



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 102684690 B

(45)授权公告日 2017.06.30

(21)申请号 201210018311.1

(51)Int.Cl.

(22)申请日 2012.01.19

H03L 7/26(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 102684690 A

审查员 叶璇

(43)申请公布日 2012.09.19

(30)优先权数据
2011-055434 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 11227

代理人 李伟 王轶

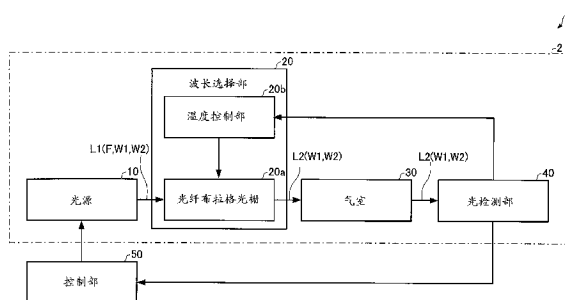
权利要求书2页 说明书7页 附图5页

(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

本发明涉及一种原子振荡器用光学模块以及原子振荡器,其特征在于,是利用量子干涉效应的原子振荡器用光学模块,包括:射出包含具有规定波长的基波以及该基波的边带的光的光源;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的波长选择部;封入了碱金属气体并被透过上述波长选择部的光照射的气室;以及对向上述气室照射的光中的透过上述气室后的光的强度进行检测的光检测部,上述波长选择部具有:光纤布拉格光栅;以及控制上述光纤布拉格光栅的温度的温度控制部。



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以及该基波的边带的光;
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;以及
光检测部,其对向所述气室照射的光中透过所述气室后的光的强度进行检测,
所述波长选择部具有:
光纤布拉格光栅;以及
温度控制部,其控制所述光纤布拉格光栅的温度,
所述光纤布拉格光栅被缠绕在绕线管,
被缠绕在所述绕线管的所述光纤布拉格光栅通过所述温度控制部被加热,
所述温度控制部利用热光效应使透过所述光纤布拉格光栅的光的波长范围变化,
针对所述光源的控制信号被从所述原子振荡器用光学模块的外部输入,所述控制信号
是基于所述光检测部的检测结果的信号,所述光检测部的输出信号是所述原子振荡器用光
学模块的输出信号。

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,
所述温度控制部具有呈现规定电阻值的电阻;
通过控制流过所述电阻的电流来控制所述光纤布拉格光栅的温度。

3. 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,
所述光源是面发射激光器。

4. 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,
所述光源是面发射激光器。

5. 根据权利要求1至4中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射入所述光纤布拉格光栅的光学元件。

6. 一种原子振荡器,其特征在于,
包含权利要求1至5中任意一项所述的原子振荡器用光学模块。

7. 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,
该原子振荡器包括:
光源,其射出包含具有规定波长的基波以及该基波的边带的光;
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,其对向所述气室照射的光中透过所述气室后的光的强度进行检测;以及
调制电路,其以来自所述光检测部的信号为基础,向所述光源输出调制信号,
所述波长选择部具有:
光纤布拉格光栅;以及
温度控制部,其控制所述光纤布拉格光栅的温度,
所述光纤布拉格光栅被缠绕在绕线管,

被缠绕在所述绕线管的所述光纤布拉格光栅通过所述温度控制部被加热，
所述温度控制部利用热光效应使透过所述光纤布拉格光栅的光的波长范围变化，
将所述调制信号作为所述原子振荡器的输出。

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,提出利用了作为量子干涉效应之一的CPT (Coherent Population Trapping,相干布居陷俘)的原子振荡器的方案,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,如果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的现象(EIT现象:Electromagnetically Induced Transparency,电磁感应透明)。例如,在专利文献1中记载有以下构成的原子振荡器,即,作为利用了CPT的原子振荡器构成为包括光学模块,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] 在利用了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,使从半导体激光器射出的光产生边带,从而使EIT现象显现。

[0004] 专利文献1:日本特开2009-89116号公报

[0005] 但是,在从被调制过驱动电流的半导体激光器射出的光中,不仅包含边带,还包含具有无助于EIT现象的中心波长的基波(载波)。如果向碱金属原子照射该基波,则碱金属原子吸收的光的波长(频率)发生变化(AC Stark Effect,交流斯塔克效应),有时会使原子振荡器的频率的稳定性降低。

发明内容

[0006] 本发明的几种方式的目的之一在于,提供一种可以获得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,本发明的几种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] 本发明所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,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以及该基波的边带的光;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;以及检测部,其对向上述气室照射的光中透过上述气室的光后的强度进行检测,上述波长选择部具有:光纤布拉格光栅、以及控制上述光纤布拉格光栅的温度的温度控制部。

[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中所包含的基波的强度或者使基波消失。由此,能够抑制或者防止向碱金属原子照射无助于EIT现象的基波。因此,能够抑制由AC斯塔克效应引起的频率变动,从而能够提供频率稳定性高的振荡器。此外,波长选择部由于具有用于控制光纤布拉格光栅的温度的温度控制部,因此能够利用热光效应使光纤光栅的波长选择特性(光纤光栅选择的波长范围)发生变化。由此,波

长选择部能够修正由制造误差、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] 在本发明所涉及的原子振荡器用的光学模块中,上述温度控制部具有呈现规定电阻值的电阻,能够通过控制流过上述电阻的电流来控制上述光纤布拉格光栅的温度。

[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为简单的结构。

[0011] 在本发明所涉及的原子振荡器用光学模块中,上述光源可以是面发射激光器。

[0012] 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,由于用于使增益产生的电流较少,因此能够实现低耗电化。

[0013] 在本发明所涉及的原子振荡器用光学模块中,可以具有使从上述光源射出的光射入上述光纤布拉格光栅的光学元件。

[0014] 根据这样的原子振荡器用光学模块,能够高效地将光源射出的光导入光纤布拉格光栅。

[0015] 本发明所涉及的原子振荡器,包括本发明所涉及的原子振荡器用光学模块。

[0016] 这样的原子振荡器,由于包括本发明所涉及的原子振荡器用光学模块,所以能够抑制由AC斯塔克效应引起的频率变动,能够提高频率稳定性。

[0017] 本发明所涉及的原子振荡器,是利用量子干涉效应的原子振荡器,该原子振荡器包括:光源,其射出包含具有规定波长的基波以及该基波的边带的光;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;以及检测部,其对向上述气室照射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:光纤布拉格光栅、以及控制上述光纤布拉格光栅的温度的温度控制部。

[0018] 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中所包含的基波强度或者使基波消失。由此,能够抑制或者防止向碱金属原子照射无助于EIT现象的基波。因此,能够抑制由AC斯塔克效应引起的频率变动,从而能够提供频率稳定性高的振荡器。此外,波长选择部由于具有用于控制光纤布拉格光栅的温度的温度控制部,因此能够利用热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)发生变化。由此,波长选择部能够修正由制造误差、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是本实施方式所涉及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)是表示在光源产生的第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是表示本实施方式所涉及的原子振荡器的构成的框图。

[0023] 图5是示意性地表示本实施方式所涉及的光学模块的主要部分的立体图。

[0024] 附图标记说明

[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...温度控制部;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...温度控制装置;122...发热元件;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] 以下,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所涉及的光学模块以及原子振荡器进行说明。本实施方式所涉及的原子振荡器包括本实施方式所涉及的光学模块。图1是本实施方式所涉及的原子振荡器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。

[0028] 原子振荡器1包括光学模块2和控制部50。

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

[0030] 光源10产生第1光L1,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将其射出的光纤布拉格光栅(以下也称作“FBG”)20a、和用于控制FBG20a的温度的温度控制部20b。温度控制部20b通过控制FBG20a的温度,能够改变FBG20a选择的波长范围(波长选择特性)。

[0032] 气室30中封入有碱金属气体,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,以使得第1边带以及第2边带的波长(频率)差与相当于装入气室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基于光检测部40的检测结果,产生具有调制频率 f_m 的检测信号。进而,光源10基于该检测信号对具有规定的频率 f_0 的基波F进行调制,从而产生具有频率 $f_1=f_0+f_m$ 的第1边带W1、以及具有频率 $f_2=f_0-f_m$ 的第2边带W2。

[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 为 $f_1=f_0+f_m$,第2边带W2的频率 f_2 为 $f_2=f_0-f_m$ 。

[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,碱金属原子由具有频率 f_1 的第1边带W1和具有频率 f_2 的第2边带W2引发EIT现象。

[0038] 这里,对EIT现象进行说明。已知碱金属原子与光的相互作用能够用 Λ 型3能级系模型来说明。如图2(A)所示,碱金属原子具有2个基态能级,如果将具有与基态能级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、或者具有与基态能级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,分别单独地向碱金属原子照射,则发生光吸收。然而,如图2(B)所示,如果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及第2边带W2,则变成2个基态能级

的重叠状态、即量子干涉状态,从而发生对激发能级的激发停止并且第1边带W1与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,通过对第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进行检测并控制,能够制造高精度的振荡器。

[0039] 但是,如果将如图2(B)所示的第1光L1直接向气室30照射,则基波F与第1边带W1与第2边带W2同时地向气室30、即碱金属原子照射。如果向碱金属原子照射无助于EIT现象的基波F,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与第2边带W2的量发生了变化。在利用了EIT现象的振荡器中,通过对透过碱金属原子的第1边带W1与第2边带W2的量进行检测而使调制频率 f_m 稳定化,并将该调制频率 f_m 作为发送器的输出进行利用,由此提高发送器的频率稳定性。因此,由基波F引起的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、并使调制频率 f_m 的稳定性降低。即,使发送器的频率稳定性降低。

[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的强度减少了的光。在图3的例子中,第2光L2只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,利用波长选择部20,能够减少基波F的强度或者使基波F消失。

[0042] 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。

[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包括半导体激光器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产生第1光L1,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,利用电流驱动电路150输出的驱动电流控制其中心频率 f_0 (中心波长 λ_0),并利用调制电路160的输出信号(调制信号)进行调制。即,能够通过由电流驱动电路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产生的光具有相干性,所以为了得到量子干涉效应而为优选。

[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并射出的FBG120a、和用于控制FBG120a的温度的温度控制装置120b。

[0049] FBG120a能够从第1光中选择第1边带W1以及第2边带W2并将其射出。由此,能够使向FBG120a射入的第1光L1的基波F的强度减少或者使基波F消失后,将其作为第2光L2射出。即,第2光L2与第1光L1相比,基波F的强度减少或者基波F消失。在图3的例子中,第2光L2具有第1边带W1以及第2边带W2。

[0050] 温度控制装置120b能够利用热光效应来使FBG120a选择的波长范围(波长选择特性)发生变化。这里,所谓热光效应是指物体对光的折射率因由外部进行加热而发生变化的现象。具体而言,温度控制装置120b通过控制FBG120a的温度而使FBG120a的折射率发生变化、进而控制FBG120a的波长选择特性。由于波长选择装置120,能够利用温度控制装置120b修正由制造误差、环境变化(热、光等)等造成的偏差,所以能够从第1光L1中精确地选择第1边带W1以及第2边带W2并将其射出。

[0051] 温度控制装置120b可以基于光检测器140的输出信号,调整FBG120a的温度,并控制FBG120a的波长选择特性。在光学模块2中,例如,利用通过FBG120a、气室130、光检测器140、温度控制装置120b的反馈回路来调整FBG120a的温度,并控制FBG120a的波长选择特性。

[0052] 另外,温度控制装置120b可以基于预先取得的FBG120a的波长选择特性的偏差的数据来调整FBG120a的温度,进而修正FBG120a的波长选择特性的偏差。

[0053] 气室130为在容器中封入了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照射从波长选择装置120射出的第2光L2。

[0054] 如果对该气室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,那么与在D1线上的基态能级GL1和基态能级GL2的能量差相当的频率为9.19263...GHz,因此若照射频率差为9.19263...GHz的2个光波就会发生EIT现象。

[0055] 光检测器140检测透过气室130后的第2光L2,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的输出信号输入至电流驱动电路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至温度控制装置120b。光检测器140例如是光电二极管。

[0056] 电流驱动电路150产生与光检测器140的输出信号对应的大小的驱动电流后向半导体激光器110供给,从而控制第1光L1的中心频率 f_0 (中心波长 λ_0)。第1光的中心频率 f_0 (中心波长 λ_0)由通过半导体激光器110、波长选择装置120、气室130、光检测器140、电流驱动电路150的反馈回路进行微调而稳定。

[0057] 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。该调制信号被微调调制频率 f_m 以使得光检测器140的输出信号变为最大,并且被供给至半导体激光器110。半导体激光器110射出的激光利用调制信号被调制,从而产生第1边带W1与第2边带W2。

[0058] 其中,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对应。另外,FBG120a与图1的FBG20a对应、温度控制装置120b与图1的温度控制部20b对应。并且,电流驱动电路150、调制电路160与图1的控制部50对应。

[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W1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,碱金属原子就不会发生EIT现象,所以根据第1边带W1和第二边带W2的频率,光检测器140的检测量极其灵敏地发生变化(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的反馈回路进行

反馈控制,以使得第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极其准确地一致。其结果,由于调制频率变成极其稳定的频率,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)。

[0060] 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)的立体图。

[0061] 作为半导体激光器110,例如可以使用面发射激光器。面发射激光器与边发射激光器相比,由于用于产生增益的电流较少,所以能够实现低耗电化。此外,作为半导体激光器110,也可以使用边发射激光器。如图5所示,从半导体激光器110射出的光L1,通过光学元件170聚光后,向FBG120a射入。在图示的例子中,光学元件170是用于对从半导体激光器110射出的光L1进行聚光并使其射入FBG120a的透镜。

[0062] FBG120a是对光纤的芯赋予了周期性的折射率变化的光纤。因此,在光纤的长度方向能够得到周期性的折射率调制,从而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)未感知到该周期性的折射率变动而通过。即,在FBG120a中,相对第1边带W1以及第2边带W2的反射率小、相对基波F的反射率大。因此,FBG120a能够使基波F反射,并使第1边带W1以及第2边带W2透过。由于FBG120a使用了光纤,所以变形容易,能够提高设计的灵活性。FBG120a例如可以缠绕在绕线管(未图示)上。

[0063] 如图5所示,FBG120a配置在温度控制装置120b的发热元件122的上方。另外,FBG120a与温度控制装置120b的发热元件122之间的位置关系没有特别限定,分别配置成使由发热元件122产生的热量传递至FBG120a的位置即可。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] 温度控制装置120b具有用于向FBG120a供热的发热元件122。若FBG120a的温度因温度控制装置120b供给的热而发生变化,则产生热光效应FBG120a的折射率发生变化,进而FBG120a的波长选择特性(FBG选择的波长范围)发生变化。发热元件122例如是具有规定电阻值,并通过电流流动而发热的电阻。温度控制装置120b能够通过控制流过该发热元件(电阻)122的电流量来调整发热元件122的温度,进而控制FBG120a的温度。另外,温度控制装置120b只要能够控制FBG120a的温度就无特别限定,可以使用公知的电热板等。

[0065] 光学模块2以及原子振荡器1例如具有以下特征。

[0066] 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,能够抑制或防止向碱金属原子照射无助于EIT现象的基波F。因此,能够抑制由AC斯塔克效应引起的频率变动,从而能够提供频率稳定性高的振荡器。

[0067] 根据光学模块2,由于波长选择装置120具有使FBG120a选择的波长范围发生变化的温度控制装置120b,所以能够修正由制造误差、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中精确地选择第1边带W1以及第2边带W2并将其射出。

[0068] FBG120a的波长选择特性取决于对光纤的芯赋予的周期性的折射率变化。在FBG120a的制造过程中,难以对光纤的芯精确地赋予周期性的折射率变化,存在对FBG120a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具有温度控制装置120b,所以能够修正归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,温度控制装置120b能够利用热光效应使FBG120a的波长选择特性

发生变化。由此,能够容易地控制FBG120a的波长选择特性。此外,温度控制装置120b构成为包含发热元件(电阻)。因此,能够使波长选择装置120形成为简单的结构。

[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少,所以能够实现低耗电化。

[0071] 在光学模块2中,具有用于使从半导体激光器110射出的光L1向FBG120a射入的光学元件170。由此,能够高效率地将在半导体激光器110产生的光L1导入FBG120a。

[0072] 在原子振荡器1中,具有光学模块2。因此,如上所述,能够提高频率的稳定性。

[0073] 如上所述,虽然对本发明的实施方式详细地进行了说明,但是技术人员能够容易地理解、能够做出实质上并未偏离本发明的发明点以及效果的多种变形。因此,这样的变形例全部包含在本发明的范围内。

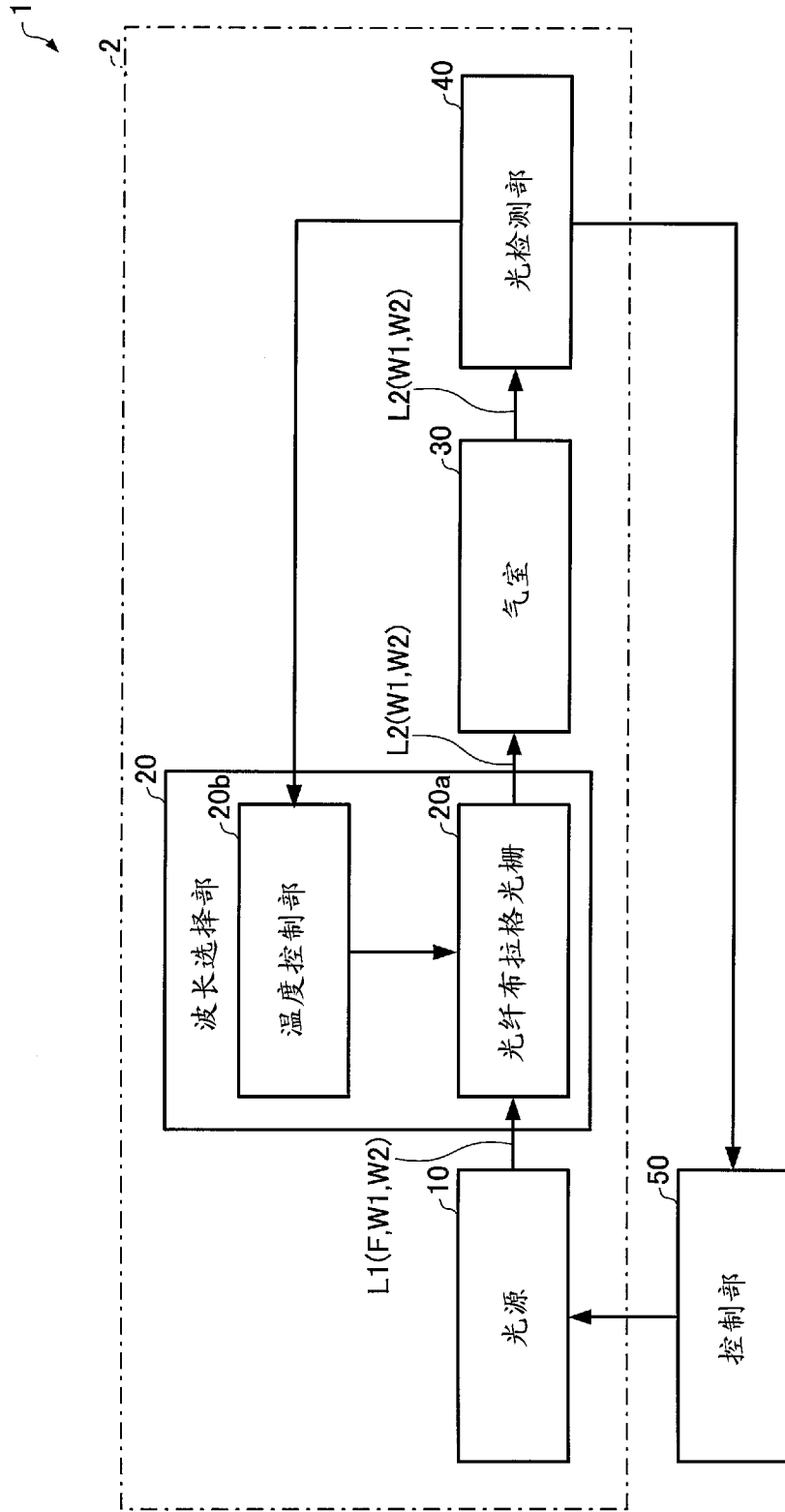
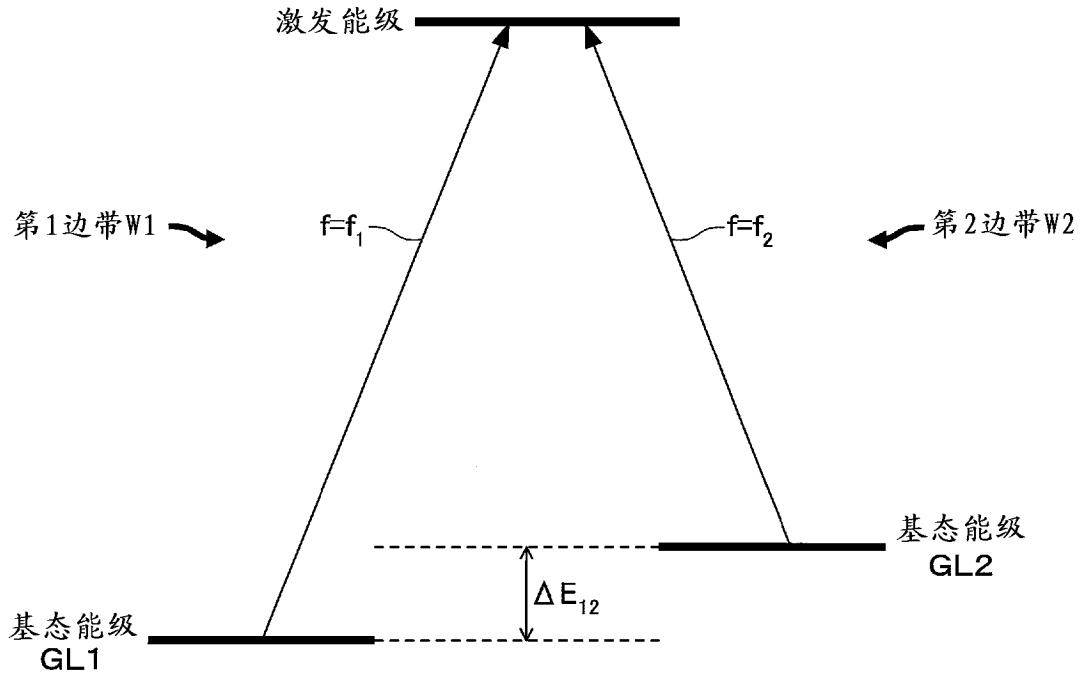


图1

(A)



(B)

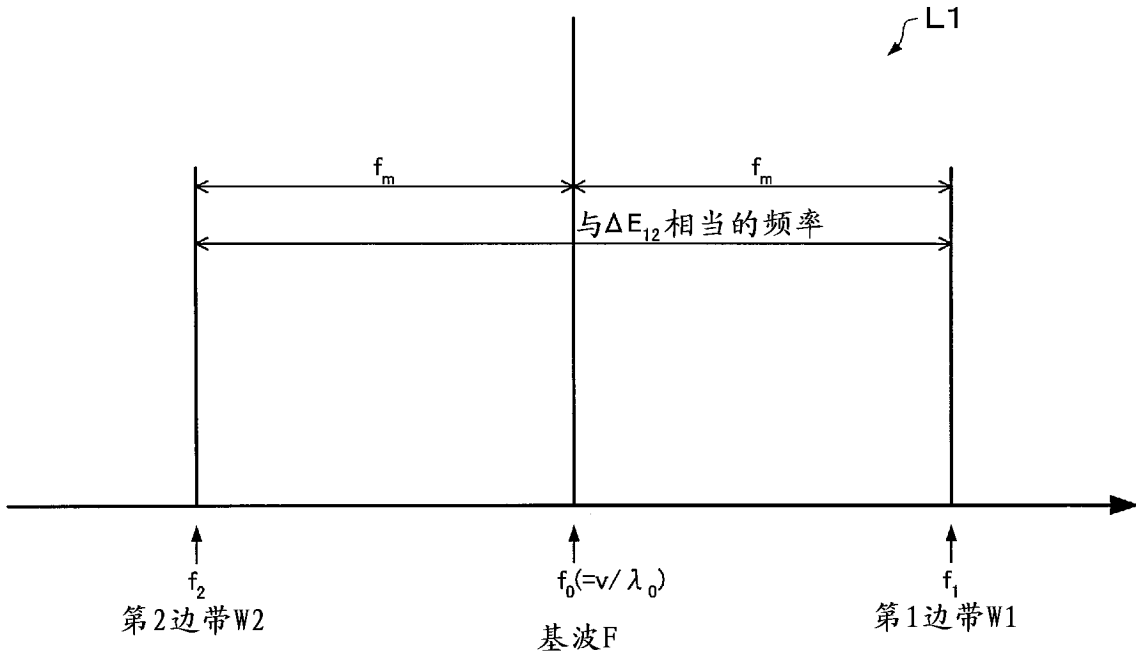


图2

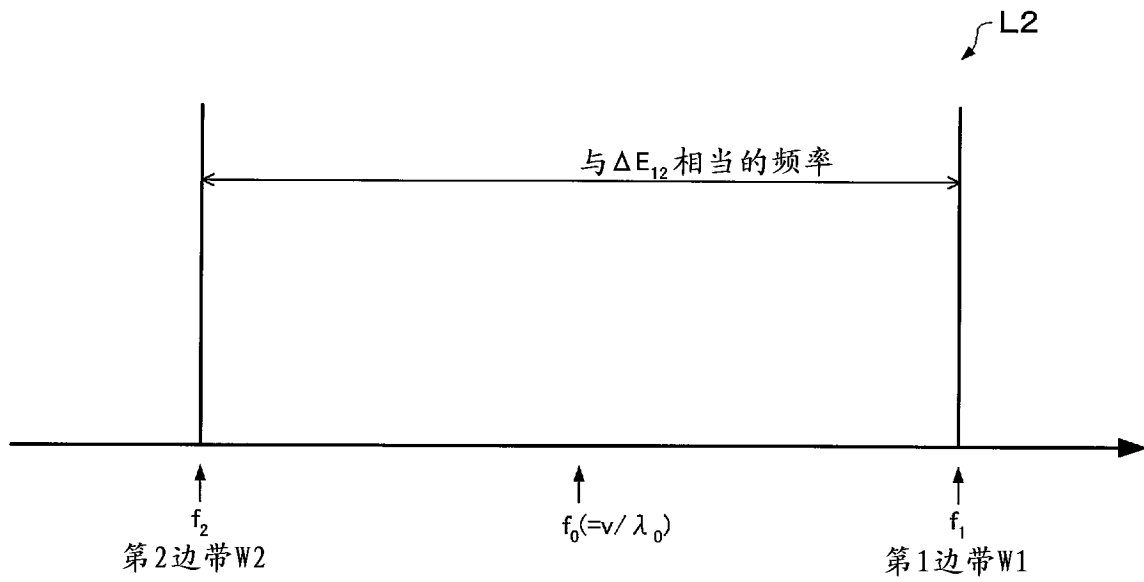


图3

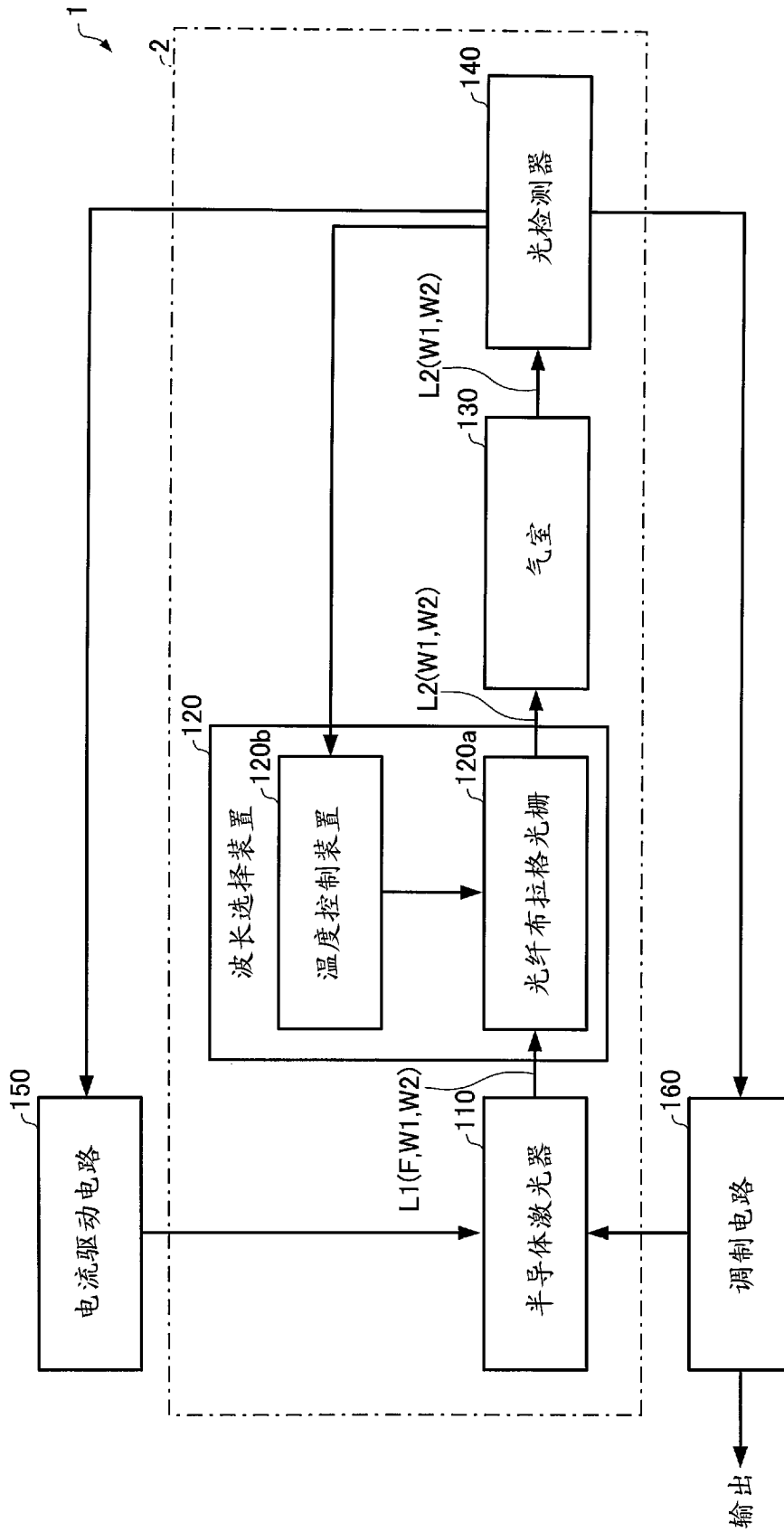


图4

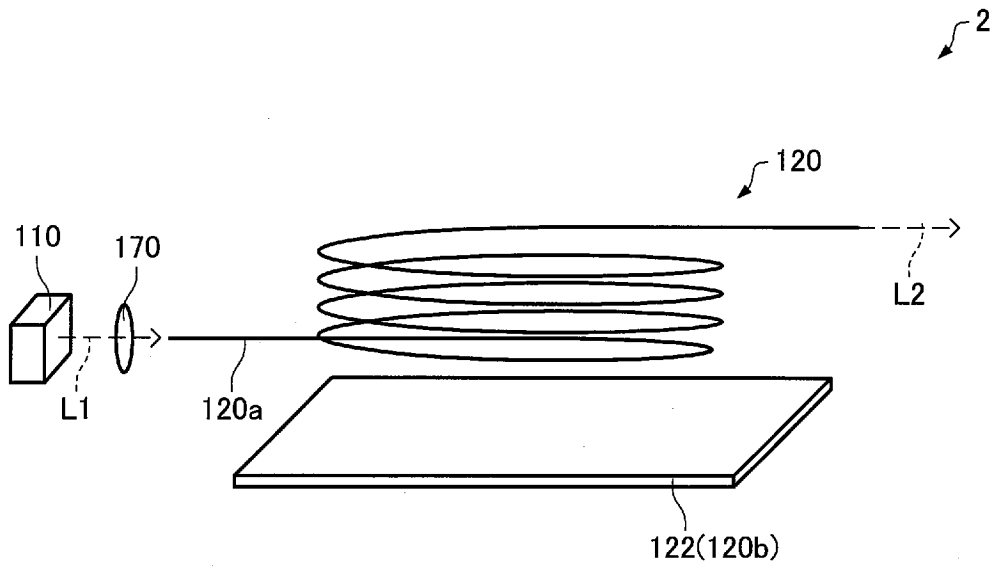


图5