(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 102684691 A
(43)申请公布日 2012.09.19

(21)申请号 201210032947.1

(22)申请日 2012.02.14

(30)优先权数据
2011-055433 2011.03.14 JP

(71)申请人 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 王轶

(51)Int.Cl.
H03L 7/26(2006.01)

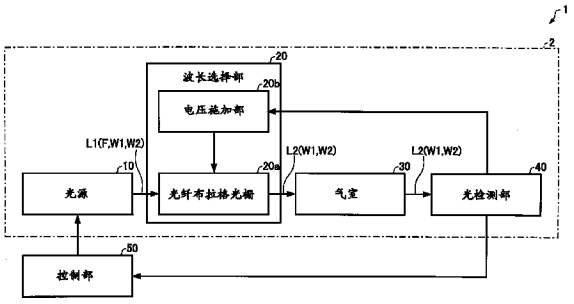
权利要求书 1 页 说明书 7 页 附图 5 页

(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

本发明涉及原子振荡器用光学模块以及原子振荡器。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，且该气室被照射透过所述波长选择部的光；和光检测部，其检测向所述气室照射的光中透过所述气室后的光的强度，其中，所述波长选择部具有光纤布拉格光栅和向所述光纤布拉格光栅施加电压的电压施加部。



CN 102684691 A

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，其被入射来自所述光源的光，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，且该气室被照射透过所述波长选择部后的光；和

光检测部，其检测向所述气室照射的光中透过所述气室后的光的强度，

其中，所述波长选择部具有：

光纤布拉格光栅，和

电压施加部，其向所述光纤布拉格光栅施加电压。

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，

所述电压施加部具有第 1 电极以及第 2 电极，

所述光纤布拉格光栅配置在所述第 1 电极与所述第 2 电极之间。

3. 根据权利要求 1 或 2 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。

4. 根据权利要求 1 ～ 3 的任意一项所述的原子振荡器用光学模块，其特征在于，

还具有使从所述光源射出的光向所述光纤布拉格光栅射入的光学元件。

5. 一种原子振荡器，其特征在于，

包括权利要求 1 ～ 4 的任意一项所述的原子振荡器用光学模块。

6. 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，其被入射来自所述光源的光，并使该射入的光中所述边带透过；

气室，该气室中封入了碱金属气体，且该气室被照射透过所述波长选择部的光；和

光检测部，其检测向所述气室照射的光中透过所述气室的光的强度，

其中，所述波长选择部具有：

光纤布拉格光栅，和

电压施加部，其向所述光纤布拉格光栅施加电压。

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，提出了利用作为量子干涉效应之一的CPT(Coherent Population Trapping，相干布居俘获）的原子振荡器的方案，人们期待着装置的小型化、低耗电化。利用了CPT的原子振荡器是利用当同时向碱金属原子照射波长（频率）相互不同的2个共振光时，2个共振光的吸收停止的现象(EIT现象：Electromagnetically Induced Transparency，电磁感应透明）的振荡器。例如，在专利文献1中记载了作为利用了CPT的原子振荡器构成为包含光学模块的原子振荡器，该光学模块具有发出相干光的光源、封入了碱金属原子的气室和检测透过气室后的光的强度的受光元件。

[0003] 在利用CPT的原子振荡器中，例如使用半导体激光器作为光源。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而使由半导体激光器射出的光产生边带，使EIT现象显现。

[0004] 专利文献1：日本特开2009-89116号公报

[0005] 但是，在从调制过驱动电流的半导体激光器射出的光中不仅含有边带，还含有具有无助于EIT现象的中心波长的基波（载波）。存在当该基波照射到碱金属原子上时，碱金属原子吸收的光的波长（频率）发生变化(AC斯塔克效应)，使原子振荡器的频率的稳定性降低的情况。

发明内容

[0006] 本发明的几个方式的目的之一在于，提供可以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，本发明的几个方式的目的之一在于，提供具有上述原子振荡器用光学模块的原子振荡器。

[0007] 本发明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，其射出包含具有规定的波长的基波、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，且该气室被照射透过所述波长选择部的光；和光检测部，其检测向所述气室照射的光中透过所述气室的光的强度，其中，所述波长选择部具有光纤布拉格光栅和向所述光纤布拉格光栅施加电压的电压施加部。

[0008] 根据这样的原子振荡器用光学模块，波长选择部能够使来自光源的光所包含的基波的强度降低或者使基波消失。由此，能够抑制或者防止无助于EIT现象的基波向碱金属原子照射。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。此外，波长选择部具有向光纤布拉格光栅施加电压用的电压施加部，因此能够通过电光效应使光纤布拉格光栅的波长选择特性（光纤布拉格光栅选择的波长范围）变化。由此，波长选择部能够修正因制造误差、环境变化等造成的光纤布拉格光栅的波长选择特性的偏

差。

[0009] 在本发明的原子振荡器用光学模块中，所述电压施加部具有第 1 电极以及第 2 电极，所述光纤布拉格光栅能够配置于所述第 1 电极与所述第 2 电极之间。

[0010] 根据这样的原子振荡器用光学模块，能够使波长选择部形成简单的构成。

[0011] 在本发明的原子振荡器用光学模块中，所述光源能够是面发射激光器。

[0012] 根据这样的原子振荡器用光学模块，由于面发射激光器与边发射激光器相比，用于使增益产生的电流小，因此能够实现低耗电化。

[0013] 在本发明的原子振荡器用光学模块中，能够还具有使从所述光源射出的光向所述光纤布拉格光栅射入的光学元件。

[0014] 根据这样的原子振荡器用光学模块，能够将光源射出的光高效率地导入光纤布拉格光栅。

[0015] 本发明的原子振荡器包含本发明的原子振荡器用光学模块。

[0016] 这样的原子振荡器包含本发明的原子振荡器用光学模块，因此，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。

[0017] 本发明的原子振荡器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，且该气室被照射透过所述波长选择部的光 ；和光检测部，其检测向所述气室照射的光中透过所述气室的光的强度，其中，所述波长选择部具有光纤布拉格光栅和向所述光纤布拉格光栅施加电压的电压施加部。

[0018] 根据这样的原子振荡器，波长选择部能够使来自光源的光所包含的基波的强度降低或者使基波消失。由此，能够抑制或者防止无助于 EIT 现象的基波向碱金属原子照射。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。此外，波长选择部具有向光纤布拉格光栅施加电压用的电压施加部，因此能够通过电光效应使光纤布拉格光栅的波长选择特性（光纤布拉格光栅选择的波长范围）变化。由此，波长选择部能够修正因制造误差、环境变化等造成的光纤布拉格光栅的波长选择特性的偏差。

附图说明

[0019] 图 1 是本实施方式的原子振荡器的功能框图。

[0020] 图 2(A) 是表示碱金属原子的 Λ 型 3 能级模型与第 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。

[0021] 图 3 是表示从波长选择部射出的第 2 光的频谱的图。

[0022] 图 4 是表示本实施方式的原子振荡器的构成的框图。

[0023] 图 5 是示意地表示本实施方式的光学模块的主要部分的立体图。

[0024] 附图标记的说明

[0025] 1 原子振荡器 ；2 光学模块 ；10 光源 ；20 波长选择部 ；20a 光纤布拉格光栅 ；20b 电压施加部 ；30 气室 ；40 光检测部 ；50 控制部 ；110 半导体激光器 ；120 波长选择装置 ；120a 光纤布拉格光栅 ；120b 电压施加装置 ；121 第 1 电极 ；122 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 光学元件

具体实施方式

[0026] 下面，参照附图对本发明的优选的实施方式进行说明。

[0027] 首先，参照附图对本实施方式的光学模块以及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。原子振荡器 1 是利用了量子干涉效应的振荡器。

[0028] 原子振荡器 1 包含光学模块 2 和控制部 50。

[0029] 光学模块 2 包含光源 10、波长选择部 20、气室 30 和光检测部 40。

[0030] 光源 10 使第 1 光 L1 产生，该第 1 光 L1 包含 ：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。

[0031] 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 ：选择规定的波长范围的光并射出的光纤布拉格光栅（以下，也称为“FBG”）20a 和向 FBG20a 施加电压用的电压施加部 20b。电压施加部 20b 能够通过向 FBG20a 施加电压来使 FBG20a 选择的波长范围（波长选择特性）变化。

[0032] 气室 30 中封入了碱金属气体，并且向气室 30 照射第 2 光 L2。

[0033] 光检测部 40 检测透过气室 30 后的第 2 光 L2 的强度。

[0034] 控制部 50 基于光检测部 40 的检测结果进行控制，以便使第 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 中的碱金属原子的 2 个基态能级的能量差的频率相等。控制部 50 基于光检测部 40 的检测结果，使具有调制频率 f_m 的检测信号产生。然后，光源 10 基于该检测信号调制具有规定的频率 f_0 的基波 F，使具有频率 $f_1 = f_0+f_m$ 的第 1 边带 W1 以及具有频率 $f_2 = f_0-f_m$ 的第 2 边带 W2 产生。

[0035] 图 2(A) 是表示碱金属原子的 Λ 型 3 能级模型与第 1 边带 W1 以及第 2 边带 W2 的关系的图。图 2(B) 是表示在光源 10 产生的第 1 光 L1 的频谱的图。

[0036] 如图 2(B) 所示，在光源 10 产生的第 1 光 L1 包含 ：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 和相对于中心频率 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 $f_2 = f_0-f_m$。

[0037] 如图 2(A) 以及图 2(B) 所示，第 1 边带 W1 的频率 f_1 与第 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 与具有频率 f_2 的第 2 边带 W2 引起 EIT 现象。

[0038] 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可以通过 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，当向碱金属原子分别单独地照射具有相当于基态能级 GL1 与激发能级的能量差的波长（频率 f_1）的第 1 边带 W1、或者具有相当于基态能级 GL2 与激发能级的能量差的波长（频率 f_2）的第 2 边带 W2 时，光吸收产生。但是，如图 2(B) 所示，当向该碱金属原子同时地照射频率差 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 与第 2 边带 W2 时，成为 2 个基态能级的叠加状态，即量子干涉状态，从而产生向激发能级的激发停止并且第 1 边带 W1 与第 2 边带 W2 透过碱金属原子的透明化现象 (EIT 现象）。能够利用该

EIT 现象，通过检测并控制第 1 边带 W1 与第 2 边带 W2 的频率差 $f_1 - f_2$ 偏离相当于基态能级 GL1 与基态能级 GL2 的能量差 ΔE_{12} 的频率时的光吸收动作的急剧变化，而制作高精度的振荡器。

[0039] 但是，当如图 2(B) 所示的第 1 光 L1 直接照射在气室 30 上时，基波 F 会与第 1 边带 W1 和第 2 边带 W2 同时地照射在气室 30、即碱金属原子上。当无助于 EIT 现象的基波 F 照射在碱金属原子上时，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 与第 2 边带 W2 的量会发生变化。在利用 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 与第 2 边带 W2 的量使调制频率 f_m 稳定化，利用该调制频率 f_m 作为发送器的输出，从而提高发送器的频率稳定性。因此，因基波 F 而产生的 AC 斯塔克效应使第 1 边带 W1 与第 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，会使发送器的频率稳定性降低。

[0040] 图 3 是表示从波长选择部 20 射出的第 2 光 L2 的频谱的图。

[0041] 第 2 光 L2 是与第 1 光 L1 相比，基波 F 消失或者基波 F 的强度降低的光。在图 3 的例子中，第 2 光 L2 仅具有相对于中心频率 f_0 在上边带具有频率 f_1 的第 1 边带 W1 以及相对于中心频率 f_0 在下边带具有频率 f_2 的第 2 边带 W2。这样，在光学模块 2 中，通过波长选择部 20 能够使基波 F 的强度降低或者使基波 F 消失。

[0042] 下面，对本实施方式的原子振荡器的更具体的构成进行说明。

[0043] 图 4 是表示原子振荡器 1 的构成的框图。

[0044] 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。

[0045] 光学模块 2 包含半导体激光器 110、波长选择装置 120、气室 130 和光检测器 140。

[0046] 半导体激光器 110 使第 1 光 L1 产生，该第 1 光 L1 包含：具有规定的中心波长的基波 F、和具有相互不同的波长的第 1 边带 W1 以及第 2 边带 W2。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）来进行调制。即，能够通过在由电流驱动电路 150 产生的驱动电流上叠加具有调制信号的频率分量的交流电流，而对半导体激光器 110 射出的第 1 光 L1 进行调制。由此，在第 1 光 L1 中，生成第 1 边带 W1 以及第 2 边带 W2。由于在半导体激光器 110 中产生的光具有相干性，所以为得到量子干涉效应是优选。

[0047] 如图 2(B) 所示，第 1 光 L1 包含：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 和相对于中心频率 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 为 $f_1 = f_0+f_m$，第 2 边带 W2 的频率 f_2 为 $f_2 = f_0-f_m$。

[0048] 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来射出的 FBG120a，和向 FBG120a 施加电压用的电压施加装置 120b。

[0049] FBG120a 能够从第 1 光中选择第 1 边带 W1 以及第 2 边带 W2 来射出。由此，能够使射入到 FBG120a 中的第 1 光 L1 的基波 F 的强度降低或者使基波 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 的强度降低或者基波 F 消失。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。

[0050] 电压施加装置 120b 能够通过电光效应使 FBG120a 选择的波长范围（波长选择特

性）发生变化。这里，电光效应是指物质对光的折射率通过从外部施加静电场而发生变化的现象。具体来说，电压施加装置 120b 通过向 FBG120a 施加电压而使 FBG120a 的折射率发生变化，控制 FBG120a 的波长选择特性。波长选择装置 120 能够通过电压施加装置 120b，修正由制造误差、环境变化（热、光等）等造成的 FBG120a 的波长选择特性的偏差，因此能够从第 1 光 L1 中高精度地选择第 1 边带 W1 以及第 2 边带 W2 来射出。

[0051] 电压施加装置 120b 也可以基于光检测器 140 的输出信号，调整向 FBG120a 施加的电压的强度，控制 FBG120a 的波长选择特性。在光模块 2 中，例如，利用通过 FBG120a、气室 130、光检测器 140、电压施加装置 120b 的反馈环路来调整向 FBG120a 施加的电压的强度，控制 FBG120a 的波长选择特性。

[0052] 另外，电压施加装置 120b 也可以基于预先取得的 FBG120a 的波长选择特性的偏差的数据，调整向 FBG120a 施加的电压的强度，修正 FBG120a 的波长选择特性的偏差。

[0053] 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）而成的部件。向气室 130 照射由波长选择装置 120 射出的第 2 光 L2。

[0054] 当向该气室 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）差的 2 个光波（第 1 边带以及第 2 边带）时，碱金属原子产生 EIT 现象。例如，当碱金属原子为铯原子时，相当于 D1 线处的基态能级 GL1 与基态能级 GL2 的能量差的频率为 9.19263...GHz，因此，当照射频率差为 9.19263...GHz 的 2 个光波时，产生 EIT 现象。

[0055] 光检测器 140 检测透过气室 130 后的第 2 光 L2，输出对应于检测到的光的量的信号强度的信号。光检测器 140 的输出信号输入电流驱动电路 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电压施加装置 120b。光检测器 140 例如是光电二极管。

[0056] 电流驱动电路 150 产生对应于光检测器 140 的输出信号的大小的驱动电流并供给半导体激光器 110，而控制第 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）来使其稳定。

[0057] 调制电路 160 产生具有对应于光检测器 140 的输出信号的调制频率 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，并且供给给半导体激光器 110。半导体激光器 110 射出的激光通过调制信号进行调制，而产生第 1 边带 W1 与第 2 边带 W2。

[0058] 此外，半导体激光器 110、波长选择装置 120、气室 130、光检测器 140 分别与图 1 的光源 10、波长选择部 20、气室 30、光检测部 40 相对应。另外，FBG120a 对应图 1 的 FBG20a，电压施加装置 120b 对应图 1 的电压施加部 20b。另外，电流驱动电路 150、调制电路 160 对应图 1 的控制部 50。

[0059] 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 WI 与第 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没有准确地一致，则碱金属原子不产生 EIT 现象，因此根据第 1 边带 W1 与第 2 边带 W2 的频率，光检测器 140 的检测量极灵敏地发生变化（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 的反馈环路施加反馈控制，以使第 1 边带 W1 与第 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极准确地一致。其结果，调制频率成为极稳定的频率，因此能够将调制信号作为原子振荡器 1 的输出信号（时钟输出）。

[0060] 图 5 是示意地表示光学模块 2 的主要部分（半导体激光器 110 以及波长选择装置 120）的立体图。

[0061] 作为半导体激光器 110，可以使用例如面发射激光器。面发射激光器与边发射激光器相比，用于产生增益的电流小，因此能够实现低耗电化。此外，也可以使用边发射激光器作为半导体激光器 110。从半导体激光器 110 射出的光 L1，如图 5 所示，通过光学元件 170 来聚光，向 FBG120a 射入。光学元件 170 在图示的例子中，是用于对半导体激光器 110 射出的光 L1 进行聚光，并向 FBG120a 射入的透镜。

[0062] FBG120a 是对光纤的纤芯赋予周期性的折射率变化的光学元件。因此，可在光纤的长度方向得到周期性的折射率调制，与周期一致的波长范围的光信号（基波 F）被反射，其他波长范围的光信号（第 1 边带 W1 以及第 2 边带 W2）感知不到该周期性的折射率变动而通过。即，在 FBG120a 中，相对于第 1 边带 W1 以及第 2 边带 W2 的反射率小，相对于基波 F 的反射率大。因此，FBG120a 能够使基波 F 反射，使第 1 边带 W1 以及第 2 边带 W2 透过。FBG120a 由于使用光纤，因此容易变形，能够提高设计的自由度。FBG120a 例如也可以被绕在缠线管（未图示）上。

[0063] 如图 5 所示，FBG120a 被配置在电压施加装置 120b 的第 1 电极 121 与第 2 电极 122 之间。FBG120a 能够从射入的第 1 光 L1 中选择第 1 边带 W1 以及第 2 边带 W2，并使其透过。

[0064] 电压施加装置 120b 具有用于向 FBG120a 施加电压的第 1 电极 121 以及第 2 电极 122。当电压施加装置 120b 向位于电极 121、122 间的 FBG120a 施加电压时，电光效应产生，FBG120a 的折射率发生变化，FBG120a 的波长选择特性（FBG 选择的波长范围）发生变化。

[0065] 光学模块 2 以及原子振荡器 1 例如具有以下的特征。

[0066] 根据光学模块 2，波长选择装置 120 能够使第 1 光 L1 的基波 F 的强度降低或者使基波 F 消失。由此，能够抑制或者防止无助于 EIT 现象的基波 F 向碱金属原子照射。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。

[0067] 根据光学模块 2，波长选择装置 120 具有使 FBG120a 选择的波长范围变化的电压施加装置 120b，因此能够修正因制造误差、环境变化（热，光等）造成的 FBG120a 的波长选择特性（FBG 选择的波长范围）的偏差。因此，波长选择装置 120 能够从第 1 光 L1 中高精度地选择第 1 边带 W1 以及第 2 边带 W2 来射出。

[0068] FBG120a 的波长选择特性取决于被赋予光纤的纤芯的周期性的折射率变化。在 FBG120a 的制造工序中，难以对光纤的纤芯高精度地赋予周期性的折射率变化，在 FBG120a 中存在产生制造误差的情况。即使在这样的情况下，由于波长选择装置 120 具有电压施加装置 120b，因此也能够修正起因于该制造误差的波长选择特性的偏差。

[0069] 在光学模块 2 中，电压施加装置 120b 能够利用电光效应使 FBG120a 的波长选择特性变化。由此，能够高精度且容易地控制 FBG 的波长选择特性。此外，电压施加装置 120b 构成为包括用于向 FBG120a 施加电压的第 1 电极 121 以及第 2 电极 122。因此，能够将波长选择装置 120 形成简单的构成。

[0070] 在光学模块 2 中，半导体激光器 110 可以是面发射激光器。由于面发射激光器与边发射激光器相比，用于产生增益的电流小，所以能够实现低耗电化。

[0071] 在光学模块 2 中，具有使从半导体激光器 110 射出的光 L1 向 FBG120a 射入用的光学元件 170。由此，能够将在半导体激光器 110 中产生的光 L1 高效率地导向 FBG120a。

[0072] 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。

[0073] 上述对本发明的实施方式进行了详细的说明，本领域的技术人员应容易地理解在本质上不脱离本发明的发明点以及效果可以进行多种变形。因此，这样的变形例均包含在本发明的范围内。

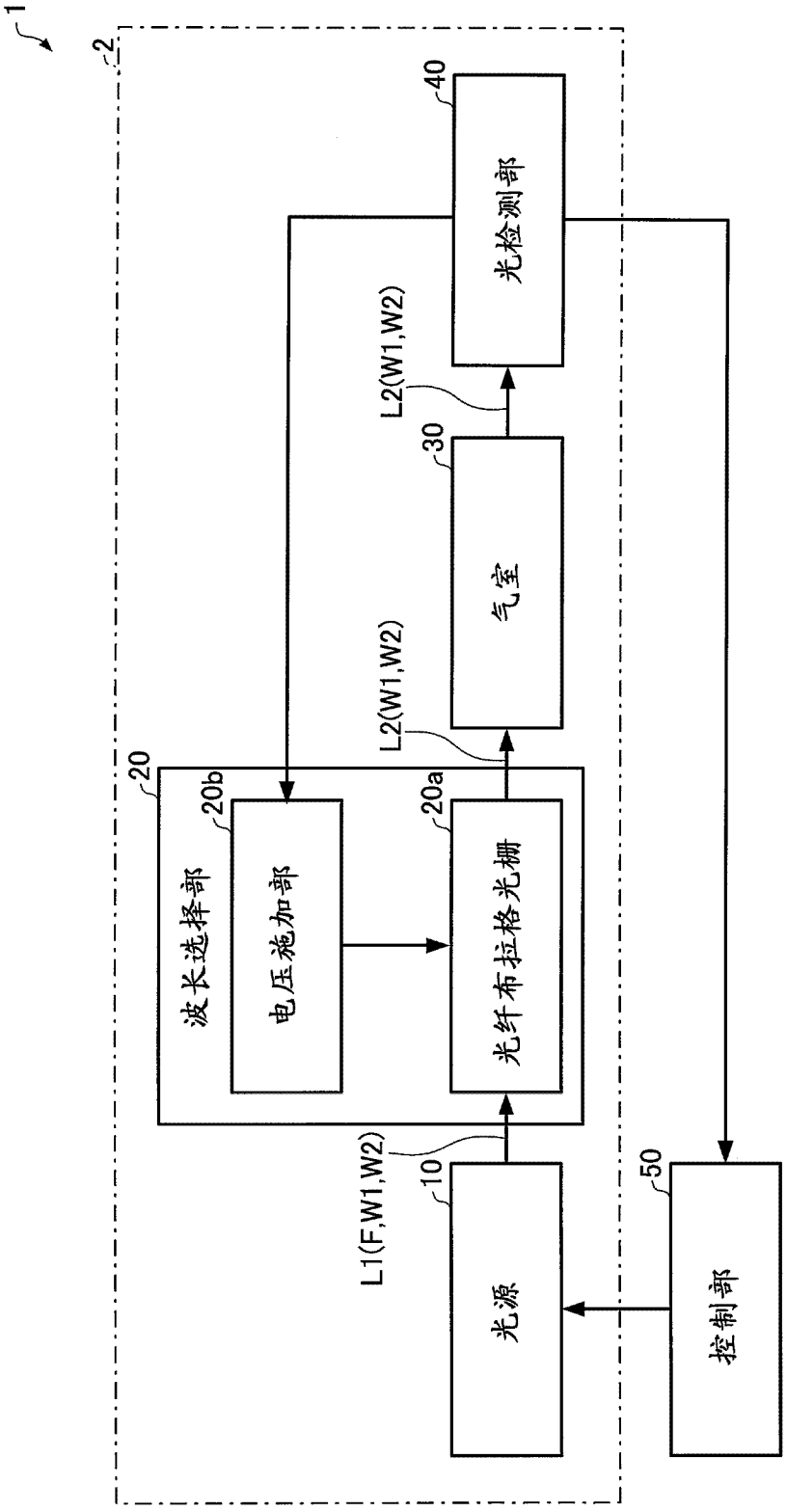

1
2
40
光检测部
L2(W1,W2)
30
气室
L2(W1,W2)
20
20b
波长选择部
电压施加部
20a
光纤布拉格光栅
L1(F,W1,W2)
10
光源
50
控制部

图 1

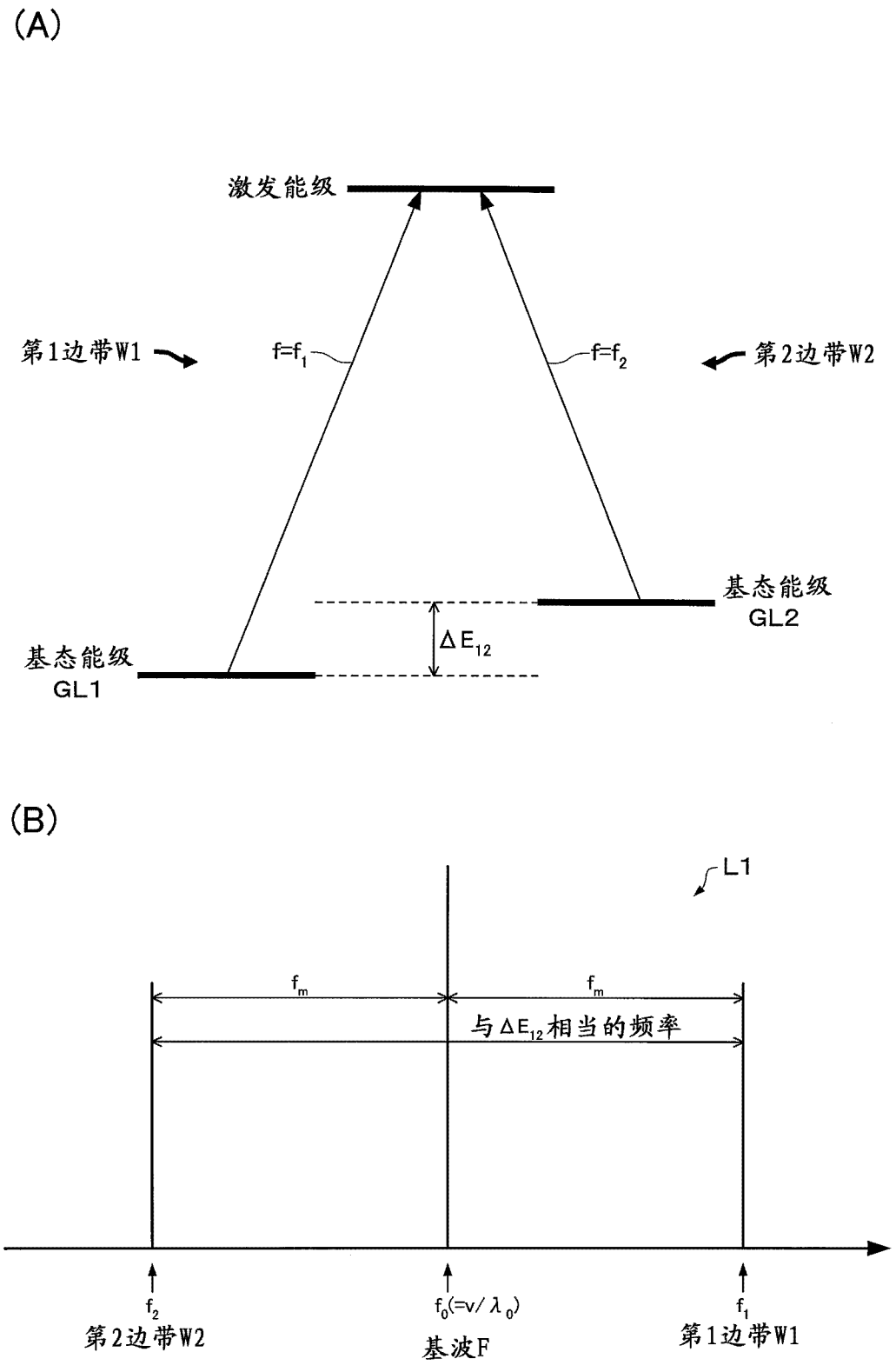

(A)
激发能级
第1边带W1
f=f1
f=f2
第2边带W2
基态能级
GL2
ΔE12
基态能级
GL1
(B)
L1
fm
fm
与ΔE12相当的频率
f2
第2边带W2
f0(=v/λ0)
基波F
f1
第1边带W1

图 2

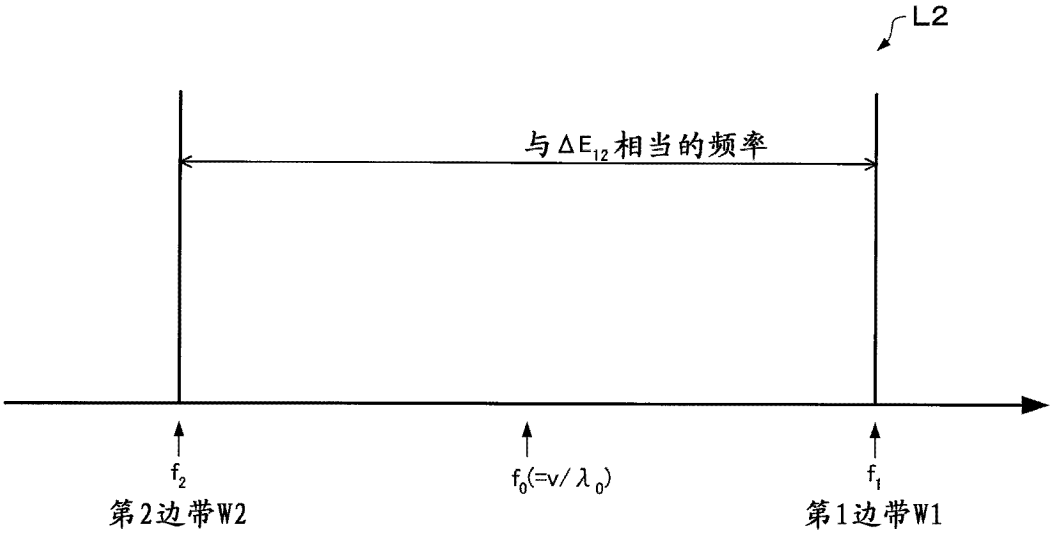


图 3

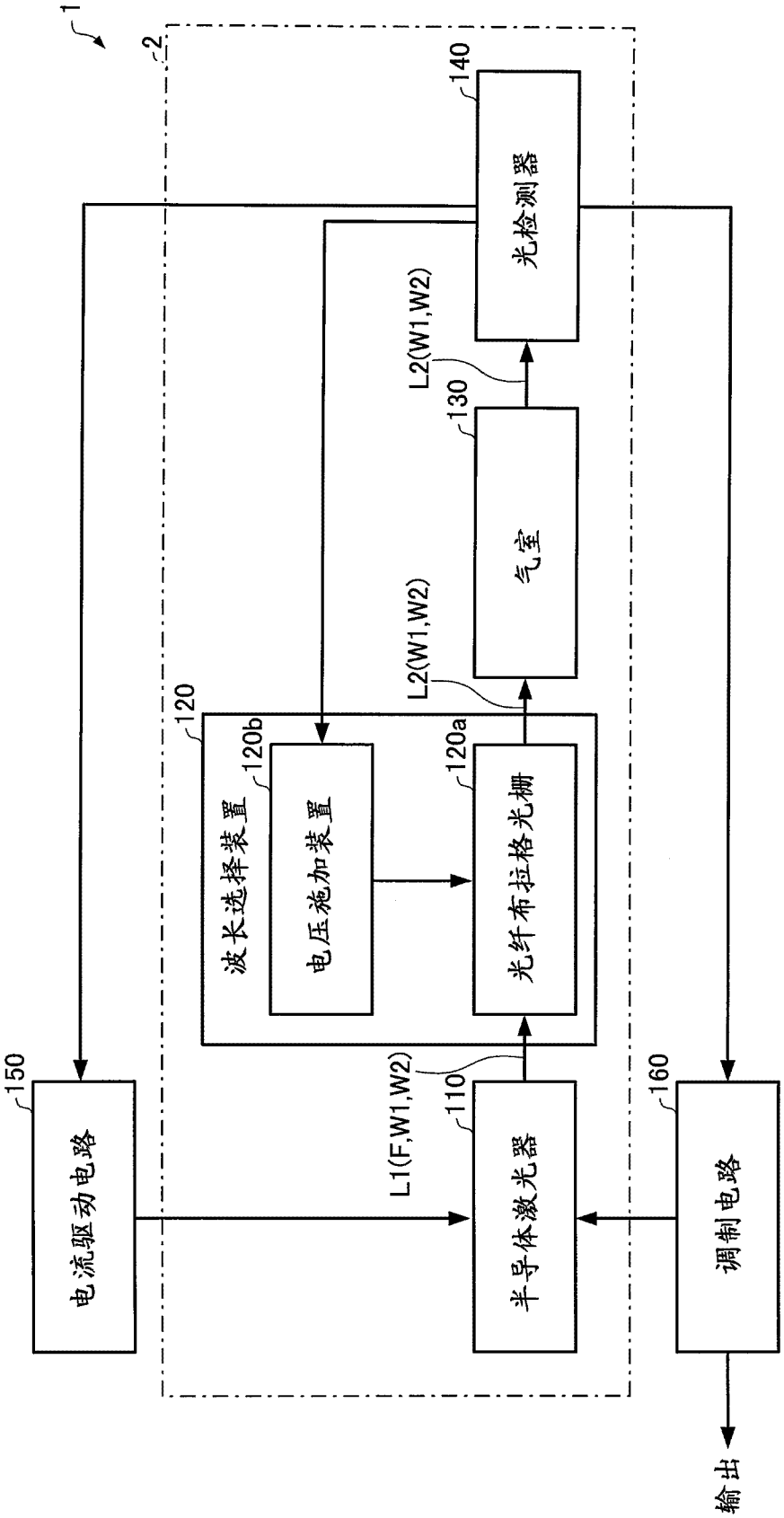

1
2
140
光检测器
L2(W1,W2)
130
气室
L2(W1,W2)
120
波长选择装置
120b
电压施加装置
120a
光纤布拉格光栅
150
电流驱动电路
L1(F,W1,W2)
110
半导体激光器
160
调制电路
输出

图 4

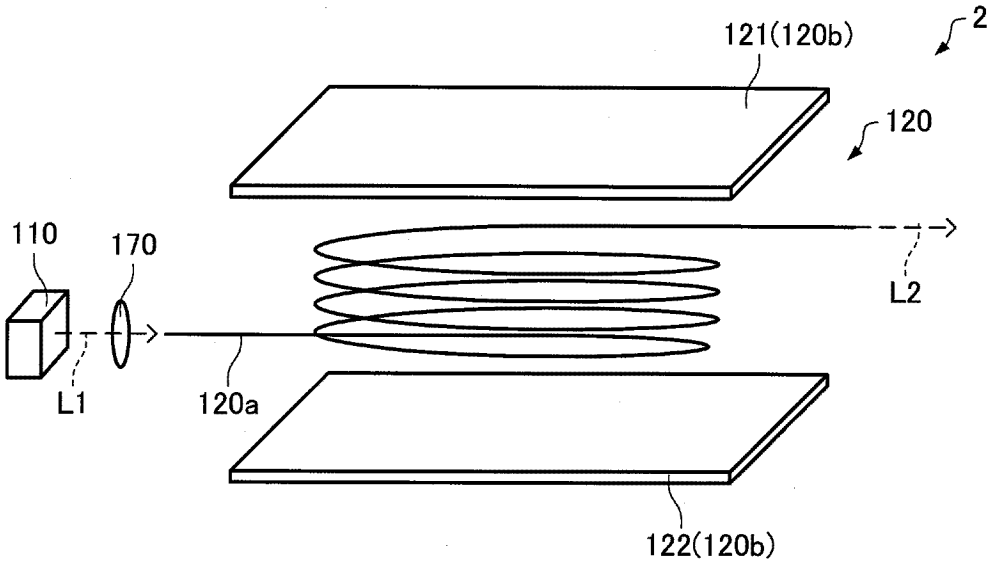


图 5