



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104734012 B

(45)授权公告日 2019.06.14

(21)申请号 201410779785.7

H01S 5/125(2006.01)

(22)申请日 2014.12.16

H01S 5/187(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104734012 A

(43)申请公布日 2015.06.24

(30)优先权数据

2013-263458 2013.12.20 JP

(73)专利权人 精工爱普生株式会社

地址 日本东京都

(72)发明人 金子刚 西田哲朗 仓知祐司

(74)专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司

11227

代理人 舒艳君 李洋

(51)Int.Cl.

H01S 5/183(2006.01)

(56)对比文件

CN 1716718 A, 2006.01.04, 说明书具体实施方式部分第一实施例, 附图1-2.

CN 1716718 A, 2006.01.04, 说明书具体实施方式部分第一实施例, 附图1-2.

WO 02/37630 A2, 2002.05.10, 全文.

CN 103208992 A, 2013.07.17, 权利要求书.

JP 特开2003-8142 A, 2003.01.10, 全文.

JP 特开2013-98606 A, 2013.05.20, 全文.

F.Monti di Sopra et al..Polarization Control in Strained T-bar VCSELs.《IEEE Photonics Technology Letters》.2002, 第14卷(第8期), 第1页右栏第1-22行, 附图1.

审查员 罗文飞

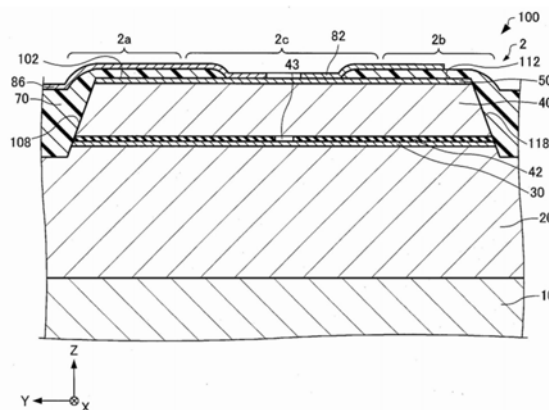
权利要求书3页 说明书12页 附图9页

(54)发明名称

面发光激光器以及原子振荡器

(57)摘要

本发明提供一种能够实现偏振方向的稳定化的面发光激光器以及原子振荡器。本发明所涉及的面发光激光器(100)包括:基板(10)、以及被设置于基板(10)上方的层叠体(2),层叠体(2)包括:被设置于基板(10)上方的第一反射镜层(20)、被设置于第一反射镜层(20)上方的活性层(30)、以及被设置于活性层(30)上方的第二反射镜层(40),在俯视时,层叠体(2)具备:具有第一宽度的第一部分(2a)、具有第二宽度的第二部分(2b)、以及被设置于第一部分(2a)与第二部分(2b)之间并具有比第一宽度或者第二宽度宽的第三宽度的第三部分(2c),设置有覆盖第一部分(2a)的至少一部分的树脂层(70)。



1. 一种面发光激光器,其特征在于,包括:

基板;以及

层叠体,其被设置于所述基板上方,

所述层叠体包括:被设置于所述基板上方的第一反射镜层、被设置于所述第一反射镜层上方的活性层、以及被设置于所述活性层上方的第二反射镜层,

在俯视时,所述层叠体具备:在第二方向上具有第一宽度的第一部分、在所述第二方向上具有第二宽度的第二部分、以及在与所述第二方向垂直的第一方向上被设置于所述第一部分与所述第二部分之间并在所述第二方向上具有比所述第一宽度或者所述第二宽度宽的第三宽度的第三部分,

设置有覆盖所述第一部分的至少一部分的树脂层,

所述层叠体还包括多个氧化层,所述多个氧化层沿着所述层叠体的轮廓设置于所述层叠体的侧面,并与所述第一反射镜层和所述第二反射镜层相邻,

在沿着所述第二方向的截面观察时,所述第一部分中的沿与所述基板垂直的方向从所述基板经由所述多个氧化层直至所述多个氧化层中的最上方的氧化层的上表面的高度,小于所述第一部分中的沿与所述基板垂直的方向从所述基板直至所述第二反射镜层的上表面的最高处的高度。

2. 根据权利要求1所述的面发光激光器,其特征在于,

所述树脂层被设置于:所述第一部分的至少所述第一部分的上表面;与所述上表面连续、所述第一部分的至少所述第一部分的第一侧面;以及与所述上表面连续、所述第一部分的至少所述第一部分的第二侧面。

3. 根据权利要求1所述的面发光激光器,其特征在于,

所述树脂层覆盖所述第一部分的所述一部分。

4. 根据权利要求3所述的面发光激光器,其特征在于,

所述树脂层被设置于:所述第一部分的所述一部分的上表面;与所述上表面连续、所述第一部分的所述一部分的第一侧面;以及与所述上表面连续、所述第一部分的所述一部分的第二侧面。

5. 根据权利要求1所述的面发光激光器,其特征在于,

所述树脂层覆盖所述第一部分的整体。

6. 根据权利要求5所述的面发光激光器,其特征在于,

所述树脂层被设置于所述第一部分的上表面整体以及所述第一部分的侧面整体。

7. 根据权利要求1所述的面发光激光器,其特征在于,

所述树脂层被设置于:所述层叠体的侧面整体、所述第一部分的上表面的至少一部分、以及所述第二部分的上表面的至少一部分。

8. 根据权利要求7所述的面发光激光器,其特征在于,

所述第一部分的所述上表面的所述一部分位于所述第一部分的端部,

所述第二部分的所述上表面的所述一部分位于所述第二部分的端部。

9. 根据权利要求7所述的面发光激光器,其特征在于,

所述树脂层被设置于所述第一部分的上表面整体以及所述第二部分的上表面整体。

10. 根据权利要求1~9中任一项所述的面发光激光器,其特征在于,

所述树脂层不被设置于所述第三部分的上表面整体，
在所述第三部分的上表面整体设置有具有开口部的电极。

11. 一种面发光激光器，其特征在于，包括：

基板；以及

层叠体，其被设置于所述基板上方，

所述层叠体包括：被设置于所述基板上方的第一反射镜层、被设置于所述第一反射镜层上方的活性层、以及被设置于所述活性层上方的第二反射镜层，

在俯视时，所述层叠体具备：在第二方向上具有第一宽度的第一形变赋予部、在所述第二方向上具有第二宽度的第二形变赋予部、以及在与所述第二方向垂直的第一方向上被设置于所述第一形变赋予部与所述第二形变赋予部之间并在所述第二方向上具有比所述第一宽度或者所述第二宽度宽的第三宽度且使在所述活性层产生的光共振的共振部，

设置有覆盖所述第一形变赋予部的至少一部分的树脂层，

所述层叠体还包括多个氧化层，所述多个氧化层沿着所述层叠体的轮廓设置于所述层叠体的侧面，并与所述第一反射镜层和所述第二反射镜层相邻，

在沿着所述第二方向的截面观察时，所述第一形变赋予部中的沿与所述基板垂直的方向从所述基板经由所述多个氧化层直至所述多个氧化层中的最上方的氧化层的上表面的高度，小于所述第一形变赋予部中的沿与所述基板垂直的方向从所述基板直至所述第二反射镜层的上表面的最高处的高度。

12. 根据权利要求11所述的面发光激光器，其特征在于，

所述树脂层被设置于：所述第一形变赋予部的至少所述一部分的上表面；与所述上表面连续、所述第一形变赋予部的至少所述一部分的第一侧面；与所述上表面连续、所述第一形变赋予部的至少所述一部分的第二侧面。

13. 根据权利要求11所述的面发光激光器，其特征在于，

所述树脂层覆盖所述第一形变赋予部的所述一部分。

14. 根据权利要求13所述的面发光激光器，其特征在于，

所述树脂层被设置于：所述第一形变赋予部的所述一部分的上表面；与所述上表面连续、所述第一形变赋予部的所述一部分的第一侧面；与所述上表面连续、所述第一形变赋予部的所述一部分的第二侧面。

15. 根据权利要求11所述的面发光激光器，其特征在于，

所述树脂层覆盖所述第一形变赋予部的整体。

16. 根据权利要求15所述的面发光激光器，其特征在于，

所述树脂层被设置于所述第一形变赋予部的上表面整体以及所述第一形变赋予部的侧面整体。

17. 根据权利要求11所述的面发光激光器，其特征在于，

所述树脂层被设置于所述层叠体的侧面整体、所述第一形变赋予部的上表面的至少一部分、以及所述第二形变赋予部的上表面的至少一部分。

18. 根据权利要求17所述的面发光激光器，其特征在于，

所述第一形变赋予部的所述上表面的所述一部分位于所述第一形变赋予部的端部，

所述第二形变赋予部的所述上表面的所述一部分位于所述第二形变赋予部的端部。

19. 根据权利要求17所述的面发光激光器,其特征在于,
所述树脂层被设置于所述第一形变赋予部的上表面整体以及所述第二形变赋予部的上表面整体。

20. 根据权利要求11~19中任一项所述的面发光激光器,其特征在于,
所述树脂层不被设置于所述共振部的上表面整体,
在所述共振部的上表面整体设置有具有开口部的电极。

21. 一种原子振荡器,其特征在于,
包括权利要求1~20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 垂直腔面发射激光器) 例如使用作为利用了作为量子干涉效应之一的 CPT (Coherent Population Trapping 相干布居俘获) 的原子振荡器的光源。

[0003] 对于面发光激光器而言, 通常, 共振器具有各向同性的构造, 因此从共振器被射出的激光的偏振方向的控制较困难。例如在专利文献 1 中记载有面发光激光器, 该面发光激光器包括形成为与垂直共振器的外侧面接触, 并具有各向异性的应力的绝缘层, 通过该各向异性的应力对激光的偏振方向进行控制。

[0004] 专利文献 1: 日本特开 2001-189525 号公报

[0005] 然而, 在专利文献 1 所记载的面发光激光器中, 绝缘层仅设置于垂直共振器的侧面。因此, 在专利文献 1 所记载的面发光激光器中, 存在施加于垂直共振器的应力不充分, 无法使激光的偏振方向稳定化的情况。

发明内容

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

[0007] 本发明所涉及的面发光激光器的特征在于, 包括:

[0008] 基板; 以及

[0009] 层叠体, 其被设置于上述基板上方,

[0010] 上述层叠体包括: 被设置于上述基板上方的第一反射镜层、被设置于上述第一反射镜层上方的活性层、以及被设置于上述活性层上方的第二反射镜层,

[0011] 在俯视时, 上述层叠体具备: 具有第一宽度的第一部分、具有第二宽度的第二部分、以及被设置于上述第一部分与上述第二部分之间并具有比上述第一宽度或者上述第二宽度宽的第三宽度的第三部分,

[0012] 设置有覆盖上述第一部分的至少一部分的树脂层。

[0013] 在上述的面发光激光器中, 通过树脂层的收缩, 能够使由第一部分施加于第三部分的应力增大, 从而能够使第三部分的活性层产生较大的变形。因此, 在上述的面发光激光器中, 能够实现激光的偏振方向的稳定化。

[0014] 此外, 在本发明所涉及的记载中, 在将称为“上方”的词句例如使用为“在特定的部件 (以下, 称为“A”) 的“上方”形成其他的特定的部件 (以下, 称为“B”)”等的情况下, 包括在 A 上直接形成 B 的情况与在 A 上经由其他的部件形成 B 的情况, 对此使用称为“上方”的词句。

[0015] 在本发明所涉及的面发光激光器中,

[0016] 上述树脂层也可以被设置于：上述第一部分的至少上述一部分的上表面；与上述上表面连续、上述第一部分的至少上述一部分的第一侧面；以及与上述上表面连续、上述第一部分的至少上述一部分的第二侧面。

[0017] 在上述的面发光激光器中，能够实现偏振方向的稳定化。

[0018] 在本发明所涉及的面发光激光器中，

[0019] 上述树脂层也可以覆盖上述第一部分的上述一部分。

[0020] 在上述的面发光激光器中，连接于用于向活性层注入电流的电极的引出配线能够与第一部分接触。因此，在上述的面发光激光器中，能够使由电极以及引出配线构成的导电部与层叠体的接触面积增大。由此，能够使导电部与层叠体的接触电阻减小。

[0021] 在本发明所涉及的面发光激光器中，

[0022] 上述树脂层也可以被设置于：上述第一部分的上述一部分的上表面；与上述上表面连续、上述第一部分的上述一部分的第一侧面、以及与上述上表面连续、上述第一部分的上述一部分的第二侧面。

[0023] 在上述的面发光激光器中，能够实现偏振方向的稳定化。

[0024] 在本发明所涉及的面发光激光器中，

[0025] 上述树脂层也可以覆盖上述第一部分的整体。

[0026] 在上述的面发光激光器中，能够使由第一部分施加于第三部分的应力更加增大。

[0027] 在本发明所涉及的面发光激光器中，

[0028] 上述树脂层也可以被设置于上述第一部分的上表面整体以及上述第一部分的侧面整体。

[0029] 在上述的面发光激光器中，能够实现偏振方向的稳定化。

[0030] 在本发明所涉及的面发光激光器中，

[0031] 上述树脂层也可以被设置于上述层叠体的侧面整体、上述第一部分的上表面的至少一部分、以及上述第二部分的上表面的至少一部分。

[0032] 在上述的面发光激光器中，能够实现偏振方向的稳定化。

[0033] 在本发明所涉及的面发光激光器中，

[0034] 上述第一部分的上述上表面的上述一部分也可以位于上述第一部分的端部，

[0035] 上述第二部分的上述上表面的上述一部分位于上述第二部分的端部。

[0036] 在上述的面发光激光器中，能够实现偏振方向的稳定化。

[0037] 在本发明所涉及的面发光激光器中，

[0038] 上述树脂层也可以被设置于上述第一部分的上表面整体以及上述第二部分的上表面整体。

[0039] 在上述的面发光激光器中，能够使由第一部分以及第二部分施加于第三部分的应力更加增大。

[0040] 在本发明所涉及的面发光激光器中，

[0041] 上述树脂层也可以不被设置于上述第三部分的上表面整体，

[0042] 在上述第三部分的上表面整体设置有具有开口部的电极。

[0043] 在上述的面发光激光器中，能够实现偏振方向的稳定化。

[0044] 本发明所涉及的面发光激光器的特征在于，也可以包括：

- [0045] 基板;以及
- [0046] 层叠体,其被设置于上述基板上方,
- [0047] 上述层叠体包括:被设置于上述基板上方的第一反射镜层、被设置于上述第一反射镜层上方的活性层、以及被设置于上述活性层上方的第二反射镜层,
- [0048] 在俯视时,上述层叠体具备:具有第一宽度的第一形变赋予部、具有第二宽度的第二形变赋予部、以及被设置于上述第一形变赋予部与上述第二形变赋予部之间并具有比上述第一宽度或者上述第二宽度宽的第三宽度且使在上述活性层产生的光共振的共振部,
- [0049] 设置有覆盖上述第一形变赋予部的至少一部分的树脂层。
- [0050] 在上述的面发光激光器中,通过树脂层的收缩,能够使由第一形变赋予部施加于共振部的应力增大,从而能够使共振部的活性层产生较大的变形。因此,在上述的面发光激光器中,能够实现激光的偏振方向的稳定化。
- [0051] 在本发明所涉及的面发光激光器中,
- [0052] 上述树脂层也可以被设置于:上述第一形变赋予部的至少上述一部分的上表面;与上述上表面连续、上述第一形变赋予部的至少上述一部分的第一侧面;以及与上述上表面连续、上述第一形变赋予部的至少上述一部分的第二侧面。
- [0053] 在上述的面发光激光器中,能够实现偏振方向的稳定化。
- [0054] 在本发明所涉及的面发光激光器中,
- [0055] 上述树脂层也可以覆盖上述第一形变赋予部的上述一部分。
- [0056] 在上述的面发光激光器中,连接于用于向活性层注入电流的电极的引出配线能够与第一形变赋予部接触。因此,在上述的面发光激光器中,能够使由电极以及引出配线构成的导电部与层叠体的接触面积增大。由此,能够使导电部与层叠体的接触电阻减小。
- [0057] 在本发明所涉及的面发光激光器中,
- [0058] 上述树脂层也可以被设置于:上述第一形变赋予部的上述一部分的上表面;与上述上表面连续、上述第一形变赋予部的上述一部分的第一侧面;以及与上述上表面连续、上述第一形变赋予部的上述一部分的第二侧面。
- [0059] 在上述的面发光激光器中,能够实现偏振方向的稳定化。
- [0060] 在本发明所涉及的面发光激光器中,
- [0061] 上述树脂层也可以覆盖上述第一形变赋予部的整体。
- [0062] 在上述的面发光激光器中,能够使由第一形变赋予部施加于共振部的应力更加增大。
- [0063] 在本发明所涉及的面发光激光器中,
- [0064] 上述树脂层也可以被设置于上述第一形变赋予部的上表面整体以及上述第一形变赋予部的侧面整体。
- [0065] 在上述的面发光激光器中,能够实现偏振方向的稳定化。
- [0066] 在本发明所涉及的面发光激光器中,
- [0067] 上述树脂层也可以被设置于上述层叠体的侧面整体、上述第一形变赋予部的上表面的至少一部分、以及上述第二形变赋予部的上表面的至少一部分。
- [0068] 在上述的面发光激光器中,能够实现偏振方向的稳定化。
- [0069] 在本发明所涉及的面发光激光器中,

- [0070] 上述第一形变赋予部的上述上表面的上述一部分也可以位于上述第一形变赋予部的端部，
- [0071] 上述第二形变赋予部的上述上表面的上述一部分位于上述第二形变赋予部的端部。
- [0072] 在上述的面发光激光器中，能够实现偏振方向的稳定化。
- [0073] 在本发明所涉及的面发光激光器中，
- [0074] 上述树脂层也可以被设置于上述第一形变赋予部的上表面整体以及上述第二形变赋予部的上表面整体。
- [0075] 在上述的面发光激光器中，能够使由第一形变赋予部以及第二形变赋予部施加于共振部的应力更加增大。
- [0076] 在本发明所涉及的面发光激光器中，
- [0077] 上述树脂层也可以不被设置于上述共振部的上表面整体，
- [0078] 在上述共振部的上表面整体设置有具有开口部的电极。
- [0079] 在上述的面发光激光器中，能够实现偏振方向的稳定化。
- [0080] 本发明所涉及的原子振荡器的特征在于，
- [0081] 包括本发明所涉及的面发光激光器。
- [0082] 在上述的原子振荡器中，包括本发明所涉及的面发光激光器，因此例如能够经由 $\lambda/4$ 板向气体电池稳定地照射圆偏振光的光，从而能够提高原子振荡器的频率稳定性。

附图说明

- [0083] 图1是示意性地表示本实施方式所涉及的面发光激光器的俯视图。
- [0084] 图2是示意性地表示本实施方式所涉及的面发光激光器的剖视图。
- [0085] 图3是示意性地表示本实施方式所涉及的面发光激光器的俯视图。
- [0086] 图4是示意性地表示本实施方式所涉及的面发光激光器的剖视图。
- [0087] 图5是示意性地表示本实施方式所涉及的面发光激光器的俯视图。
- [0088] 图6是示意性地表示本实施方式所涉及的面发光激光器的剖视图。
- [0089] 图7是示意性地表示本实施方式所涉及的面发光激光器的剖视图。
- [0090] 图8是示意性地表示本实施方式所涉及的面发光激光器的剖视图。
- [0091] 图9是示意性地表示本实施方式所涉及的面发光激光器的制造工序的剖视图。
- [0092] 图10是示意性地表示本实施方式所涉及的面发光激光器的制造工序的剖视图。
- [0093] 图11是示意性地表示本实施方式所涉及的面发光激光器的制造工序的剖视图。
- [0094] 图12是示意性地表示本实施方式所涉及的面发光激光器的制造工序的剖视图。
- [0095] 图13是示意性地表示本实施方式的变形例所涉及的面发光激光器的俯视图。
- [0096] 图14是示意性地表示本实施方式的变形例所涉及的面发光激光器的剖视图。
- [0097] 图15是示意性地表示本实施方式的变形例所涉及的面发光激光器的俯视图。
- [0098] 图16是本实施方式所涉及的原子振荡器的功能框图。
- [0099] 图17是表示共振光的频谱的图。
- [0100] 图18是表示碱金属原子的 Λ 型三能级模型与第一边带波以及第二边带波的关系的图。

具体实施方式

[0101] 以下,使用附图对本发明的优选的实施方式详细地进行说明。此外,以下进行说明的实施方式适当地限定技术范围所记载的本发明的内容。另外,以下所说明的结构的全部并不限定为本发明的必要构成要件。

[0102] 1. 面发光激光器

[0103] 首先,参照附图对本实施方式所涉及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所涉及的面发光激光器100的俯视图。图2是示意性地表示本实施方式所涉及的面发光激光器100的图1中的II-II线剖视图。图3是示意性地表示本实施方式所涉及的面发光激光器100的俯视图。图4是示意性地表示本实施方式所涉及的面发光激光器100的图3中的IV-IV线剖视图。

[0104] 此外,为了方便,在图2中,以简化的方式图示层叠体2。另外,在图3中,省略了面发光激光器100的层叠体2以外的部件的图示。另外,在图1~图4中,作为相互正交的三个轴,图示了X轴、Y轴以及Z轴。

[0105] 如图1~图4所示,面发光激光器100包括:基板10、第一反射镜层20、活性层30、第二反射镜层40、电流狭窄层42、接触层50、第一区域60、第二区域62、树脂层70、第一电极80以及第二电极82。

[0106] 基板10例如是第一导电型(例如n型)的GaAs基板。

[0107] 第一反射镜层20被形成于基板10上。第一反射镜层20是第一导电型的半导体层。如图4所示,第一反射镜层20是交替地层压了高折射率层24与低折射率层26的分布布拉格反射型(DBR)反射镜。高折射率层24例如是掺杂了硅的n型的 $Al_{0.12}Ga_{0.88}As$ 层。低折射率层26例如是掺杂了硅的n型的 $Al_{0.9}Ga_{0.1}As$ 层。高折射率层24与低折射率层26的层压数(对数)例如为10对以上50对以下,具体而言为40.5对。

[0108] 活性层30被设置于第一反射镜层20上。活性层30例如具有重叠了三层由i型的 $In_{0.06}Ga_{0.94}As$ 层与i型的 $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$ 层构成的量子阱构造的多层量子阱(MQW)构造。

[0109] 第二反射镜层40形成于活性层30上。第二反射镜层40是第二导电型(例如p型)的半导体层。第二反射镜层40是交替地层压了高折射率层44与低折射率层46的分布布拉格反射型(DBR)反射镜。高折射率层44例如是掺杂了碳的p型的 $Al_{0.15}Ga_{0.85}As$ 层。低折射率层46例如是掺杂了碳的p型的 $Al_{0.9}Ga_{0.1}As$ 层。高折射率层44与低折射率层46的层压数(对数)例如为3对以上40对以下,具体而言为20对。

[0110] 第二反射镜层40、活性层30、以及第一反射镜层20构成垂直共振器型的pin二极管。若对电极80、82之间施加pin二极管的顺方向的电压,则在活性层30中引起电子与空穴的再结合,从而产生发光。在活性层30产生的光在第一反射镜层20与第二反射镜层40之间往复(多重反射),此时产生受激辐射,而使强度增幅。而且,若光增益超过光损失,则产生激光振荡,从而激光从接触层50的上表面沿垂直方向(沿第一反射镜层20与活性层30的层压方向)射出。

[0111] 电流狭窄层42被设置于第一反射镜层20与第二反射镜层40之间。在图示的例子中,电流狭窄层42被设置于活性层30上。电流狭窄层42也能够设置于第一反射镜层20或者第二反射镜层40的内部。即使在该情况下,电流狭窄层42也视为被设置于第一反射镜层20与第二反射镜层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之间注入垂直共振器的电流沿平面方向(与第一反射镜层20和活性层30的层压方向正交的方向)延展。

[0112] 接触层50被设置于第二反射镜层40上。接触层50是第二导电型的半导体层。具体而言,接触层50是掺杂了碳的p型的GaAs层。

[0113] 如图4所示,第一区域60被设置于构成层叠体2的第一反射镜层20的侧面。第一区域60包括被设置为与第一反射镜层20(在图示的例子中与第一反射镜层20的一部分)连续的多个氧化层6。具体而言,第一区域60构成为交替地层压有与构成第一反射镜层20的低折射率层(例如 $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ 层)26连续的层被氧化的氧化层6、以及与构成第一反射镜层20的高折射率层(例如 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$ 层)24连续的层4。

[0114] 第二区域62被设置于构成层叠体2的第二反射镜层40的侧面。第二区域62包括被设置为与第二反射镜层40连续的多个氧化层16。具体而言,第二区域62构成为交替地层压有与构成第二反射镜层40的低折射率层(例如 $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ 层)46连续的层被氧化的氧化层16、以及与构成第二反射镜层40的高折射率层(例如 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$ 层)44连续的层14。在俯视时,由第一区域60与第二区域62构成氧化区域8。

[0115] 第一反射镜层20、活性层30、第二反射镜层40、电流狭窄层42、接触层50、第一区域60、以及第二区域62构成层叠体2。在图1以及图2所示的例子中,层叠体2被树脂层70包围。

[0116] 在图3所示的例子中,在俯视时(从第一反射镜层20与活性层30的层压方向观察),Y轴方向的层叠体2的长度比X轴方向的层叠体2的长度长。即,层叠体2的长度方向为Y轴方向。在俯视时,层叠体2例如相对于通过层叠体2的中心且与X轴平行的假想直线对称。另外,在俯视时,层叠体2例如相对于通过层叠体2的中心且与Y轴平行的假想直线对称。

[0117] 如图3所示,在俯视时,层叠体2包括第一形变赋予部(第一部分)2a、第二形变赋予部(第二部分)2b以及共振部(第三部分)2c。

[0118] 第一形变赋予部2a以及第二形变赋予部2b在俯视时隔着共振部2c沿Y轴方向对置。第一形变赋予部2a在俯视时从共振部2c朝+Y轴方向突出。第二形变赋予部2b在俯视时从共振部2c朝-Y轴方向突出。第一形变赋予部2a以及第二形变赋予部2b被设置为与共振部2c一体。

[0119] 第一形变赋予部2a以及第二形变赋予部2b对活性层30施加形变,而使在活性层30产生的光偏振。此处,所谓使光偏振是指使光的电场的振动方向形成恒定。构成第一形变赋予部2a以及第二形变赋予部2b的半导体层(第一反射镜层20、活性层30、第二反射镜层40、电流狭窄层42、接触层50、第一区域60以及第二区域62)成为产生施加于活性层30的变形的产生源。第一形变赋予部2a以及第二形变赋予部2b具备具有多个氧化层6的第一区域60以及具有多个氧化层16的第二区域62,因此能够对活性层30施加较大的形变。

[0120] 共振部2c被设置于第一形变赋予部2a与第二形变赋予部2b之间。X轴方向的共振部2c的长度比X轴方向的第一形变赋予部2a的长度或者X轴方向的第二形变赋予部2b的长度长。共振部2c的平面形状(从第一反射镜层20与活性层30的层压方向观察的形状)例如为圆形。

[0121] 共振部2c使在活性层30产生的光共振。即,在共振部2c中形成有垂直共振器。

[0122] 树脂层70被设置于层叠体2的至少侧面。在图1所示的例子中,树脂层70覆盖第一形变赋予部2a以及第二形变赋予部2b。即,树脂层70被设置于第一形变赋予部2a的侧面、第

一形变赋予部2a的上表面、第二形变赋予部2b的侧面、以及第二形变赋予部2b的上表面。树脂层70可以完全覆盖第一形变赋予部2a以及第二形变赋予部2b,也可以覆盖第一形变赋予部2a以及第二形变赋予部2b的一部分。树脂层70的材质例如为聚酰亚胺。

[0123] 在图3所示的例子中,在俯视时,Y轴方向的树脂层70的长度比X轴方向的树脂层70的长度长。即,树脂层70的长度方向为Y轴方向。树脂层70的长度方向与层叠体2的长度方向一致。

[0124] 第一电极80被设置于第一反射镜层20上。第一电极80与第一反射镜层20欧姆接触。第一电极80与第一反射镜层20电连接。作为第一电极80例如使用从第一反射镜层20侧按顺序层压Cr层、AuGe层、Ni层、Au层的电极。第一电极80是用于向活性层30注入电流的一方的电极。此外,虽未图示,但第一电极80也可以被设置于基板10的下表面。

[0125] 第二电极82被设置于接触层50上(层叠体2上)。第二电极82与接触层50欧姆接触。在图示的例子中,第二电极82进一步形成于树脂层70上。第二电极82经由接触层50与第二反射镜层40电连接。作为第二电极82例如使用从接触层50侧按顺序层压Cr层、Pt层、Ti层、Pt层、Au层的电极。第二电极82是用于向活性层30注入电流的另一方的电极。

[0126] 第二电极82与焊盘84电连接。在图示的例子中,第二电极82经由引出配线86与焊盘84电连接。焊盘84被设置于树脂层70上。焊盘84以及引出配线86的材质例如与第二电极82的材质相同。

[0127] 此处,对层叠体2以及树脂层70更加详细地进行说明。图5是示意性地表示面发光激光器100的俯视图,且是图2所示的层叠体2附近的放大图。图6是示意性地表示面发光激光器100的图5的VI-VI线剖视图。图7是示意性地表示面发光激光器100的图5的VII-VII线剖视图。图8是示意性地表示面发光激光器100的图5的VIII-VIII线剖视图。

[0128] 此外,为了方便,在图5~图8中,以简化的方式图示层叠体2。另外,在图5~图8中,作为相互正交的三个轴,图示了X轴、Y轴以及Z轴。

[0129] 层叠体2被设置于基板10的上方。层叠体2具备:具有第一宽度(X轴方向的长度)的第一形变赋予部2a、具有第二宽度的第二形变赋予部2b、以及具有比第一宽度以及第二宽度宽的第三宽度的共振部2c。在图示的例子中,第一宽度与第二宽度为相同的宽度。

[0130] 此外,所谓第一宽度例如是指在与第一形变赋予部2a和第二形变赋予部2b对置的方向(Y轴方向)正交的方向(X轴方向)取第一形变赋予部2a的宽度中的最大的宽度。所谓第二宽度例如是指在与第一形变赋予部2a和第二形变赋予部2b对置的方向正交的方向取第二形变赋予部2b的宽度中的最大的宽度。所谓第三宽度例如是指在与第一形变赋予部2a和第二形变赋予部2b对置的方向正交的方向取共振部2c的宽度中的最大的宽度。

[0131] 如图5~图8所示,第一形变赋予部2a具有上表面102、第一侧面104、第二侧面106以及第三侧面108。侧面104、106、108与上表面102连续(连接)。第一侧面104是第一形变赋予部2a的-X轴方向侧的侧面。第二侧面106是第一形变赋予部2a的+X轴方向侧的侧面。第三侧面108是第一形变赋予部2a的+Y轴方向侧的侧面。第三侧面108与第一侧面104以及第二侧面106连接。

[0132] 第二形变赋予部2b具有:上表面112、第一侧面114、第二侧面116以及第三侧面118。侧面114、116、118与上表面112连续(连接)。第一侧面114是第二形变赋予部2b的-X轴方向侧的侧面。第二侧面116是第二形变赋予部2b的+X轴方向侧的侧面。第三侧面118是第

二形变赋予部2b的-Y轴方向侧的侧面。第三侧面118与第一侧面114以及第二侧面116连接。

[0133] 树脂层70覆盖第一形变赋予部2a的至少一部分。即,树脂层70被设置于第一形变赋予部2a的至少一部分的上表面102、第一形变赋予部2a的至少一部分的第一侧面104、以及第一形变赋予部2a的至少一部分的第二侧面106。在图示的例子中,树脂层70覆盖第一形变赋予部2a的整体。具体而言,树脂层70被设置于上表面102整体、第一侧面104整体、第二侧面106整体以及第三侧面108整体。

[0134] 树脂层70进一步覆盖第二形变赋予部2b的至少一部分。即,树脂层70被设置于第二形变赋予部2b的至少一部分的上表面112、第二形变赋予部2b的至少一部分的第一侧面114、以及第二形变赋予部2b的至少一部分的第二侧面116。在图示的例子中,树脂层70覆盖第二形变赋予部2b的整体。具体而言,树脂层70被设置于上表面112整体、第一侧面114整体、第二侧面116整体以及第三侧面118整体。

[0135] 在图示的例子中,树脂层70被设置于层叠体2的侧面整体、第一形变赋予部2a的上表面102的至少一部分(具体而言为全部)、以及第二形变赋予部2b的上表面112的至少一部分(具体而言为全部)。

[0136] 树脂层70是通过给予热而固化的树脂,在用于使树脂层70固化的加热处理(固化)中收缩。并且,树脂层70在从上述加热处理返回常温时收缩。树脂层70的热膨胀系数比基板10的热膨胀系数(在基板10为GaAs基板的情况下为6.5左右)大。因此,树脂层70与基板10相比容易进行收缩。

[0137] 此外,上述对AlGaAs系的面发光激光器进行了说明,但本发明所涉及的面发光激光器也可以以与振荡波长对应的方式例如使用GaInP系、ZnSSe系、InGaN系、AlGaN系、InGaAs系、GaInNAs系、GaAsSb系的半导体材料。

[0138] 面发光激光器100例如具有以下特征。

[0139] 在面发光激光器100中,层叠体2具有:第一形变赋予部2a、第二形变赋予部2b以及共振部2c,设置有覆盖第一形变赋予部2a的至少一部分的树脂层70。此处,树脂层70是通过给予热而固化的树脂,在用于使树脂层70固化的加热处理(固化)中收缩。并且,树脂层70在从上述加热处理返回常温时收缩。通过该树脂层70的收缩,在面发光激光器100中,能够使由第一形变赋予部2a施加于共振部2c的应力增大,从而能够使共振部2c的活性层30产生较大的变形。因此,在面发光激光器100中,能够实现激光的偏振方向的稳定化。

[0140] 在面发光激光器100中,如上,能够使激光的偏振方向稳定,因此例如,在将面发光激光器100使用作为原子振荡器的光源的情况下,经由 $\lambda/4$ 板,能够向气体电池稳定地照射圆偏振光的光。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现象的出现概率。例如,在从面发光激光器射出的激光的偏振方向不稳定的情况下,存在经由 $\lambda/4$ 板而能够获得的光成为椭圆偏振光的情况、圆偏振光的旋转方向变动的情况。

[0141] 如上,在面发光激光器100中,能够使激光的偏振方向稳定,因此能够经由 $\lambda/4$ 板向气体电池稳定地照射圆偏振光的光,从而能够提高原子振荡器的频率稳定性。

[0142] 在面发光激光器100中,树脂层70覆盖第一形变赋予部2a的整体。因此,在面发光激光器100中,与树脂层70仅覆盖第一形变赋予部2a的一部分的情况相比,能够使由第一形变赋予部2a施加于共振部2c的应力增大。

[0143] 在面发光激光器100中,树脂层70被设置于第一形变赋予部2a的上表面102整体以及第二形变赋予部2b的上表面112整体。因此,在面发光激光器100中,例如与树脂层70仅覆盖上表面102、112的一部分的情况相比,能够使由形变赋予部2a、2b施加于共振部2c的应力增大。

[0144] 2. 面发光激光器的制造方法

[0145] 接下来,参照附图对本实施方式所涉及的面发光激光器的制造方法进行说明。图9~图12是示意性地表示本实施方式所涉及的面发光激光器100的制造工序的剖视图,与图2对应。

[0146] 如图9所示,在基板10上按顺序外延生长第一反射镜层20、活性层30、被氧化而成为电流狭窄层42的被氧化层42a、第二反射镜层40、以及接触层50。作为外延生长的方法例如能够列举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。

[0147] 如图10所示,对接触层50、第二反射镜层40、被氧化层42a、活性层30、以及第一反射镜层20进行图案形成,而形成层叠体2。图案形成例如通过光刻以及蚀刻来进行。

[0148] 如图11所示,对被氧化层42a进行氧化,而形成电流狭窄层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,向400℃左右的水蒸气环境中,投入形成有层叠体2的基板10,从而从侧面对 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($x \geq 0.95$)层进行氧化,而形成电流狭窄层42。

[0149] 在面发光激光器100的制造方法中,在上述的氧化工序中,从侧面对构成第一反射镜层20的层进行氧化而形成第一区域60。并且,从侧面对构成第二反射镜层40的层进行氧化而形成第二区域62。具体而言,通过400℃左右的水蒸气环境,将构成反射镜层20、40的 $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ 层的砷置换成氧,从而形成区域60、62。区域60、62例如在从400℃左右的高温返回室温时收缩,从而第二区域62的上表面63向基板10侧倾斜(参照图4)。第一形变赋予部2a以及第二形变赋予部2b能够将由区域60、62的收缩而引起的形变(应力)施加于活性层30。

[0150] 如图12所示,以围绕层叠体2并覆盖形变赋予部2a、2b的方式形成树脂层70。树脂层70例如使用旋涂法等在第一反射镜层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,对该层进行图案形成从而被形成。图案形成例如通过光刻以及蚀刻来进行。接下来,对树脂层70进行加热处理(固化)从而使其固化。树脂层70通过该加热处理而收缩。并且,树脂层70在从加热处理返回常温时收缩。

[0151] 如图2所示,在接触层50上以及树脂层70上形成第二电极82,在第一反射镜层20上形成第一电极80。电极80、82例如通过真空蒸镀法以及剥离法的组合等而被形成。此外,形成电极80、82的顺序不被特别地限定。另外,也可以在形成第二电极82的工序中形成焊盘84以及引出配线86(参照图1)。

[0152] 通过以上的工序,能够制造面发光激光器100。

[0153] 3. 面发光激光器的变形例

[0154] 接下来,参照附图对本实施方式的变形例所涉及的面发光激光器进行说明。图13是示意性地表示本实施方式的变形例所涉及的面发光激光器200的俯视图,与图5对应。图14是示意性地表示本实施方式的变形例所涉及的面发光激光器200的图13的XIV-XIV线剖视图。以下,在面发光激光器200中对与上述的面发光激光器100的例子不同的点进行说明,省略对相同点的说明。

[0155] 此外,为了方便,在图13以及图14中,以简化的方式图示层叠体2。另外,在图13以及图14中,作为相互正交的三个轴,图示了X轴、Y轴以及Z轴。

[0156] 在面发光激光器100中,如图5以及图6所示,树脂层70被设置于层叠体2的侧面整体、第一形变赋予部2a的上表面102整体、以及第二形变赋予部2b的上表面112整体。

[0157] 与此相对,在面发光激光器200中,如图13以及图14所示,树脂层70覆盖第一形变赋予部2a的一部分202。即,树脂层70被设置于第一形变赋予部2a的一部分202的上表面102、第一形变赋予部2a的一部分202的第一侧面104、以及第一形变赋予部2a的一部分202的第二侧面106。在图示的例子中,树脂层70进一步被设置于第一形变赋予部2a的一部分202的第三侧面108。第一形变赋予部2a的上表面102的一部分202位于第一形变赋予部2a的端部(+Y轴方向侧的端部)E1。

[0158] 在面发光激光器200中,树脂层70覆盖第二形变赋予部2b的一部分204。即,树脂层70被设置于第二形变赋予部2b的一部分204的上表面112、第二形变赋予部2b的一部分204的第一侧面114、以及第二形变赋予部2b的一部分204的第二侧面116。在图示的例子中,树脂层70进一步被设置于第二形变赋予部2b的一部分204的第三侧面118。第二形变赋予部2b的上表面112的一部分204位于第二形变赋予部2b的端部(-Y轴方向侧的端部)E2。

[0159] 在面发光激光器200中,树脂层70未被设置于共振部2c的上表面整体。即,在共振部2c的上表面未设置有树脂层70。在共振部2c的上表面整体设置有具有开口部82a的第二电极82。第二电极82在俯视时被设置于层叠体2的外缘的内侧。连接于第二电极82的引出配线86与第一形变赋予部2a的接触层50接触。此外,在引出配线86的下部以延伸突出的方式设置有树脂层70。引出配线86的下部只要与其他的部分形成绝缘即可,因此也可以不设置树脂层70而设置其他的绝缘层。

[0160] 在面发光激光器200中,如上述那样,树脂层70覆盖第一形变赋予部2a的一部分202。因此,在面发光激光器200中,引出配线86能够与第一形变赋予部2a的接触层50(一部分202以外的第一形变赋予部2a的接触层50)接触。因此,在面发光激光器200中,与由第二电极82以及引出配线86构成的导电部仅和共振部2c的接触层50接触的情况相比,能够使该导电部与接触层50的接触面积增大。由此,能够使该导电部与接触层50的接触电阻减小。

[0161] 此外,如图15所示,树脂层70也可以不被设置于第一形变赋予部2a的第三侧面108以及第二形变赋予部2b的第三侧面118。即,第一形变赋予部2a的一部分202也可以不被设置于第一形变赋予部2a的端部E1,第二形变赋予部2b的一部分204也可以不被设置于第二形变赋予部2b的端部E2。在上述方式的情况下,在引出配线86与第一反射镜层20之间例如设置有绝缘层(未图示)。

[0162] 4. 原子振荡器

[0163] 接下来,参照附图对本实施方式所涉及的原子振荡器进行说明。图16是表示本实施方式所涉及的原子振荡器1000的功能框图。

[0164] 如图16所示,原子振荡器1000构成为包括光学模块1100、中心波长控制部1200以及高频控制部1300。

[0165] 光学模块1100具有:本发明的面发光激光器(在图示的例子中为面发光激光器100)、气体电池1110以及光检测部1120。

[0166] 图17是表示面发光激光器100射出的光的频谱的图。图18是表示碱金属原子的 Λ

型三能级模型与第一边带波W1以及第二边带波W2的关系的图。从面发光激光器100射出的光包括图17所示的、具有中心频率 f_0 ($=c/\lambda_0$: c 为光的速度, λ_0 为激光的中心波长)的基波F、相对于中心频率 f_0 在上边带具有频率 f_1 的第一边带波W1、以及相对于中心频率 f_0 在下边带具有频率 f_2 的第二边带波W2。第一边带波W1的频率 f_1 为 $f_1=f_0+f_m$,第二边带波W2的频率 f_2 为 $f_2=f_0-f_m$ 。

[0167] 如图18所示,第一边带波W1的频率 f_1 与第二边带波W2的频率 f_2 的频率差和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 的第一边带波W1与具有频率 f_2 的第二边带波W2而引起EIT现象。

[0168] 气体电池1110是在容器中封入有气体状的碱金属原子(钠原子、铷原子、铯原子等)的部件。若相对于该气体电池1110照射具有相当于碱金属原子的两个基态能级的能量差的频率(波长)的两个光波,则碱金属原子引起EIT现象。例如,若碱金属原子为铯原子,则D1线的相当于基态能级GL1与基态能级GL2的能量差的频率为 $9.19263 \cdot \cdot \cdot$ GHz,因此若照射频率差为 $9.19263 \cdot \cdot \cdot$ GHz的两个光波,则引起EIT现象。

[0169] 光检测部1120对透过了被封入在气体电池1110的碱金属原子的光的强度进行检测。光检测部1120输出与透过了碱金属原子的光的量对应的检测信号。作为光检测部1120例如使用光电二极管。

[0170] 中心波长控制部1200产生与光检测部1120输出的检测信号对应的大小的驱动电流并将该驱动电流供给至面发光激光器100,从而对面发光激光器100射出的光的中心波长 λ_0 进行控制。凭借通过面发光激光器100、气体电池1110、光检测部1120、中心波长控制部1200的反馈环路,对面发光激光器100射出的激光的中心波长 λ_0 进行微调而使其稳定。

[0171] 高频控制部1300基于光检测部1120输出的检测结果,以第一边带波W1以及第二边带波W2的波长(频率)差与相当于被封入气体电池1110的碱金属原子的两个基态能级的能量差的频率相等的方式进行控制。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。

[0172] 凭借通过面发光激光器100、气体电池1110、光检测部1120、高频控制部1300的反馈环路,以第一边带波W1以及第二边带波W2的频率差与相当于碱金属原子的两个基态能级的能量差的频率极其正确一致的方式施加反馈控制。其结果,调制频率 f_m 成为极其稳定的频率,因此能够将调制信号作为原子振荡器1000的输出信号(时钟输出)。

[0173] 接下来,参照图16~图18对原子振荡器1000的动作进行说明。

[0174] 从面发光激光器100射出的激光入射至气体电池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两个基态能级的能量差的频率(波长)的两个光波(第一边带波W1、第二边带波W2),从而碱金属原子引起EIT现象。透过了气体电池1110的光的强度被光检测部1120检测。

[0175] 中心波长控制部1200以及高频控制部1300以第一边带波W1以及第二边带波W2的频率差与相当于碱金属原子的两个基态能级的能量差的频率极其正确一致的方式进行反馈控制。在原子振荡器1000中,利用EIT现象,对第一边带波W1与第二边带波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动作的急剧的变化进行检测并对其进行控制,从而能够制作高精度的振荡器。

[0176] 上述的实施方式以及变形例为一个例子,并非限定于上述方式。例如,也能够适当

地组合各实施方式以及各变形例。

[0177] 本发明包括与在实施方式中进行了说明的结构实际上相同的结构(例如,功能、方法以及结果相同的结构,或者目的以及效果相同的结构)。另外,本发明包括置换了在实施方式中进行了说明的结构的部分的结构。另外,本发明包括能够起到与在实施方式中进行了说明的结构相同的作用效果的结构或者实现相同的目的的结构。另外,本发明包括对在实施方式中进行了说明的结构附加公知技术的结构。

[0178] 附图符号说明

[0179] 2…层叠体;2a…第一形变赋予部;2b…第二形变赋予部;2c…共振部;4…层;6…氧化层;8…氧化区域;10…基板;14…层;16…氧化层;20…第一反射镜层;24…高折射率层;26…低折射率层;30…活性层;40…第二反射镜层;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;50…接触层;60…第一区域;62…第二区域;63…上表面;70…树脂层;80…第一电极;82…第二电极;82a…开口部;84…焊盘;86…引出配线;100…面发光激光器;102…上表面;104…第一侧面;106…第二侧面;108…第三侧面;112…上表面;114…第一侧面;116…第二侧面;118…第三侧面;200…面发光激光器;202、204…一部分;1000…原子振荡器;1110…气体电池;1120…光检测部;1100…光模块;1200…中心波长控制部;1300…高频控制部。

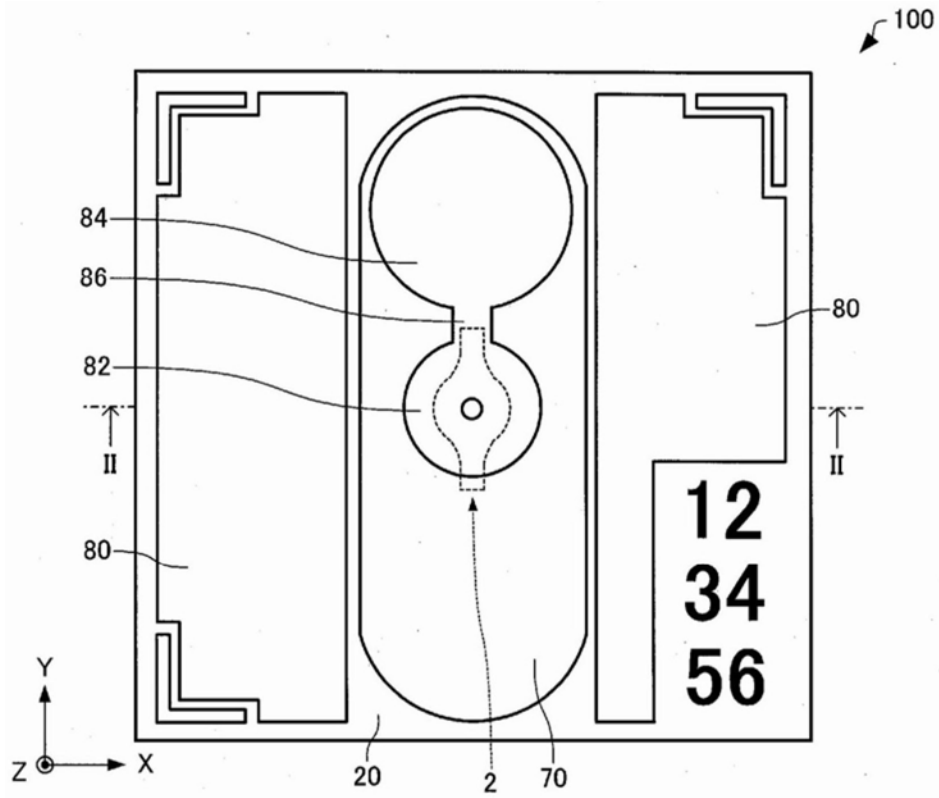


图1

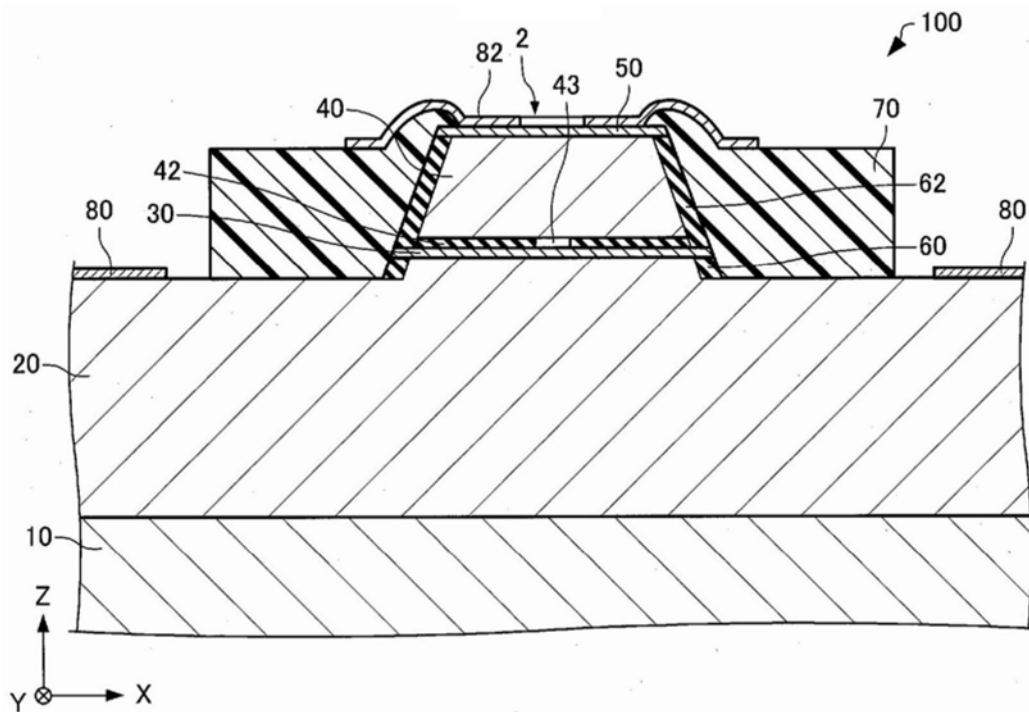


图2

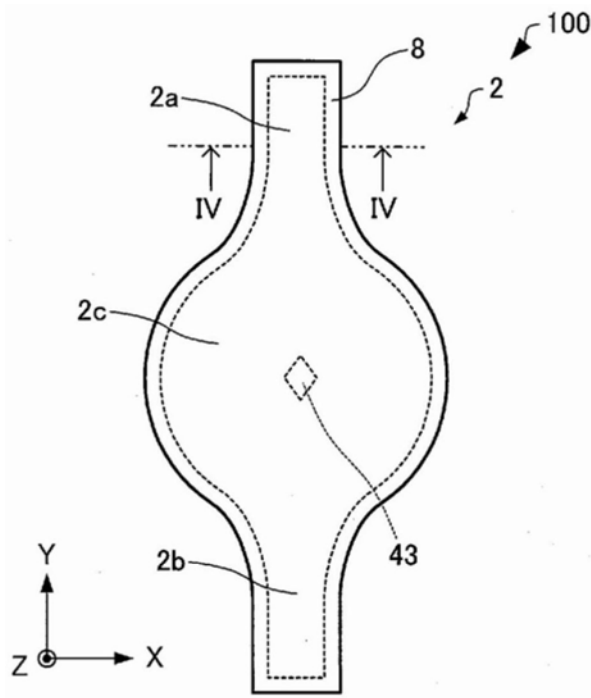


图3

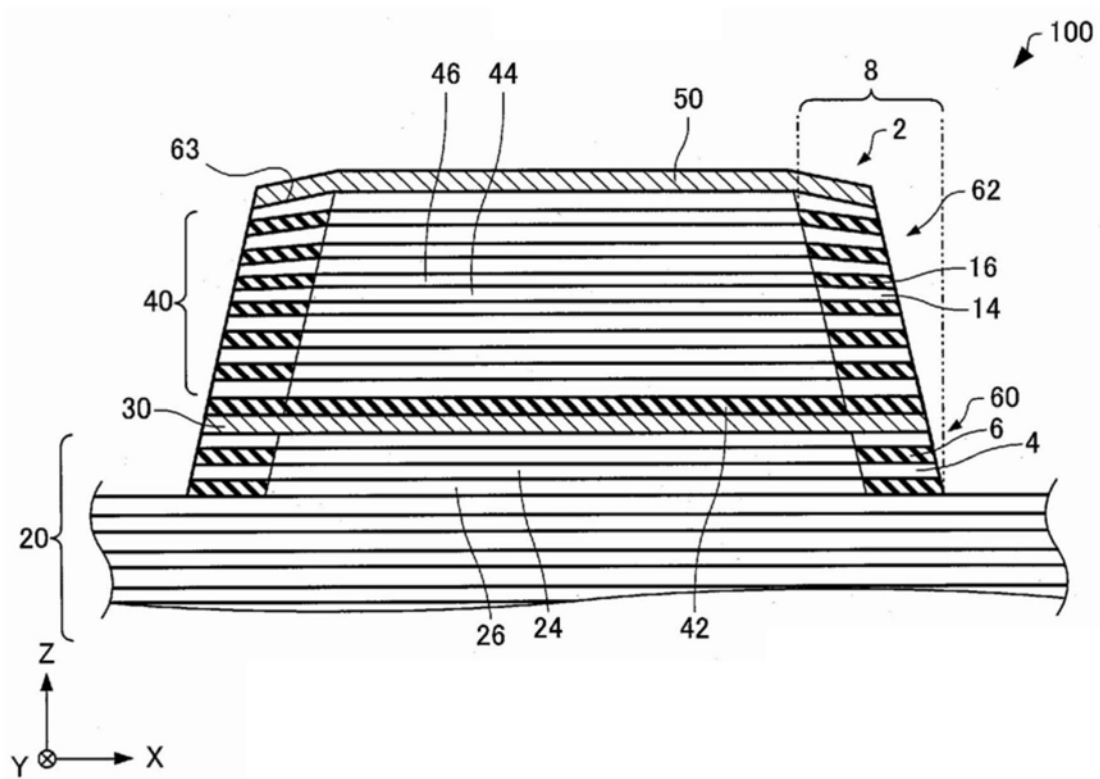


图4

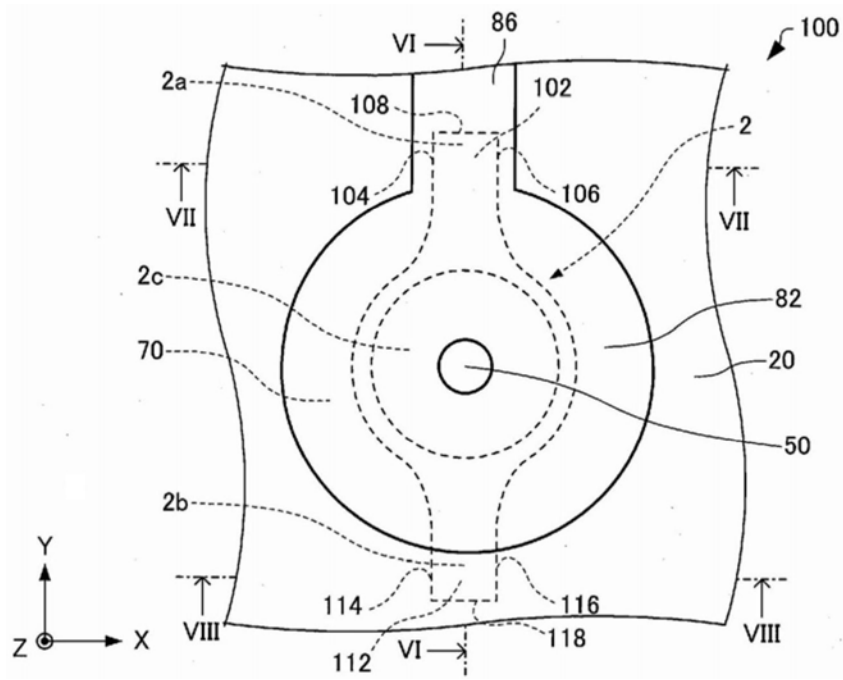


图5

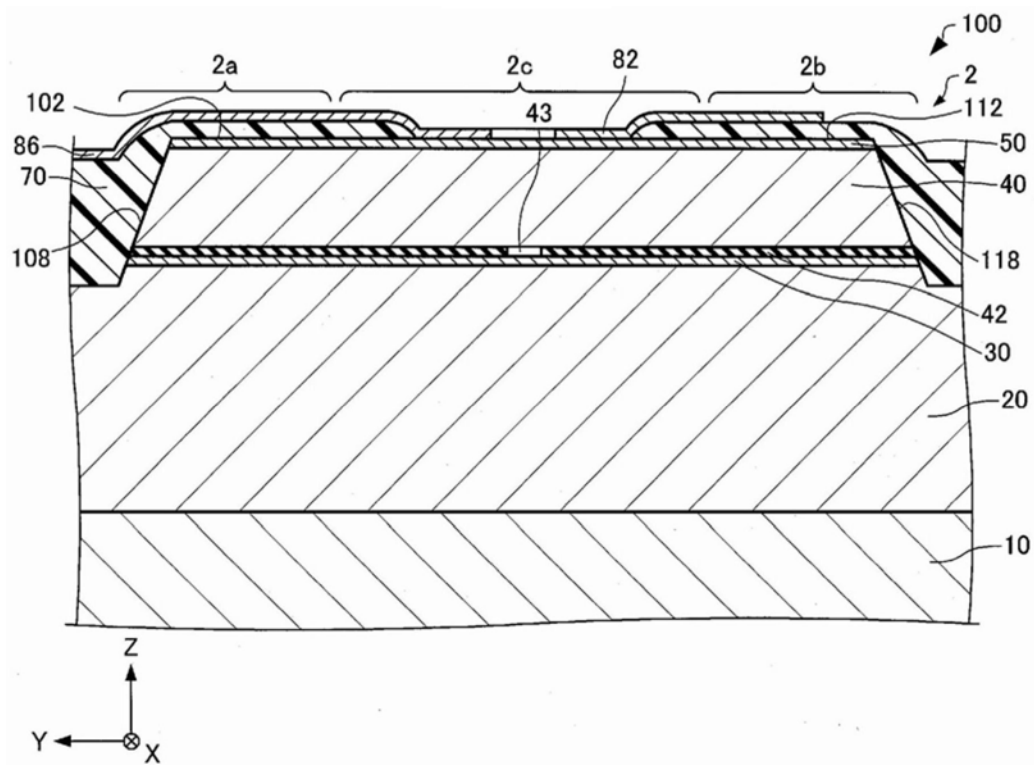


图6

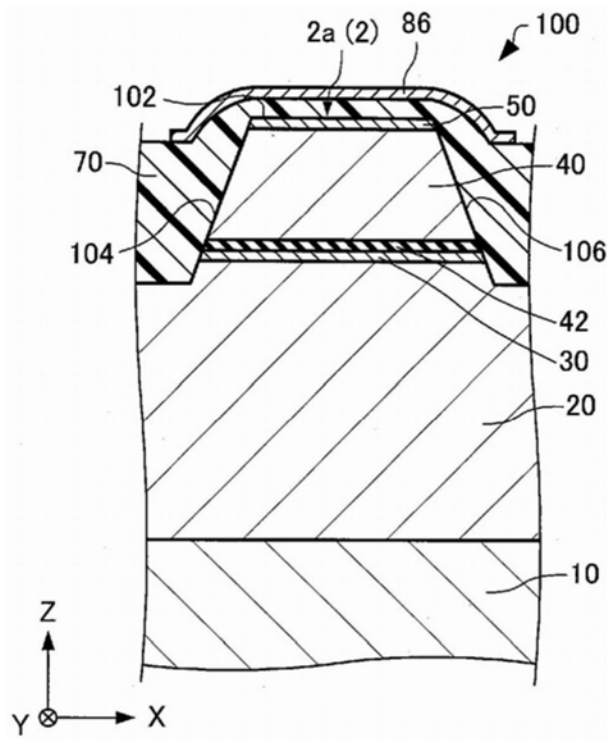


图7

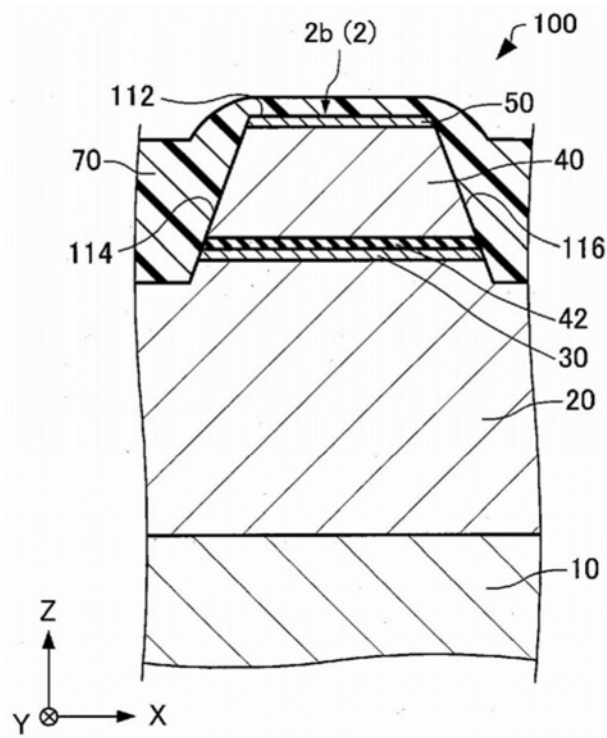


图8

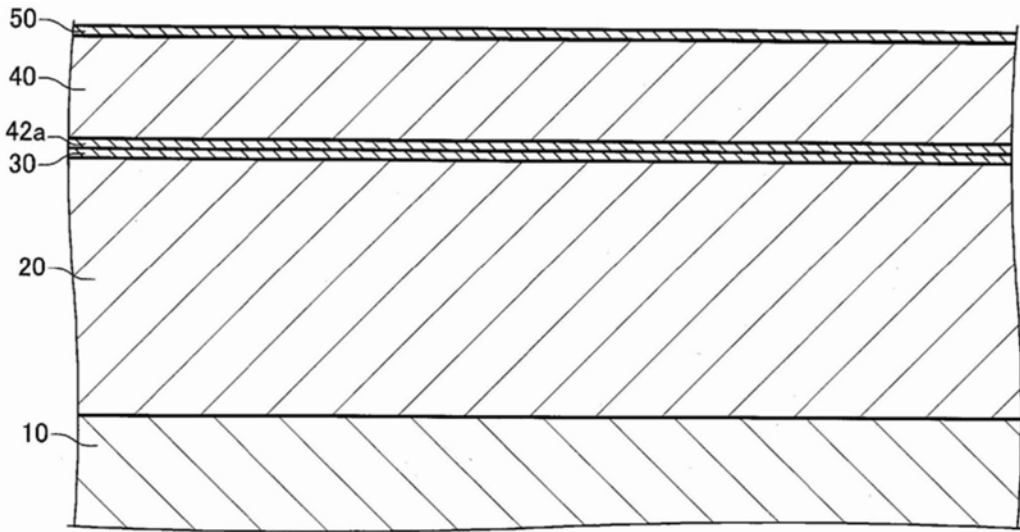


图9

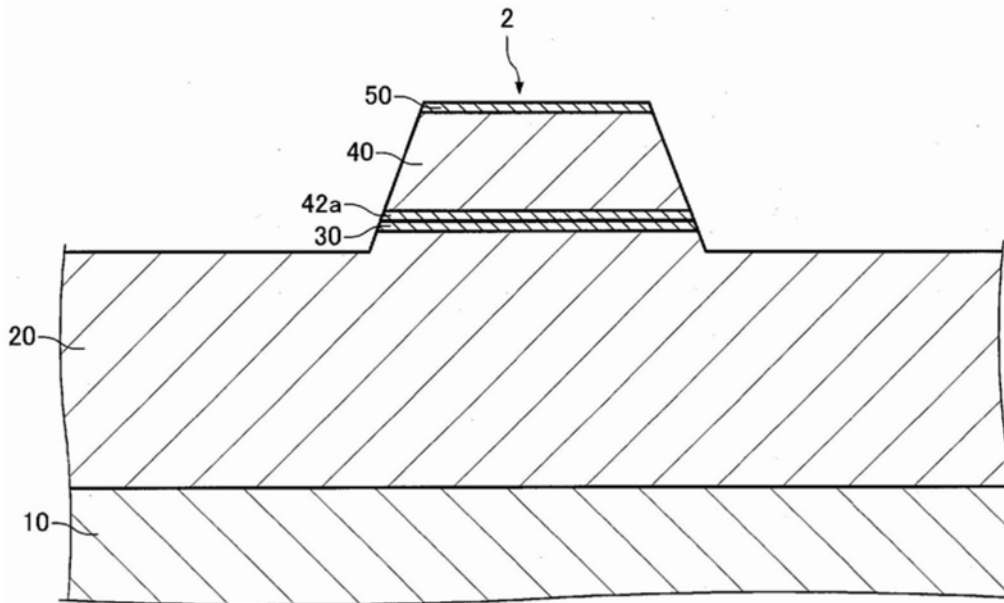


图10

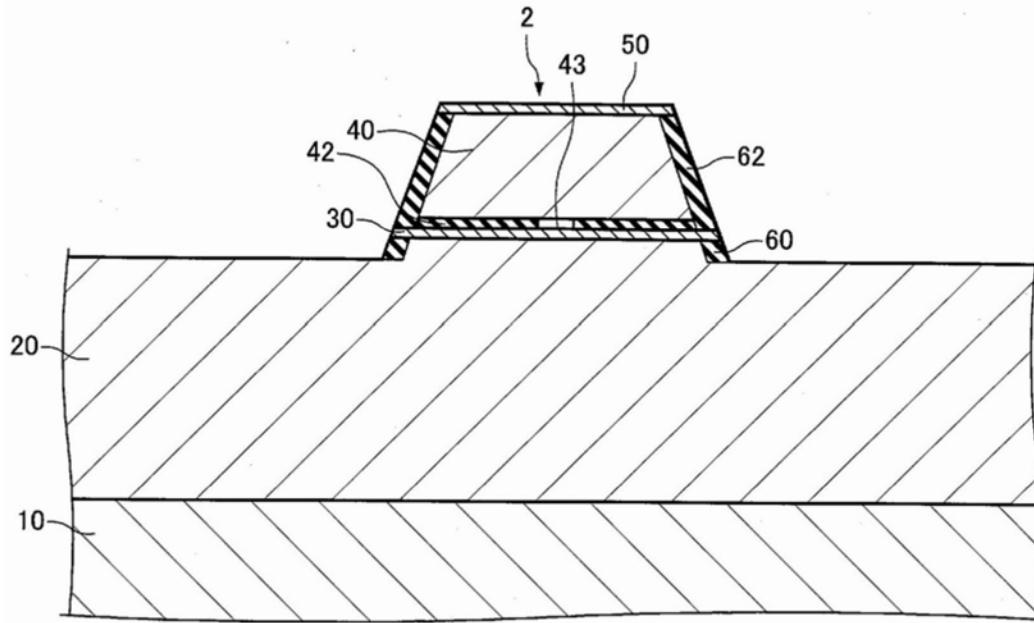


图11

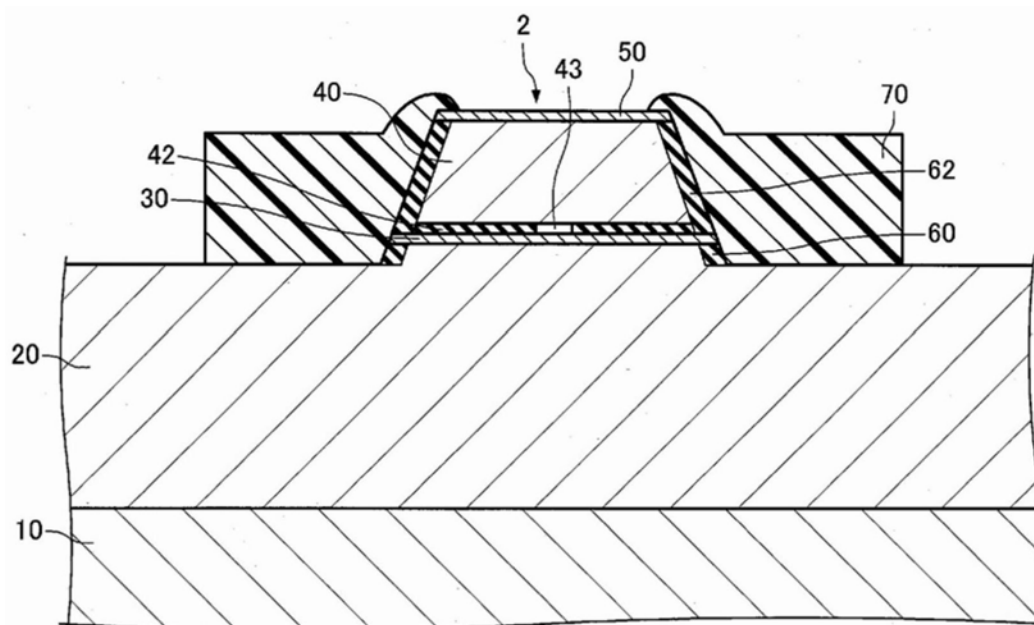


图12

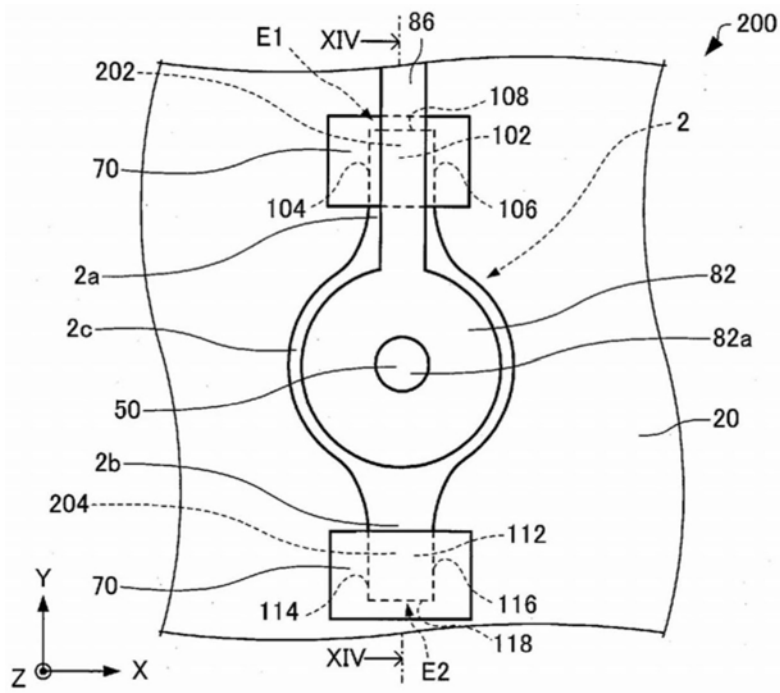


图13

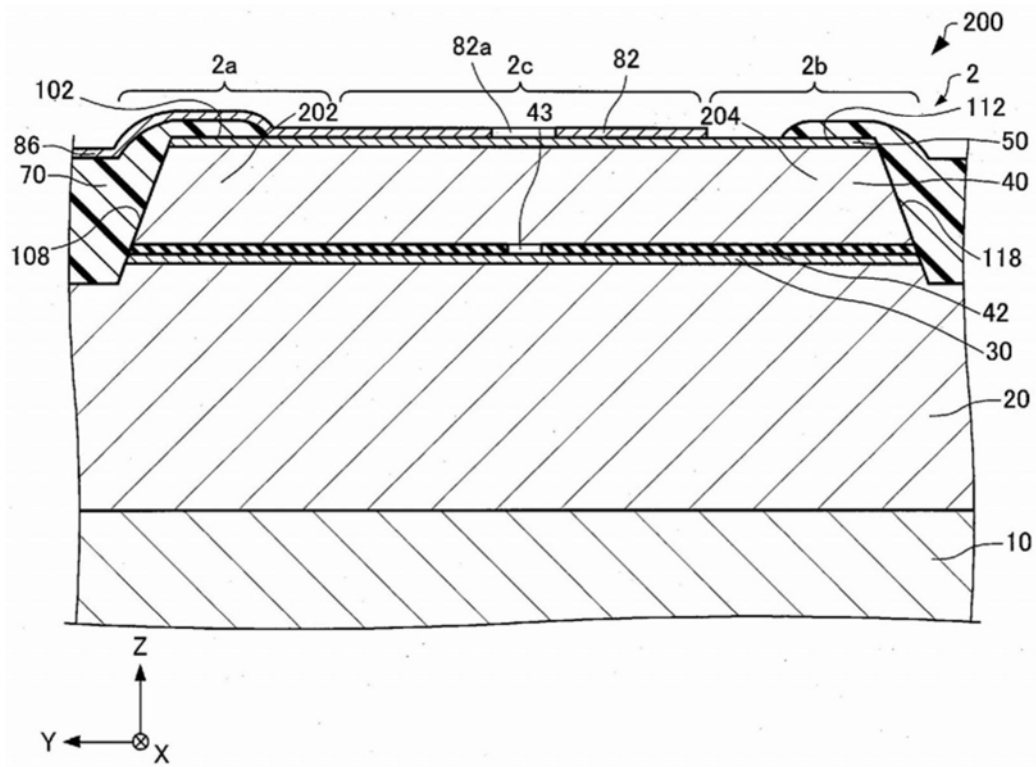


图14

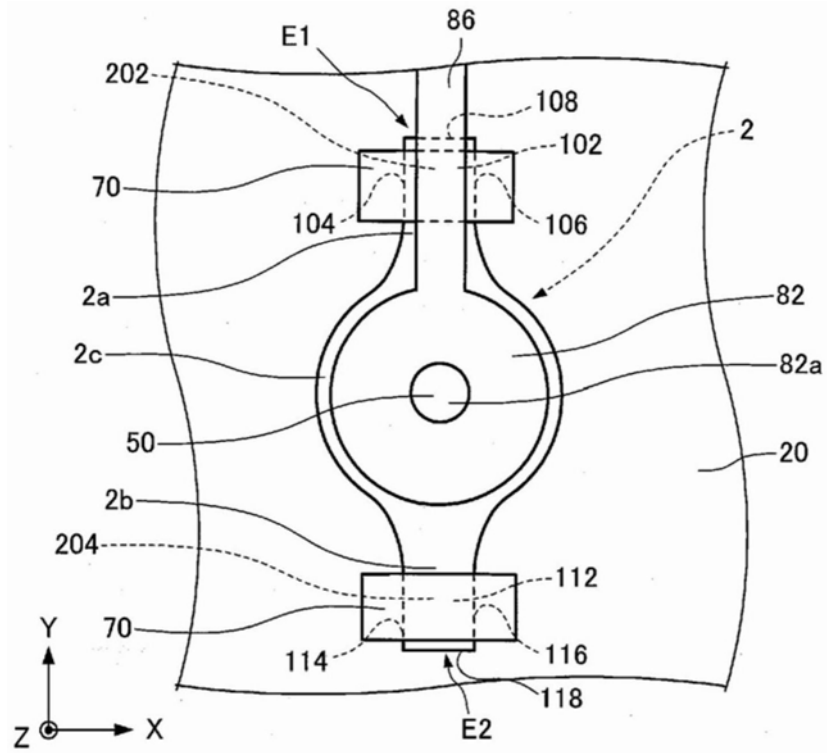


图15

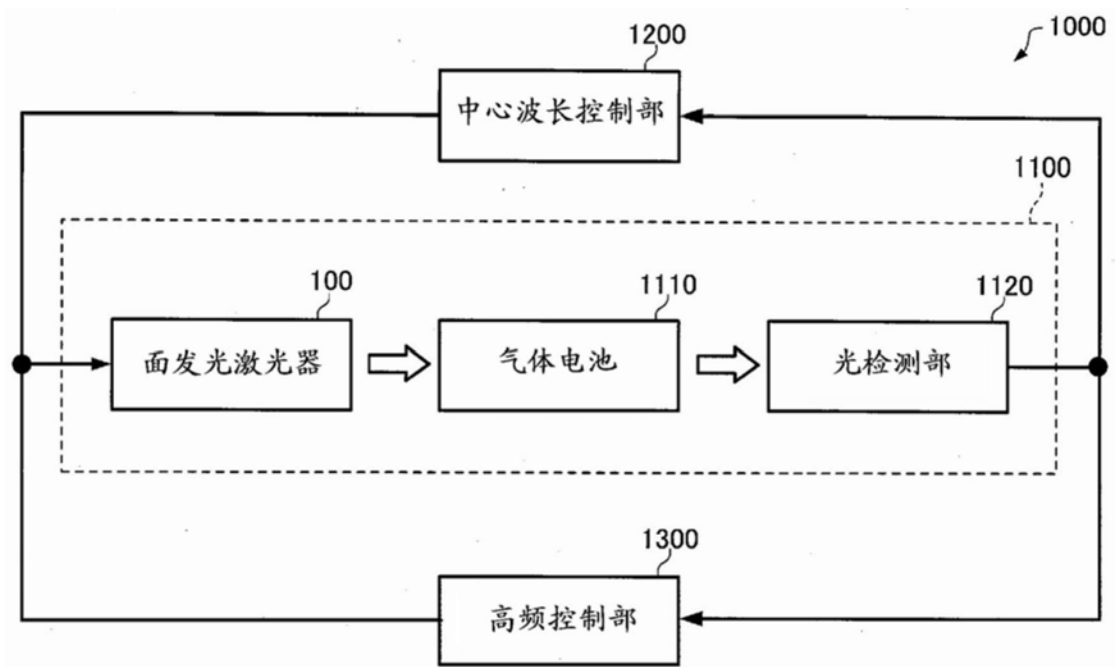


图16

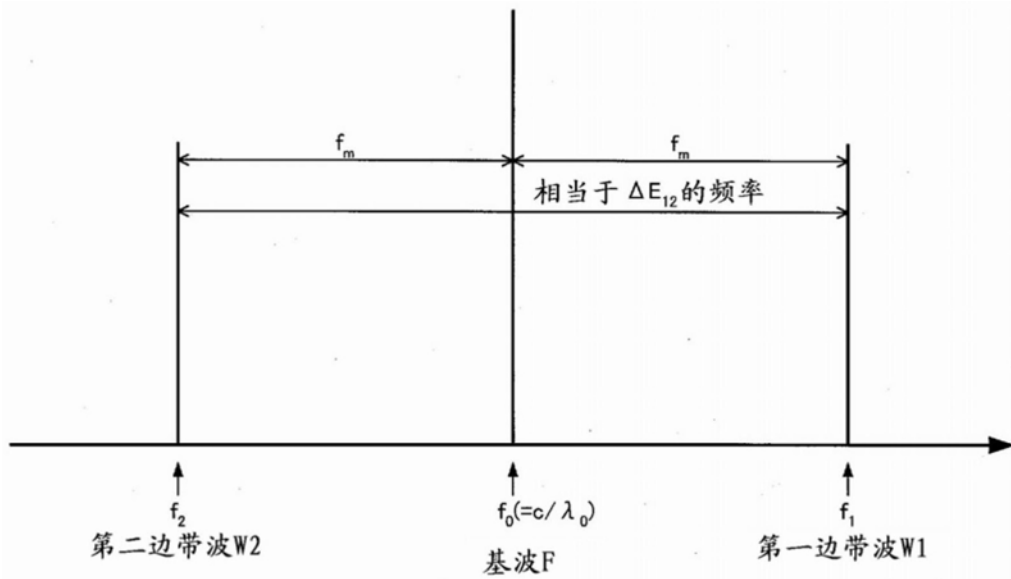


图17

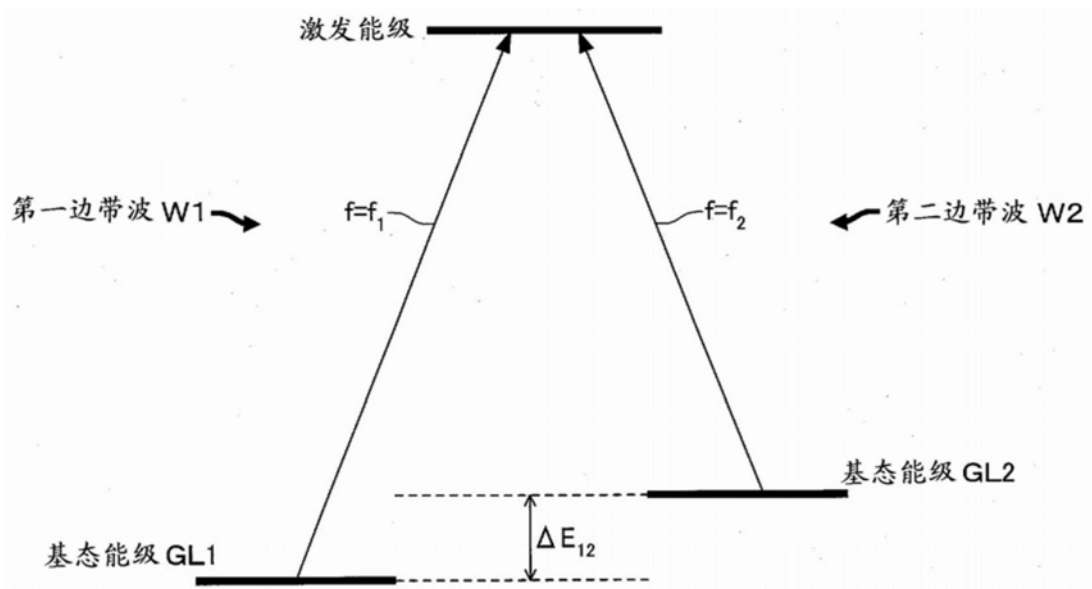


图18