



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 102684694 B

(45)授权公告日 2017.04.12

(21)申请号 201210064106.9

(22)申请日 2012.03.12

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 102684694 A

(43)申请公布日 2012.09.19

(30)优先权数据

2011-055432 2011.03.14 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 西田哲朗

(74)专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司

公司 11227

代理人 李伟 王轶

(51)Int.Cl.

H03L 7/26(2006.01)

(56)对比文件

US 2004/0109217 A1, 2004.06.10,

CN 2664290 Y, 2004.12.15,

EP 1473605 A2, 2004.11.03,

审查员 郭全萍

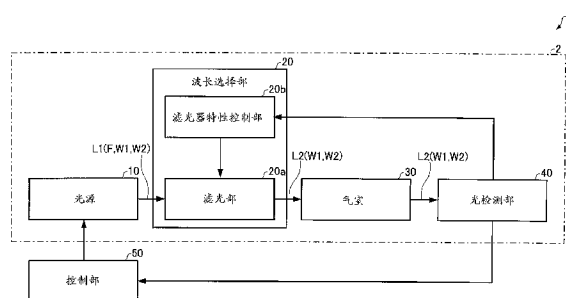
权利要求书2页 说明书10页 附图5页

(54)发明名称

原子振荡器用光学模块以及原子振荡器

(57)摘要

本发明提供一种原子振荡器用光学模块以及原子振荡器。该原子振荡器用光学模块是利用量子干涉效应的原子振荡器用光学模块,包括:光源,其射出包含具有规定波长的基波、和该基波的边带的光;波长选择部,其被射入来自上述光源的光,并使上述边带透过;气室,该气室中封入了碱金属气体,且该气室被透过上述波长选择部后的光照射;光检测部,其对透过上述气室后的光的强度进行检测,上述波长选择部具有:滤光器部,其使规定的波长范围的光透过;滤光器特性控制部,其使透过上述滤光器部的光的波长范围变化。



1. 一种原子振荡器用光学模块, 其特征在于, 是利用量子干涉效应的原子振荡器用光学模块, 该原子振荡器用光学模块包括:

光源, 其射出包含具有规定波长的基波、和该基波的边带的光;

波长选择部, 其被射入来自所述光源的光, 并使该射入的光中的所述边带透过;

气室, 该气室中封入了碱金属气体, 且该气室被透过所述波长选择部后的光照射;

光检测部, 其对照射到所述气室的光中透过所述气室后的光的强度进行检测,

所述光源根据所述光检测部的检测信号对所述基波进行调制而产生所述边带,

所述波长选择部具有:

滤光器部, 其使规定的波长范围的光透过;

滤光器特性控制部, 其使透过所述滤光器部的光的波长范围变化。

2. 根据权利要求1所述的原子振荡器用光学模块, 其特征在于,

所述滤光器部是标准具,

所述滤光器特性控制部利用电光效应来使透过所述滤光器部的光的波长范围变化。

3. 根据权利要求2所述的原子振荡器用光学模块, 其特征在于,

所述滤光器部具有:

第1反射镜以及第2反射镜, 它们相互对置, 并使射入到所述波长选择部的光反射;

基板, 其配置在所述第1反射镜和所述第2反射镜之间,

所述基板的材质是化合物半导体。

4. 根据权利要求3所述的原子振荡器用光学模块, 其特征在于,

所述滤光器特性控制部具有向所述基板施加电压的第1电极以及第2电极。

5. 根据权利要求4所述的原子振荡器用光学模块, 其特征在于,

还包括化合物半导体的基体,

所述光源是半导体激光器,

所述滤光器部以及所述光源位于所述基体上,

所述第1电极位于所述基体的与所述滤光器部所处一侧相反的一侧,

所述第2电极位于所述滤光器部的与所述基体所处一侧相反的一侧。

6. 根据权利要求5所述的原子振荡器用光学模块, 其特征在于,

所述滤光器部的所述基板具有从所述基体侧起层叠的第1层、第2层以及第3层,

所述第1层的折射率以及所述第3层的折射率比所述第2层的折射率小,

所述第2层使从所述光源射出的光传播。

7. 根据权利要求1~6中任意一项所述的原子振荡器用光学模块, 其特征在于,

所述光源是边发射激光器。

8. 根据权利要求1~6中任意一项所述的原子振荡器用光学模块, 其特征在于,

所述光源是面发射激光器。

9. 一种原子振荡器, 其特征在于,

包括权利要求1~8中任意一项所述的原子振荡器用光学模块。

10. 一种原子振荡器, 其特征在于, 是利用量子干涉效应的原子振荡器, 包括:

光源, 其射出包含具有规定波长的基波、和该基波的边带的光;

波长选择部, 其被射入来自所述光源的光, 并使该射入的光中的所述边带透过;

气室,该气室中封入了碱金属气体,且该气室被透过所述波长选择部后的光照射;
光检测部,其对照射到所述气室的光中透过所述气室的光的强度进行检测,
所述光源根据所述光检测部的检测信号对所述基波进行调制而产生所述边带,
所述波长选择部具有:
滤光器部,其使规定的波长范围的光透过;
滤光器特性控制部,其使透过所述滤光器部的光的波长范围变化。

原子振荡器用光学模块以及原子振荡器

技术领域

[0001] 本发明涉及原子振荡器用光学模块以及原子振荡器。

背景技术

[0002] 近年来,提出了一种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,期待实现装置的小型化以及低耗电化。利用了CPT的原子振荡器是利用了以下现象的振荡器,即若向碱金属原子同时照射波长(频率)相互不同的2个共振光,则2个共振光的吸收停止(EIT现象:Electromagnetically Induced Transparency:电磁感应透明)。例如,专利文献1记载有作为利用了CPT的原子振荡器,构成具有如下光学元件的原子振荡器,该光学元件具有:发出相干光的光源、封入了碱金属原子的气室、对透过气室后的光的强度进行检测的受光元件。

[0003] 在利用了CPT的原子振荡器中,例如,使用了半导体激光器作为光源。在使用了半导体激光器作为光源的原子振荡器中,例如,通过对半导体激光器的驱动电流进行调制,从而使从半导体激光器射出的光产生边带,使EIT现象发生。

[0004] 【专利文献1】日本特开2009-89116号公报

[0005] 然而,从被调制过驱动电流的半导体激光器射出的光不仅包括边带,也包括具有无助于EIT现象的中心波长的基波(载波)。若该基波照射到碱金属原子,则碱金属原子吸收的光的波长(频率)发生变化(AC斯塔克效应),有时会使原子振荡器的频率的稳定性降低。

发明内容

[0006] 本发明的几个方式涉及的目的之一在于,能够提供一种能够得到频率稳定性高的原子振荡器的原子振荡器用光学模块。另外,本发明的几个方式涉及的目的之一在于,提供一种具有上述原子振荡器用光学模块的原子振荡器。

[0007] 本发明涉及的原子振荡器用光学模块是利用量子干涉效应的原子振荡器用光学模块,包括:光源,其射出包括具有规定波长的基波、和该基波的边带的光;波长选择部,其被射入来自上述光源的光,并使该射入的光中的上述边带透过;气室,该气室中封入了碱金属气体,且该气室被透过上述波长选择部后的光照射,光检测部,其对照射到上述气室的光中透过上述气室后的光的强度进行检测,上述波长选择部具有:光滤波器部,其使规定的波长范围的光透过;光滤波器特性控制部,其使透过上述滤光器部的光的波长范围变化。

[0008] 根据这样的原子振荡器用光学模块,波长选择部能够减少来自光源的光所包含的基波的强度或使基波消失。由此,能够抑制或防止无助于EIT现象的基波照射到碱金属原子。因此,能够抑制因AC斯塔克效应造成的频率变动,能够提供频率稳定性高的振荡器。因为波长选择部还具有使透过滤光器部的光的波长范围变化的滤光器特性控制部,所以能够修正因制造误差、环境变化等造成的滤光器部的波长选择特性(透过滤光器部的光的波长范围)的偏差。

[0009] 本发明涉及的原子振荡器用光学模块中,上述滤光器部是标准具;上述滤光器特

性控制部,通过电光效应,能够使透过上述滤光器部的光的波长范围变化。

[0010] 根据这样的原子振荡器用光学模块,能够使滤光器部成为简单的结构。进而,能够高精度且容易地控制滤光器部的波长选择特性。

[0011] 在本发明涉及的原子振荡器用光学模块中,上述滤光器部具有第1反射镜以及第2反射镜,它们相互对置,且使射入到上述波长选择部的光反射;基板,其配置在上述第1反射镜和上述第2反射镜之间,上述基板的材质是化合物半导体。

[0012] 根据这样的原子振荡器用光学模块,能够减小第1反射镜和第2反射镜之间的距离,能够实现装置的小型化。

[0013] 在本发明涉及的原子振荡器用光学模块中,上述滤光器特性控制部能够具有向上述基板施加电压的第1电极以及第2电极。

[0014] 根据这样的原子振荡器用光学模块,能够使滤光器特性控制部成为简单的结构。

[0015] 在本发明涉及的原子振荡器用光学模块中,还包括化合物半导体的基体,上述光源是半导体激光器,上述滤光器部以及上述光源位于上述基体上,上述第1电极位于上述基体的与上述滤光器部所处一侧相反的一侧,上述第2电极位于与上述滤光器部的与上述基体所处一侧相反的一侧。

[0016] 根据这样的原子振荡器用光学模块,波长选择部以及光源形成在同一基体上,所以能够实现装置的小型化。

[0017] 此外,在本发明涉及的记载中,例如,“在特定的东西(以下,称为“A”)的“上方”形成其他的特定的东西(以下,称为“B”)”等中,使用“上方”这样的语句包括:A上直接形成B那样的情况和在A上隔着其他的東西形成B那样的情况,同样,“下方”这样的语句包括:A下直接形成B那样的情况和A下隔着其他的東西形成B那样的情况。

[0018] 本发明涉及的原子振荡器用光学模块中,上述滤光器部的上述基板具有从上述基体侧起层叠的第1层、第2层以及第3层,上述第1层的折射率以及上述第3层的折射率比上述第2层的折射率小,上述第2层能够使从上述光源射出的光传播。

[0019] 根据这样的原子振荡器用光学模块,能够将基板作为光波导路。因此,能够控制从波长选择部射出的光的光束直径,能够有效地向气室照射透过波长选择部的光。

[0020] 在本发明涉及的原子振荡器用光学模块中,上述光源是边发射激光器。

[0021] 根据这样的原子振荡器用光学模块,能够通过构成边发射激光器的层的膜厚进行控制,从而进行光源(边发射激光器)和波长选择部之间的对准。因此,能够提高光源和波长选择部之间的对准精度。进而,例如,不需要用于使来自光源的光射入到波长选择部的光学元件。

[0022] 本发明涉及的原子振荡器用光学模块中,上述光源是面发射激光器。

[0023] 根据这样的原子振荡器用光学模块,面发射激光器与边发射激光器相比,用于产生增益的电流很少,所以能够实现低耗电化。

[0024] 本发明的原子振荡器包括本发明涉及的原子振荡器用光学模块。

[0025] 由于这样的原子振荡器包括本发明涉及的原子振荡器用光学模块,所以能够抑制因AC斯塔克效应造成的频率变动,能够提高频率稳定性。

[0026] 本发明涉及的原子振荡器是利用量子干涉效应的原子振荡器用,包括:光源,其射出包含具有规定波长的基波、和该基波的边带的光;波长选择部,其被射入来自上述光源的

光,并使该射入的光中的上述边带透过;气室,该气室中封入了碱金属气体,且该气室被透过上述波长选择部的光照射;光检测部,其对照射到上述气室的光中透过上述气室后的光的强度进行检测,上述波长选择部具有:滤光器部,其选择规定波长范围的光并进行射出;滤光器特性控制部,其使上述滤光器部选择的波长范围变化。

[0027] 根据这样的原子振荡器,波长选择部能够减少来自光源的光所包含的基波的强度或使基波消失。由此,能够抑制或防止无助于EIT现象的基波照射到碱金属原子。由此,能够抑制因AC斯塔克效应造成的频率变动,能够提供频率稳定性高的振荡器。波长选择部还具有使透过滤光器部的光的波长范围发生变化的滤光器特性控制部,所以能够修正因制造误差、环境变化等造成的滤光器部的波长选择特性(透过滤光器部的光的波长范围)的偏差。

附图说明

[0028] 图1是本实施方式涉及的原子振荡器的功能框图。

[0029] 图2(A)是表示碱金属原子的A型3能级模型和第1边带以及第2边带的关系的图,图2(B)是表示由光源产生的第1光的频谱的图。

[0030] 图3是表示从波长选择部射出的第2光的频谱的图。

[0031] 图4是表示本实施方式涉及的原子振荡器的构成的框图。

[0032] 图5是示意性地表示本实施方式涉及的光学模块的主要部分的剖视图。

[0033] 图6是示意性地表示使用了边发射激光器的本实施方式涉及的光学模块的主要部分的剖视图。

具体实施方式

[0034] 以下,参照附图来说明本发明的优选实施方式。

[0035] 首先,参照附图来说明本实施方式涉及的光学模块以及原子振荡器。本实施方式涉及的原子振荡器包括本实施方式涉及的光学模块。图1是本实施方式涉及的原子振荡器1的功能框图。原子振荡器1是利用了量子干涉效应的振荡器。

[0036] 原子振荡器1包括光学模块2和控制部50。

[0037] 光学模块2包括光源10、波长选择部20、气室30、光检测部40。

[0038] 光源10产生第1光L1,该第1光L1包括具有规定的中心波长(中心频率)的基波F、和具有相互不同的波长的第1边带W1以及第2边带W2。

[0039] 波长选择部20从第1光L1中选择第1边带W1以及第2边带W2,并将其作为第2光L2射出。波长选择部20具有:滤光器部20a,其选择规定波长范围的光并使之射出;和滤光器特性控制部20b,其使滤光器部20a选择的波长范围发生变化。

[0040] 气室30中封入有碱金属气体,并且向气室30照射第2光L2。

[0041] 光检测部40对透过气室30后的第2光L2的强度进行检测。

[0042] 控制部50根据光检测部40的检测结果进行控制,以使第1边带W1以及第2边带W2的波长(频率)差与相当于封入气室30的碱金属原子的2个基态能级的能量差的频率相等。控制部50根据光检测部40的检测结果,产生具有调制频率 f_m 的检测信号。然后,光源10根据该检测信号对具有规定的频率 f_0 的基波F进行调制,产生具有频率 $f_1 = f_0 + f_m$ 的第1边带W1,以及具有频率 $f_2 = f_0 - f_m$ 的第2边带W2。

[0043] 图2 (A) 是表示碱金属原子的 Λ 型3能级模型和第1边带W1以及第2边带W2的关系的图,图2 (B) 是表示由光源10产生的第1光L1的频谱的图。

[0044] 如图2 (B) 所示,在光源10中产生的第1光L1包括具有中心频率 $f_0 (=v/\lambda_0; v$ 是光的速度, λ_0 是激光的中心波长)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1边带W1、相对于中心频率 f_0 在下边带具有频率 f_2 的第2边带W2。第1边带W1的频率 f_1 是 $f_1=f_0+f_m$,第2边带W2的频率 f_2 是 $f_2=f_0-f_m$ 。

[0045] 如图2 (A) 以及图2 (B) 所示,第1边带W1的频率 f_1 和第2边带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和基态能级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边带W1和具有频率 f_2 的第2边带W2产生EIT现象。

[0046] 在此,对于EIT现象进行说明。已知碱金属原子和光的相互作用能够利用 Λ 型3能级模型进行说明。如图2 (A) 所示,碱金属原子具有2个基态能级,若将具有与基态能级GL1和激发能级的能量差相当的波长(频率 f_1)的第1边带W1、或具有与基态能级GL2和激发能级的能量差相当的波长(频率 f_2)的第2边带W2,分别单独对碱金属原子进行照射,则发生光吸收。可是,如图2 (B) 所示,若向该碱金属原子同时照射频率差 f_1-f_2 与相当于基态能级GL1和基态能级GL2的能量差 ΔE_{12} 的频率准确地一致的第1边带W1和第2边带W2,则成为2个基态能级的重叠状态,即、成为量子干涉状态,发生对激发能级的激发停止并且第1边带W1和第2边带W2透过碱金属原子的透明化现象(EIT现象)。利用该EIT现象,通过检测并控制第1边带W1和第2边带W2的频率差 f_1-f_2 偏离与基态能级GL1和基态能级GL2的能量差 ΔE_{12} 相当的频率时的光吸收动作的急剧变化,能够制造出高精度的振荡器。

[0047] 可是,若图2 (B) 所示的第1光L1直接照射到气室30,则基波F与第1边带W1和第2边带W2同时地照射到气室30亦即碱金属原子。若无助于EIT现象的基波F照射到碱金属原子,则由于AC斯塔克效应,碱金属原子吸收的光的波长(频率)发生变化。由此,透过碱金属原子的第1边带W1和第2边带W2的量发生了变化。在利用了EIT现象的振荡器中,通过检测透过碱金属原子的第1边带W1和第2边带W2的量,使调制频率 f_m 稳定化,且通过利用该调制频率 f_m 作为发送器的输出,提高发送器的频率稳定性。因此,由基波F产生的AC斯塔克效应使第1边带W1和第2边带W2的检测精度降低,使调制频率 f_m 的稳定性降低。即、使发送器的频率稳定性降低。

[0048] 图3是表示从波长选择部20射出的第2光L2的频谱的图。

[0049] 第2光L2与第1光L1相比是基波F消失或基波F的强度减少的光。在图3的例子中,第2光L2仅具有第1边带W1和第2边带W2,该第1边带W1相对于中心频率 f_0 在上边带具有频率 f_1 ,该第2边带W2相对于中心频率 f_0 在下边带具有频率 f_2 。这样,在光学模块2中,通过波长选择部20,能够减少基波F的强度或使基波F消失。

[0050] 以下,说明本实施方式的原子振荡器的更具体的构成。

[0051] 图4是表示原子振荡器1的构成的框图。

[0052] 如图4所示,原子振荡器1包括光学模块2、电流驱动电路150和调制电路160。

[0053] 光学模块2包括半导体激光器110、波长选择装置120、气室130和光检测器140。

[0054] 半导体激光器110产生第1光L1,该第1光L1包括具有规定的中心波长的基波F、和具有相互不同波长的第1边带W1以及第2边带W2。对半导体激光器110射出的激光(第1光L1)来说,通过电流驱动电路150输出的驱动电流来控制其中心频率 f_0 (中心波长 λ_0),通过调制

电路160的输出信号(调制信号)来对其进行调制。即、通过在由电流驱动电路150产生的驱动电流中叠加具有调制信号的频率分量的交流电流,从而能够对半导体激光器110射出的第1光L1进行调制。由此,在第1光L1生成第1边带W1以及第2边带W2。在半导体激光器110产生的光因为具有相干性,所以为了得到量子干涉效应是优选的。

[0055] 如图2(B)所示,第1光L1包括具有中心频率 f_0 ($=v/\lambda_0$: v 是光的速度, λ_0 是第1光L1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1边带W1、相对于中心频率 f_0 在下边带具有频率 f_2 的第2边带W2。第1边带W1的频率 f_1 是 $f_1=f_0+f_m$,第2边带W2的频率 f_2 是 $f_2=f_0-f_m$ 。

[0056] 波长选择装置120从第1光L1中选择第1边带W1以及第2边带W2,并将其作为第2光L2射出。波长选择装置120具有选择规定的波长范围的光并射出的滤光器元件120a、使滤光器元件120a选择的波长范围变化的滤光器特性控制装置120b。

[0057] 滤光器元件120a能够从第1光中选择第1边带W1以及第2边带W2并射出。因此,减少射入到滤光器元件120a的第1光L1的基波F的强度或使基波F消失后,作为第2光L2射出。即,在第2光L2中,与第1光L1相比,基波F的强度减少或基波F消失了。在图3的例子中,第2光L2仅具有第1边带W1以及第2边带W2。如后述那样,滤光器元件120a可以是标准具(etalon),也可以是光纤布拉格光栅(FBG)。

[0058] 滤光器特性控制装置120b能够使滤光器元件120a选择的波长范围(波长选择特性)发生变化。滤光器特性控制装置120b例如,通过电光效应,能够使滤光器元件120a(例如,标准具)的波长选择特性发生变化。在此,所谓电光效应是指,物质对光的折射率由于从外部施加静电场而发生变化的现象。滤光器特性控制装置120b例如,通过向滤光器元件120a施加电场而使滤光器元件120a的折射率发生变化,使滤光器元件120a的波长选择特性发生变化。波长选择装置120通过滤光器特性控制装置120b,能够修正因制造误差、环境变化(热、光等)等造成的滤光器元件120a的波长选择特性的偏差,能够高精度地从第1光L1中选择第1边带W1以及第2边带W2。

[0059] 滤光器特性控制装置120b也可以根据光检测器140的输出信号,调整向滤光器元件120a施加的电场的强度,控制滤光器元件120a的波长选择特性。在光学模块2,例如,利用通过滤光器元件120a、气室130、光检测器140、滤光器特性控制装置120b的反馈环路,调整施加给滤光器元件120a的电场的强度,控制滤光器元件120a的波长选择特性。

[0060] 另外,滤光器特性控制装置120b也可以根据预先获取的滤光器元件120a的波长选择特性的偏差的数据,对施加给滤光器元件120a的电场的强度进行调整,修正滤光器元件120a的波长选择特性的偏差。

[0061] 气室130是在容器中封入气体状的碱金属原子(钠(Na)原子,铷(Rb)原子,铯(Cs)原子等)的部件。向气室130照射从波长选择装置120射出的第2光L2。

[0062] 若对该气室130照射具有与碱金属原子的2个基态能级的能量差相当的频率(波长)差的2个光波(第1边带以及第2边带),则碱金属原子发生EIT现象。例如,如果碱金属原子是铯原子,则与D1线上的基态能级GL1和基态能级GL2的能量差相当的频率是 $9.19263 \cdots$ GHz,所以若照射频率差是 $9.19263 \cdots$ GHz的2个光波,则发生EIT现象。

[0063] 光检测器140对透过气室130后的第2光L2进行检测,并输出与检测到的光的量对应的信号强度的信号。光检测器140的输出信号输入到电流驱动电路150以及调制电路160。

另外,光检测器140的输出信号可以还输入到滤光器特性控制装置120b。光检测器140例如是光电二极管。

[0064] 电流驱动电路150产生与光检测器140的输出信号对应的大小的驱动电流并提供给半导体激光器110,控制第1光L1的中心频率 f_0 (中心波长 λ_0)。利用通过半导体激光器110、波长选择装置120、气室130、光检测器140、电流驱动电路150的反馈环路,微调整第1光的中心频率 f_0 (中心波长 λ_0)使之稳定。

[0065] 调制电路160产生具有与光检测器140的输出信号对应的调制频率 f_m 的调制信号。该调制信号被微调整调制频率 f_m 以使光检测器140的输出信号变为最大,并且被供给半导体激光器110。半导体激光器110射出的激光通过调制信号进行调制,产生第1边带W1和第2边带W2。

[0066] 此外,半导体激光器110、波长选择装置120、气室130、光检测器140分别对应图1的光源10、波长选择部20、气室30、光检测部40。另外,滤光器元件120a对应图1的滤光器部20a,滤光器特性控制装置120b对应图1的滤光器特性控制部20b。另外,电流驱动电路150、调制电路160对应图1的控制部50。

[0067] 在这样的构成的原子振荡器1中,如果半导体激光器110产生的第1光L1的第1边带W1和第2边带W2的频率差,与相当于气室130所包含的碱金属原子的2个基态能级的能量差的频率不是准确地一致,则碱金属原子不会发生EIT现象,所以根据第1边带W1和照射光W2的频率,光检测器140的检测量极其敏感地变化(检测量增加)。因此,利用通过半导体激光器110、波长选择装置120、气室130、光检测器140以及调制电路160的反馈环路进行反馈控制,以使第1边带W1和第2边带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非常准确地一致。其结果,调制频率成为极其稳定的频率,所以能够将调制信号作为原子振荡器1的输出信号(时钟输出)。

[0068] 图5是示意性地表示光学模块2的主要部分(半导体激光器110以及波长选择装置120)的剖视图。

[0069] 如图5所示,光学模块2还包括基体170。半导体激光器110以及波长选择装置120形成在基体170。通过这样地将半导体激光器110以及波长选择装置120形成为单片,能够实现装置的小型化。

[0070] 基体170的材质是化合物半导体。具体地说,基体170的材质是例如,GaAs、InP、GaN等的III-V族半导体、ZnO、ZnSe等的II-VI族半导体。在此,对于基体170的材质是第1导电型(例如n型)GaAs的情况进行说明。

[0071] 半导体激光器110包括第1半导体层112、有源层114和第2半导体层116的面发射激光器。

[0072] 第1半导体层112形成在基体170上。第1半导体层112例如是交替地层叠n型(第1导电型) $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ 层和n型 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$ 层而成的分布式布拉格反射型(DBR)半导体反射镜。

[0073] 有源层114形成在第1半导体层112上。有源层114具有例如将由GaAs阱层和 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 阻挡层构成的量子阱构造重叠3次而成的多重量子阱(MQW)构造。

[0074] 第2半导体层116例如是交替地层叠例如p型(第2导电型) $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$ 层和p型 $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ 层而成的DBR半导体反射镜。

[0075] 通过p型的第2半导体层116、不掺杂杂质的有源层114以及n型的第1半导体层112,

形成pin二极管。

[0076] 半导体激光器110的电极118形成在基体170的下表面。电极118经由基体170与第1半导体层112电连接。电极118是用于驱动半导体激光器110的一个电极。此外,电极118是与后述的滤光器特性控制装置120b的第1电极128共用的电极。

[0077] 半导体激光器110的电极119形成在第2半导体层116的上表面。电极119与第2半导体层116电连接。电极119是用于驱动半导体激光器110的另一个电极。

[0078] 若利用电极118、119向pin二极管施加正向的电压,则在有源层114,发生电子和空穴的再结合,产生因该再结合而带来的发光。于是,产生的光在第2半导体层116和第1半导体层112之间往复时,产生受激发射,光的强度被增大。若光增益超过光损失,则发生激光振荡,从第2半导体层116的上表面射出激光(第1光L1)。从半导体激光器110射出的光L1被棱镜180反射,射入至波长选择装置120(滤光器元件120a)。棱镜180是用于改变第1光L1的行进方向,使第1光L1射入到波长选择装置120(滤光器元件120a)的光学元件。此外,在本实施方式,为了改变第1光L1的行进方向,使用了棱镜180,但是只要能够使第1光L1反射而改变行进方向,则也可以使用其他的光学元件。例如,能够使用反射镜等。

[0079] 在光学模块2中,滤光器元件120a在图示的例子中,是标准具。滤光器元件120a包括第1反射镜121、第2反射镜122、以及配置在第1反射镜121和第2反射镜122之间的基板123。反射镜121以及122是使射入到反射镜的光的一部分透过,一部分反射那样的半透过反射镜。

[0080] 滤光器元件120a通过反射镜121、122间的干涉作用,使射入的光L1中的规定的波长范围的光(第1边带W1以及第2边带W2)透过。若光射入到滤光器元件120a,则通过反射镜121,122间的干涉作用,与基板123的长度(第1反射镜121和第2反射镜122之间的距离)D以及基板123的折射率对应的波长的光选择性地透过滤光器元件120a。滤光器元件120a中,针对第1边带W1以及第2边带W2的透过率大,针对基波F透过率小。由此,能够减少射入到滤光器元件120a的光L1的基波F的强度或使基波F消失后进行射出。因此,滤光器元件120a例如,能够射出仅包含第1边带W1以及第2边带W2的第2光L2。

[0081] 第1反射镜121和第2反射镜122隔着基板123相互对置。第1反射镜121以及第2反射镜122例如,由交替地层叠Ta₂O₅膜和SiO₂膜而成的多层膜构成。反射镜121、122具有例如将Ta₂O₅膜和SiO₂膜形成3对而成的层构造。第1反射镜121以及第2反射镜122的反射率例如是90%。

[0082] 基板123形成在基体170上。基板123具有从基体170侧起依次形成的第1层124、第2层125以及第3层126。第1层124的折射率以及第3层126的折射率比第2层125的折射率小。因此,第1层124以及第3层126作为包层发挥功能,第2层125作为传播第1光L1的芯层发挥功能。即、基板123是传播第1光L1的光波导路。在光学模块2,由于基板123是光波导路,所以能够控制从滤光器元件120a射出的光L2的光束直径,能够有效地向气室130照射光L2。第1层124以及第3层126的材质例如是AlGaAs,第2层125的材质例如是GaAs。

[0083] 此外,基板123也可以不形成光波导路。基板123也可以不具有多个层124、125、126,而是单层。

[0084] 基板123的材质并不特别限定,也可以是GaAs、InP、GaN等的III-V族半导体、ZnO、ZnSe等的II-VI族半导体。作为基板123的材质,例如,在使用GaAs的情况下,若将自由光谱

区设为9.2GHz,半高全宽(full width at half maximum)设为0.3GHz左右,则基板123的长度D是28.46mm左右。作为标准具的基板的材质使用一般的SiO₂的情况下,基板的长度是70.66mm左右。这样,作为基板123的材质,通过使用折射率大的化合物半导体,能够缩短基板123的长度D。

[0085] 滤光器特性控制装置120b具有用于向滤光器元件120a提供电场的第1电极128以及第2电极129。滤光器特性控制装置120b通过向电极128、129之间施加电压,能够向基板123提供电场。由此,产生电光效应,基板123的折射率发生变化,能够使滤光器元件120a的波长选择特性变化。第1电极128位于基体170中的与滤光器元件120a所处侧相反的侧。第1电极128形成在基体170的下方。第1电极128是与上述的半导体激光器110的一个电极118共用的电极。第2电极129位于与滤光器元件120a在基体170所处的侧相反的侧。第2电极129隔着绝缘层190形成在滤光器元件120a的上方。通过在电极128、129之间形成绝缘层190,从而能够防止在电极128、129之间流动电流而产生电压下降。

[0086] 在此,对于滤光器元件120a是标准具的情况进行了说明,但是,滤光器元件120a可以是给予光纤的芯周期性的折射率变化的光纤布拉格光栅。光纤布拉格光栅因为使用光纤,所以变形很容易,能够提高设计的自由度。

[0087] 另外,在此,使用电光效应来修正滤光器元件120a的波长选择特性,但是,例如,也可以使用热光效应(是指物质对光的折射率因从外部加热而变化的现象)来修正。在这种情况下,光学模块2也可以具有用于向滤光器元件120a提供热的构件。

[0088] 光学模块2以及原子振荡器1例如具有以下特征。

[0089] 根据光学模块2,波长选择装置120能够减少第1光L1的基波F的强度或使基波F消失。由此,能够抑制或防止无助于EIT现象的基波F照射到碱金属原子。因此,能够抑制因AC斯塔克效应造成的频率变动,能够提供频率稳定性高的振荡器。

[0090] 根据光学模块2,因为波长选择装置120具有滤光器特性控制装置120b,所以能够对因制造误差、环境变化(热、光等)等造成的滤光器元件120a的波长选择特性(滤光器元件选择的波长范围)的偏差进行修正。因此,波长选择装置120能够高精度地从第1光L1中选择第1边带W1以及第2边带W2并进行射出。

[0091] 例如,在滤光器元件120a是标准具的情况下,滤光器元件120a的波长选择特性(滤光器元件选择的波长范围)取决于如图5所示的基板123的长度D以及基板123的折射率。然而,在滤光器元件120a的制造工序中,准确地控制基板123的长度D是很困难,存在基板123的长度D产生制造误差的情况。即使是这样的情况,也因为根据光学模块2,具有滤光器特性控制装置120b,所以能够修正起因于该制造误差的波长选择特性的偏差。

[0092] 在光学模块2中,滤光器元件120a是标准具。因此,能够使滤光器元件成为简单的结构。另外,滤光器元件(标准具)120a的基板123的材质是化合物半导体。因此,与基板123的材质是SiO₂的情况相比,能够缩短基板123的长度D,能够实现装置的小型化。

[0093] 在光学模块2中,滤光器特性控制装置120b能够通过电光效应使滤光器元件120a的波长选择特性发生变化。由此,能够高精度并且容易地控制滤光器元件的波长选择特性。进而,滤光器特性控制装置120b构成为包括用于向基板123施加电压的第1电极128以及第2电极129。因此,能够使滤光器特性控制装置120b成为简单的结构。

[0094] 在光学模块2中,波长选择装置120以及半导体激光器(光源)110形成在基体170。

通过这样地在基体170将波长选择装置120和半导体激光器110形成成为单片,能够实现装置的小型化。

[0095] 在光学模块2中,如上述那样,滤光器元件(标准具)120a的基板123是光波导路。因此,能够控制从滤光器元件120a射出的光L2的光束直径,能够有效地向气室130照射光L2。

[0096] 在光学模块2中,半导体激光器110是面发射激光器。面发射激光器与边发射激光器相比,因为用于产生增益的电流很少,所以能够实现低耗电化。

[0097] 在原子振荡器1中,具有光学模块2。因此,如上述那样,能够提高频率稳定性。

[0098] 此外,上述的实施方式是一个例子,并不限于这些。

[0099] 例如,上述的图5所示的半导体激光器110是面发射激光器,但是,半导体激光器也可以是边发射激光器。图6是示意性地表示使用了边发射激光器的本实施方式涉及的光学模块的主要部分的剖视图。以下,在图6所示的光学模块2D中,对于与上述的图5所示的光学模块2的构成相同的构成,标注相同的附图标记,并省略其说明。

[0100] 第1半导体层112形成在基体170上。作为第1半导体层112,例如,能够使用第1导电型(例如n型)AlGaAs层等。

[0101] 有源层114形成在第1半导体层112上。有源层114具有例如将由GaAs阱层和AlGaAs阻挡层构成的量子阱构造重叠3次而成的多重量子阱(MQW)构造。

[0102] 第2半导体层116形成在有源层114上。作为第2半导体层116,例如能够使用第2导电型(例如p型)的AlGaAs层等。

[0103] 例如,由p型的第2半导体层116、不掺杂杂质的有源层114以及n型的第1半导体层112,构成pin二极管。第2半导体层116以及第1半导体层112分别是与有源层114相比禁带宽度大、折射率小的层。有源层114具有增幅光的功能。第1半导体层112以及第2半导体层116夹着有源层114,具有封闭注入载流子(电子以及空穴)以及光的功能。

[0104] 在半导体激光器110中,若在电极118、119之间施加pin二极管的正偏电压,则在有源层114发生电子和空穴的再结合。通过该再结合产生发光。以该产生的光为起点,连锁地发生受激发射,光强度被放大。如果光增益超过光损失,则发生激光振荡,产生激光,从有源层114的侧面射出激光(第1光L1)。

[0105] 根据光学模块2D,作为半导体激光器110使用边发射激光器,由此能够从与半导体激光器110的各层112、114、116的层叠方向垂直地射出激光。由此,通过控制各层112、114、116的膜厚,能够实现半导体激光器110和波长选择装置120之间的对准。因此,能够使半导体激光器110和波长选择装置120之间的对准精度提高。进而,例如,不需要用于使激光射入到波长选择装置120的棱镜等光学元件。

[0106] 如上述那样,对本发明的实施方式进行了详细的说明,本领域技术人员应该容易理解,实质上不脱离本发明的发明点以及效果的多个变形是可能的。因此,这样的变形例全部包括在本发明的范围内。

[0107] 附图标记

[0108] 1原子振荡器,2光学模块,10光源,20波长选择部,20a 滤光器部,20b 滤光器特性控制部,30气室,40光检测部,50控制部,110半导体激光器,112第1半导体层,114有源层,116第2半导体层,118,119电极,120波长选择装置,120a 滤光器元件,120b 滤光器特性控制装置,121第1反射镜,122第2反射镜,123基板,124第1层,125第2层,126第3层,128第1电

极,129第2电极,130气室,140光检测器,150电流驱动电路,160调制电路,170基体,180棱镜。

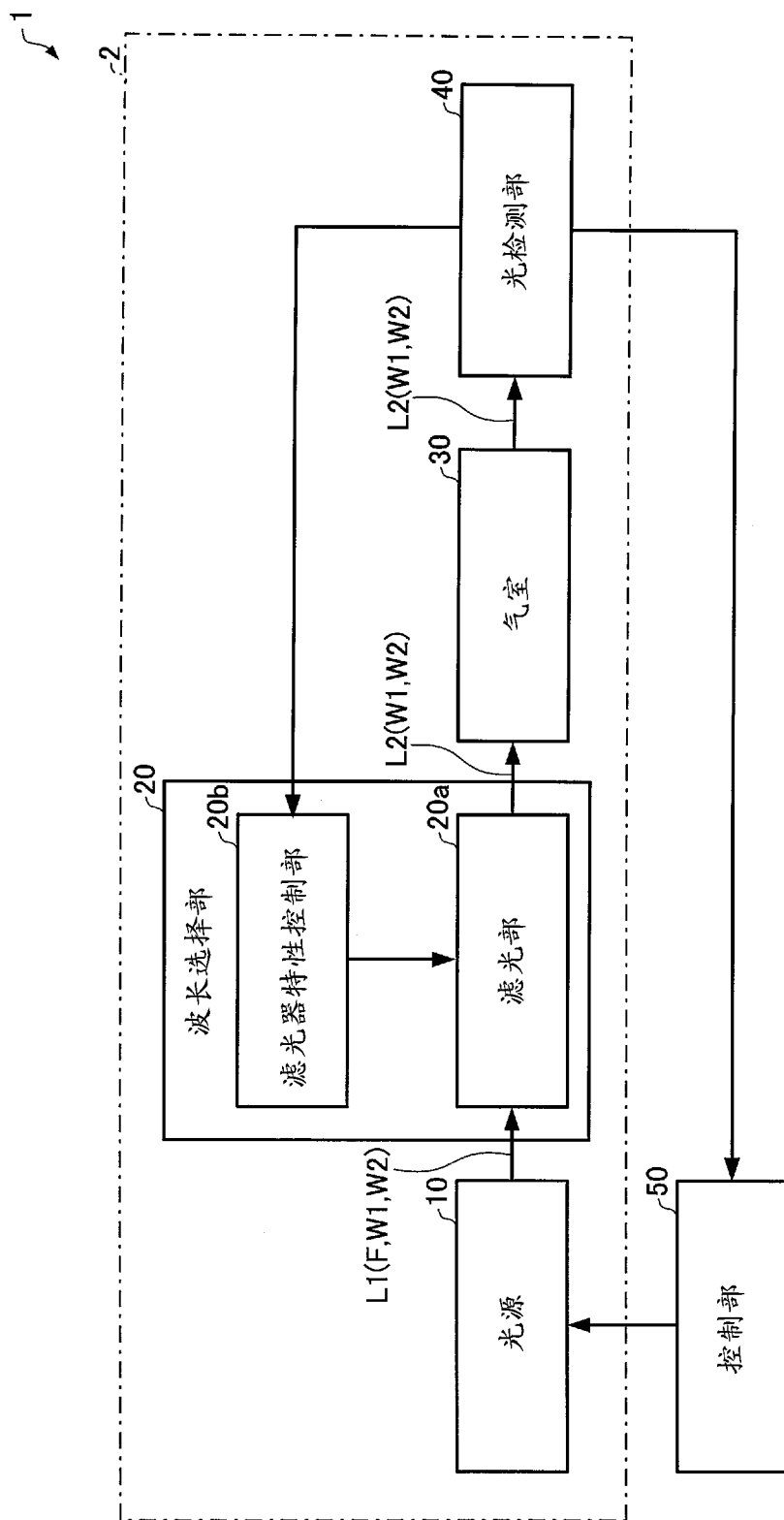
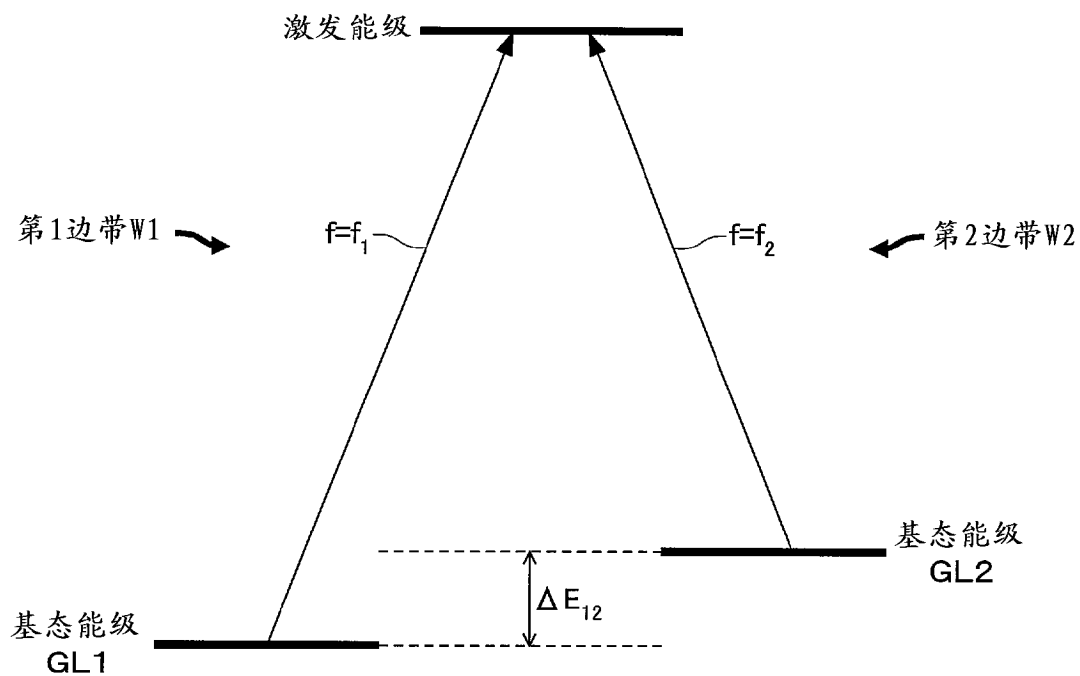


图1

(A)



(B)

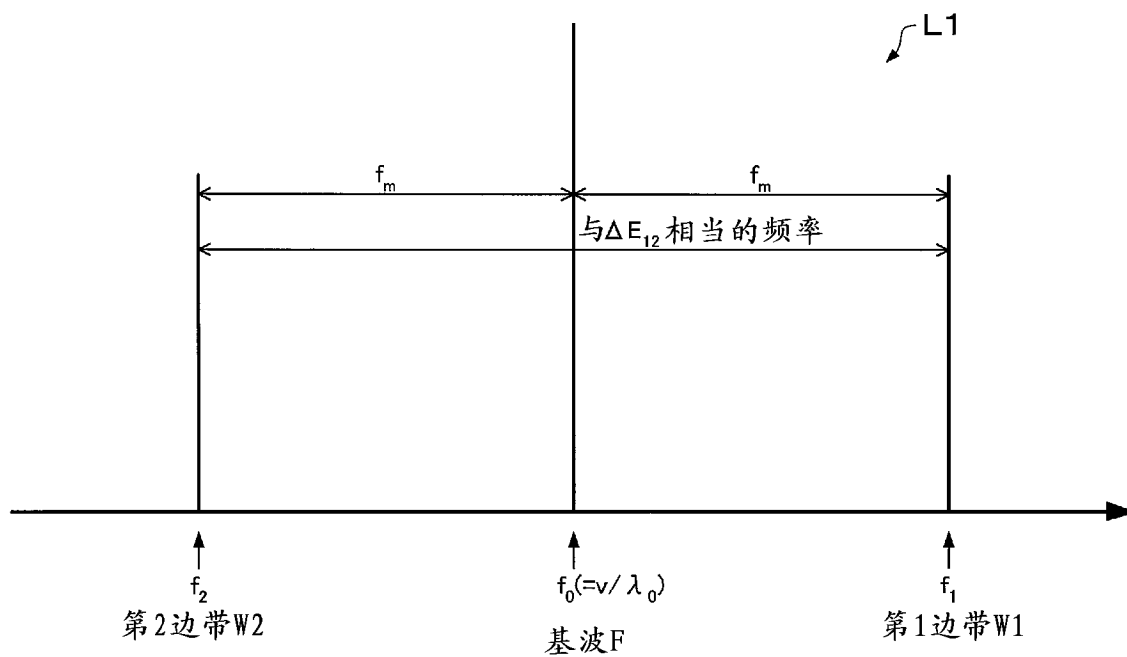


图2

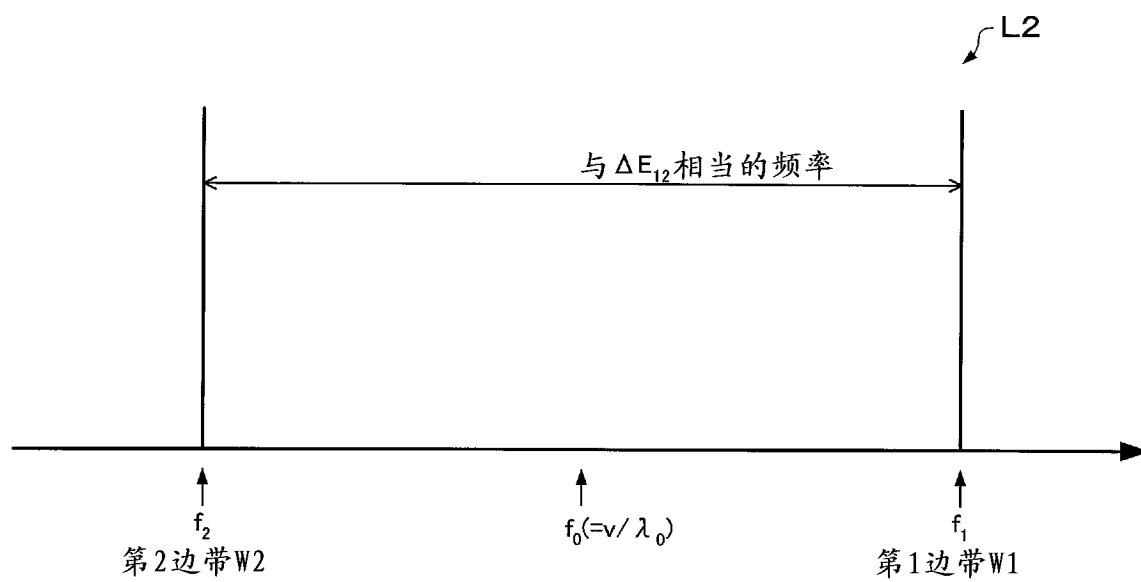


图3

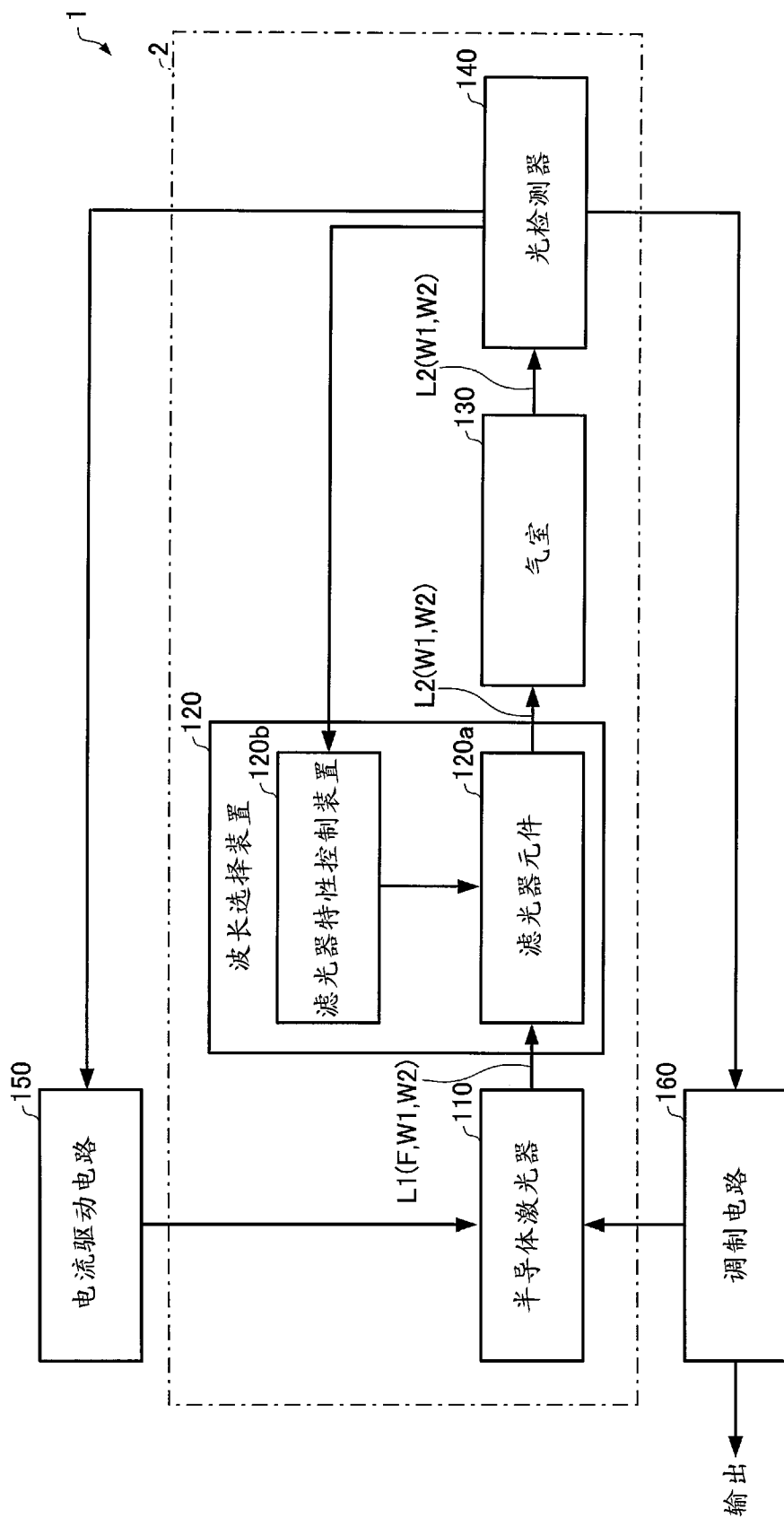


图4

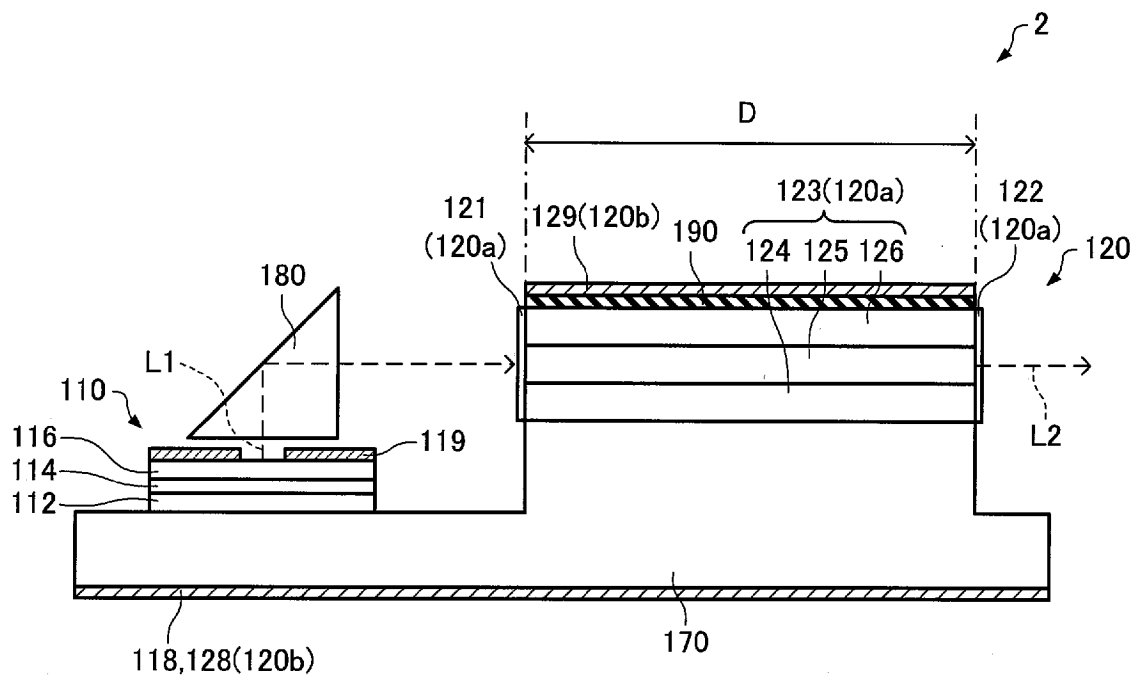


图5

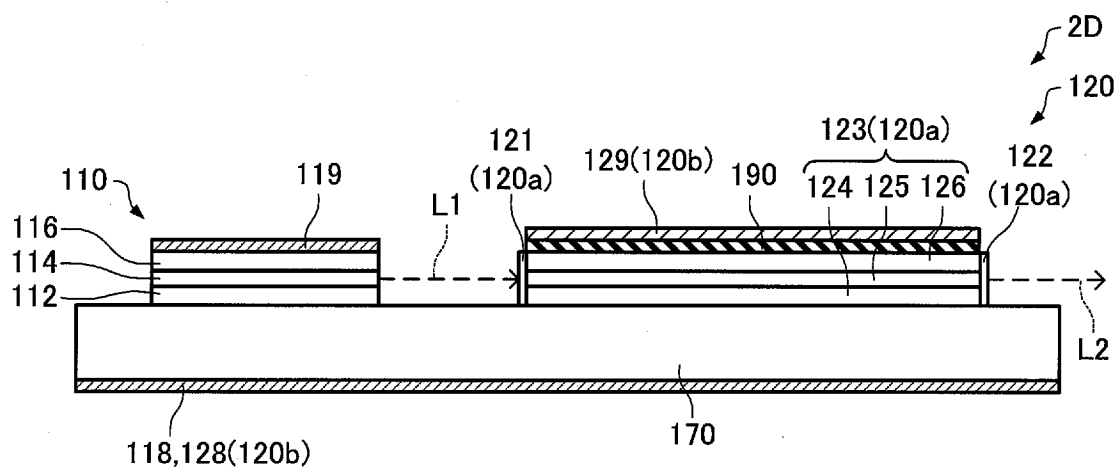


图6