



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104734014 B

(45)授权公告日 2019.06.14

(21)申请号 201410798595.X

(51)Int.CI.

(22)申请日 2014.12.18

H01S 5/183(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

H01S 5/125(2006.01)

申请公布号 CN 104734014 A

H01S 5/187(2006.01)

(43)申请公布日 2015.06.24

(56)对比文件

(30)优先权数据

US 6134251 A, 2000.10.17,

2013-263457 2013.12.20 JP

US 2006187997 A1, 2006.08.24,

(73)专利权人 精工爱普生株式会社

CN 102394646 A, 2012.03.28,

地址 日本东京都

US 6014400 A, 2000.01.11,

(72)发明人 金子刚 西田哲朗 仓知祐司

US 2005169336 A1, 2005.08.04,

(74)专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227

JP 特开2013-98606 A, 2013.05.20,

代理人 舒艳君 李洋

US 2009262765 A1, 2009.10.22,

审查员 罗文飞

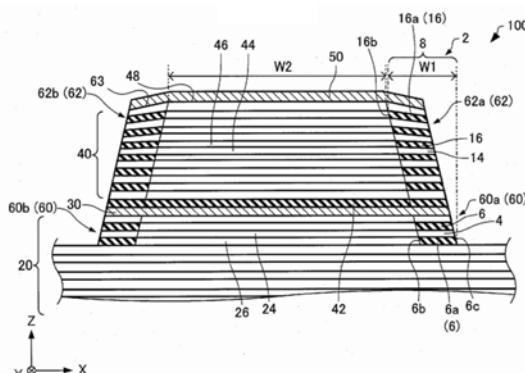
权利要求书4页 说明书12页 附图11页

(54)发明名称

面发光激光器以及原子振荡器

(57)摘要

本发明提供一种面发光激光器，其特征在于，包括：基板；第1反射镜层；活性层；第2反射镜层；电流狭窄层；第1区域，其包括与上述第1反射镜层连续设置的多个氧化层；以及第2区域，其包括与上述第2反射镜层连续设置的多个氧化层，上述第1反射镜层、上述活性层、上述第2反射镜层、上述电流狭窄层、上述第1区域、以及上述第2区域构成层叠体，当俯视时，上述层叠体具有第1部分、第2部分、以及设置于上述第1部分与上述第2部分之间的第3部分，当上述俯视时，将上述氧化区域的宽度设为W1，将上述第1部分的上表面的宽度设为W2时， $W2/W1 \leq 3.3$ 。



1. 一种面发光激光器，其特征在于，包括：

基板；

第1反射镜层，其设置于所述基板的上方；

活性层，其设置于所述第1反射镜层的上方；

第2反射镜层，其设置于所述活性层的上方；

电流狭窄层，其设置于所述第1反射镜层与所述第2反射镜层之间；

第1区域，其包括与所述第1反射镜层连续设置的多个氧化层；以及

第2区域，其包括与所述第2反射镜层连续设置的多个氧化层，

所述第1反射镜层、所述活性层、所述第2反射镜层、所述电流狭窄层、所述第1区域、以及所述第2区域构成层叠体，

当俯视时，所述层叠体具有：第1部分，其具有第1宽度；第2部分，其具有第2宽度；以及第3部分，其设置于所述第1部分与所述第2部分之间，且具有比所述第1宽度或者所述第2宽度宽的第3宽度，

当所述俯视时，氧化区域由所述第1部分中的所述第1区域和所述第2区域构成，

当所述俯视时，将所述氧化区域的宽度设为W1并且将所述第1部分的所述第2反射镜层的上表面的宽度设为W2时， $W2/W1 \leq 3.3$ ，

所述面发光激光器还具有形成于所述第1反射镜层的树脂层，

当剖视时，所述第1区域夹于所述第1反射镜层和所述树脂层之间，所述第2区域夹于所述第2反射镜层和所述树脂层之间。

2. 根据权利要求1所述的面发光激光器，其特征在于，

$W2/W1 \leq 2.2$ 。

3. 根据权利要求1或者2所述的面发光激光器，其特征在于，

$1.3 \leq W2/W1$ 。

4. 根据权利要求1或者2所述的面发光激光器，其特征在于，

当所述俯视时，在所述第1部分上画出与所述第1部分和所述第2部分所对置的方向正交的虚拟直线的情况下，所述第2反射镜层的所述上表面的宽度亦即W2位于所述虚拟直线上。

5. 根据权利要求4所述的面发光激光器，其特征在于，

当所述俯视时，所述氧化区域的第1部分和第2部分以夹持所述第2反射镜层的所述上表面的方式存在于与所述虚拟直线重叠的位置，

所述氧化区域的宽度亦即W1是所述氧化区域的所述第1部分的宽度，

所述氧化区域的宽度亦即W1位于所述虚拟直线上。

6. 一种面发光激光器，其特征在于，包括：

基板；

第1反射镜层，其设置于所述基板的上方；

活性层，其设置于所述第1反射镜层的上方；

第2反射镜层，其设置于所述活性层的上方；

电流狭窄层，其设置于所述第1反射镜层与所述第2反射镜层之间；

第1区域，其包括与所述第1反射镜层连续设置的多个氧化层；以及

第2区域，其包括与所述第2反射镜层连续设置的多个氧化层，

所述第1反射镜层、所述活性层、所述第2反射镜层、所述电流狭窄层、所述第1区域、以及所述第2区域构成层叠体，

当俯视时，所述层叠体具有：第1形变赋予部；第2形变赋予部；以及共振部，其设置于所述第1形变赋予部与所述第2形变赋予部之间，且使在所述活性层产生的光共振，

当所述俯视时，氧化区域由所述第1形变赋予部中的所述第1区域和所述第2区域构成，

当所述俯视时，将所述氧化区域的宽度设为W1并将所述第1形变赋予部的所述第2反射镜层的上表面的宽度设为W2时， $W2/W1 \leq 3.3$ ，

所述面发光激光器还具有形成于所述第1反射镜层的树脂层，

当剖视时，所述第1区域夹于所述第1反射镜层和所述树脂层之间，所述第2区域夹于所述第2反射镜层和所述树脂层之间。

7. 根据权利要求6所述的面发光激光器，其特征在于，

$W2/W1 \leq 2.2$ 。

8. 根据权利要求6或者7所述的面发光激光器，其特征在于，

$1.3 \leq W2/W1$ 。

9. 根据权利要求6或者7所述的面发光激光器，其特征在于，

当所述俯视时，在所述第1形变赋予部上画出与所述第1形变赋予部和所述第2形变赋予部所对置的方向正交的虚拟直线的情况下，所述第2反射镜层的所述上表面的宽度亦即W2位于所述虚拟直线上。

10. 根据权利要求9所述的面发光激光器，其特征在于，

当所述俯视时，所述氧化区域的第1部分和第2部分以夹持所述第2反射镜层的所述上表面的方式存在于与所述虚拟直线重叠的位置，

所述氧化区域的宽度亦即W1是所述氧化区域的所述第1部分的宽度，

所述氧化区域的宽度亦即W1位于所述虚拟直线上。

11. 一种面发光激光器，其特征在于，包括：

基板；

第1反射镜层，其设置于所述基板的上方；

活性层，其设置于所述第1反射镜层的上方；

第2反射镜层，其设置于所述活性层的上方；

电流狭窄层，其设置于所述第1反射镜层与所述第2反射镜层之间；

第1区域，其包括与所述第1反射镜层的一部分连续设置的多个氧化层；以及

第2区域，其包括与所述第2反射镜层连续设置的多个氧化层，

所述第1反射镜层、所述活性层、所述第2反射镜层、所述电流狭窄层、所述第1区域、以及所述第2区域构成层叠体，

当俯视时，所述层叠体具有：第1部分，其具有第1宽度；第2部分，其具有第2宽度；以及第3部分，其设置于所述第1部分与所述第2部分之间，且具有比所述第1宽度或者所述第2宽度宽的第3宽度，

当剖视时，所述第1区域的多个氧化层中最下层的氧化层具有和与所述第1部分的所述第1反射镜层相接的端对置的第1端，

当所述剖视时,所述第2区域的多个氧化层中最上层的氧化层具有与所述第1部分的所述第2反射镜层相接的第2端,

当所述俯视时,将从所述第1端到所述第2端的宽度设为W1并将所述第1部分中的所述第2反射镜层的上表面的宽度设为W2时, $W2/W1 \leq 3.3$,

所述面发光激光器还具有形成于所述第1反射镜层的树脂层,

当所述剖视时,所述第1区域夹于所述第1反射镜层和所述树脂层之间,所述第2区域夹于所述第2反射镜层和所述树脂层之间。

12.根据权利要求11所述的面发光激光器,其特征在于,

$W2/W1 \leq 2.2$ 。

13.根据权利要求11或者12所述的面发光激光器,其特征在于,

$1.3 \leq W2/W1$ 。

14.根据权利要求11或者12所述的面发光激光器,其特征在于,

当所述俯视时,在所述第1部分上画出与所述第1部分和所述第2部分所对置的方向正交的虚拟直线的情况下,所述第2反射镜层的上表面的宽度亦即W2位于所述虚拟直线上。

15.根据权利要求14所述的面发光激光器,其特征在于,

当所述剖视时,所述第1区域的第1部分和第2部分以夹持所述层叠体的所述第1部分的所述第1反射镜层的方式存在,

当所述剖视时,在所述第1区域的所述第1部分的上方所述第2区域的第1部分和在所述第1区域的所述第2部分的上方所述第2区域的第2部分以夹持所述层叠体的所述第1部分的所述第2反射镜层的方式存在,

所述第1区域的所述第1部分具有所述最下层的氧化层,

所述第2区域的所述第1部分具有所述最上层的氧化层,

从所述最下层的氧化层的所述第1端到所述最上层的氧化层的所述第2端的宽度亦即W1位于所述虚拟直线上。

16.一种面发光激光器,其特征在于,包括:

基板;

第1反射镜层,其设置于所述基板的上方;

活性层,其设置于所述第1反射镜层的上方;

第2反射镜层,其设置于所述活性层的上方;

电流狭窄层,其设置于所述第1反射镜层与所述第2反射镜层之间;

第1区域,其包括与所述第1反射镜层连续设置的多个氧化层;以及

第2区域,其包括与所述第2反射镜层连续设置的多个氧化层,

所述第1反射镜层、所述活性层、所述第2反射镜层、所述电流狭窄层、所述第1区域、以及所述第2区域构成层叠体,

当俯视时,所述层叠体具有:第1形变赋予部;第2形变赋予部;以及共振部,其设置于所述第1形变赋予部与所述第2形变赋予部之间,且使在所述活性层产生的光共振,

当剖视时,所述第1区域的多个氧化层中最下层的氧化层具有和与所述第1形变赋予部的所述第1反射镜层相接的端对置的第1端,

当所述剖视时,所述第2区域的多个氧化层中最上层的氧化层具有与所述第1形变赋予

部的所述第2反射镜层相接的第2端，

当所述俯视时，将从所述第1端到所述第2端的宽度设为W1并将所述第1形变赋予部中的所述第2反射镜层的上表面的宽度设为W2时， $W2/W1 \leq 3.3$ ，

所述面发光激光器还具有形成于所述第1反射镜层的树脂层，

当剖视时，所述第1区域夹于所述第1反射镜层和所述树脂层之间，所述第2区域夹于所述第2反射镜层和所述树脂层之间。

17. 根据权利要求16所述的面发光激光器，其特征在于，

$W2/W1 \leq 2.2$ 。

18. 根据权利要求16或者17所述的面发光激光器，其特征在于，

$1.3 \leq W2/W1$ 。

19. 根据权利要求16或者17所述的面发光激光器，其特征在于，

当所述俯视时，在所述第1形变赋予部上画出与所述第1形变赋予部和所述第2形变赋予部所对置的方向正交的虚拟直线的情况下，所述第2反射镜层的上表面的宽度亦即W2位于所述虚拟直线上。

20. 根据权利要求19所述的面发光激光器，其特征在于，

当所述剖视时，所述第1区域的第1部分和第2部分以夹持所述层叠体的所述第1形变赋予部的所述第1反射镜层的方式存在，

当所述剖视时，在所述第1区域的所述第1部分的上方所述第2区域的第1部分、和在所述第1区域的所述第2部分的上方所述第2区域的第2部分以夹持所述层叠体的所述第1形变赋予部的所述第2反射镜层的方式存在，

所述第1区域的所述第1部分具有所述最下层的氧化层，

所述第2区域的所述第1部分具有所述最上层的氧化层，

从所述最下层的氧化层的所述第1端到所述最上层的氧化层的所述第2端的宽度亦即W1位于所述虚拟直线上。

21. 根据权利要求1、2、6、7、11、12、16、17中任一项所述的面发光激光器，其特征在于，

所述第2区域的上表面向所述基板侧倾斜。

22. 一种原子振荡器，其特征在于，

包括权利要求1～21中任一项所述的面发光激光器。

面发光激光器以及原子振荡器

技术领域

[0001] 本发明涉及面发光激光器以及原子振荡器。

背景技术

[0002] 面发光激光器(VCSEL:Vertical Cavity Surface Emitting Laser)例如被作为利用了量子干扰效应之一的CPT(Coherent Population Trapping:相干布局囚禁)的原子振荡器的光源使用。

[0003] 面发光激光器一般因为共振器具有各向同性构造,所以会难以控制从共振器射出的激光的偏振方向。例如专利文献1记载了一种面发光激光器,能够通过形变赋予部使共振器产生形变来产生复折射,并使激光的偏振方向稳定化。

[0004] 专利文献1:日本特开平11—54838号公报

[0005] 然而,专利文献1所记载的面发光激光器中,存在通过形变赋予部在共振器产生的形变的大小不够,而无法使激光的偏振方向稳定化的情况。

发明内容

[0006] 本发明的几个方式的目的之一在于,提供一种能够实现偏振方向稳定化的面发光激光器。另外,本发明的几个方式的目的之一在于提供包括上述面发光激光器的原子振荡器。

[0007] 本发明的面发光激光器的特征在于,包括:基板;第1反射镜层,其设置于上述基板的上方;活性层,其设置于上述第1反射镜层的上方;第2反射镜层,其设置于上述活性层的上方;电流狭窄层,其设置于上述第1反射镜层与上述第2反射镜层之间;第1区域,其包括与上述第1反射镜层连续设置的多个氧化层;以及第2区域,其包括与上述第2反射镜层连续设置的多个氧化层,上述第1反射镜层、上述活性层、上述第2反射镜层、上述电流狭窄层、上述第1区域、以及上述第2区域构成层叠体,当俯视时,上述层叠体具有:第1部分,其具有第1宽度;第2部分,其具有第2宽度;以及第3部分,其设置于上述第1部分与上述第2部分之间,且具有比上述第1宽度或者上述第2宽度宽的第3宽度,当上述俯视时,氧化区域由上述第1部分中的上述第1区域和上述第2区域构成,当上述俯视时,将上述氧化区域的宽度设为W1并将上述第1部分的上述第2反射镜层的上表面的宽度设为W2时, $W2/W1 \leq 3.3$ 。

[0008] 这样的面发光激光器中,能够通过氧化区域使活性层产生较大的形变,能够实现偏振方向的稳定化(详细后述)。

[0009] 此外,本发明的记载中,将“上方”这样的词语例如使用为,“在特定部件(以下,称为“A”)的“上方”形成其他特定的部件(以下,称为“B”)”等情况下,作为包含在A上直接形成B这样的情况以及在A上隔着其他部件形成B这样情况的情况,使用“上方”这样的词语。

[0010] 本发明的面发光激光器中,也可以 $W2/W1 \leq 2.2$ 。

[0011] 这样的面发光激光器中,能够更加实现偏振方向的稳定化。

[0012] 本发明的面发光激光器中,也可以 $1.3 \leq W2/W1$ 。

[0013] 这样的面发光激光器中,能够更加实现偏振方向的稳定化。

[0014] 本发明的面发光激光器中,也可以是当上述俯视时,在上述第1部分上画出与上述第1部分和上述第2部分所对置的方向正交的虚拟直线的情况下,上述第2反射镜层的上述上表面的宽度亦即W2位于上述虚拟直线上。

[0015] 这样的面发光激光器中,能够实现偏振方向的稳定化。

[0016] 本发明的面发光激光器中,也可以是当上述俯视时,上述氧化区域的第1部分和第2部分以夹持上述第2反射镜层的上述上表面的方式存在于与上述虚拟直线重叠的位置,上述氧化区域的宽度亦即W1是上述氧化区域的上述第1部分的宽度,上述氧化区域的宽度亦即W1位于上述虚拟直线上。

[0017] 这样的面发光激光器中,能够实现偏振方向的稳定化。

[0018] 本发明的面发光激光器的特征在于,包括:基板;第1反射镜层,其设置于上述基板的上方;活性层,其设置于上述第1反射镜层的上方;第2反射镜层,其设置于上述活性层的上方;电流狭窄层,其设置于上述第1反射镜层与上述第2反射镜层之间;第1区域,其包括与上述第1反射镜层连续设置的多个氧化层;以及第2区域,其包括与上述第2反射镜层连续设置的多个氧化层,上述第1反射镜层、上述活性层、上述第2反射镜层、上述电流狭窄层、上述第1区域、以及上述第2区域构成层叠体,当俯视时,上述层叠体具有:第1形变赋予部;第2形变赋予部;以及共振部,其设置于上述第1形变赋予部与上述第2形变赋予部之间,且使在上述活性层产生的光共振,当上述俯视时,氧化区域由上述第1形变赋予部中的上述第1区域和上述第2区域构成,当上述俯视时,将上述氧化区域的宽度设为W1,将上述第1部分的上述第2反射镜层的上表面的宽度设为W2时, $W2/W1 \leq 3.3$ 。

[0019] 这样的面发光激光器中,能够通过氧化区域使活性层产生较大的形变,能够实现偏振方向的稳定化。

[0020] 本发明的面发光激光器中,也可以 $W2/W1 \leq 2.2$ 。

[0021] 这样的面发光激光器中,能够更加实现偏振方向的稳定化。

[0022] 本发明的面发光激光器中,也可以 $1.3 \leq W2/W1$ 。

[0023] 这样的面发光激光器中,能够更加实现偏振方向的稳定化。

[0024] 本发明的面发光激光器中,当上述俯视时,在上述第1形变赋予部上画出与上述第1形变赋予部和上述第2形变赋予部所对置的方向正交的虚拟直线的情况下,上述第2反射镜层的上述上表面的宽度亦即W2也可以位于上述虚拟直线上。

[0025] 这样的面发光激光器中,能够实现偏振方向的稳定化。

[0026] 本发明的面发光激光器中,也可以是当上述俯视时,上述氧化区域的第1部分和第2部分以夹持上述第2反射镜层的上述上表面的方式存在于与上述虚拟直线重叠的位置,上述氧化区域的宽度亦即W1是上述氧化区域的上述第1部分的宽度,上述氧化区域的宽度亦即W1位于上述虚拟直线上。

[0027] 这样的面发光激光器中,能够实现偏振方向的稳定化。

[0028] 本发明的面发光激光器的特征在于,包括:基板;第1反射镜层,其设置于上述基板的上方;活性层,其设置于上述第1反射镜层的上方;第2反射镜层,其设置于上述活性层的上方;电流狭窄层,其设置于上述第1反射镜层与上述第2反射镜层之间;第1区域,其包括与上述第1反射镜层的一部分连续设置的多个氧化层;以及第2区域,其包括与上述第2反射镜

层连续设置的多个氧化层，上述第1反射镜层、上述活性层、上述第2反射镜层、上述电流狭窄层、上述第1区域、以及上述第2区域构成层叠体，当俯视时，上述层叠体具有：第1部分，其具有第1宽度；第2部分，其具有第2宽度；以及第3部分，其设置于上述第1部分和上述第2部分之间，且具有比上述第1宽度或者上述第2宽度宽的第3宽度，当剖视时，上述第1区域的多个氧化层中最下层的氧化层具有和与上述第1部分的上述第1反射镜层相接的端对置的第1端，当上述剖视时，上述第2区域的多个氧化层中最上层的氧化层具与上述第1部分的上述第2反射镜层相接的第2端，当上述俯视时，将从上述第1端到上述第2端的宽度设为W1，将上述第1部分中的上述第2反射镜层的上表面的宽度设为W2时， $W2/W1 \leq 3.3$ 。

[0029] 这样的面发光激光器中，能够通过氧化层使活性层产生较大的形变，能够实现偏振方向的稳定化。

[0030] 本发明的面发光激光器中，也可以 $W2/W1 \leq 2.2$ 。

[0031] 这样的面发光激光器中，能够更加实现偏振方向的稳定化。

[0032] 本发明的面发光激光器中，也可以 $1.3 \leq W2/W1$ 。

[0033] 这样的面发光激光器中，能够更加实现偏振方向的稳定化。

[0034] 本发明的面发光激光器中，也可以是当上述俯视时，在上述第1部分上画出与上述第1部分和上述第2部分所对置的方向正交的虚拟直线的情况下，上述第2反射镜层的上表面的宽度亦即W2位于上述虚拟直线上。

[0035] 这样的面发光激光器中，能够实现偏振方向的稳定化。

[0036] 本发明的面发光激光器中，也可以是上述剖视中，上述第1区域的第1部分和第2部分以夹持上述层叠体的上述第1部分的上述第1反射镜层的方式存在，上述剖视中，在上述第1区域的上述第1部分的上方上述第2区域的第1部分和在上述第1区域的上述第2部分的上方上述第2区域的第2部分以夹持上述层叠体的上述第1部分的上述第2反射镜层的方式存在，上述第1区域的上述第1部分具有上述最下层的氧化层，上述第2区域的上述第1部分具有上述最上层的氧化层，从上述最下层的氧化层的上述第1端到上述最上层的氧化层的上述第2端的宽度亦即W1位于上述虚拟直线上。

[0037] 这样的面发光激光器中，能够实现偏振方向的稳定化。

[0038] 本发明的面发光激光器的特征在于，包括：基板；第1反射镜层，其设置于上述基板的上方；活性层，其设置于上述第1反射镜层的上方；第2反射镜层，其设置于上述活性层的上方；电流狭窄层，其设置于上述第1反射镜层与上述第2反射镜层之间；第1区域，其包括与上述第1反射镜层连续设置的多个氧化层；以及第2区域，其包括与上述第2反射镜层连续设置的多个氧化层，上述第1反射镜层、上述活性层、上述第2反射镜层、上述电流狭窄层、上述第1区域、以及上述第2区域构成层叠体，当俯视时，上述层叠体具有：第1形变赋予部；第2形变赋予部；以及共振部，其设置于上述第1形变赋予部与上述第2形变赋予部之间，且使在上述活性层产生的光共振，当剖视时，上述第1区域的多个氧化层中最下层的氧化层具有和与上述第1形变赋予部的上述第1反射镜层相接的端对置的第1端，上述剖视中，上述第2区域的多个氧化层中最上层的氧化层具有与上述第1形变赋予部的上述第2反射镜层相接的第2端，当上述俯视时，将从上述第1端到上述第2端的宽度设为W1，将上述第1部分中的上述第2反射镜层的上表面的宽度设为W2时， $W2/W1 \leq 3.3$ 。

[0039] 这样的面发光激光器中，能够通过氧化层使活性层产生较大的形变，能够实现偏

振方向的稳定化。

[0040] 本发明的面发光激光器中,也可以 $W_2/W_1 \leq 2.2$ 。

[0041] 这样的面发光激光器中,能够更加实现偏振方向的稳定化。

[0042] 本发明的面发光激光器中,也可以 $1.3 \leq W_2/W_1$ 。

[0043] 这样的面发光激光器中,能够更加实现偏振方向的稳定化。

[0044] 本发明的面发光激光器中,也可以是当上述俯视时,在上述第1形变赋予部上画出与上述第1形变赋予部和上述第2形变赋予部所对置的方向正交的虚拟直线的情况下,上述第2反射镜层的上表面的宽度亦即 W_2 位于上述虚拟直线上。

[0045] 这样的面发光激光器中,能够实现偏振方向的稳定化。

[0046] 本发明的面发光激光器中,也可以是上述剖视中,上述第1区域的第1部分和第2部分以夹持上述层叠体的上述第1形变赋予部的上述第1反射镜层的方式存在,上述剖视中,在上述第1区域的上述第1部分的上方上述第2区域的第1部分和在上述第1区域的上述第2部分的上方上述第2区域的第2部分以夹持上述层叠体的上述第1形变赋予部的上述第2反射镜层的方式存在,上述第1区域的上述第1部分具有上述最下层的氧化层,上述第2区域的上述第1部分具有上述最上层的氧化层,从上述最下层的氧化层的上述第1端到上述最上层的氧化层的上述第2端的宽度亦即 W_1 位于上述虚拟直线上。

[0047] 这样的面发光激光器中,能够实现偏振方向的稳定化。

[0048] 本发明的面发光激光器中,上述第2区域的上表面也可以向上述基板侧倾斜。

[0049] 这样的面发光激光器中,能够实现偏振方向的稳定化。

[0050] 本发明的原子振荡器包括本发明的面发光激光器。

[0051] 这样的原子振荡器中,因为包括了本发明的面发光激光器,例如能够经由 $\lambda/4$ 板使圆偏振光的光线稳定地照射到气室,能够提高原子振荡器的频率稳定性。

附图说明

[0052] 图1是示意性地表示本实施方式的面发光激光器的俯视图。

[0053] 图2是示意性地表示本实施方式的面发光激光器的剖视图。

[0054] 图3是示意性地表示本实施方式的面发光激光器的俯视图。

[0055] 图4是示意性地表示本实施方式的面发光激光器的剖视图。

[0056] 图5是示意性地表示本实施方式的面发光激光器的制造工序的剖视图。

[0057] 图6是示意性地表示本实施方式的面发光激光器的制造工序的剖视图。

[0058] 图7是示意性地表示本实施方式的面发光激光器的制造工序的剖视图。

[0059] 图8是示意性地表示本实施方式的面发光激光器的制造工序的剖视图。

[0060] 图9是使用于实验例的面发光激光器的照片。

[0061] 图10是使用于实验例的面发光激光器的照片。

[0062] 图11是使用于实验例的面发光激光器的照片。

[0063] 图12是使用于实验例的面发光激光器的照片。

[0064] 图13是表示合格的面发光激光器的电流与输出的关系的图。

[0065] 图14是表示不合格品的面发光激光器的电流与输出的关系的图。

[0066] 图15是示意性地表示本实施方式的形变例的面发光激光器的剖视图。

- [0067] 图16是本实施方式的原子振荡器的功能框图。
- [0068] 图17是表示共振光的频谱的图。
- [0069] 图18是表示碱金属原子的Λ型3级模型与第1侧带波以及第2侧带波的关系的图。

具体实施方式

[0070] 以下,使用附图对本发明的优选实施方式进行详细说明。此外,以下说明的实施方式并不不当地限定权利要求书所记载的本发明的内容。另外,以下说明的构成的全部不限定为是本发明的必须构成要件。

- [0071] 1.面发光激光器

[0072] 首先,一边参照附图一边对本实施方式的面发光激光器进行说明。图1是示意性地表示本实施方式的面发光激光器100的俯视图。图2是示意性地表示本实施方式的面发光激光器100的图1的II—II线剖视图。图3是示意性地表示本实施方式的面发光激光器100的俯视图。图4是示意性地表示本实施方式的面发光激光器100的图3的IV—IV线剖视图。

[0073] 此外,为了方便,图2中,使层叠体2简单化地图示。另外,图3中,省略面发光激光器100的层叠体2以外的部件的图示。另外,图1~图4中,图示了X轴、Y轴以及Z轴作为相互正交的3个轴。

[0074] 如图1~图4所示,面发光激光器100包括:基板10、第1反射镜层20、活性层30、第2反射镜层40、电流狭窄层42、触点层50、第1区域60、第2区域62、树脂层(绝缘层)70、第1电极80、以及第2电极82。

- [0075] 基板10例如是第1导电型(例如n型)的GaAs基板。

[0076] 第1反射镜层20在基板10上形成。第1反射镜层20是第1导电型的半导体层。如图4所示,第1反射镜层20是交替层叠了高折射率层24和低折射率层26的分布式布拉格反射型(DBR)反射镜。高折射率层24例如是掺杂了硅的n型Al_{0.12}Ga_{0.88}As层。低折射率层26例如是掺杂了硅的n型Al_{0.9}Ga_{0.1}As层。高折射率层24与低折射率层26的层叠数(对数)例如是10对以上50对以下,具体而言是40.5对。

[0077] 活性层30设置于第1反射镜层20上。活性层30例如具有重叠了3层由i型In_{0.06}Ga_{0.94}As层和i型Al_{0.3}Ga_{0.7}As层构成的量子阱结构的多量子阱(MQW)结构。

[0078] 第2反射镜层40在活性层30上形成。第2反射镜层40是第2导电型(例如p型)的半导体层。第2反射镜层40是交替层叠了高折射率层44和低折射率层46的分布式布拉格反射型(DBR)反射镜。高折射率层44例如是掺杂了碳的p型Al_{0.15}Ga_{0.85}As层。低折射率层46例如是掺杂了碳的p型Al_{0.9}Ga_{0.1}As层。高折射率层44和低折射率层46的层叠数(对数)例如是3对以上40对以下,具体而言是20对。

[0079] 第2反射镜层40、活性层30以及第1反射镜层20构成垂直共振器型的pin二极管。若对电极80、82间施加pin二极管的正向电压,则在活性层30中电子与空穴的复合(recombination)发生,发光产生。在活性层30产生的光在第1反射镜层20与第2反射镜层40之间往复(多重反射),此时受激发射发生,强度被放大。而且,若光增益超过光损失,则激光振荡发生,激光从触点层50的上表面沿垂直方向(第1反射镜层20与活性层30的层叠方向)射出。

- [0080] 电流狭窄层42设置于第1反射镜层20与第2反射镜层40之间。图示的例中,电流狭

窄层42设置于活性层30上。电流狭窄层42也能够设置于第1反射镜层20或者第2反射镜层40的内部。在该情况下，也视为氧化狭窄层42设置于第1反射镜层20与第2反射镜层40之间。电流狭窄层42是形成有开口部43的绝缘层。电流狭窄层42能够防止通过电极80、82间注入垂直共振器的电流沿平面方向（与第1反射镜层20和活性层30的层叠方向正交的方向）扩散。

[0081] 触点层50设置在第2反射镜层40上。触点层50是第2导电型的半导体层。具体而言，触点层50是掺杂了碳的p型的GaAs层。

[0082] 如图4所示，第1区域60设置于构成层叠体2的第1反射镜层20的一侧。第1区域60包括与第1反射镜层20（图示的例中第1反射镜层20的一部分）连续设置的多个氧化层6。具体而言，第1区域60是交替层叠氧化层6和层4而构成的，其中，氧化层6是氧化与构成第1反射镜层20的低折射率层（例如Al_{0.9}Ga_{0.1}As层）26连续的层而成的，层4是与构成第1反射镜层20的高折射率层（例如Al_{0.15}Ga_{0.85}As层）24连续的层。

[0083] 第2区域62设置于构成层叠体2的第2反射镜层40的一侧。第2区域62包括与第2反射镜层40连续设置的多个氧化层16。具体而言，第2区域62是交替层叠氧化层16和层14而构成的，其中，氧化层16是氧化与构成第2反射镜层40的低折射率层（例如Al_{0.9}Ga_{0.1}As层）46连续的层而成的，层14是与构成第2反射镜层40的高折射率层（例如Al_{0.15}Ga_{0.85}As层）44连续的层。当俯视时，氧化区域8由第1区域60和第2区域62构成。

[0084] 第1反射镜层20、活性层30、第2反射镜层40、电流狭窄层42、触点层50、第1区域60、以及第2区域62构成层叠体2。图1以及图2所示的例中，层叠体2被树脂层70包围。

[0085] 图3所示的例中，当俯视时（从第1反射镜层20和活性层30的层叠方向观察），Y轴方向上的层叠体2的长度比X轴方向上的层叠体2的长度长。即，层叠体2的长边方向是Y轴方向。当俯视时，层叠体2例如相对于通过层叠体2的中心与X轴平行的虚拟直线对称。另外，俯视中，层叠体2例如相对于通过层叠体2的中心与Y轴平行的虚拟直线对称。

[0086] 如图3所示，当俯视时，层叠体2包括第1形变赋予部（第1部分）2a、第2形变赋予部（第2部分）2b、以及共振部（第3部分）2c。

[0087] 第1形变赋予部2a以及第2形变赋予部2b在俯视中，隔着共振部2c沿Y轴方向对置。第1形变赋予部2a在俯视中，从共振部2c向+Y轴方向突出。第2形变赋予部2b在俯视中，从共振部2c向-Y轴方向突出。第1形变赋予部2a以及第2形变赋予部2b与共振部2c一体设置。

[0088] 第1形变赋予部2a以及第2形变赋予部2b赋予活性层30形变，使在活性层30产生的光偏振。这里，所谓使光偏振是指使光在电场的振动方向恒定。构成第1形变赋予部2a以及第2形变赋予部2b的半导体层（第1反射镜层20、活性层30、第2反射镜层40、电流狭窄层42、触点层50、第1区域60、以及第2区域62）为使赋予活性层30的形变产生的产生源。第1形变赋予部2a以及第2形变赋予部2b具有：具有多个氧化层6的第1区域60、以及具有多个氧化层16的第2区域62，所以能够赋予活性层30较大的形变。

[0089] 共振部2c设置于第1形变赋予部2a与第2形变赋予部2b之间。X轴方向上的共振部2c的长度比X轴方向上的第1形变赋予部2a的长度或者X轴方向上的第2形变赋予部2b的长度大。共振部2c的俯视形状（从第1反射镜层20和活性层30的层叠方向观察到的形状）例如是圆。

[0090] 共振部2c使在活性层30产生的光共振。即，共振部2c中，形成有垂直共振器。

[0091] 树脂层70至少设置于层叠体2的侧面。图1所示的例中，树脂层70覆盖第1形变赋予

部2a以及第2形变赋予部2b。即，树脂层70设置于第1形变赋予部2a的侧面、第1形变赋予部2a的上表面、第2形变赋予部2b的侧面、以及第2形变赋予部2b的上表面。树脂层70既可以完全覆盖第1形变赋予部2a以及第2形变赋予部2b，也可以覆盖第1形变赋予部2a以及第2形变赋予部2b的一部分。树脂层70的材质例如是聚酰亚胺。此外，在本实施方式中，为了赋予各形变赋予部2a、2b形变而采用树脂层70，但是与树脂层70对应的构成至少具有绝缘功能即可，所以是绝缘材料即可，也可以不是树脂。

[0092] 图3所示的例中，当俯视时，Y轴方向上的树脂层70的长度比X轴方向上的树脂层70的长度大。即，树脂层70的长边方向是Y轴方向。树脂层70的长边方向与层叠体2的长边方向一致。

[0093] 第1电极80设置于第1反射镜层20上。第1电极80与第1反射镜层20欧姆接触。第1电极80与第1反射镜层20电连接。作为第1电极80，例如使用从第1反射镜层20侧按Cr层、AuGe层、Ni层、Au层的顺序层叠而成的部件。第1电极80是用于将电流注入活性层30的一个电极。此外，虽然未图示，但第1电极80也可以设置于基板10的下表面。

[0094] 第2电极82设置于触点层50上(层叠体2上)。第2电极82与触点层50欧姆接触。图示的例中，第2电极82还形成在树脂层70上。第2电极82经由触点层50与第2反射镜层40电连接。作为第2电极82，例如使用从触点层50侧按Cr层、Pt层、Ti层、Pt层、Au层的顺序层叠而成的部件。第2电极82是用于将电流注入活性层30的另一个电极。

[0095] 第2电极82与焊盘84电连接。图示的例中，第2电极82经由引出布线86与焊盘84电连接。焊盘84设置于树脂层70上。焊盘84以及引出布线86的材质例如与第2电极82的材质相同。

[0096] 这里，对层叠体2进行更详细的说明。层叠体2具有：第1形变赋予部2a，其具有第1宽度(X轴方向的长度)；第2形变赋予部2，其具有第2宽度；以及共振部2c，其具有比第1宽度以及第2宽度宽的第3宽度。图示的例中，第1宽度和第2宽度是相同的宽度。

[0097] 此外，所谓第1宽度，例如是指在与第1形变赋予部2a和第2形变赋予部2b所对置的方向(Y轴方向)正交的方向(X轴方向)，取第1形变赋予部2a的宽度中的最大宽度。所谓第2宽度，例如是指在与第1形变赋予部2a和第2形变赋予部2b所对置的方向正交的方向，取第2形变赋予部2b的宽度中的最大宽度。所谓第3宽度，例如是指在与第1形变赋予部2a和第2形变赋予部2b所对置的方向正交的方向，取共振部2c的宽度中的最大宽度。

[0098] 当俯视时，氧化区域8由第1形变赋予部2a中的第1区域60和第2区域62构成。当俯视时，将氧化区域8的宽度(X轴方向的大小)设为W1，将第1形变赋予部2a的第2反射镜层40的上表面48的宽度设为W2时， $W2/W1 \leq 3.3$ ，进一步优选 $1.3 \leq W2/W1 \leq 2.2$ 。例如，若将第2形变赋予部2b中的氧化区域8的宽度设为W3(未图示)，则满足 $1.3 \leq W2/W3 \leq 2.2$ 的关系。

[0099] 当俯视时，在第1形变赋予部2a上画出与第1形变赋予部2a和第2形变赋予部2b所对置的方向(Y轴方向)正交的虚拟直线L的情况下，第2反射镜层40的上表面48的宽度亦即W2位于虚拟直线L上。即，虚拟直线L与X轴平行，W2是第2反射镜层40的上表面48的X轴方向的长度。

[0100] 图3所示的例中，当俯视时，在与虚拟直线L重叠的位置，氧化区域8的第一部分8a和第二部分8b以夹持第2反射镜层40的上表面48的方式存在。即，第一部分8a和第二部分8b夹持X轴方向中上表面48。图示的例中，第一部分8a设置于第2反射镜层40的上表面48的+X轴方向

侧,第2部分8b设置于上表面48的-X轴方向侧。氧化区域8的宽度亦即W1是第1部分8a的宽度,位于虚拟直线L上。即,W1是氧化区域8的第一部分8a的X轴方向的长度。

[0101] 图4所示的例中,当剖视时,第1区域60的多个氧化层6中最下层的氧化层6a具有和与第1形变赋予部2a的第1反射镜层20相接的端6b对置的第1端6c。另外,当剖视时,第2区域62的多个氧化层16中最上层的氧化层16a具有与第1形变赋予部2a的第2反射镜层40相接的第2端16b。当俯视时,W1是从第1端6c到第2端16b的宽度。

[0102] 如图4所示,第1区域60具有第1部分60a以及第2部分60b。第1区域60的第1部分60a以及第2部分60b在剖视图中,以夹持第1形变赋予部2a的第1反射镜层20的方式设置。图示的例中,第1部分60a设置于第1反射镜层20的+X轴方向侧,第2部分60b设置于第1反射镜层20的-X轴方向侧。第1区域60的第一部分60a具有最下层的氧化层6a。

[0103] 第2区域62具有第1部分62a以及第2部分62b。第2区域62的第一部分62a以及第2部分62b在剖视图中,以夹持第1形变赋予部2a的第2反射镜层40的方式设置。第2区域62的第一部分62a设置于第1区域60的第一部分60a的上方。第2区域62的第2部分62b设置于第1区域60的第2部分60b的上方。第2区域62的第一部分62a具有最上的氧化层16a。

[0104] 第2区域62的上表面63向基板10侧倾斜。图示的例中,第2区域62的上表面63对于第2反射镜层40的上表面48向基板10侧倾斜。

[0105] 此外,上述中,对AlGaAs系的面发光激光器进行了说明,但本发明的面发光激光器也可以根据振荡波长,使用例如GaInP系、ZnSSe系、InGaN系、AlGaN系、InGaAs系、GaInNAs系、GaAsSb系半导体材料。

[0106] 面发光激光器100例如具有以下的特征。

[0107] 面发光激光器100中,俯视中氧化区域8由第1形变赋予部2a中的第1区域60和第2区域62构成,将氧化区域8的宽度设为W1并将第1形变赋予部2a的第2反射镜层40的上表面48的宽度设为W2时, $W2/W1 \leq 3.3$ 。由此,面发光激光器100中,能够通过氧化区域8使活性层30产生较大的形变,能够实现激光的偏振方向稳定化(详细参照后述的实验例)。

[0108] 面发光激光器100中,这样能够使激光的偏振方向稳定,所以例如在使用面发光激光器100作为原子振荡器的光源的情况下,能够经由 $\lambda/4$ 板使圆偏振光的光稳定地照射至气室。其结果,能够提高原子振荡器的频率稳定性。由此,能够提高EIT现象的显现概率。例如,存在从面发光激光器射出的激光的偏振方向不稳定的情况、经由 $\lambda/4$ 板得到的光为椭圆偏振光的情况、圆偏振光的旋转方向变动的情况。

[0109] 这样,面发光激光器100中,能够使激光光的偏振方向稳定,所以能够经由 $\lambda/4$ 板,使圆偏振光的光稳定地照射至气室,能够提高原子振荡器的频率稳定性。

[0110] 面发光激光器100中, $W2/W1 \leq 2.2$ 。由此,面发光激光器100中,能够更加实现激光的偏振方向稳定化(详细参照后述的实验例)。

[0111] 面发光激光器100中, $1.3 \leq W2/W1 \leq 2.2$ 。由此,面发光激光器100中,能够更加实现激光的偏振方向稳定化(详细参照后述的实验例)。

[0112] 2.面发光激光器的制造方法

[0113] 接下来,一边参照附图一边对本实施方式的面发光激光器的制造方法进行说明。图5~图8是示意性地表示本实施方式的面发光激光器100的制造工序的剖视图,与图2对应。

[0114] 如图5所示,在基板10上依次使第1反射镜层20、活性层30、被氧化而成为电流狭窄层42的被氧化层42a、第2反射镜层40、以及触点层50外延生长。作为外延生长的方法,例如列举有MOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition:金属有机化学气相沉积) 法、MBE (Molecular Beam Epitaxy:分子束外延) 法。

[0115] 如图6所示,对触点层50、第2反射镜层40、被氧化层42a、活性层30、以及第1反射镜层20进行图案化,来形成层叠体2。图案化例如通过光刻以及蚀刻进行。

[0116] 如图7所示,氧化被氧化层42a来形成电流狭窄层42。被氧化层42a例如是 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($x \geq 0.95$) 层。例如,在400℃左右的水蒸气环境气体中,通过投入形成有层叠体2的基板10,从侧面氧化 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($x \geq 0.95$) 层来形成电流狭窄层42。

[0117] 面发光激光器100的制造方法中,在上述氧化工序中,从侧面氧化构成第1反射镜层20的层,来形成第1区域60。并且,从侧面氧化构成第2反射镜层40的层,来形成第2区域62。具体而言,通过400℃左右的水蒸气环境气体,构成反射镜层20、40的 $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ 层的砷置换成氧,形成了区域60、62。区域60、62例如从400℃左右的高温返回室温时收缩,第2区域62的上表面63向基板10侧倾斜(参照图4)。第1形变赋予部2a以及第2形变赋予部2b能够将由区域60、62的收缩引起的形变(应力)赋予活性层30。

[0118] 如图8所示,以包围层叠体2的方式形成树脂层70。树脂层70例如通过使用旋涂法等在第1反射镜层20的上表面以及层叠体2的整个面,形成由聚酰亚胺树脂等构成的层,并对该层进行图案化来形成。图案化例如通过光刻以及蚀刻进行。接下来,通过对树脂层70进行加热处理(固化)来使其固化。通过本加热处理,树脂层70收缩。并且,树脂层70在从加热处理返回常温时收缩。

[0119] 如图2所示,在触点层50上以及树脂层70上形成第2电极82,在第1反射镜层20上形成第1电极80。电极80、82例如通过真空蒸镀法以及剥离法的组合等来形成。此外,形成电极80、82的顺序并不特别限定。另外,在形成第2电极82的工序中,也可以形成焊盘84以及引出布线86(参照图1)。

[0120] 能够通过以上的工序制造面发光激光器100。

[0121] 3. 实验例

[0122] 以下示出实验例并对本发明进行具体的说明。此外,本发明并不被以下的实验例以任何方式限定。

[0123] 本实验例中,使用了图3所示的W1和W2的比W2/W1不同的面发光激光器(类型A~D)。图9~图12是表示类型A~D的层叠体的照片,是使用激光共聚焦显微镜来拍摄得到的。此外,图9~图11中,(a)示出层叠体的整体图,(b)示出层叠体的形变赋予部的放大图。

[0124] 如图9所示,类型A的形变赋予部的宽度是6μm,W2/W1是1.3。如图10所示,类型B的形变赋予部的宽度是8μm,W2/W1是2.2。如图11所示,类型C的形变赋予部的宽度是10μm,W2/W1是3.3。如图12所示,类型D的形变赋予部的宽度是12μm,W2/W1是4.3。此外,在本实验例使用的面发光激光器的构成与上述的面发光激光器100的构成相同。

[0125] 本实验例中,经由偏振滤光器测定类型A~D的光输出。具体而言,对类型A~D的面发光激光器供给0~2.5mA左右的电流,使从类型A~D射出的光通过在X轴方向具有偏振透光轴的偏振滤光器,来测定光输出。准备多个各个类型A~D,进行上述的测定。

[0126] 本测定中,如图13所示,对于电流值变大使输出变大的面发光激光器为合格品。另

一方面,如图14所示,使具有即使电流值变大输出也不变大的部分(图14的例中,电流值为0~0.6mA左右的区域)的面发光激光器为不合格品。图14的例中,电流值是0~0.6mA左右的区域中,射出的光不向X轴方向偏振,在电流值约为0.6mA以上的区域中,射出的光向X轴方向偏振。即,图14那样的例中,可以说偏振方向是不稳定的。

[0127] 表1示出类型A~D的不合格品的个数。

[0128] 【表1】

[0129]

类型	形变赋予部的宽度[μm]	W2/W1	测定个数	不合格品的个数
A	6	1.3	60	0
B	8	2.2	56	0
C	10	3.3	78	11
D	12	4.3	78	53

[0130] 通过表1,在W2/W1≤3.3的情况下,不合格品的个数是全部个数(测定个数)的一半以下,可知面发光激光器的偏振方向稳定。并且,在1.3≤W2/W1≤2.2的情况下,不合格品的个数是零,可知面发光激光器的偏振方向更加稳定。

[0132] 4.面发光激光器的形变例

[0133] 接下来,一边参照附图一边对本实施方式的形变例的面发光激光器进行说明。图15是示意性地表示本实施方式的形变例的面发光激光器200的剖视图,与图2对应。以下,面发光激光器200中,对与上述的面发光激光器100的例不同的点进行说明,相同的点省略说明。

[0134] 如图2所示,面发光激光器100中,层叠体2的侧面相对于基板10的上表面倾斜。对于此,如图15所示,面发光激光器200中,层叠体2的侧面相对于基板10的上表面垂直。

[0135] 面发光激光器200中,与面发光激光器100相同地,能够实现偏振方向的稳定化。

[0136] 5.原子振荡器

[0137] 接下来,一边参照附图一边对本实施方式的原子振荡器进行说明。图16是表示本实施方式的原子振荡器1000的功能框图。

[0138] 如图16所示,原子振荡器1000包括光学模块1100、中心波长控制部1200、以及高频控制部1300来构成。

[0139] 光学模块1100具有本发明的面发光激光器(图示的例中,面发光激光器100)、气室1110、以及光检测部1120。

[0140] 图17是表示面发光激光器100所射出的光的频谱的图。图18是表示碱金属原子的Λ型3能级模型与第1侧带波W1以及第两侧带波W2的关系的图。如图17所示,从面发光激光器100射出的光包括:具有中心频率 $f_0 (=c/\lambda_0: c\text{是光速}, \lambda_0\text{是激光的中心波长})$ 的基本波F、相对于中心频率 f_0 在上侧边带具有频率 f_1 的第1侧带波W1、以及相对于中心频率 f_0 在下侧边带具有频率 f_2 的第2侧带波W2。第1侧带波W1的频率 f_1 是 $f_1 = f_0 + f_m$, 第2侧带波W2的频率 f_2 是 $f_2 = f_0 - f_m$ 。

[0141] 如图18所示,第1侧带波W1的频率 f_1 与第2侧带波W2的频率 f_2 的频率差,与相当于碱金属原子的基态能级GL1与基态能级GL2的能量差 ΔE_{12} 的频率一致。因此,碱金属原子通过

具有频率 f_1 的第1侧带波W1以及具有频率 f_2 的第2侧带波W2,产生EIT现象。

[0142] 气室1110是在容器中封入了气体状碱金属原子(钠原子、铷原子、铯原子等)而成的部件。若对该气室1110,照射了相当于碱金属原子的2个基态能级的能量差的频率(波长)的2个光波,则碱金属原子产生EIT现象。例如,如果碱金属原子是铯原子,则因为D1线中相当于基态能级GL1与基态能级GL2的能量差的频率为9.19263…GHz,所以若照射了频率差是9.19263…GHz的2个光波,则产生EIT现象。

[0143] 光检测部1120检测透过封入于气室1110的碱金属原子的光的强度。光检测部1120输出与透过碱金属原子的光量对应的检测信号。作为光检测部1120,例如使用光电二极管。

[0144] 中心波长控制部1200产生大小与光检测部1120所输出的检测信号对应的驱动电流,并供给至面发光激光器100,控制面发光激光器100所射出的光的中心波长 λ_0 。通过经过面发光激光器100、气室1110、光检测部1120、中心波长控制部1200的反馈循环,面发光激光器100射出的激光的中心波长 λ_0 被微调而稳定。

[0145] 高频控制部1300基于光检测部1120所输出的检测结果进行控制,以使第1侧带波W1以及第2侧带波W2的波长(频率)差与相当于封入气室1110的碱金属原子的2个基态能级的能量差的频率相等。高频控制部1300产生具有与光检测部1120输出的检测结果对应的调制频率 f_m (参照图17)的调制信号。

[0146] 通过经过面发光激光器100、气室1110、光检测部1120、高频控制部1300的反馈循环施加反馈控制,以使第1侧带波W1与第两侧带波W2的频率差与相当于碱金属原子的2个基态能级的能量差的频率极其准确地一致。其结果,因为调制频率 f_m 为极稳定的频率,所以能够将调制信号作为原子振荡器1000的输出信号(时钟输出)。

[0147] 接下来,参照图16~图18对原子振荡器1000的动作进行说明。

[0148] 从面发光激光器100射出的激光入射至气室1110。从面发光激光器100射出的光包括具有相当于碱金属原子的2个基态能级的能量差的频率(波长)的2个光波(第1侧带波W1、第2侧带波W2),碱金属原子产生EIT现象。透过气室1110的光的强度被光检测部1120检测。

[0149] 中心波长控制部1200以及高频控制部1300进行反馈控制,以使第1侧带波W1与第两侧带波W2的频率差与相当于碱金属原子的2个基态能级的能量差的频率极其准确地一致。原子振荡器1000中,利用EIT现象,检测并控制第1侧带波W1与第两侧带波W2的频率差 f_1-f_2 从相当于基态能级GL1与基态能级GL2的能量差 ΔE_{12} 的频率偏移时的光吸收举动的急剧变化,从而能够制作高精度的振荡器。

[0150] 上述的实施方式以及形变例是一个例子,并不局限于它们。例如,也能够适当地组合各实施方式以及各形变例。

[0151] 本发明包括实质上与实施方式中说明的构成相同的构成(例如,功能、方法以及结果相同的构成,或者目的以及效果相同的构成)。另外,本发明包括置换不是实施方式中说明的构成的本质的部分的构成。另外,本发明包括能够起到与实施方式中说明的构成相同的作用效果的构成或者实现相同的目的的构成。另外,本发明包括对实施方式中说明的构成附加了公知技术的构成。

[0152] 附图标记说明

[0153] 2…层叠体;2a…第1形变赋予部;2b…第2形变赋予部;2c…共振部;4…层;6、6a…氧化层;6b…端;6c…第1端;8…氧化区域;8a…第1部分;8b…第2部分;10…

基板；14...层；16、16a...氧化层；16b...第2端；20...第1反射镜层；24...高折射率层；26...低折射率层；30...活性层；40...第2反射镜层；42...电流狭窄层；42a...被氧化层；43...开口部；44...高折射率层；46...低折射率层；48...上表面；50...触点层；60...第1区域；60a...第1部分；60b...第2部分；62...第2区域；62a...第1部分；62b...第2部分；63...上表面；70...树脂层；80...第1电极；82...第2电极；84...焊盘；86...引出布线；100、200...面发光激光器；1000...原子振荡器；1110...气室；1120...光检测部；1100...光模块；1200...中心波长控制部；1300...高频控制部。

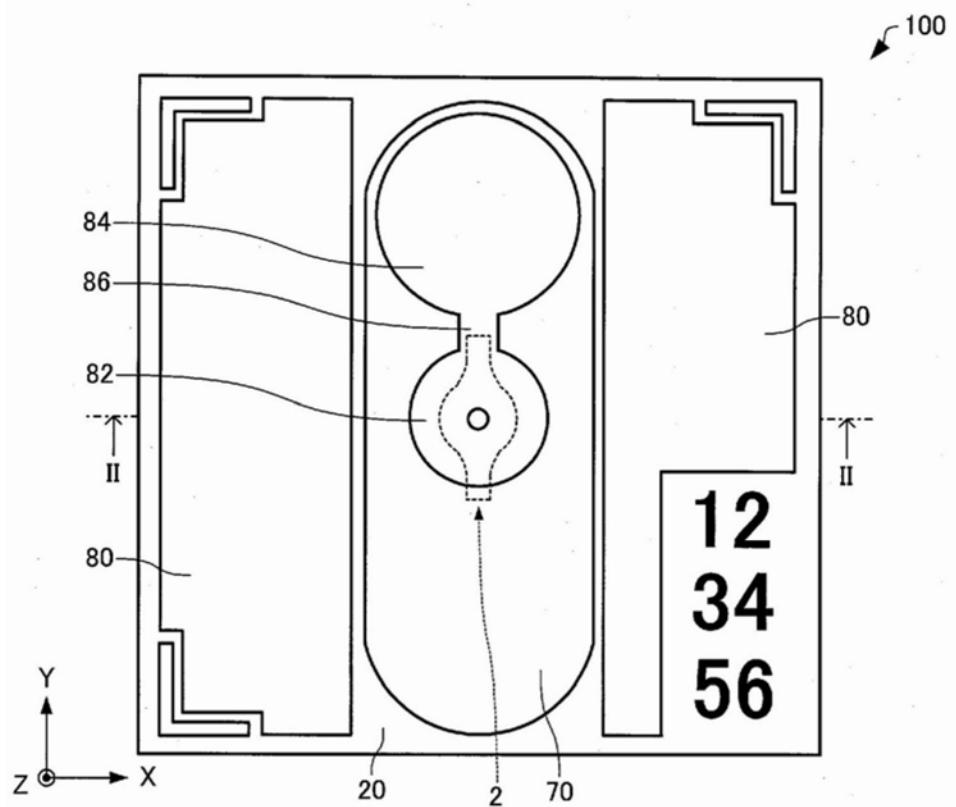


图1

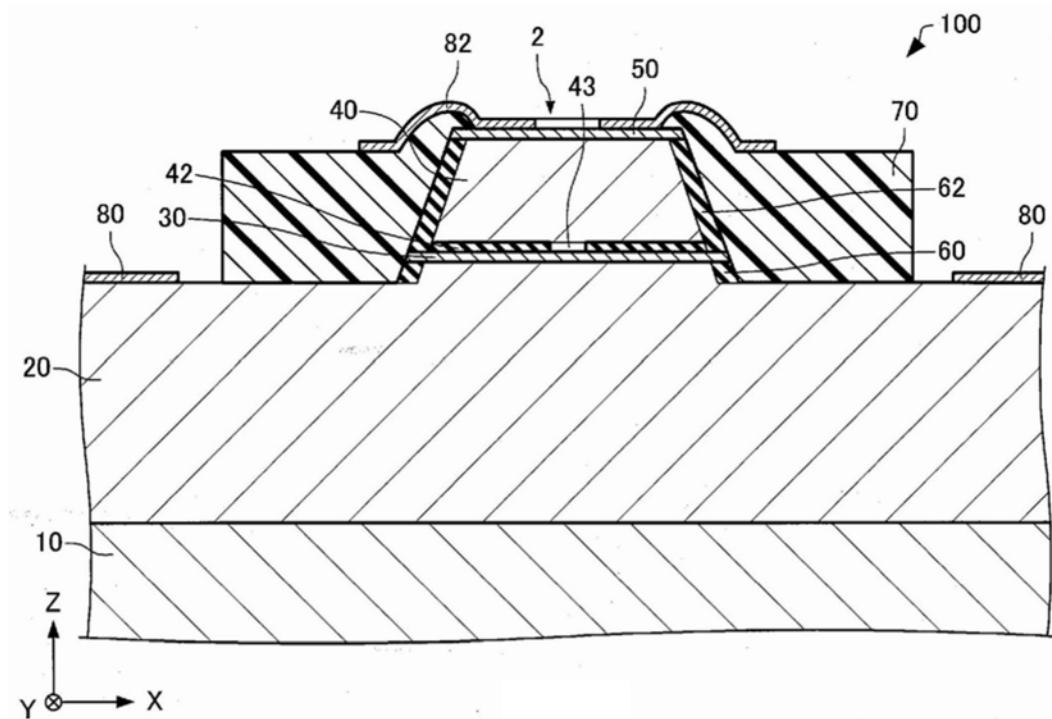


图2

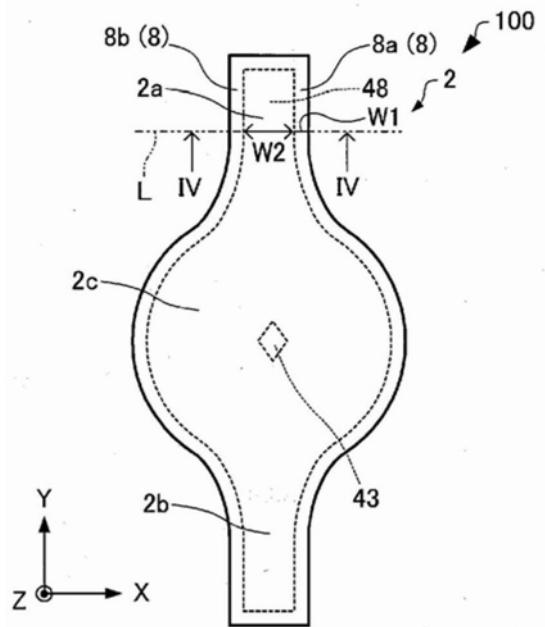


图3

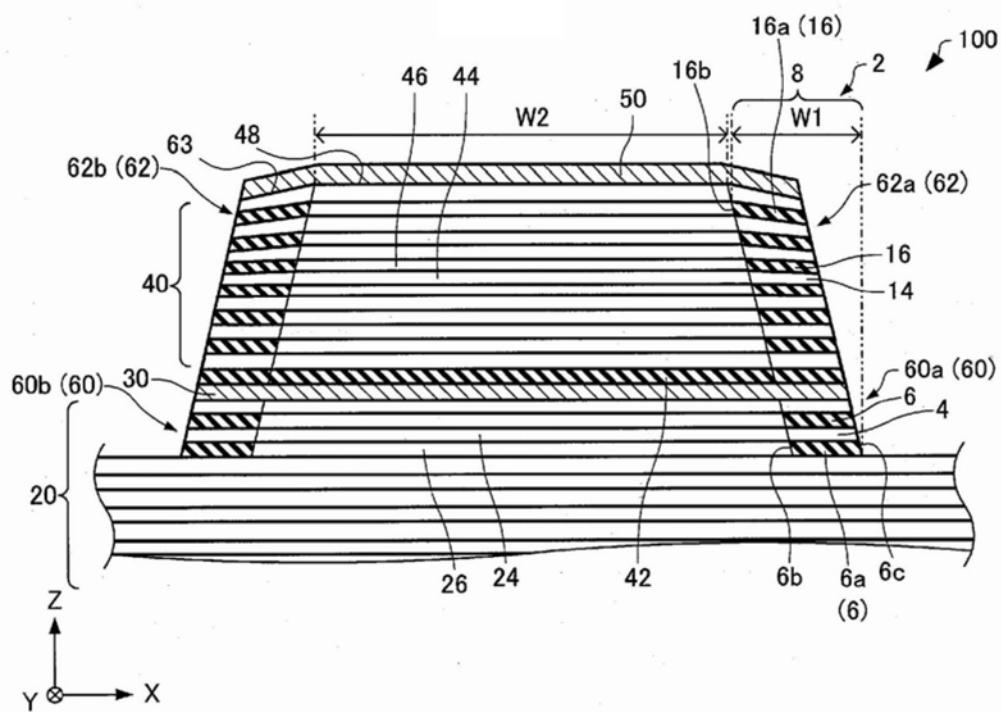


图4

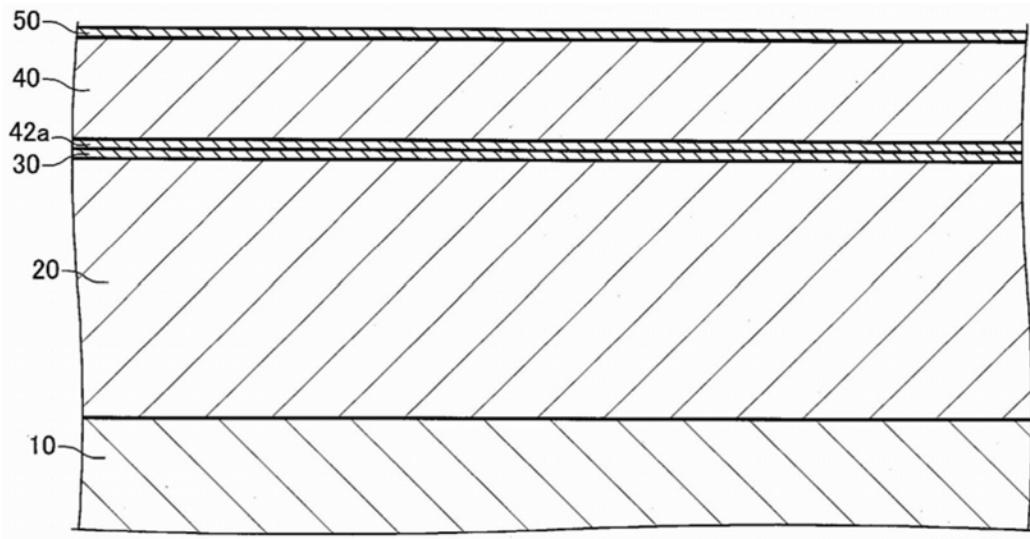


图5

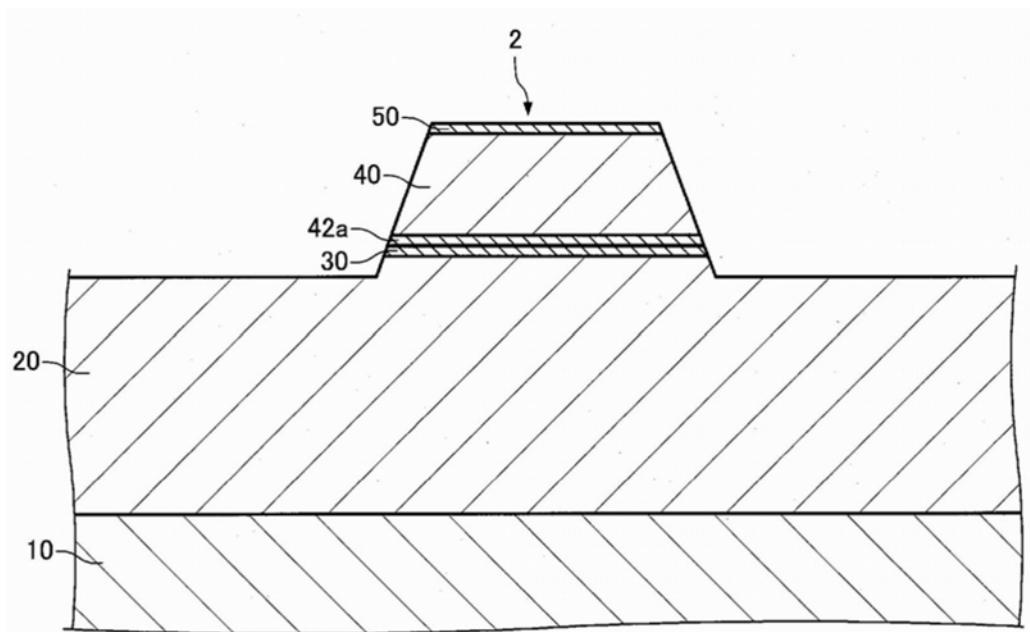


图6

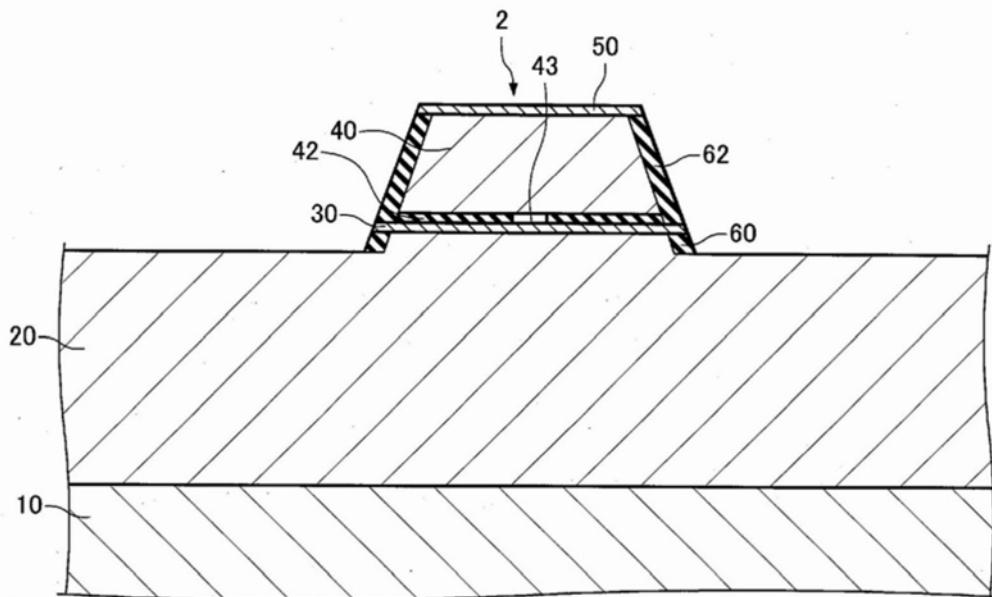


图7

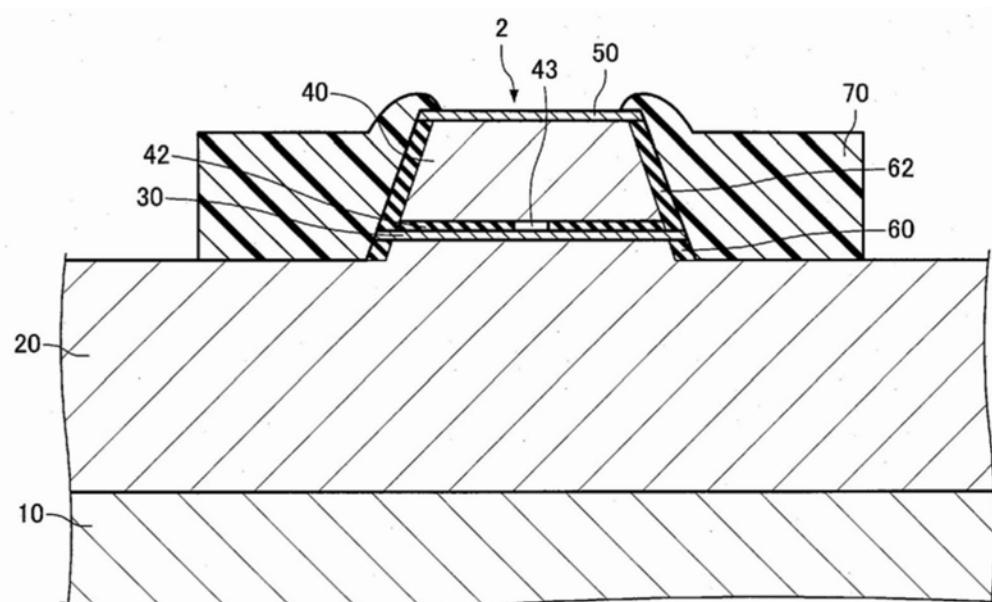
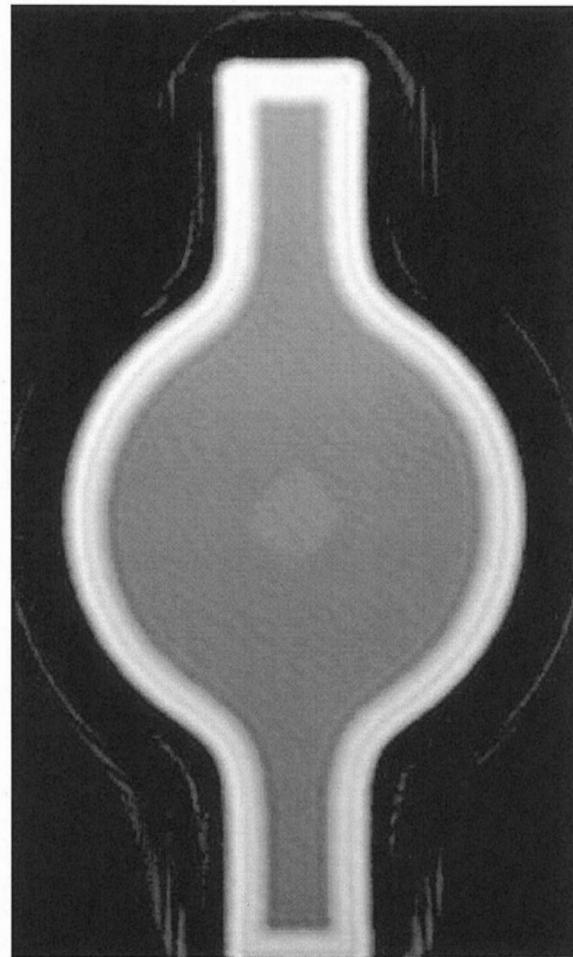


图8

(a)



(b)

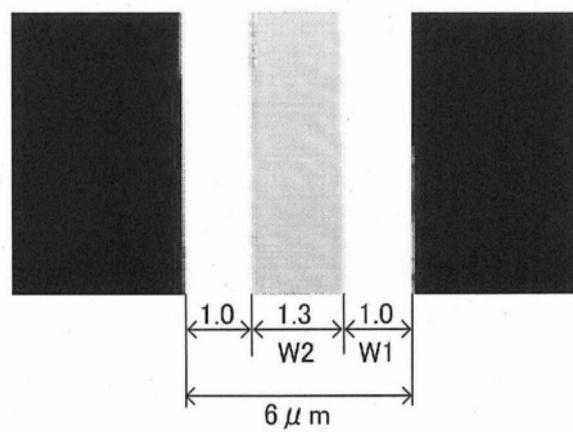


图9

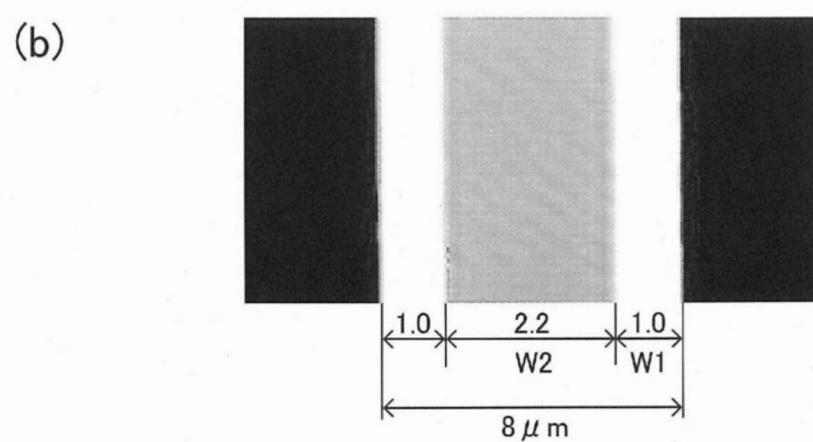
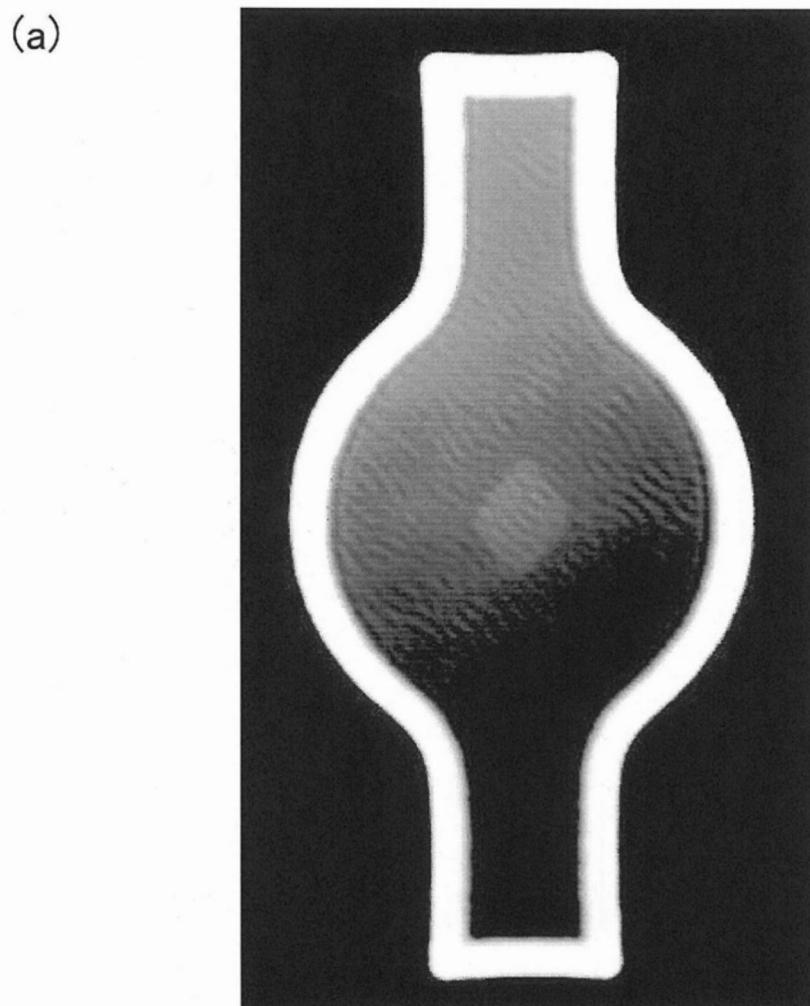


图10

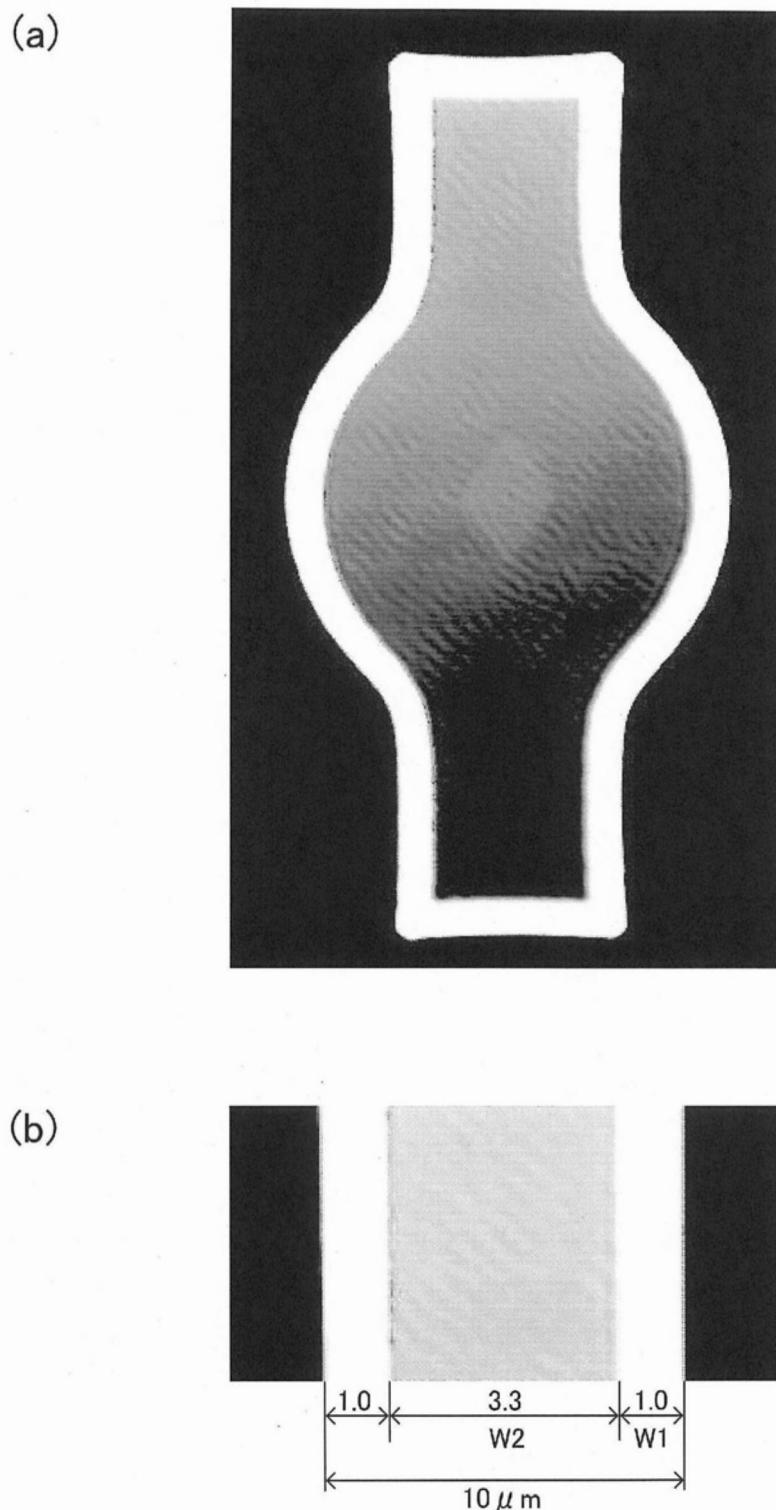


图11

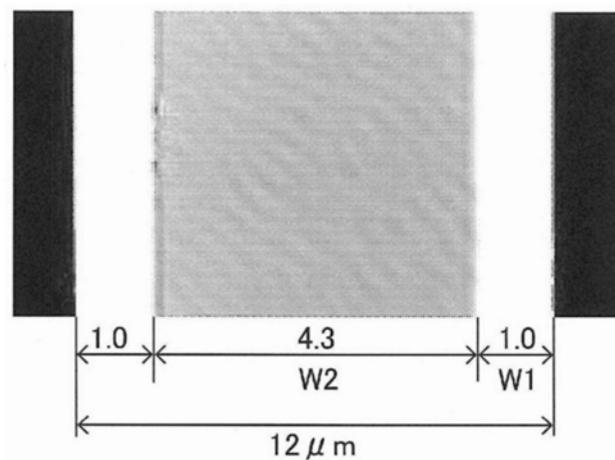


图12

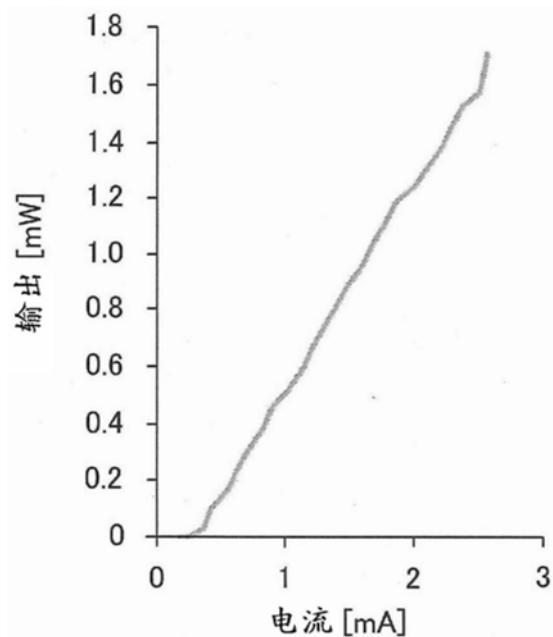


图13

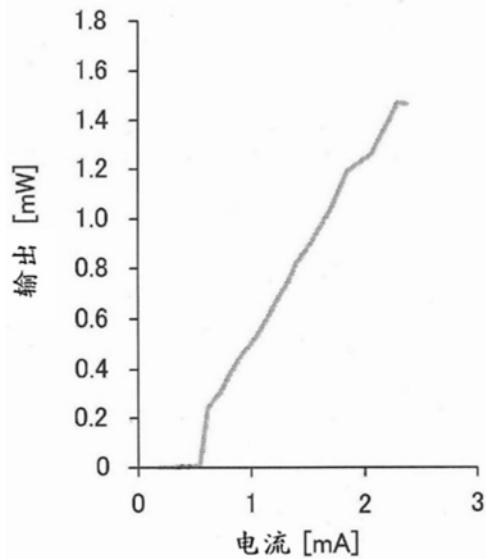


图14

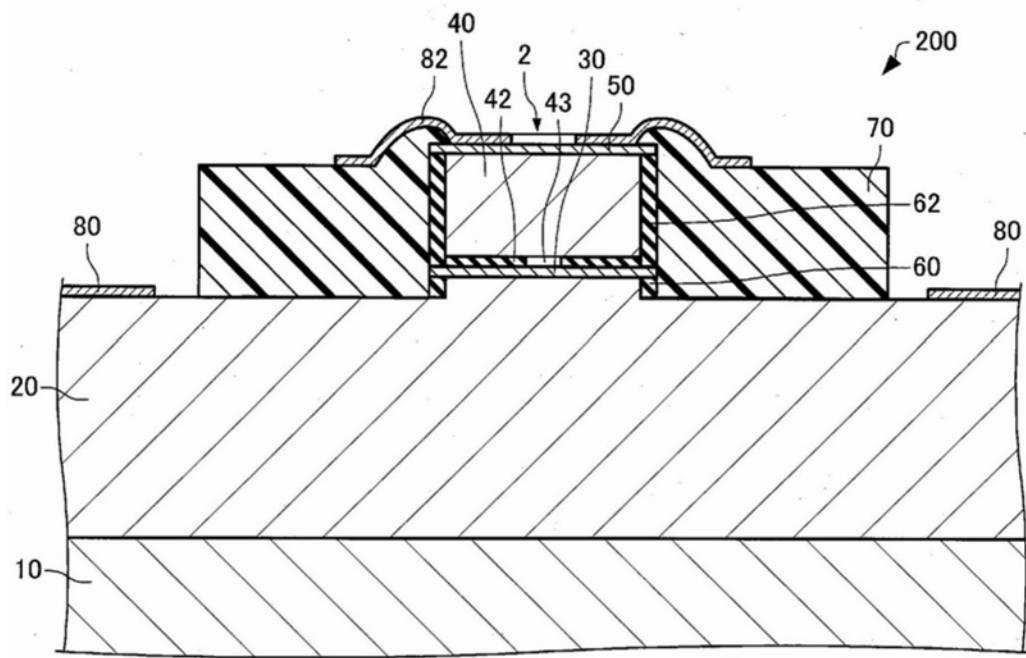


图15

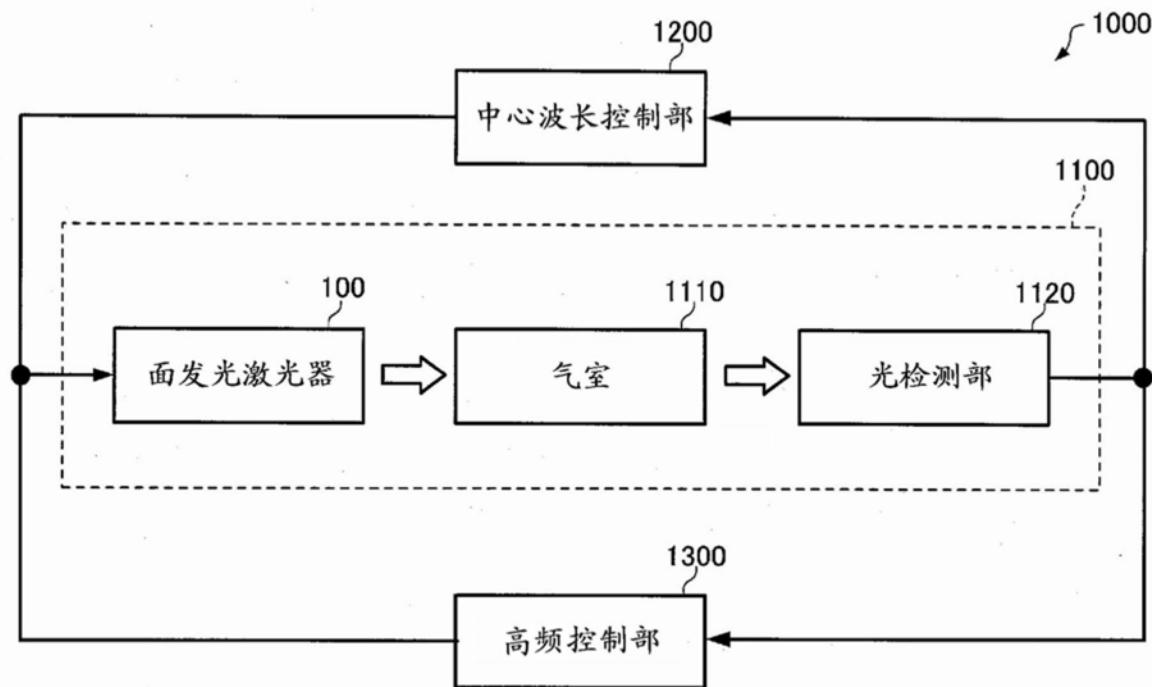


图16

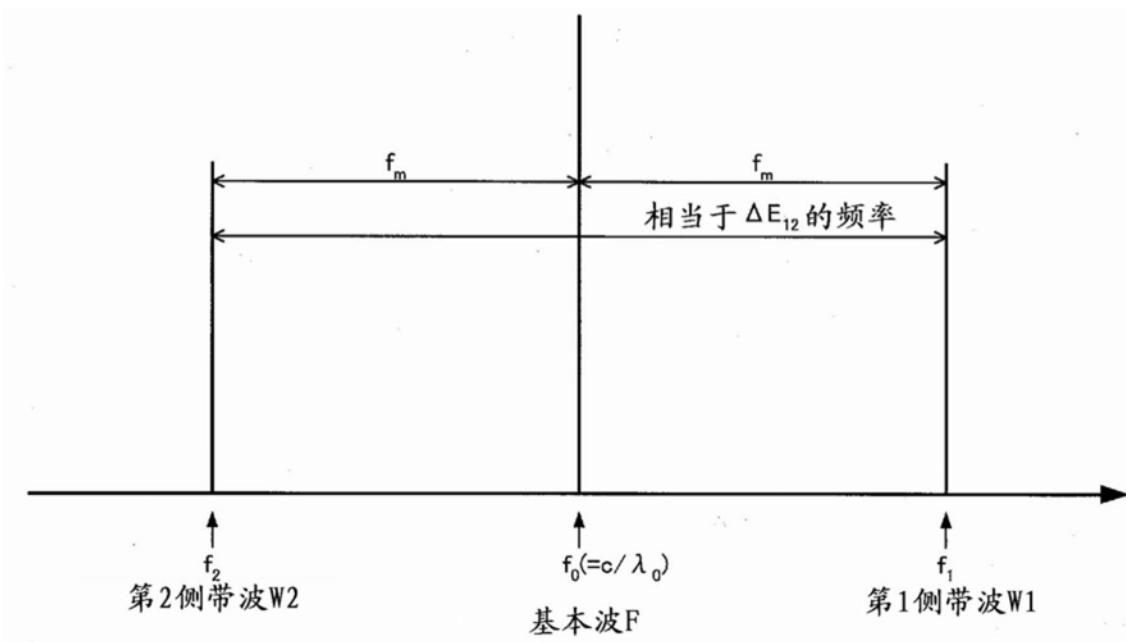


图17

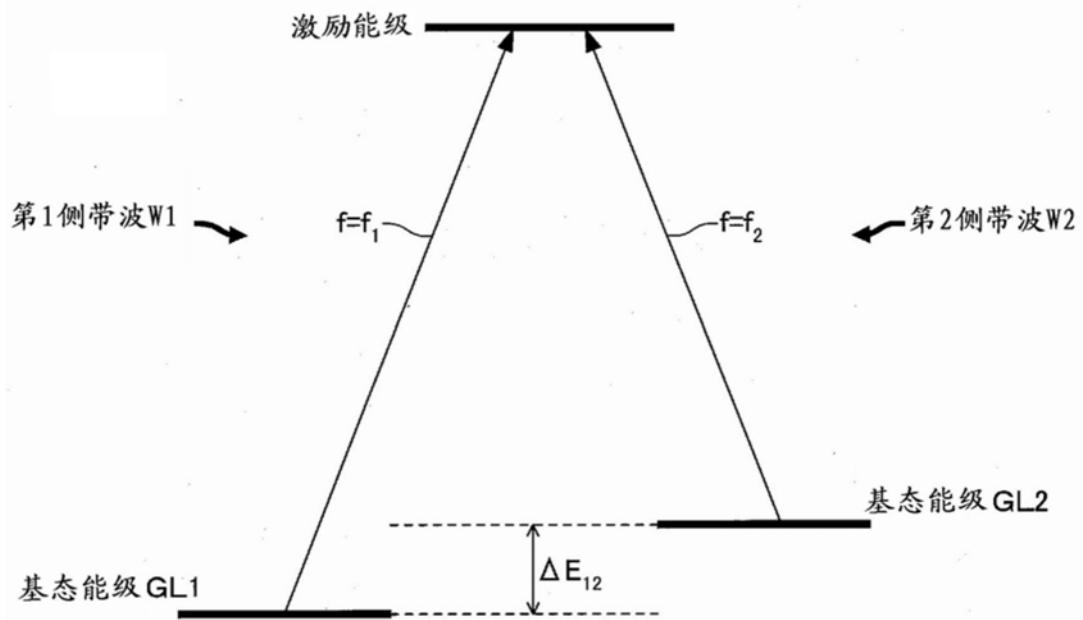


图18