



(12) 发明专利申请



(10) 申请公布号 CN 119452537 A

(43) 申请公布日 2025. 02. 14

(21) 申请号 202380044691.2

(22) 申请日 2023.05.23

(30) 优先权数据

2022-092401 2022.06.07 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2024.12.03

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2023/019160 2023.05.23

(87) PCT国际申请的公布数据

W02023/238655 JA 2023.12.14

(71) 申请人 新唐科技日本株式会社

地址 日本

(72) 发明人 林茂生 吉田真治 川口靖利

冈口贵大

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

72002

专利代理师 吕文卓

(51) Int.Cl.

H01S 5/20 (2006.01)

H01S 5/343 (2006.01)

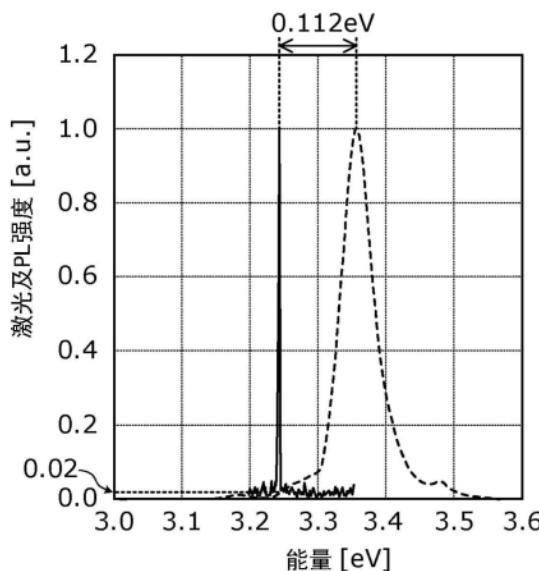
权利要求书3页 说明书14页 附图14页

(54) 发明名称

半导体发光元件

(57) 摘要

半导体发光元件(1)具备衬底(10)、配置在衬底(10)的上方的第一导电型的第一包层(30)、配置在第一包层(30)的上方的有源层(40)、配置在有源层(40)的上方的与第一导电型不同的第二导电型的第二包层(50)、以及配置在第一包层(30)与第二包层(50)之间的导光层(60),有源层(40)的光致发光的峰值光子能量比从被进行了电流注入的半导体发光元件(1)射出的激光的峰值光子能量高0.050eV以上。



1. 一种半导体发光元件,其特征在于,
具备:
衬底;
第一导电型的第一包层,配置在上述衬底的上方;
有源层,配置在上述第一包层的上方;
与上述第一导电型不同的第二导电型的第二包层,配置在上述有源层的上方;以及
导光层,配置在上述第一包层与上述第二包层之间;
上述有源层的光致发光的峰值光子能量比从被进行了电流注入的上述半导体发光元件射出的激光的峰值光子能量高0.050eV以上。
2. 一种半导体发光元件,其特征在于,
具备:
衬底;
第一导电型的第一包层,配置在上述衬底的上方;
有源层,配置在上述第一包层的上方;
与上述第一导电型不同的第二导电型的第二包层,配置在上述有源层的上方;以及
导光层,配置在上述第一包层与上述第二包层之间;
在上述有源层的光致发光的光谱中,从被进行了电流注入的上述半导体发光元件射出的激光的峰值光子能量下的上述光致发光的强度是上述光谱的峰值强度的40%以下。
3. 一种半导体发光元件,具备有源层,其特征在于,
上述有源层的光致发光的峰值光子能量比从被进行了电流注入的上述半导体发光元件射出的自发放射光的峰值光子能量高0.070eV以上。
4. 如权利要求3所述的半导体发光元件,其特征在于,
还具备:
衬底;
第一导电型的第一包层,配置在上述衬底与上述有源层之间;
与上述第一导电型不同的第二导电型的第二包层,配置在上述有源层的上方;以及
导光层,配置在上述第一包层与上述第二包层之间。
5. 如权利要求1、2、4中任一项所述的半导体发光元件,其特征在于,
从上述半导体发光元件射出的激光的峰值光子能量是3.1eV以上。
6. 如权利要求1、2、4、5中任一项所述的半导体发光元件,其特征在于,
上述半导体发光元件的输出饱和和开始点处的光输出是0.7W以上。
7. 如权利要求1、2、4、5中任一项所述的半导体发光元件,其特征在于,
上述半导体发光元件的输出饱和和开始点处的电流密度是60kA/mm²以上。
8. 如权利要求1、2、4~7中任一项所述的半导体发光元件,其特征在于,
上述有源层具有交替地层叠有两个以上的势垒层和一个以上的阱层的量子阱构造;
上述两个以上的势垒层各自与上述一个以上的阱层各自的带隙能量之差是0.140eV以下。
9. 如权利要求1、2、4~7中任一项所述的半导体发光元件,其特征在于,
上述有源层具有交替地层叠有两个以上的势垒层和一个以上的阱层的量子阱构造;

上述导光层具有配置在上述第一包层与上述有源层之间的第一导光层以及配置在上述有源层与上述第二包层之间的第二导光层中的至少一方；

上述第一导光层及上述第二导光层各自比上述两个以上的势垒层带隙能量小，并且比上述一个以上的阱层带隙能量大；

上述第一导光层与上述两个以上的势垒层中的距上述第一导光层最近的势垒层之间的带隙能量之差小于0.080eV；

上述第二导光层与上述两个以上的势垒层中的距上述第二导光层最近的势垒层之间的带隙能量之差小于0.080eV。

10. 如权利要求9所述的半导体发光元件，其特征在于，

还具备配置在上述两个以上的势垒层中的距上述第二包层最近的势垒层的上方并且与该势垒层相接的电子阻挡层；

上述导光层具有上述第一导光层。

11. 如权利要求1、2、4~7中任一项所述的半导体发光元件，其特征在于，

上述有源层具有交替地层叠有两个以上的势垒层和一个以上的阱层的量子阱构造；

上述导光层具有配置在上述第一包层与上述有源层之间的第一导光层以及配置在上述有源层与上述第二包层之间的第二导光层中的至少一方；

上述一个以上的阱层的合计厚度是17.5nm以上。

12. 如权利要求1、2、4~7中任一项所述的半导体发光元件，其特征在于，

上述有源层具有交替地层叠有两个以上的势垒层和一个以上的阱层的量子阱构造；

上述两个以上的势垒层由 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 构成， $0 < z < 1$ ；

上述一个以上的阱层由 $\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ 构成， $0 < x < 1, 0 < y < 1$ 。

13. 一种半导体发光元件，其特征在于，

具备：

衬底；

第一导电型的第一包层，配置在上述衬底的上方；

有源层，配置在上述第一包层的上方；

与上述第一导电型不同的第二导电型的第二包层，配置在上述有源层的上方；以及

导光层，配置在上述第一包层与上述第二包层之间；

上述有源层具有交替地层叠有两个以上的势垒层和一个以上的阱层的量子阱构造；

上述两个以上的势垒层各自与上述一个以上的阱层各自之间的带隙能量之差是0.140eV以下；

上述导光层具有配置在上述第一包层与上述有源层之间的第一导光层以及配置在上述有源层与上述第二包层之间的第二导光层中的至少一方；

上述第一导光层及上述第二导光层各自比上述两个以上的势垒层带隙能量小，并且比上述一个以上的阱层带隙能量大；

上述第一导光层与上述两个以上的势垒层中的距上述第一导光层最近的势垒层之间的带隙能量之差小于0.080eV；

上述第二导光层与上述两个以上的势垒层中的距上述第二导光层最近的势垒层之间的带隙能量之差小于0.080eV。

14. 如权利要求13所述的半导体发光元件,其特征在于,
还具备配置在上述两个以上的势垒层中的距上述第二包层最近的势垒层的上方并且与该势垒层相接的电子阻挡层;
上述导光层具有上述第一导光层。
15. 如权利要求13或14所述的半导体发光元件,其特征在于,
上述一个以上的阱层的合计厚度是17.5nm以上。
16. 如权利要求13~15中任一项所述的半导体发光元件,其特征在于,
上述两个以上的势垒层由 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 构成, $0 < z < 1$;
上述一个以上的阱层由 $\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ 构成, $0 < x < 1, 0 < y < 1$ 。
17. 如权利要求13~16中任一项所述的半导体发光元件,其特征在于,
从上述半导体发光元件射出的激光的峰值光子能量是3.1eV以上。
18. 如权利要求13~17中任一项所述的半导体发光元件,其特征在于,
上述半导体发光元件的输出饱和和开始点处的光输出是0.7W以上。
19. 如权利要求13~18中任一项所述的半导体发光元件,其特征在于,
上述半导体发光元件的输出饱和和开始点处的电流密度是 $60\text{kA}/\text{mm}^2$ 以上。

半导体发光元件

技术领域

[0001] 本公开涉及半导体发光元件。

背景技术

[0002] 以往,已知从有源层射出光的半导体激光元件等半导体发光元件(专利文献1等)。专利文献1所记载的半导体发光元件具备具有量子阱构造的有源层,所述量子阱构造包含由InGaN构成的阱层。专利文献1所记载的半导体激光元件在有源层的光致发光(PL)光谱的峰值波长附近(即,得到高的光增益的波长区域)进行激光振荡。

[0003] 现有技术文献

[0004] 专利文献

[0005] 专利文献1:日本特开2009—252861号公报

发明内容

[0006] 发明要解决的课题

[0007] 但是,在这样的激光振荡波长是PL光谱的峰值波长附近的情况下,半导体发光元件所生成的激光被有源层吸收。因此,半导体发光元件的光输出效率下降。进而,起因于被吸收了的激光的能量而有源层的温度上升,从而可能发生光输出饱和的热饱和以及COD(Catastrophic Optical Damage:灾变光学损伤)。

[0008] 对于半导体发光元件的谐振器端面附近的由激光的吸收所引起的COD,还已知有通过增大谐振器端面附近的有源层的带隙能量来减少激光的吸收的对策。由此,能够抑制谐振器端面附近的COD,但是在谐振器端面附近以外,无法减少激光的吸收。因此,该对策所带来的对热饱和的抑制效果较低。

[0009] 本公开用于解决这样的课题,目的在于提供能够减少有源层中的光吸收的半导体发光元件。

[0010] 用来解决课题的手段

[0011] 为了解决上述课题,本公开的半导体发光元件的一技术方案具备:衬底;第一导电型的第一包层,配置在上述衬底的上方;有源层,配置在上述第一包层的上方;与上述第一导电型不同的第二导电型的第二包层,配置在上述有源层的上方;以及导光层,配置在上述第一包层与上述第二包层之间;上述有源层的光致发光的峰值光子能量比从被进行了电流注入的上述半导体发光元件射出的激光的峰值光子能量高0.050eV以上。

[0012] 为了解决上述课题,本公开的半导体发光元件的另一技术方案具备:衬底;第一导电型的第一包层,配置在上述衬底的上方;有源层,配置在上述第一包层的上方;与上述第一导电型不同的第二导电型的第二包层,配置在上述有源层的上方;以及导光层,配置在上述第一包层与上述第二包层之间;在上述有源层的光致发光的光谱中,从被进行了电流注入的上述半导体发光元件射出的激光的峰值光子能量下的上述光致发光的强度是上述光谱的峰值强度的40%以下。

[0013] 为了解决上述课题,本公开的半导体发光元件的另一技术方案是具备有源层的半导体发光元件,上述有源层的光致发光的峰值光子能量比从被进行了电流注入的上述半导体发光元件射出的自发放射光的峰值光子能量高0.070eV以上。

[0014] 为了解决上述课题,本公开的半导体发光元件的另一技术方案具备:衬底;第一导电型的第一包层,配置在上述衬底的上方;有源层,配置在上述第一包层的上方;与上述第一导电型不同的第二导电型的第二包层,配置在上述有源层的上方;以及导光层,配置在上述第一包层与上述第二包层之间;上述有源层具有交替地层叠有两个以上的势垒层和一个以上的阱层的量子阱构造;上述两个以上的势垒层各自与上述一个以上的阱层各自之间的带隙能量之差是0.140eV以下;上述导光层具有配置在上述第一包层与上述有源层之间的第一导光层以及配置在上述有源层与上述第二包层之间的第二导光层中的至少一方;上述第一导光层及上述第二导光层各自比上述两个以上的势垒层带隙能量小,并且比上述一个以上的阱层带隙能量大;上述第一导光层与上述两个以上的势垒层中的距上述第一导光层最近的势垒层之间的带隙能量之差小于0.080eV;上述第二导光层与上述两个以上的势垒层中的距上述第二导光层最近的势垒层之间的带隙能量之差小于0.080eV。

[0015] 发明效果

[0016] 根据本公开,能够提供能够减少有源层中的光吸收的半导体发光元件。

附图说明

[0017] 图1是表示实施方式的半导体发光元件的整体结构的示意性俯视图。

[0018] 图2是表示实施方式的半导体发光元件的整体结构的示意性剖视图。

[0019] 图3是表示实施方式的半导体发光元件的PL光谱的一例的绘图。

[0020] 图4是表示从实施方式的半导体发光元件将有源层除去后的元件的PL光谱的一例的绘图。

[0021] 图5是表示实施方式的有源层的PL光谱的一例的绘图。

[0022] 图6是表示实施方式的半导体发光元件的各实施例的层结构的图。

[0023] 图7是表示实施例1的半导体发光元件的有源层的结构的示意性剖视图。

[0024] 图8是示意地表示实施例1的半导体发光元件的层叠方向上的带隙能量分布的绘图。

[0025] 图9是示意地表示实施例2的半导体发光元件的层叠方向上的带隙能量分布的绘图。

[0026] 图10是示意地表示实施例4的半导体发光元件的层叠方向上的带隙能量分布的绘图。

[0027] 图11是表示实施方式的各实施例的特性的图。

[0028] 图12A是表示实施例5的半导体发光元件的注入电流与光输出的关系的绘图。

[0029] 图12B是表示实施例5的半导体发光元件的光输出与光输出相对于输入功率的比例的关系的绘图。

[0030] 图13是表示比较例的半导体发光元件的激光光谱和PL光谱的绘图。

[0031] 图14是表示实施例1的半导体发光元件的激光光谱和PL光谱的绘图。

[0032] 图15是表示各实施例的半导体发光元件及比较例的半导体发光元件的输出饱和

开始点的光输出与PL—激光能量差的关系的绘图。

[0033] 图16是表示各实施例的半导体发光元件及比较例的半导体发光元件的光输出为0.5W以上1.0W以下的情况下的斜率效率与PL—激光能量差的关系的绘图。

[0034] 图17是表示比较例的半导体发光元件的自发放射光光谱和PL光谱的绘图。

[0035] 图18是表示实施例1的半导体发光元件的自发放射光光谱和PL光谱的绘图。

[0036] 图19是表示实施例2的半导体发光元件的自发放射光光谱和PL光谱的绘图。

[0037] 图20是表示实施例5的半导体发光元件的自发放射光光谱和PL光谱的绘图。

[0038] 图21是表示各实施例的半导体发光元件及比较例的半导体发光元件的输出饱和和开始点的光输出与PL—自发放射光能量差的关系的绘图。

[0039] 图22是表示各实施例的半导体发光元件及比较例的半导体发光元件的光输出为0.5W以上1.0W以下的情况下的斜率效率与PL—激光能量差的关系的绘图。

具体实施方式

[0040] 以下,参照附图对本公开的实施方式进行说明。另外,以下说明的实施方式都表示本公开的一具体例。因而,在以下的实施方式中表示的数值、形状、材料、构成要素及构成要素的配置位置、连接形态等作为一例而不意欲限定本公开。

[0041] 此外,各图是示意图,并不一定严格地图示。因而,在各图中比例尺等不一定一致。另外,在各图中,对于实质上相同的结构赋予相同的标记,将重复的说明省略或简化。

[0042] 此外,在本说明书中,“上方”及“下方”这样的用语不是指绝对性的空间识别中的上方(铅直上方)及下方(铅直下方),而是基于层叠结构中的层叠顺序作为由相对位置关系规定的用语来使用。此外,“上方”及“下方”这样的用语不仅适用于将两个构成要素相互隔开间隔配置并在两个构成要素之间存在其他构成要素的情况,也适用于将两个构成要素以相互相接的状态配置的情况。

[0043] (实施方式)

[0044] 对实施方式的半导体发光元件进行说明。

[0045] [1.基本结构]

[0046] 使用图1对本实施方式的半导体发光元件的基本结构进行说明。图1及图2分别是表示本实施方式的半导体发光元件1的基本结构的示意性的俯视图及剖视图。另外,在各图中表示了相互正交的X轴、Y轴及Z轴。X轴、Y轴及Z轴是右手正交坐标系。半导体发光元件1的层叠方向(即,半导体发光元件1具备的各层的厚度方向)与Z轴方向平行,光(激光)的主要传播方向与Y轴方向平行。

[0047] 半导体发光元件1是通过电流注入而射出光的元件。在本实施方式中,半导体发光元件1是射出峰值波长为400nm以下(峰值光子能量为3.1eV以下)的激光的半导体激光元件。如图1所示,半导体发光元件1具有形成谐振器的两个端面1F及1R。端面1F是射出激光的前端面,端面1R是反射率比端面1F高的后端面。此外,半导体发光元件1具有形成在端面1F与端面1R之间的波导。

[0048] 半导体发光元件1的谐振器长度、即激光的传播方向(各图的Y轴方向,即谐振方向)上的端面1F及1R之间的距离没有被特别限定,在本实施方式中是1200 μm 。半导体发光元件1也可以具备在激光的传播方向的端部配置的反射膜。反射膜是用来分别调整端面1F及

1R的反射率的膜。作为反射膜,能够使用电介质多层膜等。

[0049] 如图2所示,半导体发光元件1具备衬底10、配置在衬底10上方的第一包层30、配置在第一包层30上方的有源层40、配置在有源层40上方的第二包层50、以及配置在第一包层30与第二包层50之间的导光层60。在本实施方式中,半导体发光元件1还具备配置在衬底10与第一包层30之间的基底层21、配置在基底层21与第一包层30之间的防裂层22、配置在有源层40与第二包层50之间的电子阻挡层70、配置在第二包层50上方的绝缘层80、配置在绝缘层80上方的上部电极91、以及配置在衬底10的下表面(即,层叠各半导体层的主面的背对侧的主面)的下部电极92。

[0050] 衬底10是成为半导体发光元件1的基台的板状部件。在本实施方式中,第一导电型是N型。

[0051] 基底层21是配置在衬底10上方的第一导电型的半导体层。在本实施方式中,基底层21层叠于衬底10的主面。

[0052] 防裂层22是配置在衬底10上方的第一导电型的半导体层。在本实施方式中,防裂层22配置在基底层21的上方。

[0053] 第一包层30是配置在衬底10上方的第一导电型的半导体层。第一包层30的平均折射率比有源层40的平均折射率低。这里,第一包层30等的平均折射率由在层的厚度方向上将折射率进行积分得到的值除以层的厚度所得的值来定义。在本实施方式中,第一包层30配置在防裂层22的上方。

[0054] 有源层40是配置在第一包层30上方的发光层。在本实施方式中,有源层40的PL的峰值光子能量比从被进行了电流注入的半导体发光元件1射出的激光的峰值光子能量高0.050eV以上。

[0055] 这里,使用图3~图5对有源层40的PL的峰值光子能量的测定方向进行说明。图3是表示本实施方式的半导体发光元件1的PL光谱的一例的绘图。图4是表示从本实施方式的半导体发光元件1将有源层40除去后的元件的PL光谱的一例的绘图。图5是表示本实施方式的有源层40的PL光谱的一例的绘图。图3~图5的各绘图的横轴表示与PL的波长对应的光子能量,纵轴表示被标准化后的PL强度。

[0056] 为了测定有源层40的PL光谱,首先,测定通过使用波长325nm的He—Cd激光等对半导体发光元件1进行光激励而从半导体发光元件1射出的PL的光谱。例如,在GaN类的半导体激光元件中,在峰值波长为400nm以下的情况下,使用GaN作为衬底并且使用InGaN作为防裂层22的情况较多。在此情况下,由于防裂层22的带隙能量比基底层21及第一包层30低,所以在通过上述那样的测定得到的PL光谱中,如图3所示,不仅包括有源层40的PL,还包括防裂层22的PL。因此,测定通过使用波长325nm的He—Cd激光等对从半导体发光元件1中将比包含有源层40的导光层60靠上部的结构除去后的部分进行光激励而从该部分射出的PL的光谱(图4)。通过从图3所示那样的半导体发光元件1的PL光谱中将图4所示的防裂层22的PL成分除去,能够得到图5所示那样的有源层40的PL光谱。此时,调整图4所示的光谱的强度,以使得在图5所示的除去后的光谱中不残留防裂层22的PL光谱的峰值。具体而言,在图3中3.31eV附近的位置的峰值强度是0.91,相对于此,调整强度以使图4的峰值强度成为0.84。由此,在从图3的光谱强度减去图4的光谱强度所得到的图5的光谱中,在3.31eV附近不再看到峰值。

[0057] 在从半导体发光元件1将有源层40除去时,例如能够使用湿式蚀刻。具体而言,首先使用王水系的蚀刻剂,将上部电极91及下部电极92除去。接着,使用氢氟酸系的蚀刻剂将绝缘层80除去。接着,通过反应性离子蚀刻,将有源层40及配置在其上方的半导体层除去。也可以通过反应性离子蚀刻,例如将第一导光层61及配置在其上方的半导体层除去。

[0058] 在本实施方式中,有源层40具有交替地层叠有两个以上势垒层和一个以上阱层的量子阱构造。两个以上势垒层的各自与一个以上阱层的各自之间的带隙能量之差是0.140eV以下。

[0059] 第二包层50是配置在有源层40上方的与第一导电型不同的第二导电型的半导体层。第二包层50的平均折射率比有源层40的平均折射率低。在本实施方式中,第二包层50配置在导光层60及电子阻挡层70的上方。第二导电型是P型。

[0060] 在本实施方式中,在第二包层50,形成有在光的传播方向(即Y轴方向)上延伸的脊(ridge)50R。换言之,在第二包层50的上表面,形成有沿着光的传播方向延伸的两个槽50T,脊50R形成在两个槽50T之间。波导沿着脊50R形成。另外,在图1中,将脊50R的上表面以及槽50T的轮廓用虚线表示。脊50R的宽度(即,脊50R的上表面的X轴方向的尺寸)例如是15 μm 。

[0061] 导光层60是配置在第一包层30与第二包层50之间的半导体层。导光层60具有配置在第一包层30与有源层40之间的第一导光层61以及配置在有源层40与第二包层50之间的第二导光层62中的至少一方。另外,在图2中表示了导光层60具有第一导光层61及第二导光层62双方的例子。第一导光层61及第二导光层62的各自比势垒层41、43带隙能量小,并且比阱层42带隙能量大。

[0062] 电子阻挡层70是配置在有源层40与第二包层50之间的半导体层。电子阻挡层70是带隙能量比第二包层50大的半导体层。由此,电子阻挡层70作为从有源层40朝向第二包层50的电子的势垒发挥功能,从而将电子封入在有源层40中。在图2所示的例子中,电子阻挡层70配置在第二导光层62与第二包层50之间。

[0063] 绝缘层80是配置在第二包层50上方的电绝缘性的层。在本实施方式中,绝缘层80配置在第二包层50的上表面中的、脊50R的上表面以外的区域。

[0064] 上部电极91是配置在第二包层50上方的导电层。在本实施方式中,上部电极91用作用来经由绝缘层80的开口对半导体发光元件1进行电流注入的电极。上部电极91配置于第二包层50的脊50R的上表面的至少一部分。

[0065] 下部电极92是配置在衬底10的下表面的电极,用作用来对半导体发光元件1进行电流注入的电极。

[0066] [2. 实施例]

[0067] 使用图6对本实施方式的半导体发光元件1的实施例进行说明。图6是表示本实施方式的半导体发光元件1的各实施例的层结构的图。图6中记载了各实施例的半导体发光元件1及比较例的半导体发光元件具备的各层的组分及膜厚。此外,在图6中还一起表示了势垒层与阱层的带隙能量之差、最下部的势垒层(距第一导光层61最近的势垒层)与第一导光层的带隙能量(E_g)之差、以及最上部的势垒层(距第二导光层62最近的势垒层)与第二导光层62的带隙能量(E_g)之差。以下,对比较例的半导体发光元件及各实施例的半导体发光元件1的详细结构进行说明。

[0068] [2-1. 比较例]

[0069] 图6所示的比较例的半导体发光元件与本实施方式的半导体发光元件1同样地具备衬底、基底层、防裂层、第一包层、第一导光层、有源层、电子阻挡层、第二导光层和第二包层。另外,虽然在图6中没有表示,但比较例的半导体发光元件也与本实施方式的半导体发光元件1同样地具备绝缘层、上部电极及下部电极。

[0070] 比较例的半导体发光元件的衬底是作为杂质而添加了Si的N型Ga_{0.98}N衬底。基底层是膜厚1000nm的N型Al_{0.02}Ga_{0.98}N层。防裂层是膜厚150nm的N型In_{0.03}Ga_{0.97}N层。第一包层是膜厚540nm的添加了浓度 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 的Si的N型Al_{0.065}Ga_{0.935}N层。第一导光层具有膜厚127nm的添加了浓度 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 的Si的N型Al_{0.03}Ga_{0.97}N层和配置在该层上的膜厚180nm的无掺杂Al_{0.02}Ga_{0.98}N层。

[0071] 有源层具有膜厚7.5nm的无掺杂In_{0.01}Ga_{0.99}N层即阱层、配置在阱层的下方的膜厚12nm的无掺杂Al_{0.05}Ga_{0.95}N层即势垒层、以及配置在阱层的上方的膜厚12nm的无掺杂Al_{0.05}Ga_{0.95}N层即势垒层。如图6所示,在比较例的有源层中,与本实施方式的有源层40不同,各势垒层与阱层之间的带隙能量之差比0.140eV大。比较例的有源层的各势垒层与阱层之间的带隙能量之差是0.163eV。

[0072] 第二导光层是膜厚66nm的P型Al_{0.02}Ga_{0.98}N层。电子阻挡层是膜厚5.5nm的P型Al_{0.36}Ga_{0.64}N层。第二包层是膜厚660nm的添加了浓度 $8 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的Mg的P型Al_{0.065}Ga_{0.935}N层。

[0073] 在比较例的半导体发光元件中,第一导光层与有源层的势垒层中的距第一导光层最近的势垒层之间的带隙能量之差是0.080eV,第二导光层与有源层的势垒层中的距第二导光层最近的势垒层之间的带隙能量之差是0.053eV。

[0074] [2-2.实施例1]

[0075] 实施例1的半导体发光元件1具备衬底10、基底层21、防裂层22、第一包层30、第一导光层61、有源层40、第二导光层62、电子阻挡层70和第二包层50。实施例1的第二导光层62配置在有源层40与电子阻挡层70之间。

[0076] 实施例1的半导体发光元件1的衬底10、基底层21、防裂层22、第一导光层61及第二包层50具有与比较例的半导体发光元件相同的结构。

[0077] 实施例1的第一包层30是膜厚800nm的添加了浓度 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 的Si的N型Al_{0.065}Ga_{0.935}N层。

[0078] 使用图7对实施例1的有源层40进行说明。图7是表示实施例1的半导体发光元件1的有源层40的结构的示意性剖视图。在图7中表示了与图2同样的位置的半导体发光元件1的截面。如图7所示,实施例1的有源层40具有势垒层41、配置在势垒层41上方的阱层42和配置在阱层42上方的势垒层43。势垒层41是膜厚12nm的无掺杂Al_{0.04}Ga_{0.96}N层。阱层42是膜厚17.5nm的无掺杂In_{0.01}Ga_{0.99}N层。势垒层43是无掺杂Al_{0.03}Ga_{0.97}N层。另外,如图6所示,势垒层43和第二导光层62具有相同的组分(Al_{0.03}Ga_{0.97}N),势垒层43和第二导光层62的合计膜厚是130nm。即,在配置在阱层42上方的膜厚130nm的无掺杂Al_{0.03}Ga_{0.97}N层中,距阱层42较近的部分作为势垒层43发挥功能,距阱层42较远的部分作为第二导光层62发挥功能。

[0079] 电子阻挡层70是膜厚1.6nm的P型Al_{0.36}Ga_{0.64}N层。

[0080] 使用图8对实施例1的半导体发光元件1的带隙能量分布进行说明。图8是示意地表示实施例1的半导体发光元件1的层叠方向上的带隙能量分布的绘图。

[0081] 如图8(及图6)所示,在实施例1的半导体发光元件1中,有源层40的各势垒层与阱层42之间的带隙能量之差是0.140eV以下。

[0082] 此外,如图6所示,在实施例1的半导体发光元件1中,第一导光层61与势垒层41之间的带隙能量之差是0.053eV。此外,第二导光层62和势垒层43由于具有相同的组分所以在带隙能量上没有差异。

[0083] [2-3. 实施例2]

[0084] 实施例2的半导体发光元件1如图6所示,主要在电子阻挡层70和第二导光层62的位置关系以及第一导光层61的组分上与实施例1的半导体发光元件1不同。

[0085] 实施例2的半导体发光元件1的衬底10、基底层21及防裂层22分别具有与实施例1的半导体发光元件1(及比较例的半导体发光元件)的衬底10、基底层21及防裂层22相同的结构。实施例2的半导体发光元件1的第一包层30、阱层42及电子阻挡层70分别具有与实施例1的半导体发光元件1的第一包层30、阱层42及电子阻挡层70相同的结构。

[0086] 实施例2的第一导光层61具有膜厚127nm的添加了浓度 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 的Si的N型 $\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ 层和配置在该层上的膜厚90nm的无掺杂 $\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ 层。势垒层41是膜厚10nm的无掺杂 $\text{Al}_{0.04}\text{Ga}_{0.96}\text{N}$ 层。势垒层43是膜厚20nm的无掺杂 $\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ 层。第二导光层62是配置在电子阻挡层70上方的膜厚130nm的P型 $\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ 层。在第二导光层62中添加了浓度 $3 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的Mg。第二包层50是膜厚450nm的P型 $\text{Al}_{0.065}\text{Ga}_{0.935}\text{N}$ 层。

[0087] 使用图9对实施例2的半导体发光元件1的带隙能量分布进行说明。图9是示意地表示实施例2的半导体发光元件1的层叠方向上的带隙能量分布的绘图。

[0088] 如图9(及图6)所示,在实施例2的半导体发光元件1中,有源层40的各势垒层与阱层42之间的带隙能量之差是0.140eV以下。此外,在实施例2中,与实施例1相比,势垒层41与第一导光层61之间的带隙能量之差较小。

[0089] 此外,如图6所示,在实施例2的半导体发光元件1中,第一导光层61与势垒层41之间的带隙能量之差是0.027eV。此外,第二导光层62和势垒层43由于具有相同的组分所以在带隙能量上没有差异。

[0090] [2-4. 实施例3]

[0091] 实施例3的半导体发光元件1如图6所示,主要在第二导光层62的杂质(Mg)浓度较低这一点上与实施例2的半导体发光元件1不同。

[0092] 实施例3的半导体发光元件1的衬底10、基底层21及防裂层22分别具有与实施例2的半导体发光元件1(及比较例的半导体发光元件)的衬底10、基底层21及防裂层22相同的结构。实施例3的半导体发光元件1的第一包层30、第一导光层61、阱层42、势垒层43、电子阻挡层70及第二包层50分别具有与实施例2的半导体发光元件1的第一包层30、第一导光层61、阱层42、势垒层43、电子阻挡层70及第二包层50相同的结构。

[0093] 实施例3的势垒层41与实施例1的势垒层41同样是膜厚12nm的无掺杂 $\text{Al}_{0.04}\text{Ga}_{0.96}\text{N}$ 层。第二导光层62与实施例2的第二导光层62同样是膜厚130nm的P型 $\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ 层,但杂质浓度比实施例2的第二导光层62低。实施例3的第二导光层62的Mg浓度是 $2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 。

[0094] 实施例3的半导体发光元件1的带隙能量分布与实施例2的半导体发光元件1的带隙能量分布同样。如图6所示,在实施例3的半导体发光元件1中,也与实施例2同样,有源层40的各势垒层与阱层42之间的带隙能量之差是0.140eV以下。

[0095] [2—5.实施例4]

[0096] 实施例4的半导体发光元件1如图6所示,主要在势垒层43的组分上与实施例2的半导体发光元件1不同。

[0097] 实施例4的半导体发光元件1的衬底10及基底层21分别具有与实施例2的半导体发光元件1(及比较例的半导体发光元件)的衬底10及基底层21相同的结构。实施例4的半导体发光元件1的第一包层30、第一导光层61、阱层42、电子阻挡层70、第二导光层62及第二包层50分别具有与实施例2的半导体发光元件1的第一包层30、第一导光层61、阱层42、电子阻挡层70、第二导光层62及第二包层50相同的结构。

[0098] 实施例4的防裂层22是膜厚150nm的N型 $\text{In}_{0.04}\text{Ga}_{0.96}\text{N}$ 层。第一导光层61具有膜厚127nm的添加了浓度 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 的Si的N型 $\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ 层和配置在该层上的膜厚80nm的无掺杂 $\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ 层。势垒层41是膜厚14nm的无掺杂 $\text{Al}_{0.04}\text{Ga}_{0.96}\text{N}$ 层。势垒层43是膜厚10nm的无掺杂 $\text{Al}_{0.04}\text{Ga}_{0.96}\text{N}$ 层。

[0099] 使用图10对实施例4的半导体发光元件1的带隙能量分布进行说明。图10是示意地表示实施例4的半导体发光元件1的层叠方向上的带隙能量分布的绘图。

[0100] 如图10(及图6)所示,在实施例4的半导体发光元件1中也与实施例2同样,有源层40的各势垒层与阱层42之间的带隙能量之差是0.140eV以下。此外,在实施例4的半导体发光元件1中,势垒层43的带隙能量比实施例2的势垒层43的带隙能量大。

[0101] 此外,如图6所示,在实施例4的半导体发光元件1中,第一导光层61与势垒层41之间的带隙能量之差是0.027eV。此外,第二导光层62与势垒层43之间的带隙能量之差也是0.027eV。

[0102] [2—6.实施例5]

[0103] 实施例5的半导体发光元件1如图6所示,主要在阱层42是 AlInGaN 层这一点上与实施例1的半导体发光元件1不同。

[0104] 实施例5的半导体发光元件1的衬底10、基底层21、防裂层22及第二包层50分别具有与实施例1的半导体发光元件1(及比较例的半导体发光元件)的衬底10、基底层21、防裂层22及第二包层50相同的结构。实施例5的半导体发光元件1的第一包层30、势垒层41及电子阻挡层70分别具有与实施例1的半导体发光元件1的第一包层30、势垒层41及电子阻挡层70相同的结构。

[0105] 实施例5的第一导光层61与实施例2的第一导光层61同样,具有膜厚127nm的添加了浓度 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 的Si的N型 $\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ 层和配置在该层上的膜厚90nm的P型 $\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ 层。阱层42是膜厚17.5nm的无掺杂 $\text{Al}_{0.02}\text{In}_{0.035}\text{Ga}_{0.945}\text{N}$ 层。势垒层43是无掺杂 $\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ 层。如图6所示,势垒层43和第二导光层62具有相同的组分($\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$),势垒层43与第二导光层62的合计膜厚是70nm。即,在配置在阱层42上方的膜厚70nm的无掺杂 $\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ 层中,距阱层42较近的部分作为势垒层43发挥功能,距阱层42较远的部分作为第二导光层62发挥功能。

[0106] 实施例5的半导体发光元件1的带隙能量分布与实施例1的半导体发光元件1的带隙能量分布同样。如图6所示,在实施例5的半导体发光元件1中也与实施例1同样,有源层40的各势垒层与阱层42之间的带隙能量之差是0.140eV以下。

[0107] [3.特性及效果]

[0108] 一边将上述的比较例与各实施例比较,一边使用图6及图11对本实施方式的半导体发光元件1的特性及效果进行说明。图11是表示本实施方式的各实施例的特性的图。在图11中,与通过各实施例的半导体发光元件1的实验得到的特性一起,也一起表示了通过比较例的半导体发光元件的实验得到的特性。另外,在图11中,关于在本公开的申请时未测定的特性,记载为“未测定”。此外,图11所示的各半导体发光元件的激光振荡时的特性表示出在室温下以0.3W的光输出进行连续(CW)振荡动作的情况的特性。

[0109] 图11所示的自发放射光的峰值光子能量(峰值位置)及半高宽度(半高全宽)是通过用光谱分析器(spectrum analyzer)测定被注入了小于振荡阈值的电流的各半导体发光元件的发光光谱而求出的值。图11所示的激光的峰值光子能量(峰值位置)及半高宽度(半高全宽)是通过用光谱分析器测定被注入了比振荡阈值大的电流的各半导体发光元件的发光光谱而求出的值。

[0110] 图11所示的PL—激光能量差是图11所示的通过上述的方法测定出的PL光谱的峰值光子能量与激光的峰值光子能量之差。

[0111] 图11所示的PL—自发放射光能量差是通过上述的方法测定出的PL光谱的峰值光子能量与图11所示的自发放射光的峰值光子能量之差。

[0112] 图11所示的激光峰值位置处的PL强度比是从被进行了电流注入的半导体发光元件射出的激光的峰值光子能量中的PL强度相对于峰值PL强度的比。

[0113] 图11所示的比PL峰值位置低0.050eV的能量侧的位置处的PL强度比,是PL光谱的比峰值光子能量低0.050eV的能量侧的光子能量中的PL强度相对于峰值PL强度的比。

[0114] 对于图11所示的斜率效率(slope efficiency)及输出饱和开始点,作为一例而使用图12A及图12B所示的实施例5的半导体发光元件1的特性进行说明。图12A是表示实施例5的半导体发光元件1的注入电流与光输出的关系的绘图,I—L曲线被用实线表示,斜率效率曲线(I—L曲线的斜率)被用虚线表示。图12B是表示实施例5的半导体发光元件1的光输出与光输出相对于输入功率的比例(即,墙插效率WPE(wall plug efficiency))之间的关系的绘图。

[0115] 斜率效率是每单位电流增量的光输出增量,是与图12A所示的I—L曲线的斜率对应的值。在图11中表示了每个光输出范围的斜率效率。

[0116] 输出饱和开始点是相当于I—L曲线的斜率开始减小的拐点的点,如图12A所示,输出饱和开始点处的光输出是2.1W(2100mW)。此外,输出饱和开始点也可以如图12B所示那样定义为光输出相对于向半导体发光元件的输入功率的比例为最大的点。

[0117] 首先,对于本实施方式的半导体发光元件1的激光的峰值光子能量与PL峰值光子能量的关系,一边与比较例比较一边使用图13及图14进行说明。图13及图14分别是表示比较例的半导体发光元件及实施例1的半导体发光元件1的激光光谱和PL光谱的绘图。在图13及图14中,分别将激光光谱用实线表示,将PL光谱用虚线表示。

[0118] 如图13所示,在比较例的半导体发光元件中,PL的峰值光子能量比激光的峰值光子能量高0.049eV。相对于此,在实施例1的半导体发光元件1中,PL的峰值光子能量比激光的峰值光子能量高0.112eV。这样,在实施例1的半导体发光元件1中,与比较例的半导体发光元件相比,PL—激光能量差更大。由此,在实施例1的半导体发光元件1中,激光的峰值光子能量下的PL的强度相比于比较例的半导体发光元件而言变小。如图11及图13所示,在比

较例的半导体发光元件中,激光峰值位置处的PL强度比是0.84,相对于此,在实施例1的半导体发光元件1中,如图11及图14所示那样是0.02。这里,可以认为PL的强度与光吸收的大小相对应。因而,在实施例1的半导体发光元件1中,与比较例的半导体发光元件相比,能够减少激光在有源层40中的激光的吸收。由此,如图11所示,在实施例1的半导体发光元件1中,与比较例的半导体发光元件相比,能够提高输出饱和和开始点光输出、输出饱和和开始点电流密度及斜率效率。

[0119] 如图11所示,在实施例2~实施例5的各半导体发光元件1中也能得到与实施例1的半导体发光元件1同样的特性。这里,使用图15及图16,对各实施例的半导体发光元件1和比较例的半导体发光元件的输出饱和和开始点及斜率效率与PL—激光能量差的关系进行说明。图15是表示各实施例的半导体发光元件1及比较例的半导体发光元件的输出饱和和开始点处的光输出与PL—激光能量差的关系的绘图。图16是表示各实施例的半导体发光元件1及比较例的半导体发光元件的光输出为0.5W以上1.0W以下的情况下的斜率效率与PL—激光能量差的关系的绘图。在图15及图16中,黑圆标记表示各实施例的数据,黑四方标记表示比较例的数据。这里,关于光输出为0.5W以上1.0W以下的范围,在比较例中包括斜率效率下降的高输出区域,而在本实施方式中,输出不达到饱和,成为斜率效率稳定的区域。

[0120] 如图15及图16所示,在比较例的半导体发光元件中,PL—激光能量差小于0.050eV,相对于此,在各实施例的半导体发光元件1中,PL—激光能量差是0.050eV以上。更详细地讲,在各实施例的半导体发光元件1中,有源层40的PL的峰值光子能量比激光的峰值光子能量高0.050eV以上。由此,如上述那样,能够减少有源层40中的激光的吸收,所以如图15及图16所示,能够提高输出饱和和开始点处的光输出及斜率效率。具体而言,能够使输出饱和和开始点处的光输出成为0.7W以上,能够使斜率效率成为0.7W/A以上。换言之,至少在光输出为0.5W以上、0.7W以下的范围中光输出相对于注入电流线性地增加。此外,在此情况下,输出饱和和开始点处的电流密度为60kA/mm²以上。

[0121] 在具有以上这样的特性的半导体发光元件1中,能够实现高输出化。在各实施例中,通过实验确认了通过室温下1W的光输出至少能够进行连续100小时以上的连续振荡。

[0122] 此外,确认了存在PL—激光能量差越大则输出饱和和开始点及斜率效率等输出特性越提高的趋势。

[0123] 此外,在本实施方式的半导体发光元件1中,也可以是,有源层40的PL的峰值光子能量比激光的峰值光子能量高0.103eV以上。由此,能够进一步提高输出饱和和开始点处的斜率效率。具体而言,能够使斜率效率成为0.75W/A以上。此外,也可以是,有源层40的PL的峰值光子能量比激光的峰值光子能量高0.111V以上。由此,能够进一步提高输出饱和和开始点处的光输出及斜率效率。具体而言,能够使输出饱和和开始点处的光输出成为1.4W以上,能够使斜率效率成为1.1W/A以上。随之,能够实现半导体发光元件1的进一步的高输出化。在这些情况下,输出饱和和开始点处的电流密度也可以是78kA/mm²以上。

[0124] 此外,在本实施方式的半导体发光元件1中,也可以是,有源层40的PL的峰值光子能量与激光的峰值光子能量之差是0.250eV以下。由此,在半导体发光元件1的有源层40中能够可靠地得到增益。

[0125] 此外,在本实施方式的半导体发光元件1中,也可以是,如图11所示,在有源层40的PL光谱中,激光的峰值光子能量下的PL的强度是PL光谱的峰值强度的40%以下。由此,能够

减少有源层40中的激光的吸收,所以能够提高输出饱和和开始点处的光输出。另外,在PL—激光能量差是0.050eV的情况下,在本实施例的有源层40的PL光谱中的半高宽度最宽的例子中,激光的峰值光子能量下的PL的强度是PL光谱的峰值强度的40%左右。

[0126] 进而,在本实施方式的半导体发光元件1中,也可以是,如图11所示,在有源层40的PL光谱中,激光的峰值光子能量下的PL的强度是PL光谱的峰值强度的8%以下。由此,能够进一步减少有源层40中的激光的吸收,所以能够进一步提高输出饱和和开始点处的光输出。

[0127] 此外,在本实施方式的半导体发光元件1中,在如各实施例那样激光的峰值光子能量是3.1eV以上的情况下,本实施方式的半导体发光元件1的效果更显著。即,在峰值光子能量较大的情况下,由于每一个光子的能量较大,所以因光吸收带来的发热的影响较大。特别是,在激光的峰值光子能量为3.1eV以上的情况下,本实施方式的半导体发光元件1的光吸收的减少的效果变得显著。因而,还能够抑制伴随着光吸收的半导体发光元件1的光损伤。

[0128] 接着,使用图17~图22对本实施方式的半导体发光元件1的自发放射光及PL的光谱的关系进行说明。图17、图18、图19及图20分别是表示比较例、实施例1、实施例2及实施例5的半导体发光元件的自发放射光光谱和PL光谱的绘图。在图17~图20中,分别将自发放射光光谱用实线表示,将PL光谱用虚线表示。图21是表示各实施例的半导体发光元件1及比较例的半导体发光元件的输出饱和和开始点处的光输出与PL—自发放射光能量差的关系的绘图。图22是表示各实施例的半导体发光元件1及比较例的半导体发光元件的光输出为0.5W以上1.0W以下的情况下的斜率效率与PL—自发放射光能量差的关系的绘图。在图21及图22中,黑圆标记表示各实施例的数据,黑四方标记表示比较例的数据。

[0129] 如图17、图21及图22所示,在比较例的半导体发光元件中,PL—自发放射光能量差小于0.070eV,相对于此,如图18~图20所示那样在实施例1、2、5的半导体发光元件1中,PL—自发放射光能量差是0.070eV以上。更详细地讲,在各实施例的半导体发光元件1中,有源层40的PL的峰值光子能量比自发放射光的峰值光子能量高0.070eV以上。关于实施例3、4的半导体发光元件1,也如图11所示,具有与实施例2的半导体发光元件1同样的特性。

[0130] 已知的是,半导体发光元件的激光的峰值光子能量根据谐振器的各条件而变化,在自发放射光的增益区域(得到增益的光子能量范围)内,通过自发放射光的峰值光子能量既可能有变大的情况也可能有变小的情况。在各实施例的半导体发光元件1中,有源层40的PL的峰值光子能量比自发放射光的峰值光子能量高0.070eV以上。因此,在本实施方式的半导体发光元件1中,在依存于谐振器的条件而振荡波长从作为目标的波长偏离了的情况下,也能够将PL与激光之间的峰值光子能量之差确保得充分大,所以能够减少激光在有源层40中的激光的吸收。因而,能够提高输出饱和和开始点处的光输出。

[0131] 此外,在本实施方式的半导体发光元件1中,也可以是,有源层40的PL的峰值光子能量比自发放射光的峰值光子能量高0.090eV以上。由此,能够进一步提高输出饱和和开始点处的光输出及斜率效率。随之,能够实现半导体发光元件1的进一步的高输出。

[0132] 此外,在本实施方式的半导体发光元件1中,也可以是,有源层40的PL的峰值光子能量与自发放射光的峰值光子能量之差是0.250eV以下。由此,在半导体发光元件1的有源层40中,能够可靠地得到增益。

[0133] 这里,对得到上述那样的特性的半导体发光元件1的结构进行说明。在本实施方式中,如图6所示,势垒层41、43与阱层42之间的带隙能量之差是0.140eV以下。虽然详细的机

理不明,但是在如本实施方式的半导体发光元件1那样各势垒层与阱层42之间的带隙能量之差较小的情况下,被注入到阱层42中的载流子的一部分越过各势垒层而向第一导光层61或第二导光层62流出。推测为,通过流出到各导光层中的载流子,有源层40的PL光谱向高能侧变动。

[0134] 此外,在本实施方式中,如图6所示,第一导光层61与距第一导光层61最近的势垒层41之间的带隙能量之差小于0.080eV。此外,第二导光层62与距第二导光层62最近的势垒层43之间的带隙能量之差小于0.080eV。这样,通过减小各导光层与距该导光层最近的势垒层之间的带隙能量,能够使越过该势垒而流出到该导光层中的载流子再次回到阱层42。

[0135] 此外,如实施例2~实施例4的半导体发光元件1那样,本实施方式的半导体发光元件1也可以还具备配置在距第二包层50最近的势垒层43的上方、与势垒层43相接的电子阻挡层。被注入到半导体发光元件1的阱层42的电子由于有效质量比空穴小,所以容易越过势垒层43。因此,越过距作为P型包层的第二包层50较近的势垒层43的载流子比越过距第一包层30较近的势垒层41的空穴多。所以,在实施例2~实施例4的半导体发光元件1中,具备配置在势垒层43的上方、与势垒层43相接的电子阻挡层70。由此,在势垒层43与电子阻挡层70之间,不形成带隙能量比势垒层43及电子阻挡层70低的区域。因而,越过势垒层43后的电子容易回到阱层42。由此,能够减小阱层42以外的区域中的电子与空穴的复合概率,所以能够提高半导体发光元件1的发光效率(及斜率效率等)。

[0136] 此外,在如实施例1及实施例5的半导体发光元件1的势垒层43及第二导光层62那样、相邻的势垒层43及第二导光层62具有相同组分的情况下,也可以将它们视为一个势垒层。在此情况下,在实施例1及实施例5的半导体发光元件1中,能够视为电子阻挡层与将势垒层43和第二导光层62合并而得的势垒层相接。因而,实施例1及实施例5的半导体发光元件1也能得到与实施例2~实施例4的半导体发光元件1同样的由电子阻挡层70带来的效果。

[0137] 此外,也可以是,本实施方式的半导体发光元件1具有配置在第一包层30与有源层40之间的第一导光层61以及配置在有源层40与第二包层50之间的第二导光层62中的至少一方,阱层42的厚度是17.5nm以上。

[0138] 通过这样阱层42较厚与在各导光层内存在载流子的叠加效果,能够使PL光谱比激光的峰值光子能量大0.050eV。另外,在各实施例中,有源层40具有单一的阱层42,但也可以具有多个阱层。即,有源层40也可以具有多重量子阱构造。在此情况下,多个阱层的合计厚度可以是17.5nm。

[0139] 此外,也可以是,如实施例5的半导体发光元件1那样,各势垒层由 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ ($0 < z < 1$) 构成,阱层42由 $\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($0 < x < 1, 0 < y < 1$) 构成。由此,能得到与如实施例1~实施例4的半导体发光元件1那样阱层42由InGaN构成的情况同样的PL—激光能量差及PL—自发射光能量差。进而,在实施例5的半导体发光元件1中,与实施例1~实施例4的半导体发光元件1相比能够提高输出饱和和开始点处的光输出及斜率效率。

[0140] 另外,在有源层40具有多重量子阱构造的情况下,也可以是,3个以上的势垒层由 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ ($0 < z < 1$) 构成,两个以上的阱层由 $\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($0 < x < 1, 0 < y < 1$) 构成。在此情况下也能得到与单一量子阱构造的情况(例如实施例5)同样的效果。

[0141] (变形例等)

[0142] 以上,对于本公开的半导体发光元件,基于实施方式的各实施例进行了说明,但本

公开并不限于上述实施方式的各实施例。

[0143] 例如,在上述各实施例中,表示了半导体发光元件1是半导体激光元件的例子,但半导体发光元件1并不限于半导体激光元件。例如也可以是,本公开的半导体发光元件具备有源层40,有源层40的PL的峰值光子能量比从被进行了电流注入的半导体发光元件射出的自发放射光的峰值光子能量高0.070eV以上。本公开的半导体发光元件例如也可以是超发光二极管。

[0144] 上述各实施例的半导体发光元件1在有源层40与第二包层50之间具备一层的第二导光层62,但也可以具备二层以上的第二导光层62。例如,本公开的半导体发光元件也可以具备配置在有源层40与电子阻挡层70之间的第二导光层62、以及配置在电子阻挡层70与第二包层50之间的第二导光层62。在此情况下,各第二导光层62的结构也可以相互不同。

[0145] 上述各实施例的半导体发光元件1的有源层40具有单一量子阱构造,但也可以具有多重量子阱构造。即,也可以具有将3个以上的势垒层与两个以上的阱层交替地层叠而得的构造。

[0146] 此外,在上述实施方式中,阱层42由InGa_N或AlInGa_N构成,但阱层42的结构并不限于此。阱层42例如也可以由Ga_N构成。

[0147] 此外,对上述实施方式及变形例实施本领域技术人员想到的各种变形而得到的形态、通过在不脱离本公开的主旨的范围内将上述实施方式及变形例的构成要素及功能任意地组合而实现的形态也包含在本公开中。

[0148] 工业实用性

[0149] 本公开的半导体发光元件等例如能够作为高输出且高效率的光源而在激光加工用的光源等中使用。

[0150] 附图标记说明

[0151] 1 半导体发光元件

[0152] 1F、1R 端面

[0153] 10 衬底

[0154] 21 基底层

[0155] 22 防裂层

[0156] 30 第一包层

[0157] 40 有源层

[0158] 41、43 势垒层

[0159] 42 阱层

[0160] 50 第二包层

[0161] 50R 脊

[0162] 50T 槽

[0163] 60 导光层

[0164] 61 第一导光层

[0165] 62 第二导光层

[0166] 70 电子阻挡层

[0167] 80 绝缘层

[0168] 91 上部电极

[0169] 92 下部电极

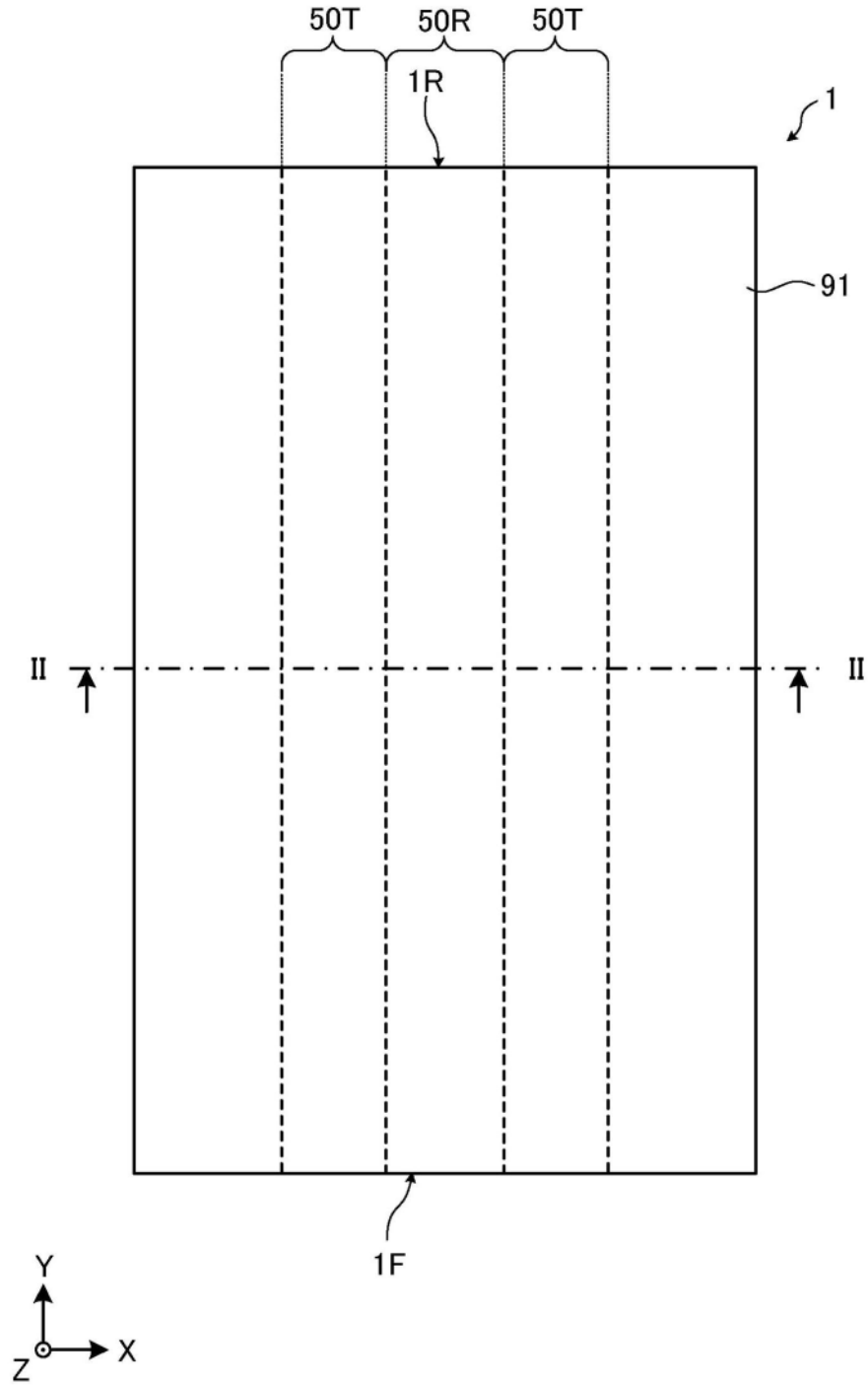


图1

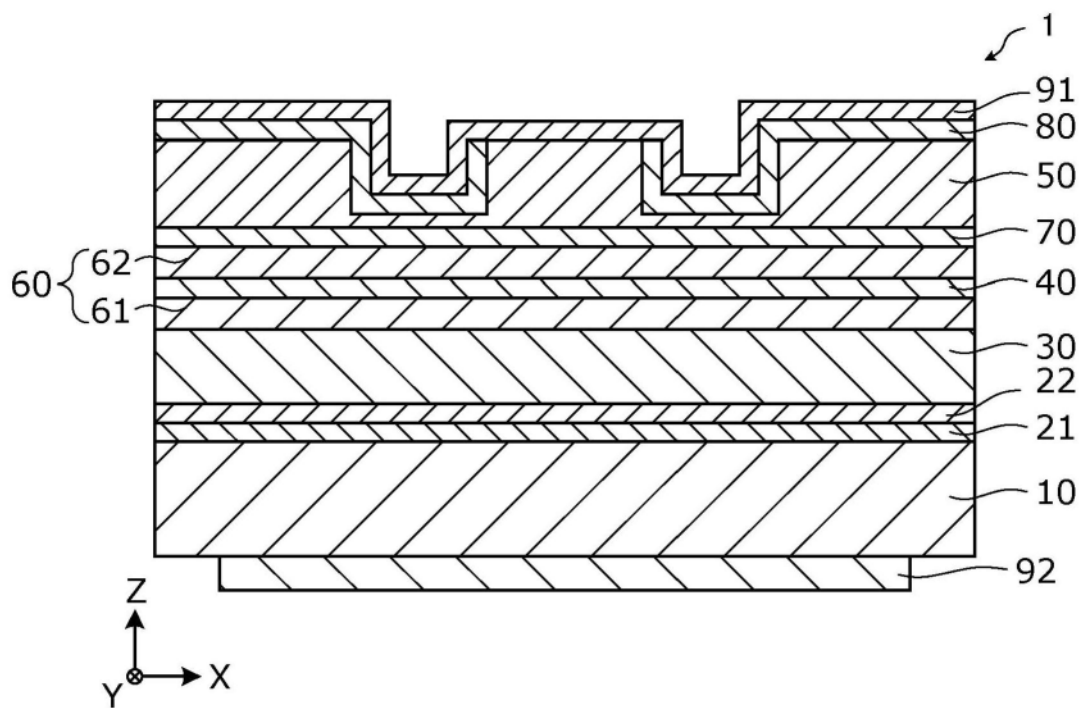


图2

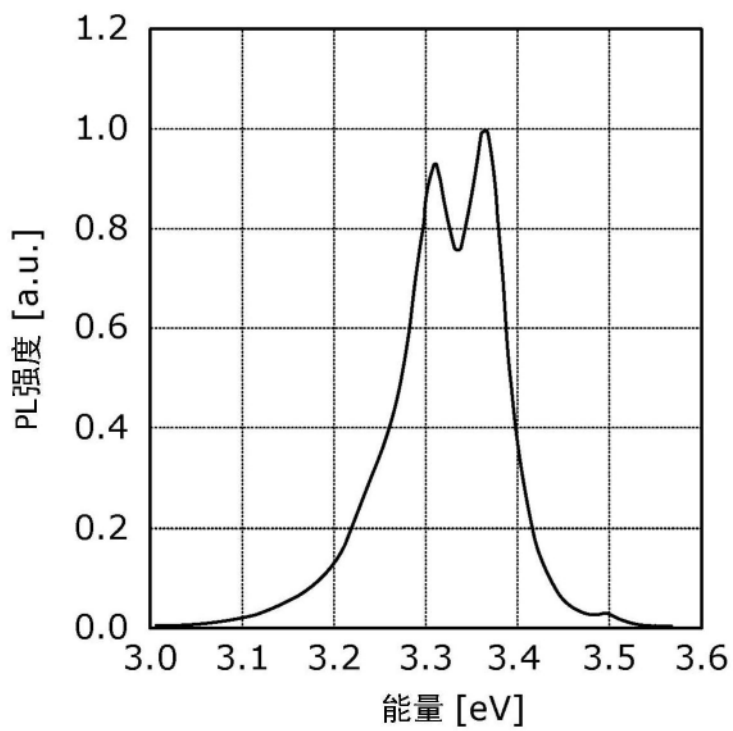


图3

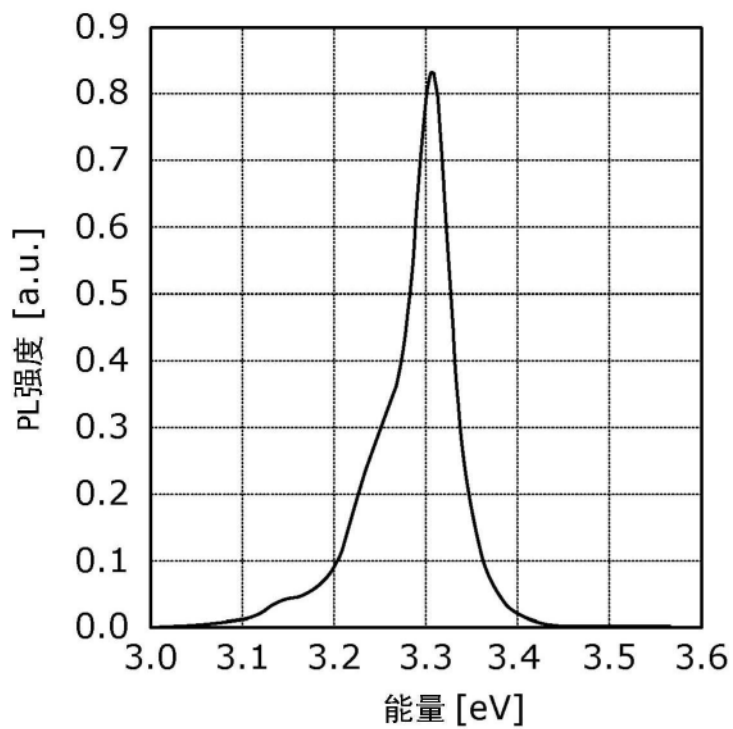


图4

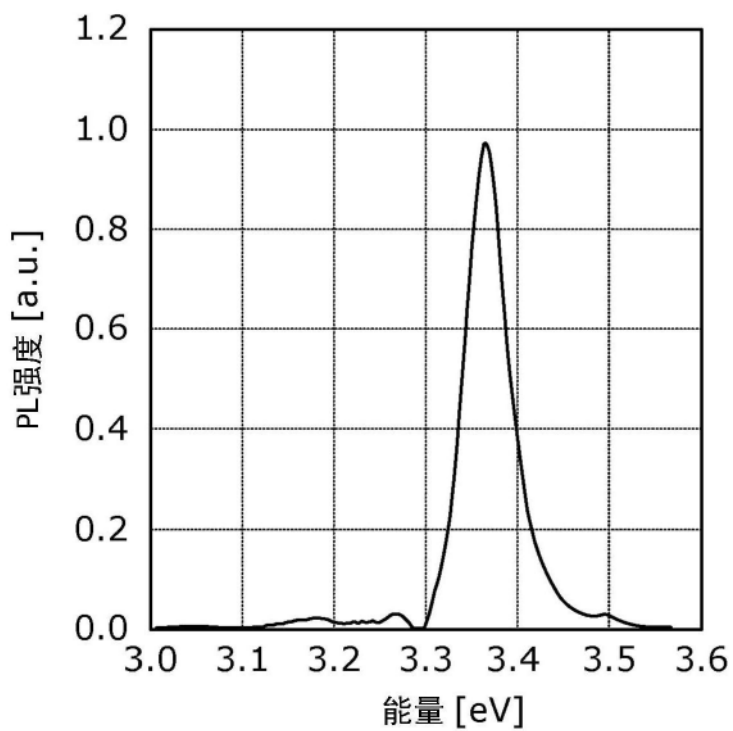


图5

实施例 (比较例) 名称	比较例	实施例1	实施例2	实施例3	实施例4	实施例5
第二包层	P-Al _{0.065} Ga _{0.935} N、660nm	与比较例相同	P-Al _{0.065} Ga _{0.935} N、450nm	与实施例2相同	与实施例2相同	与比较例相同
第二导光层	无	无	P-Al _{0.03} Ga _{0.97} N、130nm	Mg浓度比实施例2低	与实施例2相同	无
电子阻挡层	P-Al _{0.36} Ga _{0.64} N、5.5nm	P-Al _{0.36} Ga _{0.64} N、1.6nm	与实施例1相同	与实施例1相同	与实施例1相同	与实施例1相同
第二导光层	P-Al _{0.02} Ga _{0.98} N、66nm	Al _{0.03} Ga _{0.97} N、130nm	无	无	无	Al _{0.03} Ga _{0.97} N、70nm
有源层	势垒层 (最上部)	Al _{0.05} Ga _{0.95} N、10nm	Al _{0.03} Ga _{0.97} N、20nm	与实施例2相同	Al _{0.04} Ga _{0.96} N、10nm	Al _{0.04} Ga _{0.96} N、10nm
	阱层	In _{0.01} Ga _{0.99} N、7.5nm	In _{0.01} Ga _{0.99} N、17.5nm	与实施例1相同	与实施例1相同	Al _{0.02} In _{0.035} Ga _{0.945} N、17.5nm
	势垒层 (最下部)	Al _{0.05} Ga _{0.95} N、12nm	Al _{0.04} Ga _{0.96} N、12nm	与实施例1相同	Al _{0.04} Ga _{0.96} N、14nm	与实施例1相同
第一导光层	Al _{0.02} Ga _{0.98} N、180nm Al _{0.03} Ga _{0.97} N、127nm	与比较例相同 与比较例相同	Al _{0.03} Ga _{0.97} N、217nm	与实施例2相同	Al _{0.03} Ga _{0.97} N、207nm	与实施例2相同
第一包层	Al _{0.065} Ga _{0.935} N、540nm	Al _{0.065} Ga _{0.935} N、800nm	与实施例1相同	与实施例1相同	与实施例1相同	与实施例1相同
防裂层	In _{0.03} Ga _{0.97} N、150nm	与比较例相同	与比较例相同	与比较例相同	In _{0.04} Ga _{0.96} N、150nm	与比较例相同
基底层	Al _{0.02} Ga _{0.98} N、1000nm	与比较例相同	与比较例相同	与比较例相同	与比较例相同	与比较例相同
衬底	GaN:Si (P-GaN)	与比较例相同	与比较例相同	与比较例相同	与比较例相同	与比较例相同
势垒层 (最下部) Eg-阱层Eg	0.163eV	0.136eV	0.136eV	0.136eV	0.136eV	0.136eV
势垒层 (最上部) Eg-阱层Eg	0.163eV	0.110eV	0.110eV	0.110eV	0.136eV	0.110eV
势垒层 (最下部) Eg-第一导光层Eg	0.080eV	0.053eV	0.027eV	0.027eV	0.027eV	0.027eV
势垒层 (最上部) Eg-第二导光层Eg	0.053eV	0.000eV	0.000eV	0.000eV	0.027eV	0.000eV

图6

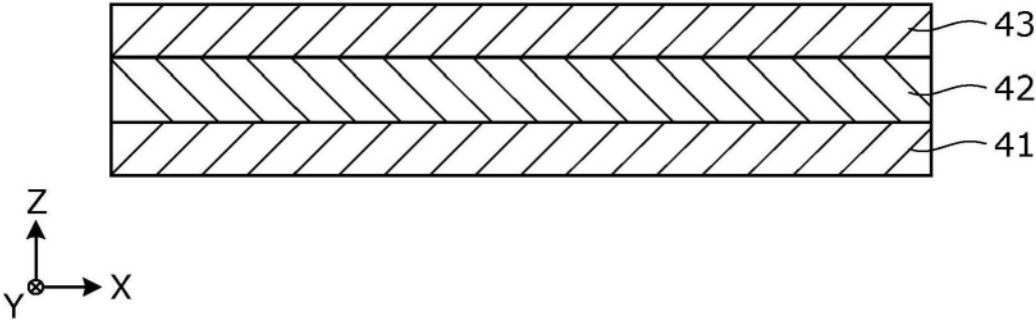


图7

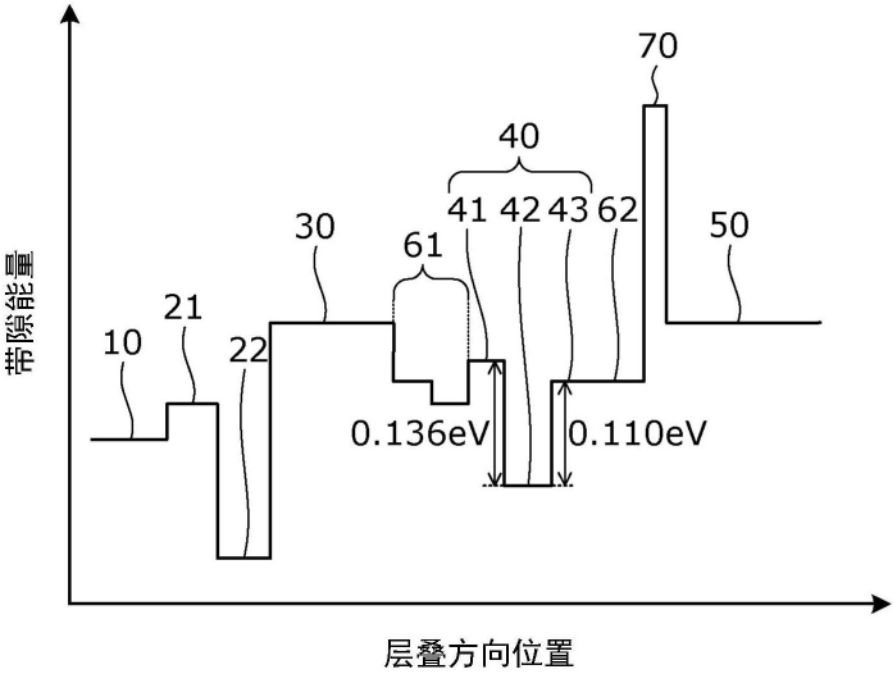


图8

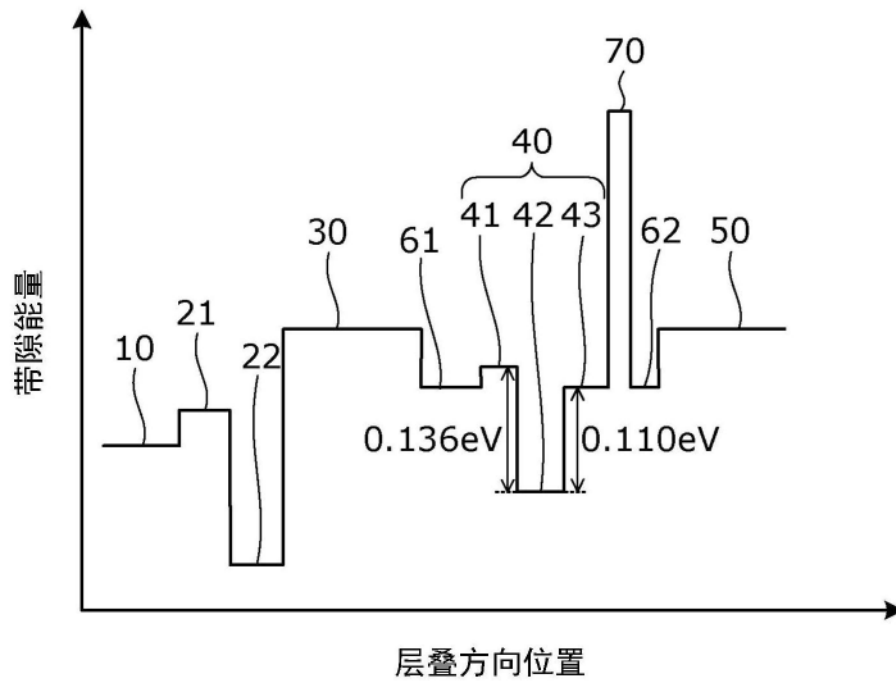


图9

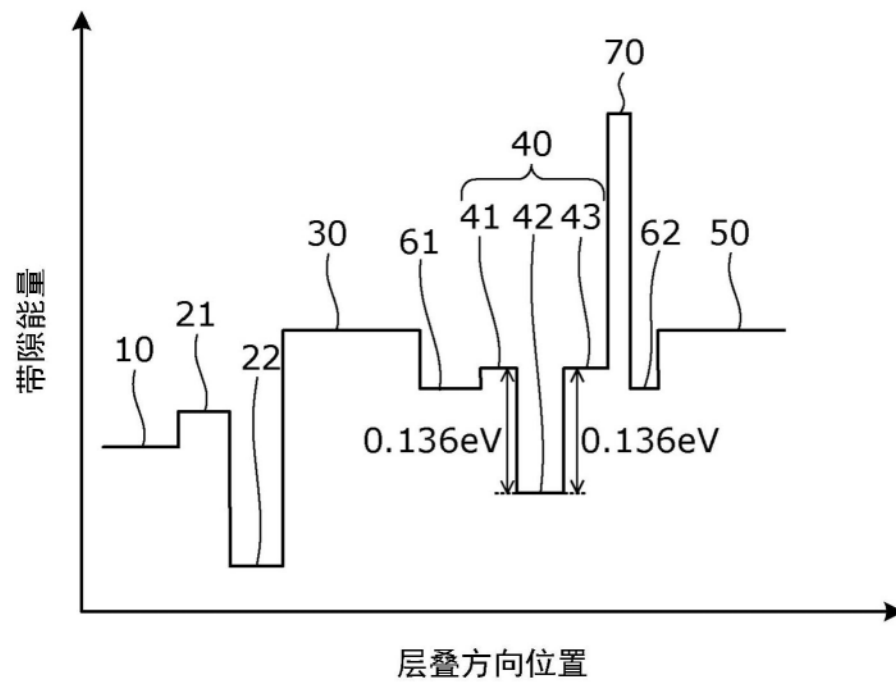


图10

实施例（比较例）名称	比较例	实施例1	实施例2	实施例3	实施例4	实施例5
自发放射光	峰值位置[eV]	3.263	3.268	3.271	3.251	3.263
	半高宽度[eV]	0.084	0.083	0.074	0.083	0.079
激光	峰值位置[eV]	3.243	3.253	3.248	3.289	3.240
	半高宽度[eV]	0.003	0.006	0.005	0.008	0.006
PL—激光能量差 [eV]	0.049	0.112	0.111	0.116	0.103	0.115
PL—自发放射光能量差[eV]	0.068	0.092	0.096	0.093	0.144	0.092
输出饱和和开始点光输出[W]	0.6	1.4	1.4	1.4	(未测定)	2.1
输出饱和和开始点电流密度[kA/mm ²]	56	78	94	83	(未测定)	89
斜率效率[W/A] at 0.5W-1.0W	0.65	1.3	1.1	1.2	0.75	1.7
斜率效率[W/A] at 1.0W-1.5W	—	1.3	1.0	1.2	(未测定)	1.7
斜率效率[W/A] at 1.5W-2.0W	—	0.6	0.7	0.8	(未测定)	1.7
斜率效率[W/A] at 2.0W-2.5W	—	—	—	—	(未测定)	1.3
激光峰值位置处的PL强度比	0.84	0.02	0.02	0.03	0.01	0.08
比PL峰值位置低0.05eV能量侧的位置处的PL强度比	0.84	0.08	0.12	0.12	0.40	0.08

图11

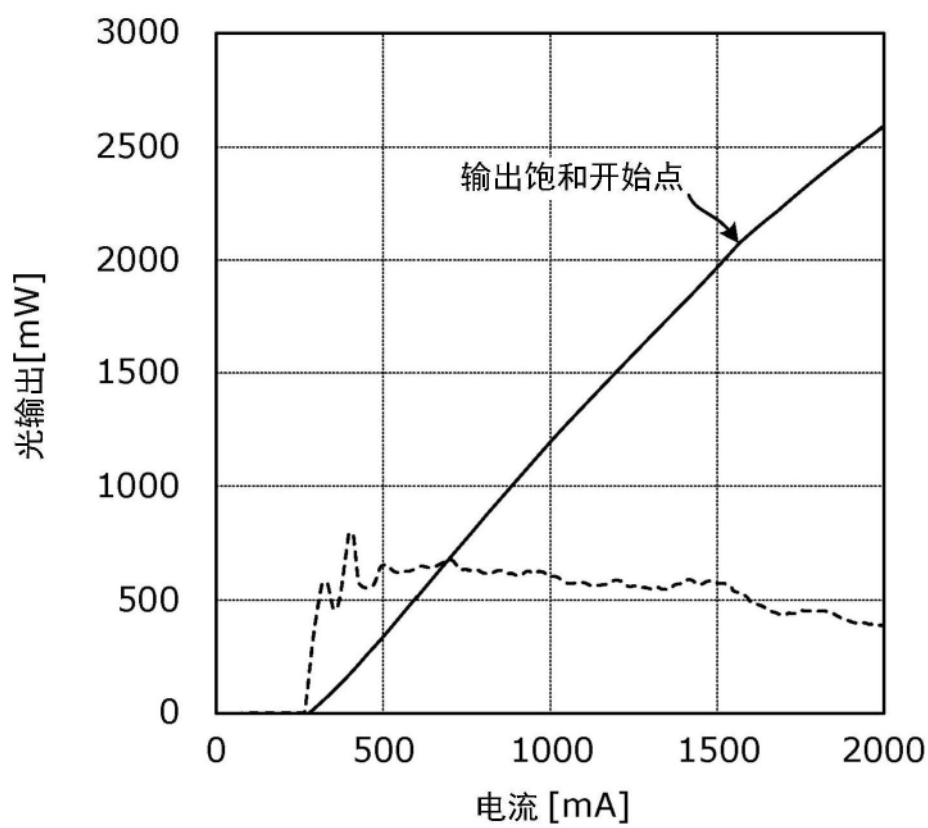


图12A

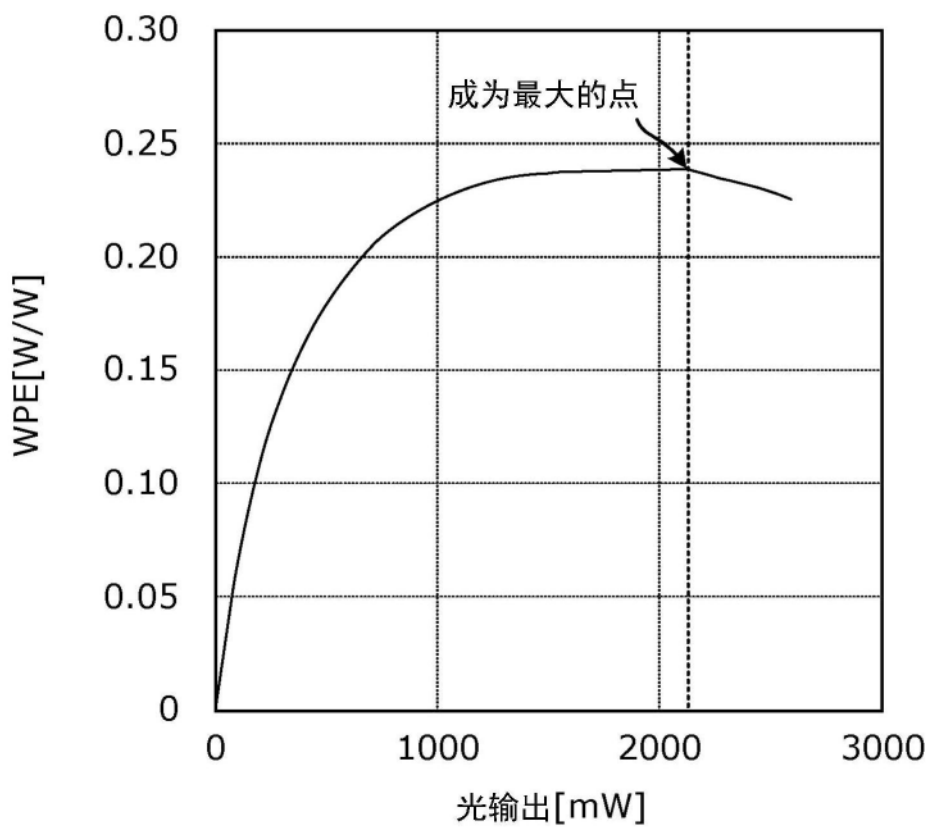


图12B

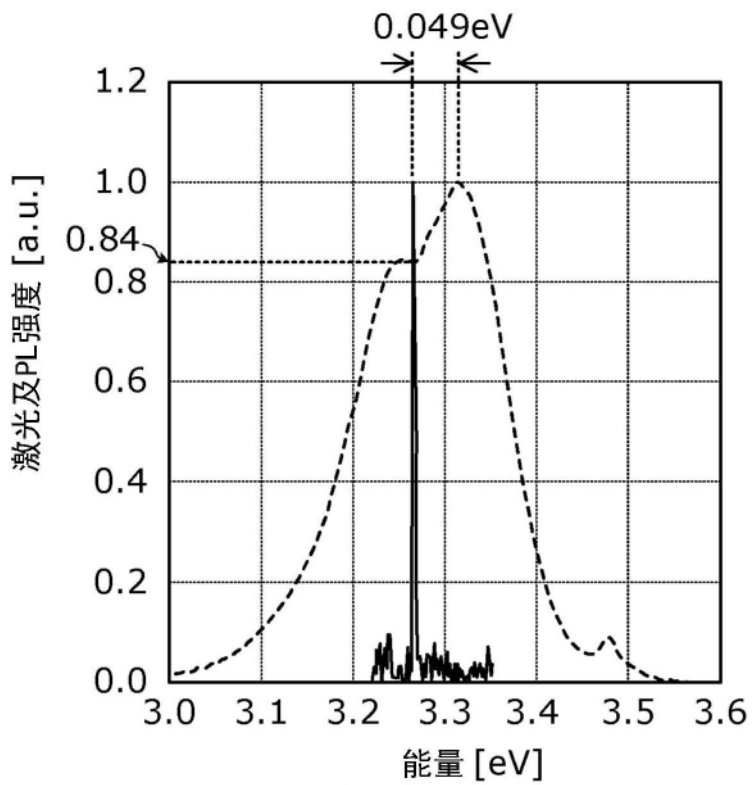


图13

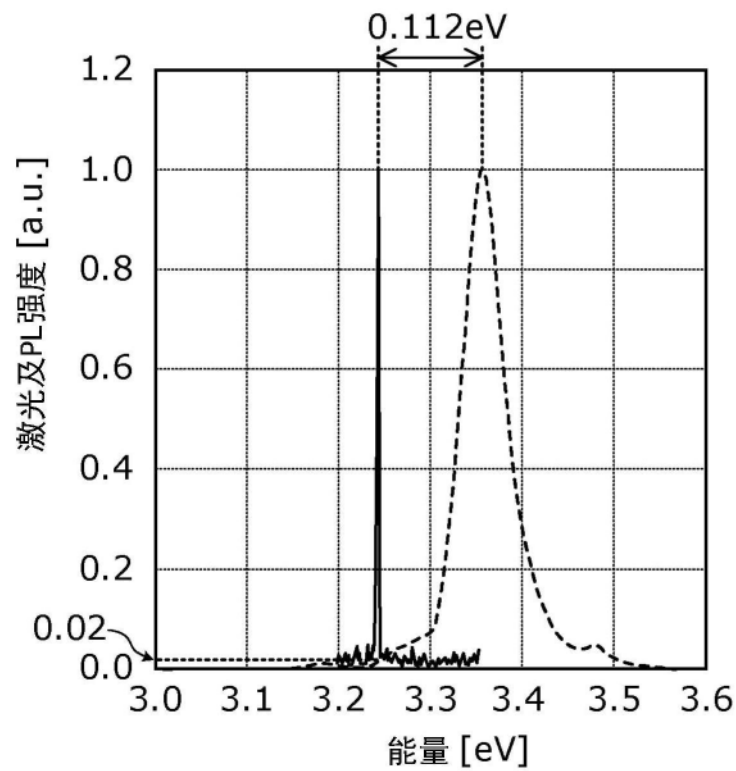


图14

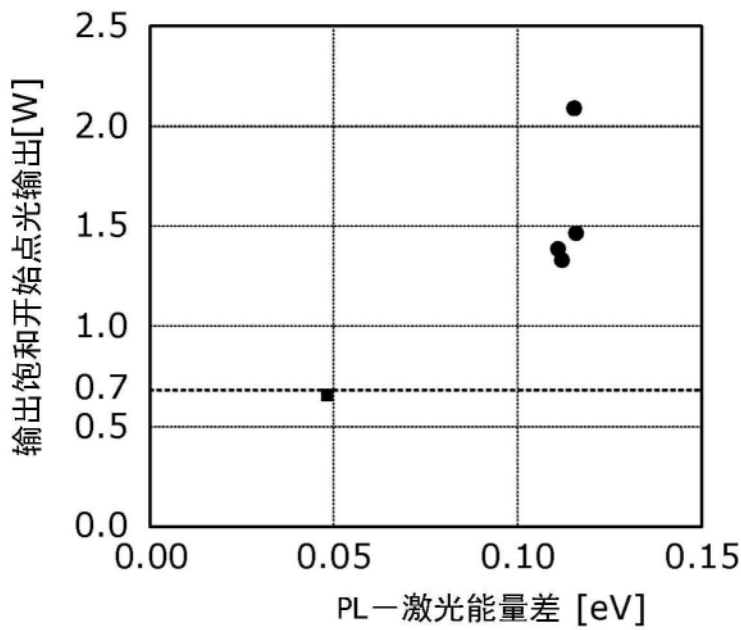


图15

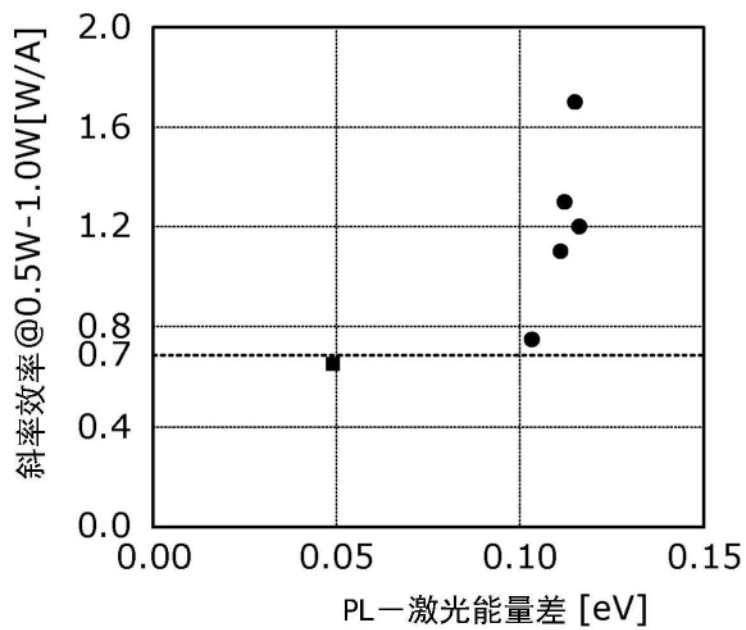


图16

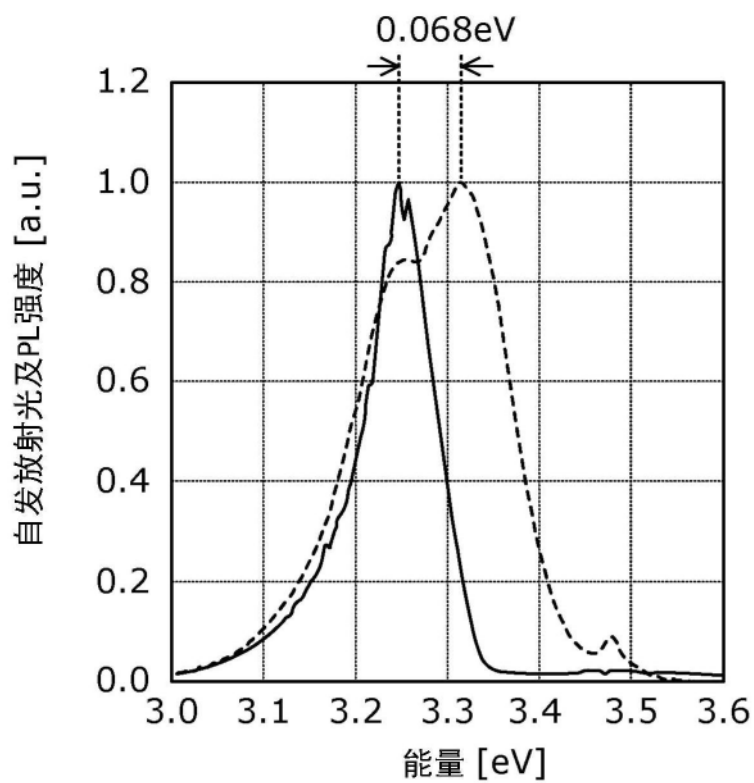


图17

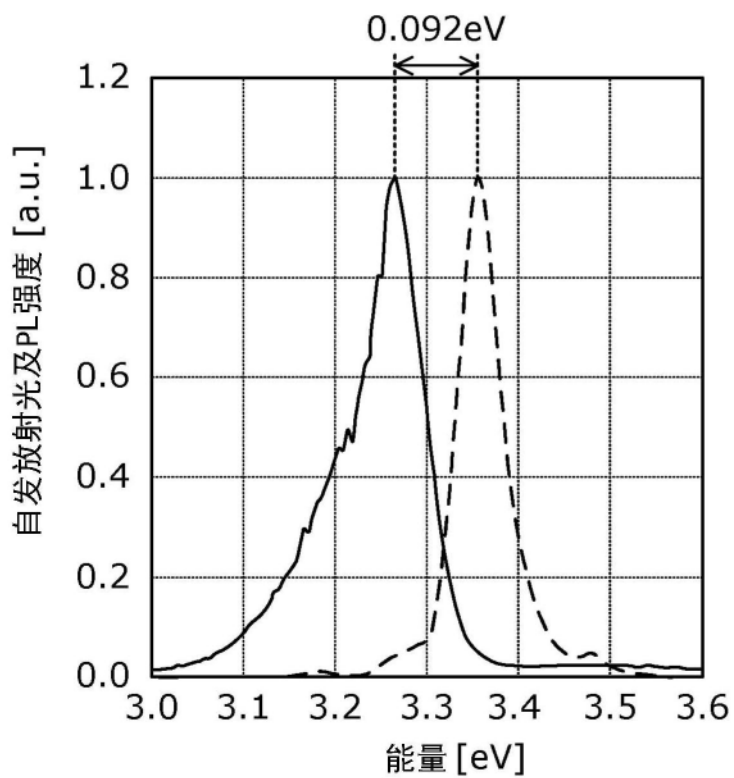


图18

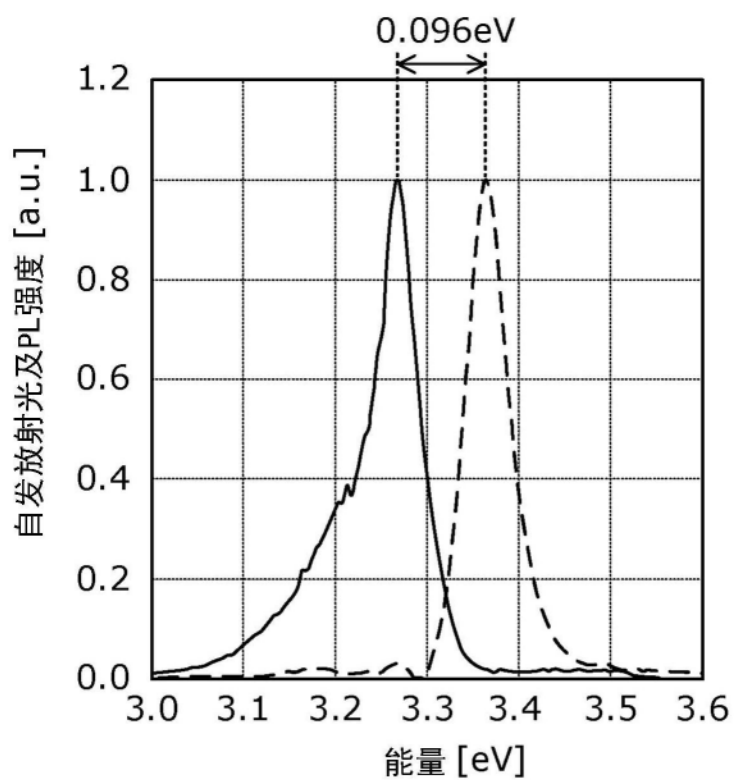


图19

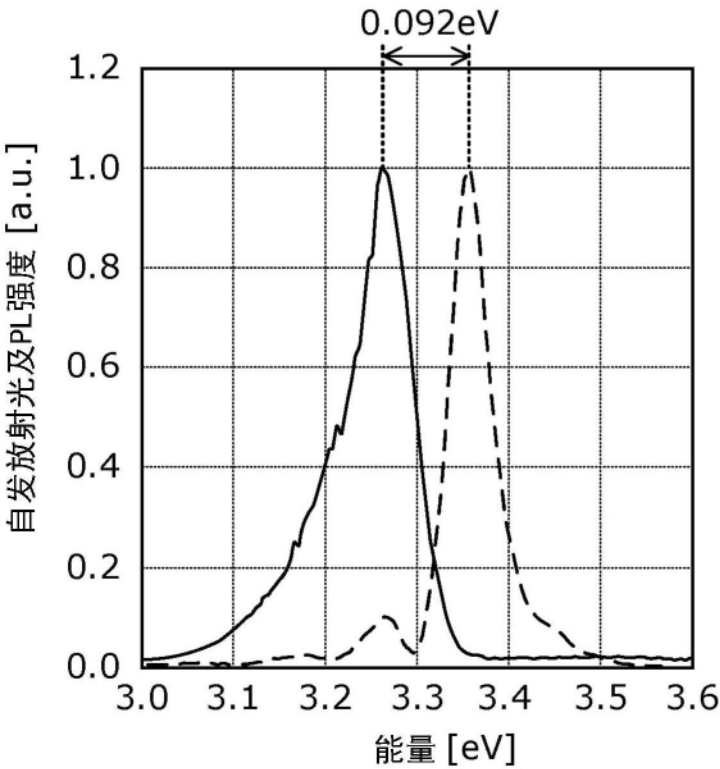


图20

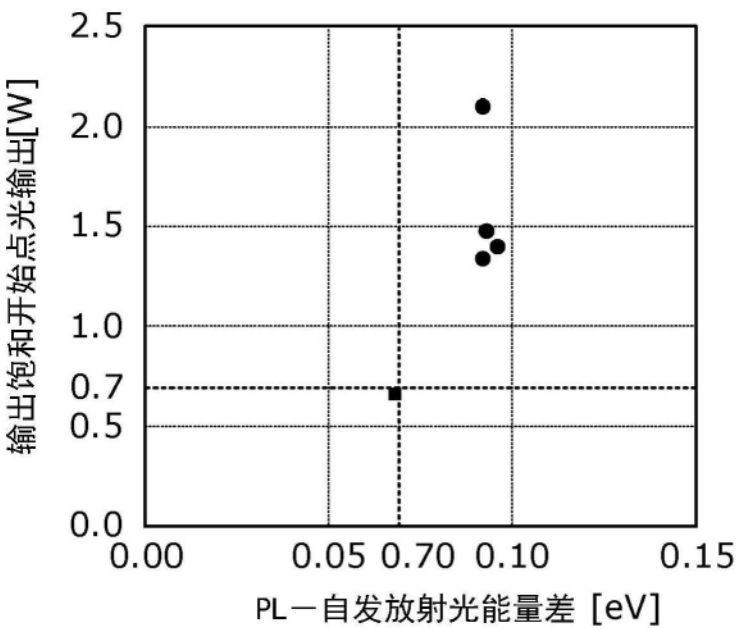


图21

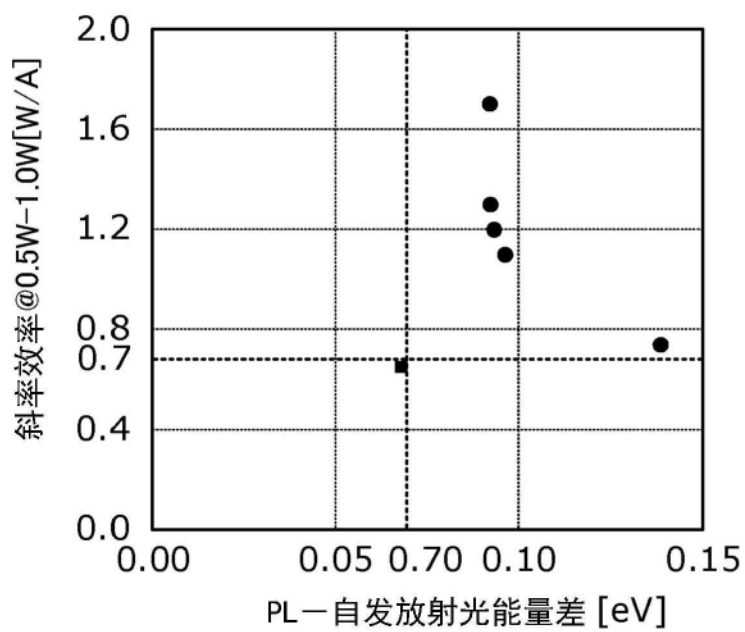


图22