



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102394646 B

(45) 授权公告日 2016. 05. 18

(21) 申请号 201110150422. 3

(22) 申请日 2011. 05. 26

(30) 优先权数据

2010-159505 2010. 07. 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 11227

代理人 李伟 阎文君

(51) Int. Cl.

H03L 7/26(2006. 01)

(56) 对比文件

US 3720882 , 1973. 03. 13,

US 6993058 B2, 2006. 01. 31,

审查员 田晶

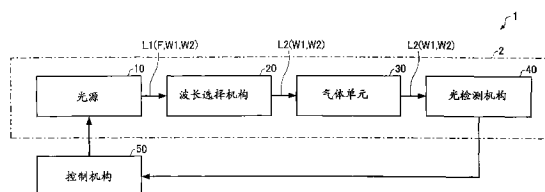
权利要求书1页 说明书8页 附图5页

(54) 发明名称

光学模块和原子振荡器

(57) 摘要

本发明涉及光学模块和原子振荡器,该光学模块利用量子干涉效应的原子振荡器,其包括:光源,其产生第一光,该第一光包含:具有中心波长的基波,和具有互不相同波长的第一边带和第二边带;波长选择机构,其通过选择地透过上述第一光的上述第一边带和上述第二边带,射出第二光;气体单元,其密封碱金属气体,被照射上述第二光;及光检测机构,其检测透过上述气体单元后的上述第二光的强度。



1. 一种光学模块,是利用量子干涉效应的原子振荡器的光学模块,其特征在于,包括:
光源,其产生第一光,该第一光包含:具有中心波长的基波和具有互不相同波长的第一边带和第二边带;

波长选择机构,其通过选择上述第一光的上述第一边带和上述第二边带并使上述第一边带和上述第二边带透过且使上述基波的强度减少而射出第二光;

气体单元,其密封碱金属气体,被照射上述第二光;及

光检测机构,其检测透过上述气体单元后的上述第二光的强度。

2. 根据权利要求 1 所述的光学模块,其特征在于,

上述波长选择机构是标准具。

3. 根据权利要求 2 所述的光学模块,其特征在于,

上述标准具具有:

相互对置的第一反射镜和第二反射镜,其反射上述第一光;和

基板,其被配置在上述第一反射镜和上述第二反射镜之间,

上述基板的材质是化合物半导体。

4. 根据权利要求 3 所述的光学模块,其特征在于,

还包括基体,

上述基体的材质是化合物半导体,

上述光源是半导体激光器,

上述标准具和上述光源被形成于基体上。

5. 根据权利要求 4 所述的光学模块,其特征在于,

上述标准具的上述基板具有自上述基体侧依次形成的第一层、第二层和第三层,

上述第一层的折射率和上述第三层的折射率比上述第二层的折射率小,

使上述第二层传播上述第一光。

6. 根据权利要求 4 或 5 所述的光学模块,其特征在于,

上述光源是边发射型激光器。

7. 根据权利要求 1 ~ 5 中任意一项所述的光学模块,其特征在于,

上述光源是面发射型激光器。

8. 根据权利要求 1 所述的光学模块,其特征在于,

上述波长选择机构是光纤光栅。

9. 一种原子振荡器,其特征在于,包含权利要求 1 ~ 8 中任意一项所述的光学模块。

光学模块和原子振荡器

技术领域

[0001] 本发明涉及光学模块和原子振荡器。

背景技术

[0002] 近年来,提出有利用量子干涉效应之一的 CPT(Coherent Population Trapping:相干布居陷俘)的原子振荡器,但人们期待装置的小型化或低功耗化。利用了 CPT 的原子振荡器是利用波长(频率)彼此不同的 2 个谐振光同时照射到碱金属原子上,停止 2 个谐振光的吸收的现象(EIT 现象:Electromagnetically Induced Transparency:电磁感应透明)的振荡器。例如,作为利用 CPT 的原子振荡器在专利文献 1 中公开有包括如下的光学模块的原子振荡器,该光学模块具有用于产生相干光的光源、用于密封碱金属原子的气体单元和检测透过了气体单元的光的强度的光接收元件。

[0003] 在利用 CPT 的原子振荡器中,作为光源例如使用半导体激光器。在使用半导体激光器作为光源的原子振荡器中,例如,通过调制半导体激光器的驱动电流,使自半导体激光器射出的光产生边带,发生电磁感应透明(EIT)现象。

[0004] 专利文献 1:日本特开 2009-89116 号公报

发明内容

[0005] 但是,在驱动电流被调制后的半导体激光器所射出的光中不仅包含边带,还包含基波(载波),该基波具有对 EIT 现象没有贡献的中心波长。在该基波照射到碱金属原子上时,碱金属原子所吸收的光的波长(频率)变化(AC 斯塔克效应),使原子振荡器的频率的稳定性降低。

[0006] 本发明以下几个实施方式的目的之一是提供一种可以得到频率稳定性高的原子振荡器的光学模块。另外,本发明以下几个实施方式的目的之一是提供具有上述光学模块的原子振荡器。

[0007] 本发明的光学模块是利用量子干涉效应的原子振荡器的光学模块,其包括:

[0008] 光源,其产生第一光,该第一光包含:具有中心波长的基波和具有互不相同波长的第一边带(side lobe:旁瓣)和第二边带(side lobe:旁瓣);

[0009] 波长选择机构,其通过选择上述第一光的上述第一边带和上述第二边带并使其透过而射出第二光;

[0010] 气体单元,其密封碱金属气体,被照射上述第二光;及

[0011] 光检测机构,其检测透过上述气体单元后的上述第二光的强度。

[0012] 根据这样的光学模块,波长选择机构能够使第一光的基波的强度减弱或者基波消失。由此,能够抑制或防止对 EIT 现象没有贡献的基波照射到碱金属原子的情况。因此,能够抑制由 AC 斯塔克效应产生的频率变动,提供频率稳定性高的振荡器。

[0013] 在本发明的光学模块中,上述波长选择机构可以是标准具。

[0014] 根据这样的光学模块,能够由简单的结构形成波长选择机构。

- [0015] 本发明的光学模块中，
- [0016] 上述标准具可以具有：
- [0017] 相互对置的第一反射镜和第二反射镜，其反射上述第一光；和
- [0018] 基板，其被配置在上述第一反射镜和上述第二反射镜之间，
- [0019] 上述基板的材质是化合物半导体。
- [0020] 根据这样的光学模块，能够减小第一反射镜和第二反射镜之间的距离，实现装置的小型化。
- [0021] 本发明的光学模块中，
- [0022] 还可以包括基体，
- [0023] 上述基体的材质是化合物半导体，
- [0024] 上述光源是半导体激光器，
- [0025] 上述标准具和上述光源被形成于基体上。
- [0026] 根据这样的光学模块，由于标准具和光源被形成于相同的基体上，所以能够实现装置的小型化。
- [0027] 本发明的光学模块中，
- [0028] 上述标准具的上述基板可以具有自上述基体侧开始按顺序形成的第一层、第二层和第三层，
- [0029] 上述第一层的折射率和上述第三层的折射率比上述第二层的折射率小，
- [0030] 使上述第二层传播上述第一光。
- [0031] 根据这样的光学模块，可以将基板作为光波导路径。因此，能够控制自波长选择机构射出的第二光的光束直径，能够使第二光高效地照射到气体单元。
- [0032] 本发明的光学模块中，上述光源可以是边发射型激光器。
- [0033] 根据这样的光学模块，通过控制构成边发射型激光器的层的膜厚，可以进行光源（边发射型激光器）和波长选择机构之间的定位（alignment）。并且，例如，不需要光学元件，该光学元件用于使第一光入射到被形成于相同的基体上的波长变换机构。因此，能够提高光源和波长选择机构之间的定位（alignment）精度。
- [0034] 在本发明的光学模块中，上述光源可以是面发射型激光器。
- [0035] 根据这样的光学模块，由于面发射型激光器与边发射型激光器相比，用于产生增益的电流少，所以能够实现低功耗化。
- [0036] 在本发明的光学模块中，上述波长选择机构可以是光纤光栅。
- [0037] 根据这样的光学模块，由于光纤光栅容易变形，所以能够提高设计的自由度。
- [0038] 本发明的原子振荡器包括本发明的光学模块。
- [0039] 这样的原子振荡器，由于包括本发明的光学模块，所以能够抑制由 AC 斯塔克效应产生的频率变动，能够提高频率稳定性。

附图说明

- [0040] 图 1 是本实施方式的原子振荡器的功能框图。
- [0041] 图 2(A) 是表示碱金属原子的 Λ 型 3 能级模型与第一边带和第二边带关系的图，图 2(B) 是表示光源中产生的第一光的频谱图。

[0042] 图 3 是表示自波长选择机构射出的第二光的频谱图。

[0043] 图 4 是表示本实施方式的原子振荡器构成的图。

[0044] 图 5 是示意地表示本实施方式的光学模块的要部的剖面图。

[0045] 图 6 是示意地表示使用边发射型激光器的本实施方式的光学模块的要部的剖面图。

[0046] 图中符号说明：1- 原子振荡器，2- 光学模块，10- 光源，20- 波长选择机构，30- 气体单元，40- 光检测机构，50- 控制机构，110- 半导体激光器，112- 第一半导体层，114- 活性层，116- 第二半导体层，118- 第一电极，119- 第二电极，120- 波长选择元件，121- 第一反射镜，122- 第二反射镜，123- 基板，124- 第一层，126- 第二层，128- 第三层，130- 气体单元，140- 光探测器，150- 电流驱动电路，160- 调制电路，170- 基体，180- 棱镜。

具体实施方式

[0047] 以下，边参照附图边对本发明最佳实施方式进行说明。

[0048] 首先，参照附图对本实施方式的光学模块和原子振荡器进行说明。本实施方式的原子振荡器包含本实施方式的光学模块。图 1 是本实施方式的原子振荡器 1 的功能框图。

[0049] 原子振荡器 1 包括光学模块 2 和控制机构 50。

[0050] 光学模块 2 包括光源 10、波长选择机构 20、气体单元 30 和光检测机构 40。

[0051] 光源 10 产生第一光 L1，该第一光 L1 包含：具有中心波长（中心频率）的基波 F 及具有互不相同波长的第一边带 W1 和第二边带 W2。

[0052] 波长选择机构 20 通过选择第一光 L1 的第一边带 W1 和第二边带 W2 并使其透过而射出第二光 L2。

[0053] 气体单元 30 密封碱金属气体，气体单元 30 被照射第二光 L2。

[0054] 光检测机构 40 检测透过气体单元 30 后的第二光 L2 的强度。

[0055] 控制机构 50 根据光检测机构 40 的检测结果进行控制，以使第一边带 W1 和第二边带 W2 的波长（频率）差等于与被封入到气体单元 30 中的碱金属原子的 2 个基态能级的能量差相当的频率。具体地说，控制机构 50 根据光检测机构 40 的检测结果，产生具有调制频率 f_m 的检测信号。并且，光源 10 根据该调制信号来调制具有规定频率 f_0 的基波 F，产生具有频率 $f_1 = f_0 + f_m$ 的第一边带 W1 和具有频率 $f_2 = f_0 - f_m$ 的第二边带 W2。

[0056] 图 2(A) 是表示碱金属原子的 Λ 型 3 能级模型与第一边带 W1 和第二边带 W2 关系的图。图 2(B) 是表示光源 10 中产生的第一光 L1 的频谱图。

[0057] 如图 2(B) 所示，在光源 10 中产生的第一光 L1 包括：具有中心频率 f_0 ($= v/\lambda_0$ ； v 为光速， λ_0 为激光的中心波长) 的基波 F；相对于中心频率 f_0 在上侧边带具有频率 f_1 的第一边带 W1 和相对于中心频率 f_0 在下侧边带具有频率 f_2 的第二边带 W2。第一边带 W1 的频率 f_1 为 $f_1 = f_0 + f_m$ ，第二边带 W2 的频率 f_2 为 $f_2 = f_0 - f_m$ 。

[0058] 如图 2(A) 和图 2(B) 所示，第一边带 W1 的频率 f_1 和第二边带 W2 的频率 f_2 的频率差，与相当于碱金属原子的基态能级 1 和基态能级 2 的能量差 ΔE_{12} 的频率一致。因此，碱金属原子由具有频率 f_1 的第一边带 W1 和具有频率 f_2 的第二边带 W2 引起 EIT 现象。

[0059] 这里，对 EIT 现象进行说明。众所周知，碱金属原子与光的相互作用能够由 Λ 型 3 能级系模型进行说明。如图 2(A) 所示，碱金属原子具有 2 个基态能级，使具有与基态能级

1 和激发能级的能量差相当的波长 (频率 f_1) 的第一边带 W1 或者具有与基态能级 2 和激发能级的能量差相当的波长 (频率 f_2) 的第二边带 W2 分别单独地照射碱金属原子时,发生光吸收。但是,如图 2(B) 所示,第一边带 W1 和第二边带 W2 的频率的频率差 f_1-f_2 准确地与相当于基态能级 1 和基态能级 2 的能量差 ΔE_{12} 的频率一致,将该第一边带 W1 和第二边带 W2 同时照射到该碱金属原子时,得到 2 个基态能级重合的状态,即处于量子干涉效应的状态,停止向激发能级的激发,发生了第一边带 W1 和第二边带 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、控制第一边带 W1 和第二边带 W2 的频率差 f_1-f_2 偏离与基态能级 1 和基态能级 2 的能量差 ΔE_{12} 相当的频率时的光吸收行为的急剧变化,能够制造高精度的振荡器。

[0060] 图 3 是表示自波长选择机构 20 射出的第二光 L2 的频谱图。

[0061] 第二光 L2 是与第一光 L1 相比基波 F 消失或基波 F 的强度被减弱的光。在图 3 的例子中,第二光 L2 只有相对于中心频率 f_0 在上侧边带具有频率 f_1 的第一边带 W1,及相对于中心频率 f_0 在下侧边带具有频率 f_2 的第二边带 W2。这样,在光学模块 2 中,通过波长选择机构 20 可以使基波 F 的强度减弱或者使基波 F 消失。

[0062] 以下,对本实施方式的原子振荡器的更具体的构成进行说明。

[0063] 图 4 是表示原子振荡器 1 的构成的图。

[0064] 原子振荡器 1,如图 4 所示,包括:光学模块 2、电流驱动电路 150 和调制电路 160。

[0065] 光学模块 2 包括:半导体激光器 110、波长选择元件 120、气体单元 130 和光检测器 140。

[0066] 半导体激光器 110 产生第一光 L1,该第一光 L1 包含:具有中心波长的基波 F 和具有互不相同波长的第一边带 W1 和第二边带 W2。由半导体激光器 110 射出的激光 (第一光 L1),根据电流驱动电路 150 输出的驱动电流控制中心频率 f_0 (中心波长 λ_0),根据由调制电路 160 的输出信号 (调制信号) 进行调制。即,通过对由电流驱动电路 150 产生的驱动电流叠加具有调制信号的频率成分的交流电流,能够对半导体激光器 110 射出的第一光 L1 进行调制。由此,在第一光 L1 中产生第一边带 W1 和第二边带 W2。由于半导体激光器 110 中产生的光具有可干涉性,适合于得到量子干涉效应。

[0067] 如图 2(B) 所示,第一光 L1 包含具有中心频率 f_0 ($= v/\lambda_0$; v 为光速, λ_0 为第一光 L1 的中心波长) 的基波 F 以及相对于中心频率 f_0 在上侧边带具有频率 f_1 的第一边带 W1 和相对于中心频率 f_0 在下侧边带具有频率 f_2 的第二边带 W2。第一边带 W1 的频率 f_1 为 $f_1 = f_0 + f_m$,第二边带 W2 的频率 f_2 为 $f_2 = f_0 - f_m$ 。

[0068] 波长选择元件 120 选择第一光的第一边带 W1 和第二边带 W2 并使其透过。即,波长选择元件 120,对第一边带 W1 和第二边带 W2 的透过率大,对基波 F 的透过率小。由此,能够使入射到波长选择元件 120 的第一光 L1 的基波 F 的强度减弱或使基波 F 消失,并作为第二光 L2 射出。即,第二光 L2 与第一光 L1 相比,基波 F 的强度减弱或基波 F 消失。在图 3 的例子中,第二光 L2 仅有相对于中心频率 f_0 在上侧边带具有频率 f_1 的第一边带 W1 和相对于中心频率 f_0 在下侧边带具有频率 f_2 的第二边带 W2。

[0069] 波长选择元件 120,如后面所述,可以是标准具,也可以是光纤光栅。

[0070] 气体单元 130 是在容器中密封气体状碱金属原子 (钠 (Na) 原子、铷 (Rb) 原子、铯 (Cs) 原子等) 的部件。气体单元 130 被照射第二光 L2。

[0071] 如果对该气体单元 130, 照射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 (第一边带和第二边带), 碱金属原子就会引起 EIT 现象。例如, 若碱金属原子是铯原子, 由于相当于 D1 线处的基态能级 1 和基态能级 2 的能量差的频率为 9.19263... GHz, 如果照射频率差为 9.19263... GHz 的 2 个光波就会引起 EIT 现象。

[0072] 光检测器 140 检测透过气体单元 130 后的第二光 L2, 输出与检测到的光的量相对应的信号强度的信号。光检测器 140 的输出信号被输入到电流驱动电路 150 和调制电路 160。光检测器 140 也可以是光电二极管。

[0073] 电流驱动电路 150, 产生与光检测器 140 的输出信号相对应的大小的驱动电流, 并提供给半导体激光器 110, 以控制第一光 L1 的中心频率 f_0 (中心波长 λ_0)。

[0074] 第一光的中心频率 f_0 (中心波长 λ_0) 由经过半导体激光器 110、波长选择元件 120、气体单元 130、光检测器 140 和电流驱动电路 150 的反馈回路进行微调而使其稳定。

[0075] 调制电路 160 产生调制信号, 该调制信号具有与光检测器 140 的输出信号相对应的调制频率 f_m 。该调制信号按照使光检测器 140 的输出信号达到最大的方式对调制频率 f_m 进行微调, 并提供给半导体激光器 110。由半导体激光器 110 射出的激光, 通过调制信号实施调制, 产生第一边带 W1 和第二边带 W2。

[0076] 并且, 半导体激光器 110、波长选择元件 120、气体单元 130、光检测器 140 分别与图 1 的光源 10、波长选择机构 20、气体单元 30、光检测机构 40 对应。另外, 电流驱动电路 150、调制电路 160 与图 1 的控制机构 50 对应。

[0077] 在这样构成的原子振荡器 1 中, 如果半导体激光器 110 产生的第一光 L1 的第一边带 W1 和第二边带 W2 的频率差与相当于气体单元 130 中所包含的碱金属原子的 2 个基态能级的能量差的频率不能准确地一致的话, 则碱金属原子就不会发生 EIT 现象, 因此光检测器 140 的检测量对应第一边带 W1 和照射光 W2 的频率极其灵敏地变化。因此, 由通过半导体激光器 110、波长选择元件 120、气体单元 130、光检测器 140 和调制电路 160 的反馈回路进行反馈控制, 以使第一边带 W1 和第二边带 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极其准确地一致。其结果, 由于调制频率变为极其稳定的频率, 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)。

[0078] 图 5 是示意地表示光学模块 2 的要部 (半导体激光器 110 和波长选择元件 120) 的剖面图。

[0079] 光学模块 2, 如图 5 所示, 还包括基体 170。半导体激光器 110 和波长选择元件 120 被形成于基体 170 上。这样通过将半导体激光器 110 和波长选择元件 120 形成为单片, 能够实现装置的小型化。

[0080] 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 III-V 族半导体, 或 ZnO、ZnSe 等 II-VI 族半导体。这里, 对基体 170 的材质是第一导电型 (例如 n 型) GaAs 的情况进行说明。

[0081] 半导体激光器 110 是面发射型激光器, 其包括第一半导体层 112、活性层 114 和第二半导体层 116。

[0082] 第一半导体层 112 被形成于基体 170 上。第一半导体层 112 是交替层叠例如 n 型 (第一导电型) $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ 层和 n 型 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$ 层的分布布拉格反射型 (DBR) 半导体反射镜。

[0083] 活性层 114 被形成于第一半导体层 112 上。活性层 114 是具有重叠了 3 层例如由 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的多重量子阱 (MQW) 构造。

[0084] 第二半导体层 116 是交替层叠例如 p 型 (第二导电型) $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$ 层和 p 型 $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ 层的 DBR 半导体反射镜。

[0085] p 型第二半导体层 116 由未掺杂杂质的活性层 114 和 n 型的第一半导体层 112 形成 PIN 二极管。

[0086] 第一电极 118 被形成于基体 170 的下面。第一电极 118 隔着基体 170 与第一半导体层 112 电连接。第一电极 118 是用于驱动半导体激光器 110 的一方电极。

[0087] 第二电极 119 被形成于第二半导体层 116 的上面。第二电极 119 与第二半导体层 116 电连接。第二电极 119 是用于驱动半导体激光器 110 的另一方电极。

[0088] 由第一电极 118 和第二电极 119 对 PIN 二极管施加正向的电压,在活性层 114 中,引起电子和空穴的再复合,由该再复合产生发光。因此产生的光在第二半导体层 116 和第一半导体层 112 之间往返运动时,发生受激辐射,光的强度被放大。如果光增益比光损耗大,就会发生激光振荡,激光 (第一光 L1) 自第二半导体层 116 的上面射出。由半导体激光器 110 射出的第一光 L1 被棱镜 180 反射,入射到波长选择元件 120。棱镜 180 是用于改变第一光 L1 的行进方向,使第一光 L1 入射到波长选择元件 120 的光学元件。

[0089] 在光学模块 2 中,波长选择元件 120 是标准具。波长选择元件 120 包括:第一反射镜 121、第二反射镜 122 以及配置在第一反射镜 121 和第二反射镜 122 之间的电路板 123。

[0090] 波长选择元件 120,通过干涉作用使入射的光中的规定波长的光 (第一边带 W1 和第二边带 W2) 透过。在光入射到第一反射镜 121 和第二反射镜 122 之间的基板 123 时,通过干涉作用,与基板 123 的长度 (第一反射镜 121 和第二反射镜 122 之间的距离) D 和基板 123 的折射率相对应的波长的光选择性地透过波长选择元件 120。波长选择元件 120 对第一边带 W1 和第二边带 W2 的透过率大,对基波 F 的透过率小。由此,能够使入射到波长选择元件 120 的第一光 L1 的基波 F 的强度减弱或者基波 F 消失。因此,波长选择元件 120 能够射出仅包含例如第一边带 W1 和第二边带 W2 的第二光 L2。

[0091] 第一反射镜 121 和第二反射镜 122 隔着基板 123 相互对置。第一反射镜 121 和第二反射镜 122 由依次层叠了例如 Ta_2O_5 膜和 SiO_2 膜的多层膜构成。

[0092] 基板 123 被形成于基体 170 上。基板 123 具有自基体 170 侧开始依次形成的第一层 124、第二层 126 和第三层 128。在基板 123 中,第一层 124 的折射率、第三层 128 的折射率比第二层 126 的折射率小。因此,第一层 124 和第三层 128 起到包层的功能,第二层起到传播第一光 L1 的芯层的功能。即,基板 123 是传播第一光 L1 的光波导路径。在光学模块 2 中,基板 123 是光波导路径,因此能够控制由波长选择元件射出的第二光 L2 的光束直径,能够使光高效率地照射到气体单元 130。

[0093] 第一层 124 和第三层 128 的材质例如为 AlGaAs,第二层 126 的材质例如为 GaAs。

[0094] 基板 123 的材质,没有特别地限定,也可以是 GaAs、InP、GaN 等 III-V 族半导体或 ZnO、ZnSe 等 II-VI 族半导体。例如使用 GaAs 作为基板 123 的材质时,自由光谱范围为 9.2GHz,半值宽度为 0.3GHz 左右,基板 123 的长度 D 为 28.5mm 左右。使用一般的 SiO_2 作为标准具的基板的材质时,基板的长度为 70.66mm 左右。这样,通过使用折射率大的化合物半导体作为基板 123 的材质,能够缩短基板 123 的长度 D。

[0095] 并且,基板 123 也可以不形成光波导路径。基板 123 也可以是单层,没有多个层 124、126、128。

[0096] 这里,对波长变换元件 120 为标准具的情况进行了说明,波长变换元件 120 也可以是对光纤的纤芯赋予了折射率在长度方向上周期性地变化的光纤光栅。光纤光栅由于使用光纤,所以容易变形,因此能够提高设计的自由度。

[0097] 光学模块 2 和原子振荡器 1 具有例如以下的特征。

[0098] 根据光学模块 2,波长选择元件 120 能够使第一光 L1 的基波 F 的强度减弱或者使基波 F 消失。由此,能够抑制或者防止对 EIT 现象没有贡献的基波 F 照射到碱金属原子。因此,能够抑制由 AC 斯塔克效应产生的频率变动,能够提供频率稳定性高的振荡器。

[0099] 根据光学模块 2,波长选择元件 120 是标准具。因此,能够由简易的构成形成波长选择元件。另外,波长选择元件(标准具)120 的基板 123 的材质为化合物半导体。因此,与基板 123 的材质选取 SiO_2 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。

[0100] 根据光学模块 2,波长选择元件(标准具)120 和半导体激光器(光源)110 被形成于基体 170 上。这样通过将波长选择元件 120 和半导体激光器 110 单片地形成在基体 170 上,能够实现装置的小型化。

[0101] 根据光学模块 2,如上所述,波长选择元件(标准具)120 的基板 123 是光波导路径。因此,能够控制自波长选择元件 120 射出的光 L2 的光束直径,能够高效率地照射到气体单元 130。

[0102] 根据光学模块 2,光源 10 是面发射型激光器。由于面发射型激光器,与边发射型激光器相比,用于产生增益的电流少,所以能够实现低功耗化。

[0103] 根据原子振荡器 1,其具有光学模块 2。因此,如上所述,能够提高频率稳定性。

[0104] 并且,上述的实施方式是一个例子,并不局限于这些。

[0105] 例如,上述图 5 所示的半导体激光器 110 是面发射型激光器,半导体激光器也可以是边发射型激光器。图 6 是示意地表示使用了边发射型激光器的光学模块 2D 的要部的剖面图。以下,在图 6 所示的光学模块 2D 中,对与上述图 5 所示的光学模块 2 的构成相同的构成赋予相同的符号,省略其说明。

[0106] 第一半导体层 112 被形成于基体 170 上。也可以使用例如第一导电型(例如 n 型) AlGaAs 层等作为第一半导体层 112。

[0107] 活性层 114 被形成于第一半导体层 112 上。活性层 114 具有层叠了 3 层量子阱构造的多重量子阱(MQW)构造,该量子阱构造由例如 GaAs 阱层和 AlGaAs 阻挡层构成。

[0108] 第二半导体层 116 被形成于活性层 114 上。可以使用例如第二导电型(例如 p 型)的 AlGaAs 层等作为第二半导体层 116。

[0109] 例如,由 p 型第二半导体层 116、未掺杂杂质的活性层 114 以及 n 型第一半导体层 112 构成 PIN 二极管。每个第二半导体层 116 和第一半导体层 112 与活性层 114 大相比都是禁带宽度大、折射率小的层。活性层 114 具有放大光的功能。第一半导体层 112 和第二半导体层 116 夹持着活性层 114,具有封闭被注入的载流子(电子和空穴)和光的功能。

[0110] 在半导体激光器 110 中,如果对第一电极 118 和第二电极 119 之间施加 PIN 二极管的正向偏压,就会在活性层 114 发生电子和空穴的再复合。由于该再复合而产生发光。以

该产生的光作为起点,连锁地产生受激辐射,光的强度被放大。如果光增益比光损耗大,就会引起激光振荡,产生激光,激光(第一光 L1)自活性层 114 的侧面射出。

[0111] 通过使用边发射型激光器作为半导体激光器 110,能够相对于半导体激光器 110 的各层 112、114、116 的层叠方向垂直地射出激光。因此,通过各层 112、114、116 膜厚的控制,能够进行半导体激光器 110 和波长选择元件 120 之间的定位。并且,不需要例如用于使激光入射到被形成于相同的基体 170 上的波长变换元件 120 的棱镜等光学元件。因此,能够提高半导体激光器 110 和波长选择元件 120 之间的定位精度。

[0112] 如上所述,对本发明的实施方式详细地进行了说明,但是,在实质上不脱离本发明的新事项和效果的情形下也可以进行各种变形,这些变形对于本领域技术人员来说是能够容易想到的。因此,这样的变形例全都包含在本发明的范围内。

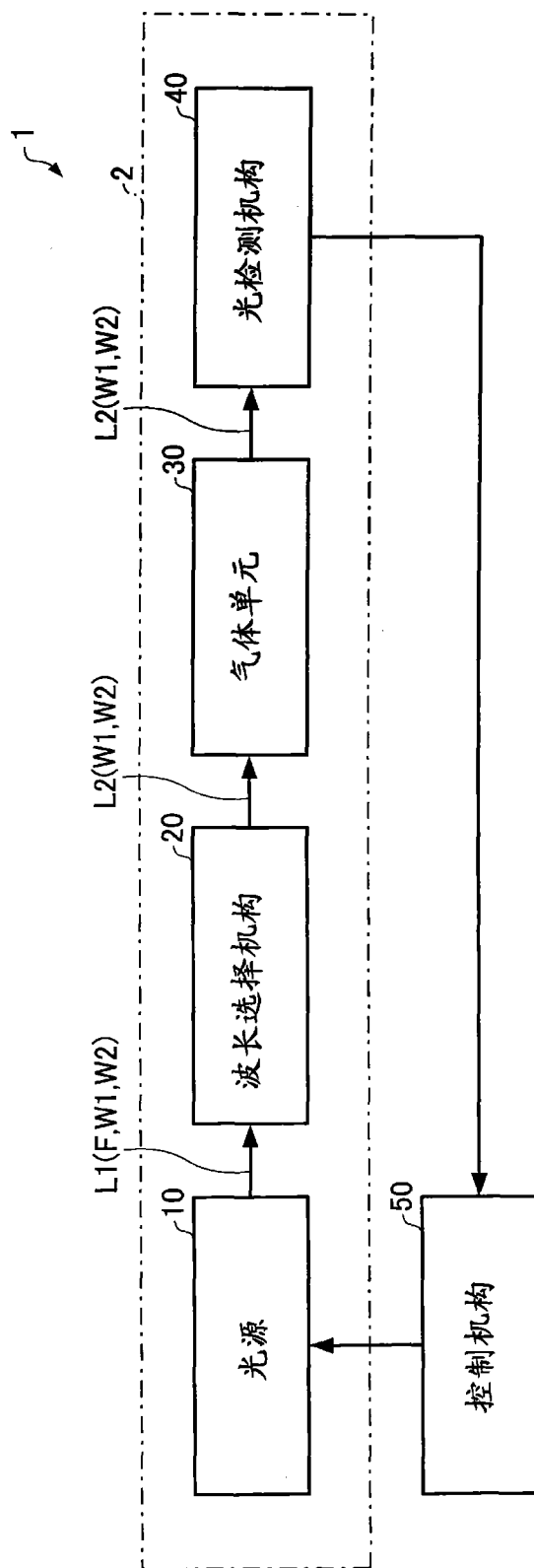
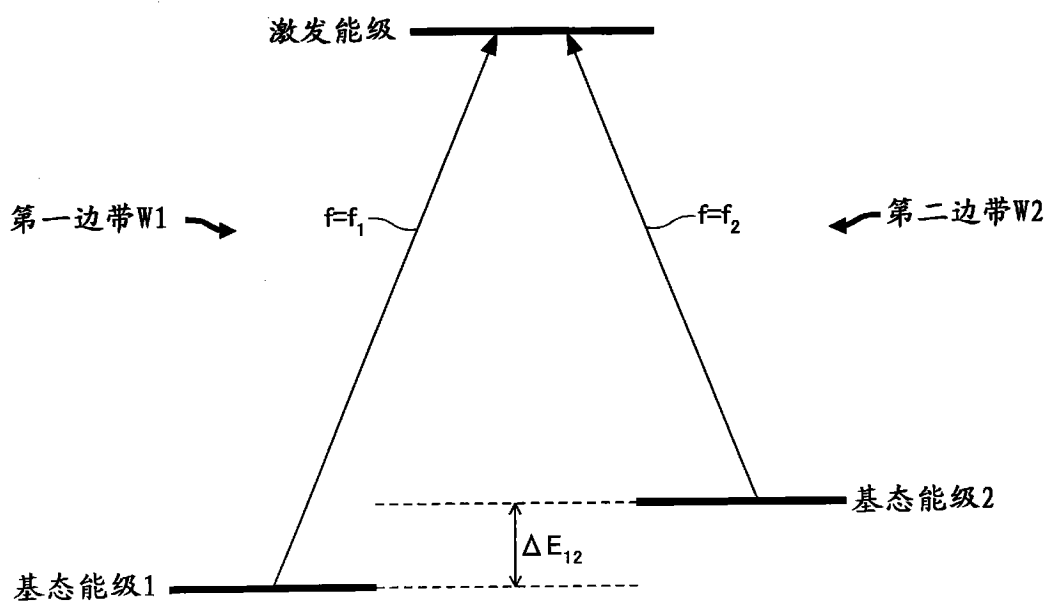


图 1

(A)



(B)

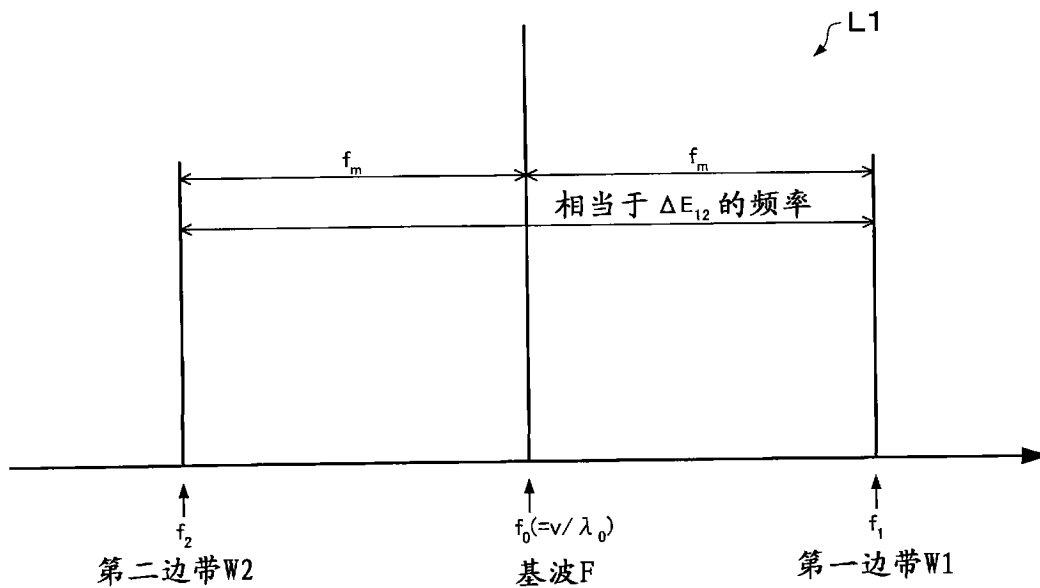


图 2

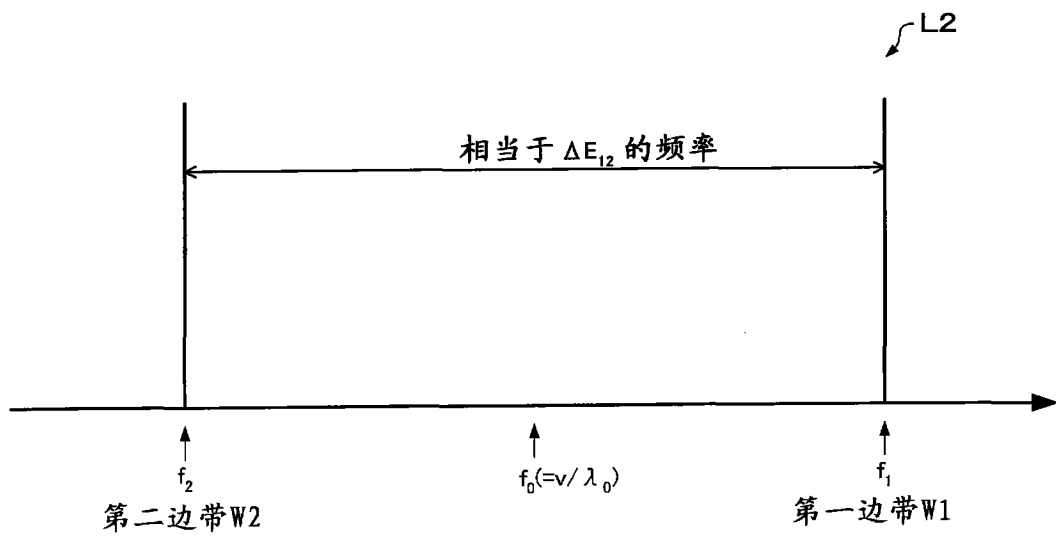


图 3

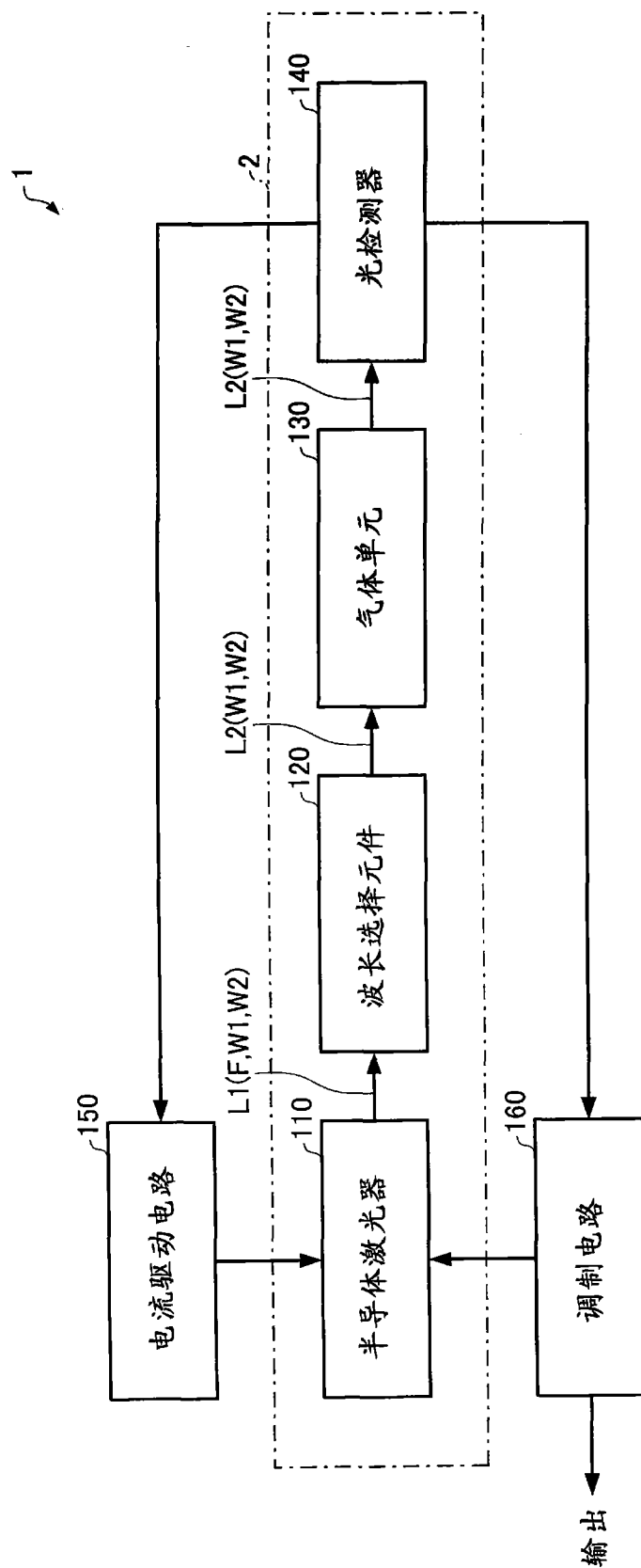


图 4

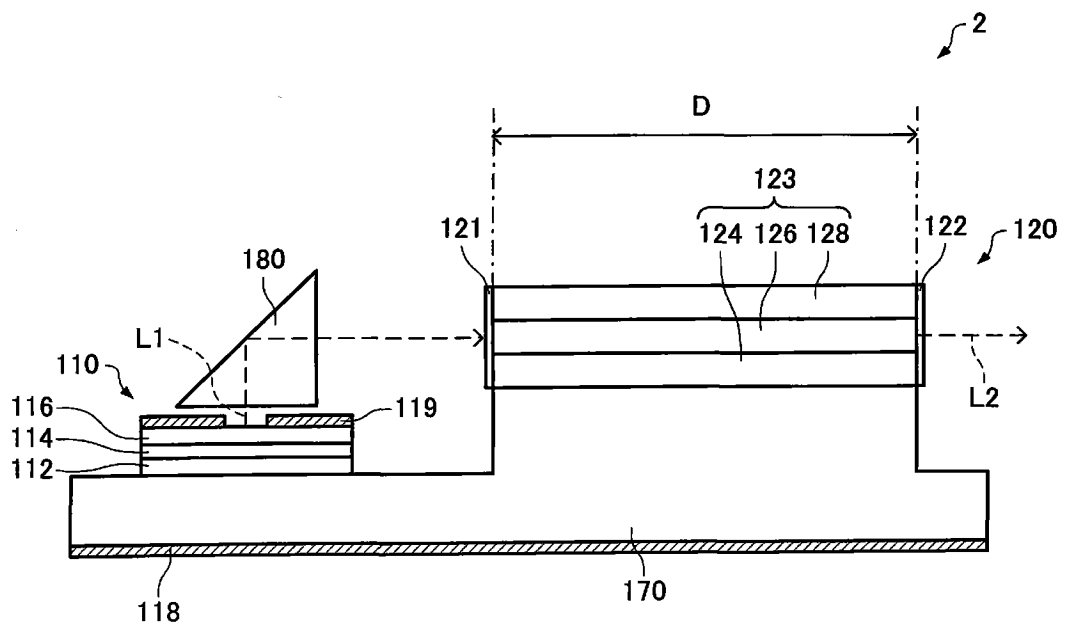


图 5

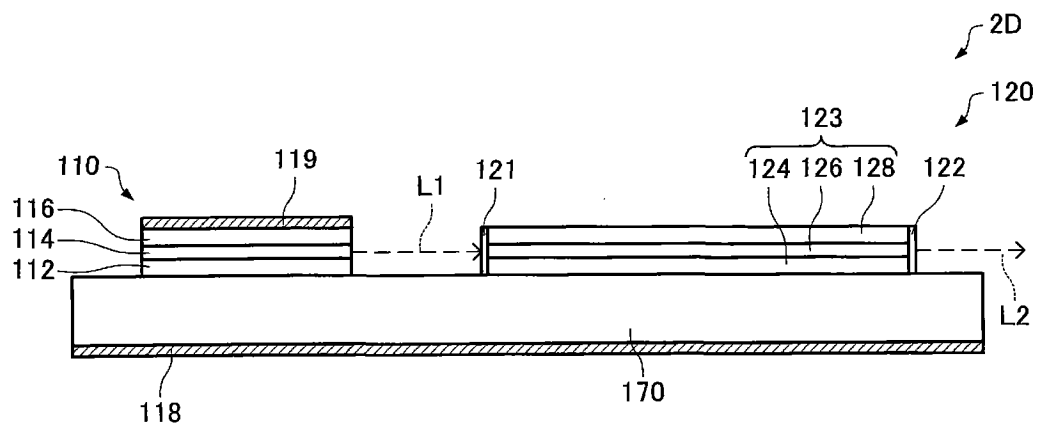


图 6