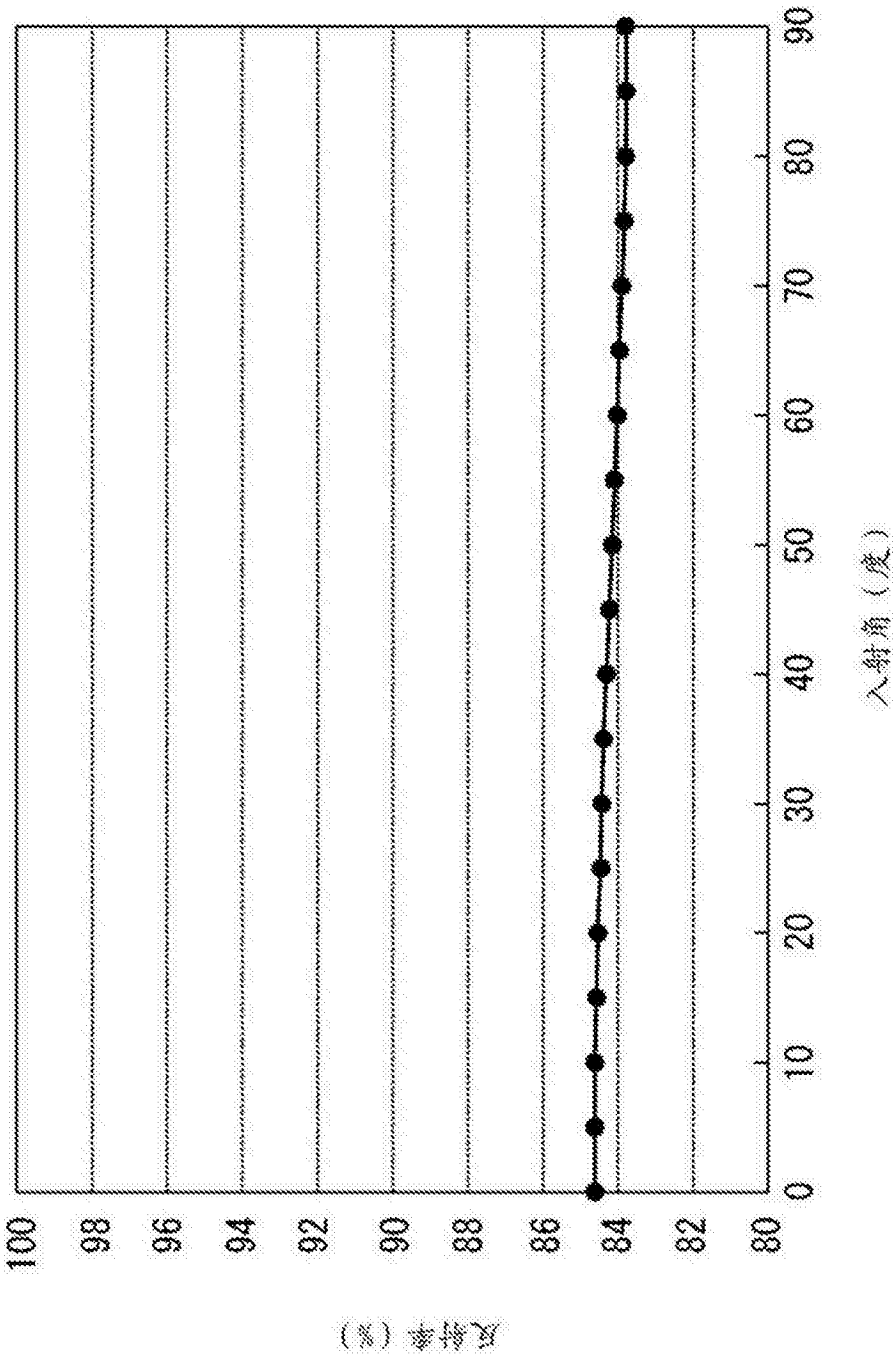


图 17

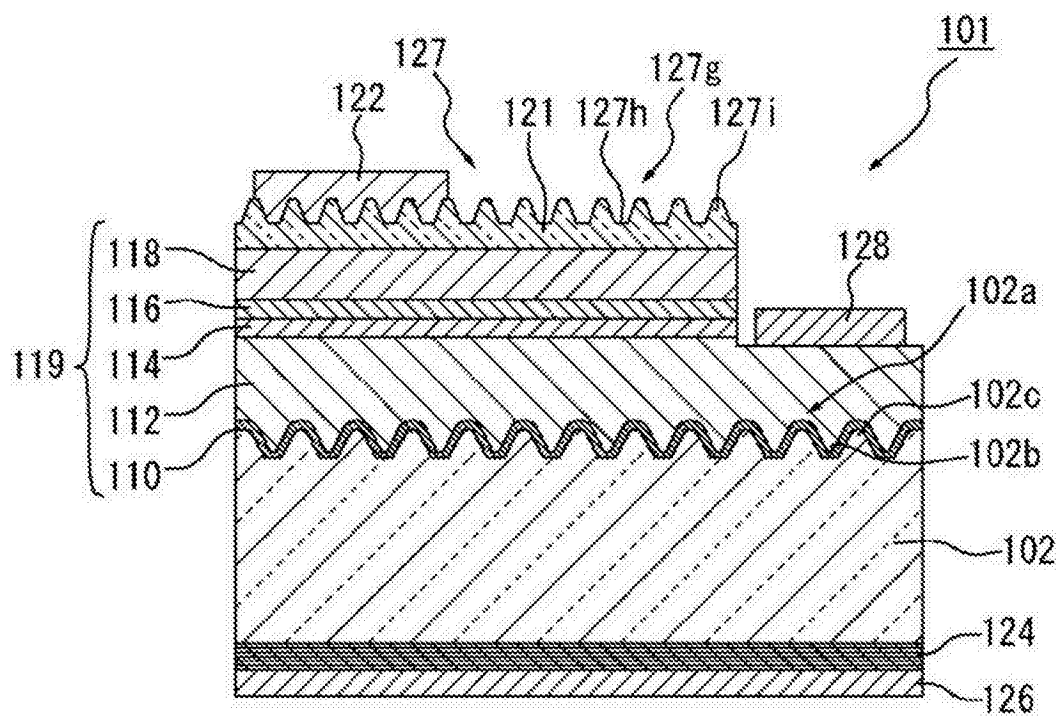


图 18

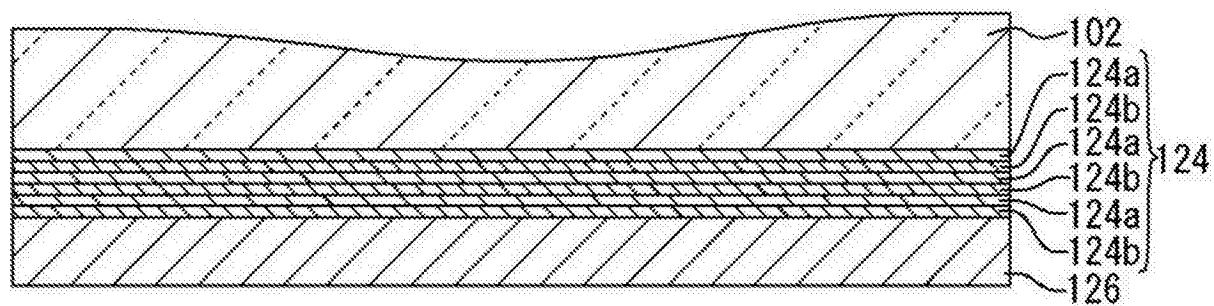


图 19

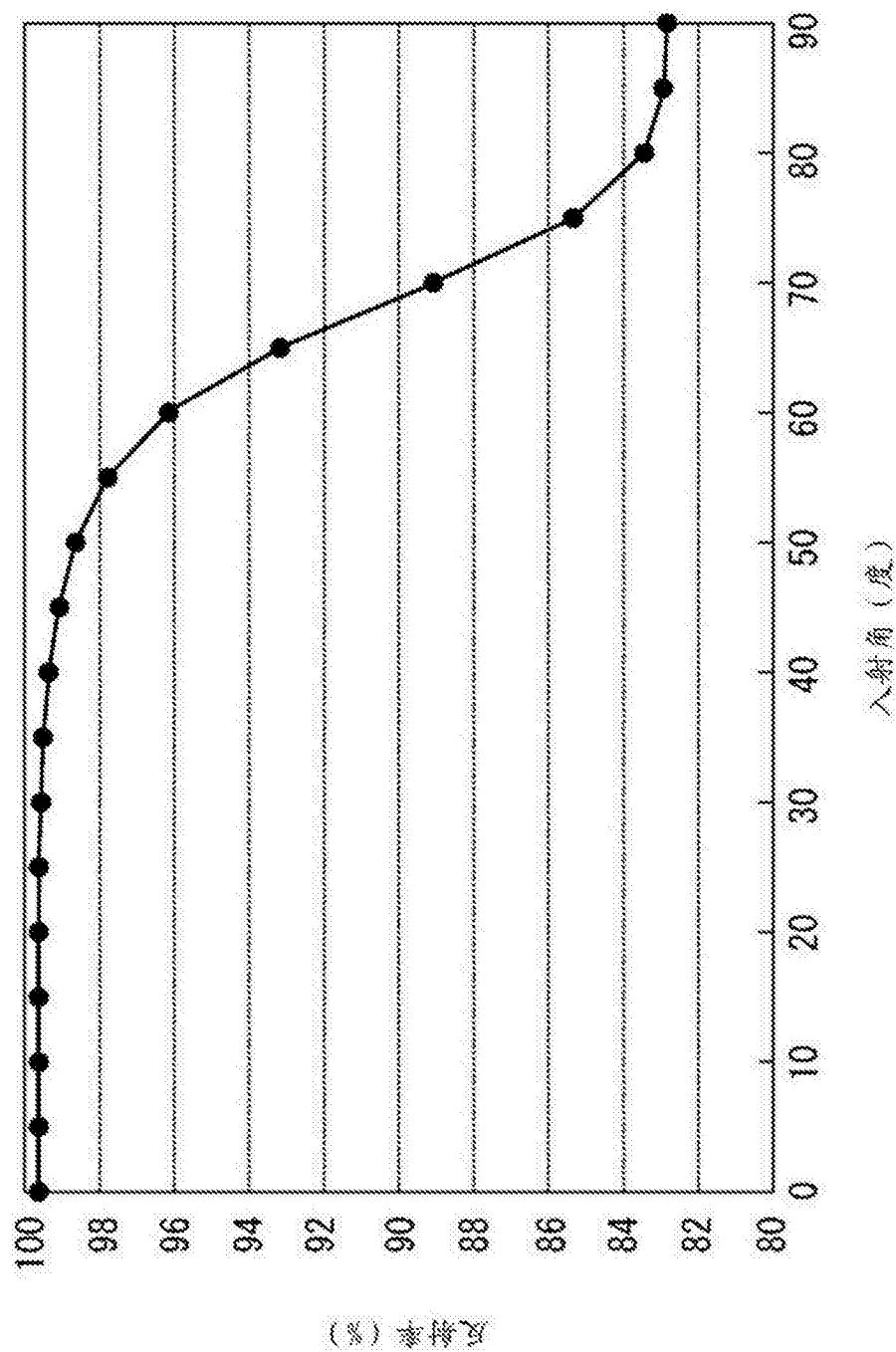


图 20

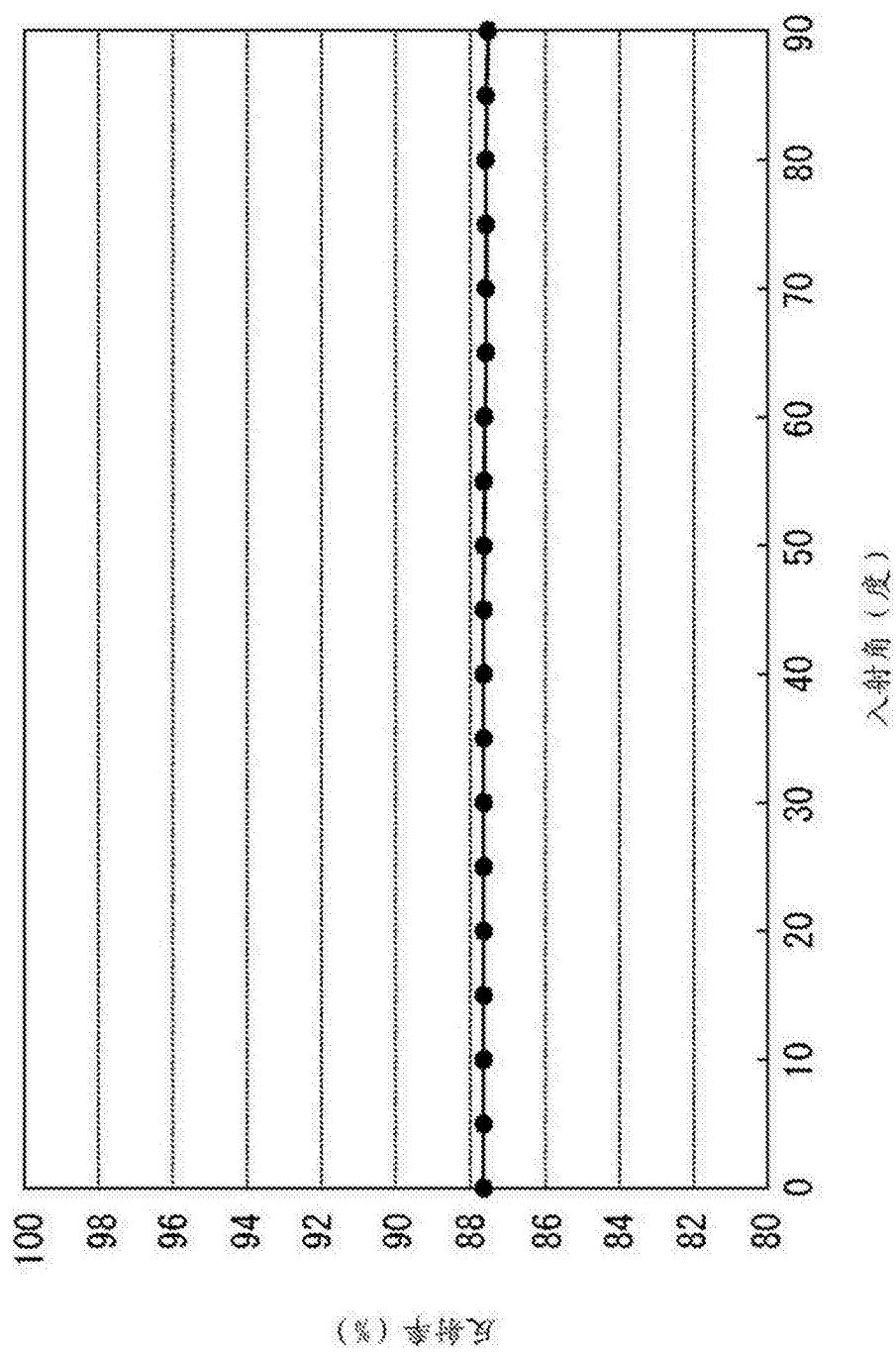


图 21

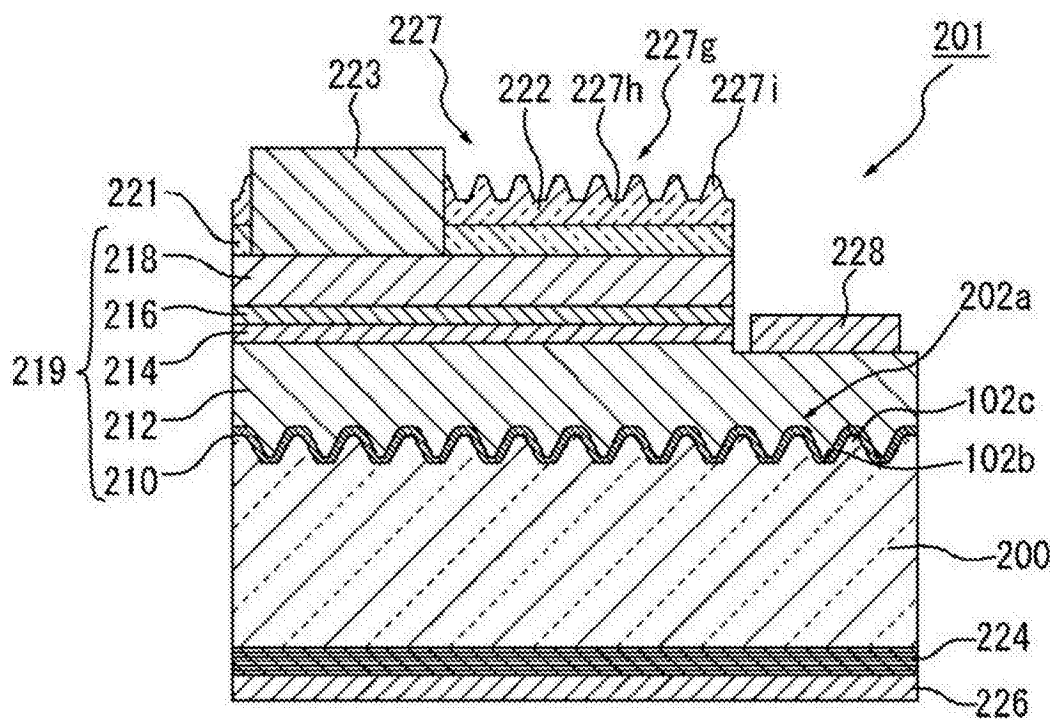


图 22

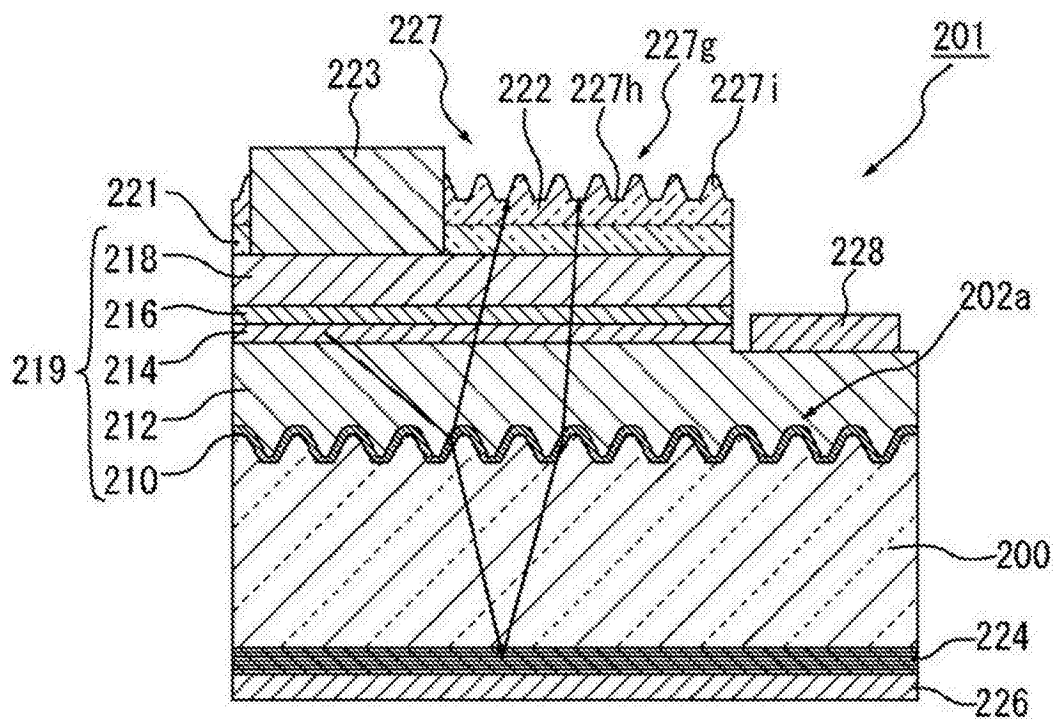


图 23

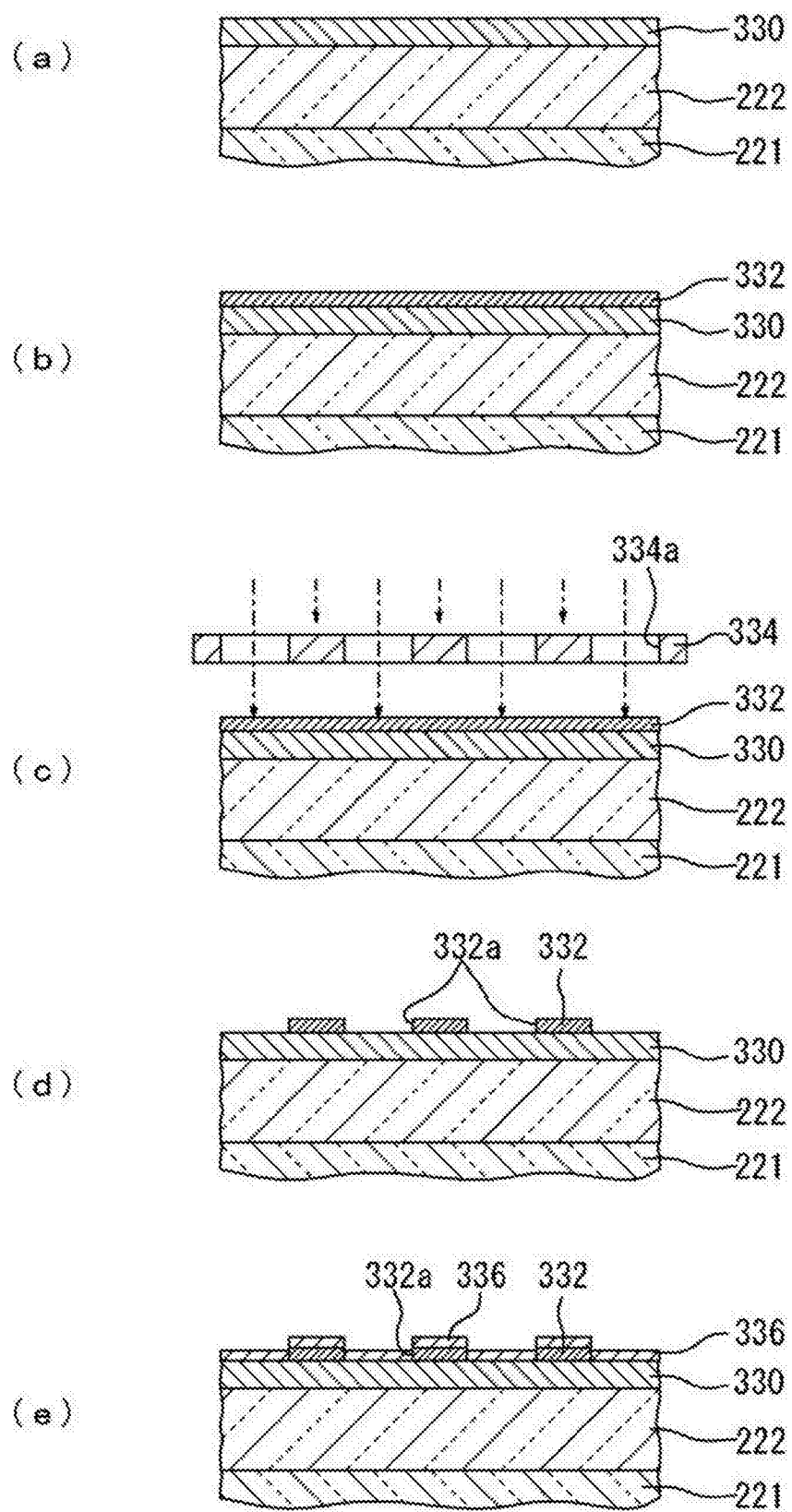


图 24

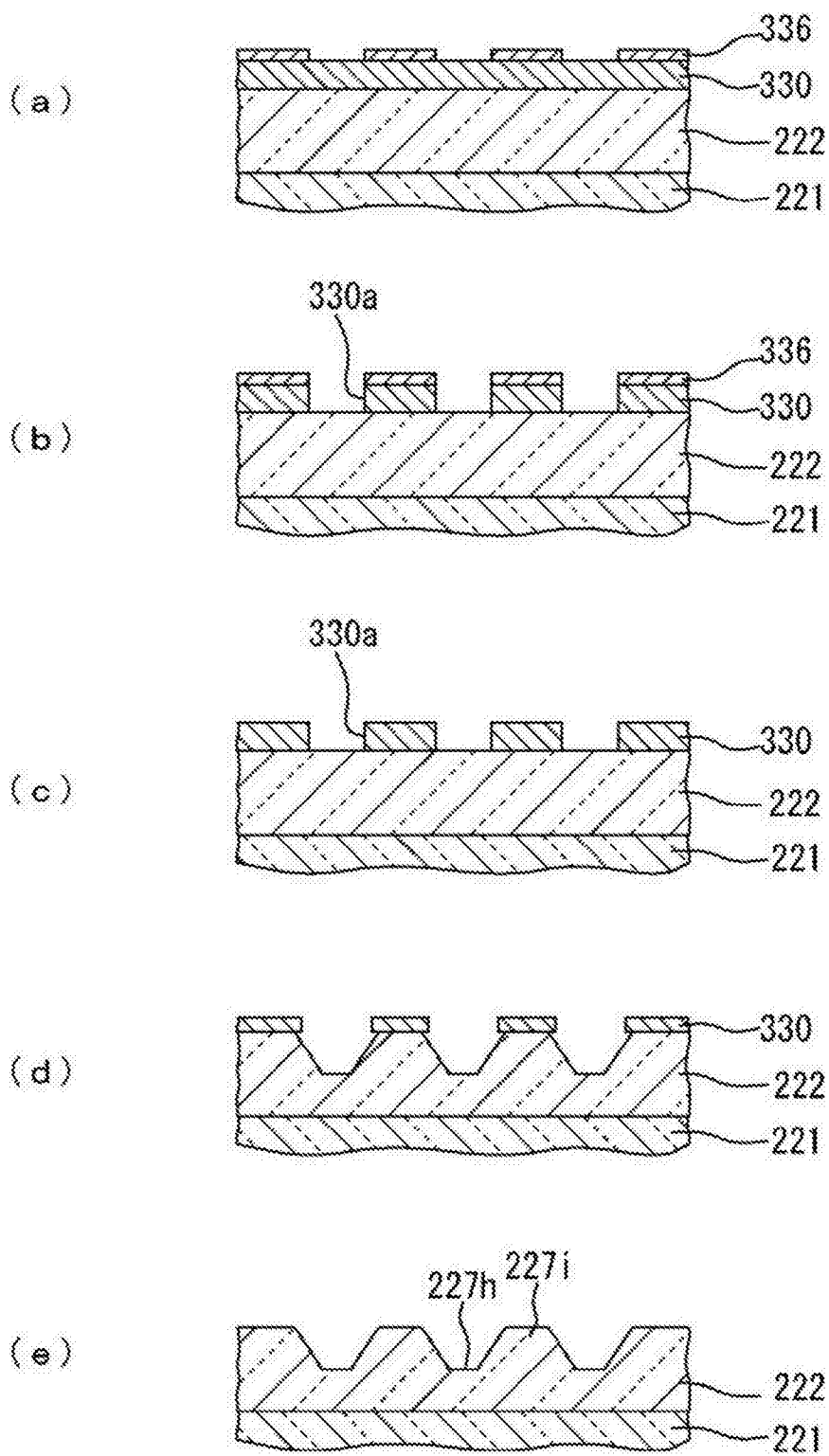


图 25