



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113330320 B

(45) 授权公告日 2024. 08. 13

(21) 申请号 202080010077.0

(22) 申请日 2020.01.21

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 113330320 A

(43) 申请公布日 2021.08.31

(30) 优先权数据
2019-008252 2019.01.22 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2021.07.20

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2020/001833 2020.01.21

(87) PCT国际申请的公布数据
W02020/153322 JA 2020.07.30

(73) 专利权人 横河电机株式会社
地址 日本东京
专利权人 学校法人法政大学

(72) 发明人 松本宪典 品川满 胜山纯

(74) 专利代理机构 北京天昊联合知识产权代理有限公司 11112
专利代理师 何立波 张天舒

(51) Int.Cl.
G01R 29/08 (2006.01)
G01R 29/12 (2006.01)

(56) 对比文件
JP H0230046 A, 1990.01.31
JP H0534378 A, 1993.02.09
JP H06230052 A, 1994.08.19
JP S59147273 A, 1984.08.23
JP 2005164555 A, 2005.06.23
JP 2006058025 A, 2006.03.02

审查员 曲颖桐

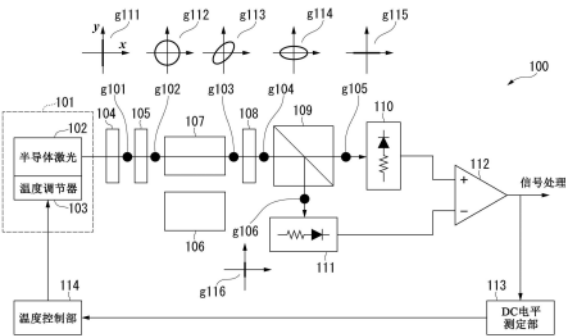
权利要求书3页 说明书13页 附图9页

(54) 发明名称

电场传感器

(57) 摘要

电场传感器具有:光源;电光晶体,其被入射基于由光源射出的光的规定的偏振状态的光,接收由目标对象物发出的电场;第1分离部,其将从电光晶体射出的光分离为P波和S波;第1波长板,其在第1分离部的前段使光的相位变化;第1受光部,其接收P波的光,将接收到的光变换为第1电信号;第2受光部,其接收S波的光,将接收到的光变换为第2电信号;差动放大部,其生成由第1受光部变换后的第1电信号、与由第2受光部变换后的第2电信号的差动信号;以及控制部,其以使得从光源射出光且对电光晶体施加有电场的状态下的差动放大部的直流分量的输出值处于规定值的范围的方式,对光源的波长进行调整。



1. 一种电场传感器,其利用电光学效应测定由目标对象物发出的电场,其中,所述电场传感器具有:

光源;

电光晶体,其被入射基于由所述光源射出的光的规定的偏振状态的光,被施加由所述目标对象物发出的电场;

第1分离部,其将从所述电光晶体射出的光分离为P波和S波;

第1波长板,其在所述第1分离部的前段使光的相位变化;

第1受光部,其接收所述P波的光,将接收到的光变换为第1电信号;

第2受光部,其接收所述S波的光,将接收到的光变换为第2电信号;

差动放大部,其生成由所述第1受光部变换后的所述第1电信号、与由所述第2受光部变换后的所述第2电信号的差动信号;以及

控制部,其以使得从所述光源射出光、且所述电光晶体被施加电场的状态下、从所述差动放大部输出的直流分量的输出值落入包含0V在内的规定值的范围的方式,对所述光源的温度进行调整,由此对所述光源的波长进行调整。

2. 根据权利要求1所述的电场传感器,其中,

还具有透明电极以及反射镜,

所述电光晶体在一个面相对配置有所述透明电极,在另一个面配置有所述反射镜,

基于由所述光源射出的光的规定的偏振状态的光从所述透明电极入射,通过所述反射镜对从所述透明电极入射的光进行反射,反射后的光从所述透明电极射出,从所述透明电极射出的光入射至所述分离部。

3. 根据权利要求1所述的电场传感器,其中,

还具有透明电极以及反射镜,

所述电光晶体在一个面相对配置有所述透明电极,在另一个面配置有所述反射镜,

基于由所述光源射出的光的规定的偏振状态的光从所述透明电极入射,通过所述反射镜对从所述透明电极入射的光进行反射,反射后的光从所述透明电极射出,从所述透明电极射出的光入射至所述分离部。

4. 根据权利要求1所述的电场传感器,其中,

还具有:

第1增益可变部,其对所述第1受光部的所述第1电信号的第1增益进行变更;以及

第2增益可变部,其对所述第2受光部的所述第2电信号的第2增益进行变更,

所述控制部以使得从所述光源射出光且没有对所述电光晶体施加电场的状态下的所述差动放大部的直流分量的输出值处于规定值的范围的方式,对所述第1增益可变部的所述第1增益及所述第2增益可变部的所述第2增益进行调整。

5. 根据权利要求1所述的电场传感器,其中,

还具有:

第1增益可变部,其对所述第1受光部的所述第1电信号的第1增益进行变更;以及

第2增益可变部,其对所述第2受光部的所述第2电信号的第2增益进行变更,

所述控制部以使得从所述光源射出光且没有对所述电光晶体施加电场的状态下的所述差动放大部的直流分量的输出值处于规定值的范围的方式,对所述第1增益可变部的所

述第1增益及所述第2增益可变部的所述第2增益进行调整。

6. 根据权利要求2所述的电场传感器,其中,
还具有:

第1增益可变部,其对所述第1受光部的所述第1电信号的第1增益进行变更;以及
第2增益可变部,其对所述第2受光部的所述第2电信号的第2增益进行变更,

所述控制部以使得从所述光源射出光且没有对所述电光晶体施加电场的状态下的所述差动放大部的直流分量的输出值处于规定值的范围的方式,对所述第1增益可变部的所述第1增益及所述第2增益可变部的所述第2增益进行调整。

7. 根据权利要求3所述的电场传感器,其中,
还具有:

第1增益可变部,其对所述第1受光部的所述第1电信号的第1增益进行变更;以及
第2增益可变部,其对所述第2受光部的所述第2电信号的第2增益进行变更,

所述控制部以使得从所述光源射出光且没有对所述电光晶体施加电场的状态下的所述差动放大部的直流分量的输出值处于规定值的范围的方式,对所述第1增益可变部的所述第1增益及所述第2增益可变部的所述第2增益进行调整。

8. 根据权利要求1所述的电场传感器,其中,
所述电场传感器利用电光学效应而对由所述目标对象物发出的电场进行测定。

9. 根据权利要求1所述的电场传感器,其中,
所述第1波长板配置为所述第1波长板的光轴的方位相对于规定的轴以第1角度而倾斜。

10. 根据权利要求1所述的电场传感器,其中,
所述第1波长板配置于所述电光晶体的前段,
所述电场传感器还具有第2波长板,该第2波长板配置于所述电光晶体的后段,在所述第1分离部的后段使光的相位变化。

11. 根据权利要求10所述的电场传感器,其中,
所述第2波长板配置为所述第2波长板的光轴的方位相对于所述规定的轴以第2角度而倾斜。

12. 根据权利要求1所述的电场传感器,其中,
所述光源具有:
发光的激光二极管芯片;
光电探测器,其对由所述激光二极管芯片发出的光的光强进行测定;
热敏电阻,其对供所述激光二极管芯片及所述光电探测器安装的基板的温度进行测定;以及

透镜,其使得由所述激光二极管芯片射出的光线汇聚。

13. 根据权利要求2所述的电场传感器,其中,
还具有第2分离部,其配置于所述光源与所述透明电极的所述一个面之间。

14. 根据权利要求6所述的电场传感器,其中,
还具有第2分离部,其配置于所述光源与所述透明电极的所述一个面之间。

15. 根据权利要求4所述的电场传感器,其中,

所述控制部实时地对所述第1增益可变部的增益及所述第2增益可变部的增益进行调整。

16. 根据权利要求12所述的电场传感器,其中,

所述控制部利用从所述光源射出光且对所述电光晶体施加有电场的状态下的所述差动放大部的直流分量的输出值、以及由所述热敏电阻输出的信息,对所述光源的温度进行调整,由此调整所述光源的波长。

17. 根据权利要求1所述的电场传感器,其中,

所述光源具有外部谐振型激光。

18. 根据权利要求2所述的电场传感器,其中,

还具有:

第1光衰减器,其设置于所述第1分离部与所述第1受光部之间;以及

第2光衰减器,其设置于所述第1分离部与所述第2受光部之间,

在使所述光源发光且没有由目标对象物产生电场的状态下,所述控制部以使得所述差动放大部的输出处于规定范围的方式,对所述第1光衰减器及所述第2光衰减器各自的衰减率进行调整。

19. 根据权利要求6所述的电场传感器,其中,

还具有:

第1光衰减器,其设置于所述分离部与所述第1受光部之间;以及

第2光衰减器,其设置于所述分离部与所述第2受光部之间,

在使所述光源发光且没有由目标对象物产生电场的状态下,所述控制部以使得所述差动放大部的输出处于规定范围的方式,对所述第1光衰减器及所述第2光衰减器各自的衰减率进行调整。

电场传感器

技术领域

[0001] 本发明涉及一种电场传感器。

[0002] 本申请基于2019年1月22日向日本申请的特愿2019-008252号而主张优先权,在此引用其内容。

背景技术

[0003] 作为对电场进行测定的电场传感器,通常为传感器构件是通常的偶极天线之类的金属制的传感器。

[0004] 与此相对,关于利用电光学效应的电场测定,传感器构件并非由金属制成,因此能够不使测定对象的电场紊乱而进行测量,并且能够实现高空间分解的测定。因此,关于利用电光学效应的电场测定,开始在各种用途中使用。此外,电光学效应是指如下效应,即,如果对电光晶体施加电场,则从电光晶体透射的光的折射率根据电场强度而变化。另外,折射率的变化带来从光学晶体通过的光波的相位变化。关于利用电光学效应的电场测定,通过对相位变化进行测定,从而能够测定对电光晶体施加的电场(例如,参照专利文献1、2)。

[0005] 这里,对利用电光学效应的电场传感器的结构例和动作例进行说明。

[0006] 图7是表示现有技术所涉及的利用电光学效应的电场传感器900的结构例和动作例的图。如图7所示,电场传感器900具有激光光源901、检偏镜902、 $\lambda/4$ 波长板903、电场发生源904、电光晶体905、 $\lambda/2$ 波长板906、偏振分束器907、光电探测器908、光电探测器909以及差动放大器910。

[0007] 激光光源901例如为半导体激光。检偏镜902将从激光光源901的光线中的线偏振光射出。 $\lambda/4$ 波长板903将从检偏镜902入射的光线以圆偏振光的方式偏振射出。

[0008] 电场发生源904针对电光晶体905产生电场。电光晶体905根据与通过电场发生源904施加的电场强度相应的双折射的变化而使偏振状态变化。电光晶体905将椭圆轴的方位以45度倾斜的椭圆偏振光的光线射出。此外,椭圆偏振光的椭圆率根据电场的强度而变化。 $\lambda/2$ 波长板906针对由电光晶体905射出的光线以保持椭圆偏振光的椭圆率的状态改变为椭圆偏振光的方位为0度的椭圆偏振光。

[0009] 偏振分束器907将由 $\lambda/2$ 波长板906射出的椭圆偏振光的方位为0度的椭圆偏振光的光线分离为P波和S波。光电探测器908将从偏振分束器907入射的P波变换为电信号,将变换后的P波分量的电信号输出至差动放大器910的一个输入端。光电探测器909将从偏振分束器907入射的S波变换为电信号,将变换后的S波分量的电信号输出至差动放大器910的另一个输入端。

[0010] 差动放大器910将P波分量和S波分量的电信号的差动分量放大,将放大后的电信号输出至未图示的信号处理装置。此外,P波和S波的强度的时间变化为反相相位,因此利用差动放大器910使得电场强度信号变为2倍。

[0011] 这里,如果将从检偏镜902透射后的光强设为 I_0 、将P波的光强设为 I_p 、将S波的光强设为 I_s ,则利用相位差 Γ 而由下式(1)表示P波的透射率 T_p 。另外,利用相位差 Γ 而由下式(2)

表示S波的透射率 T_s 。

[0012] 【数学式1】

$$[0013] \quad T_p = \frac{I_p}{I_o} = \frac{1}{2} [1 + \sin \Gamma] \quad \dots (1)$$

[0014] 【数学式2】

$$[0015] \quad T_s = \frac{I_s}{I_o} = \frac{1}{2} [1 - \sin \Gamma] \quad \dots (2)$$

[0016] 这里,施加于电光晶体905的电压为正弦波,在相位差($\Gamma(t) = a \cdot \sin(2\pi ft)$)随时间而变动的情况下,如下式(3)那样表示P波的透射率 $T_p(t)$ 。另外,如下式(4)那样表示S波的透射率 $T_s(t)$ 。

[0017] 【数学式3】

$$[0018] \quad T_p(t) = \frac{I_p}{I_o} = \frac{1}{2} [1 + \sin \Gamma(t)] \quad \dots (3)$$

[0019] 【数学式4】

$$[0020] \quad T_s(t) = \frac{I_s}{I_o} = \frac{1}{2} [1 - \sin \Gamma(t)] \quad \dots (4)$$

[0021] 这里,在P波的透射率 $T_p(t)$ 和S波的透射率 $T_s(t)$ 的差动平衡一致的情况下,P波的平均光能 T_{p0} 和S波的平均光能 T_{s0} 相等,因此如图8那样进行动作。图8是用于对P波的透射率 $T_p(t)$ 和S波的透射率 $T_s(t)$ 的差动平衡一致的情况下的动作进行说明的图。在图8中的标号g921所示的曲线图中,横轴为相位差 Γ ,纵轴为透射率 T 。另外,标号g922表示P波的变化。另外,标号g923表示S波的变化。标号g924的曲线图表示平均相位差为0的P波和S波的光强的变化。标号g925表示平均相位差为0的相位差的变化。

[0022] 与此相对,在激光存在强度波动(噪声)的情况下,优选使P波的透射率 $T_p(t)$ 和S波的透射率 $T_s(t)$ 的波形以同相而重叠,因此其噪声的大小与P波的平均光能 T_{p0} 及S波的平均光能 T_{s0} 成正比例。在差动平衡一致的情况下, $T_{p0} = T_{s0}$,因此能够通过差动放大器910消除噪声分量。

[0023] 然而,事实上,由于包含电光晶体905在内的光学部件的旋光性、偏差、波长板的角度偏差等而如图9那样使得相位偏移。图9是用于对P波的透射率 $T_p(t)$ 和S波的透射率 $T_s(t)$ 的差动平衡偏移的情况下的动作进行说明的图。在图9中的标号g931所示的曲线图中,横轴为相位差 Γ ,纵轴为透射率 T 。另外,标号g932表示P波的变化。另外,标号g933表示S波的变化。标号g934的曲线图表示对相位差加上偏置量 Γ_0 的P波和S波的光强的变化。标号g935表示对相位差加上偏置量 Γ_0 的相位差的变化。

[0024] 在差动平衡偏移的情况下,如下式(5)及下式(6)那样,相位差产生偏置量 Γ_0 ,差动平衡偏移。

[0025] 【数学式5】

$$[0026] \quad T_p(t) = \frac{I_p}{I_o} = \frac{1}{2} [1 + \sin \Gamma(t) + \Gamma_0] \quad \dots (5)$$

[0027] 【数学式6】

$$[0028] \quad T_s(t) = \frac{I_s}{I_o} = \frac{1}{2} [1 - \sin \Gamma(t) + \Gamma_0] \quad \dots (6)$$

[0029] 在激光存在强度波动(噪声)的情况下,使得P波的透射率 $T_p(t)$ 和S波的透射率 $T_s(t)$ 的波形以同相而重叠,因此如上所述那样噪声的大小与平均功率 T_{p0} 及 T_{s0} 成正比例。这里,在差动平衡偏移的情况下, T_{p0} 和 T_{s0} 不相等,噪声的大小不同。因此,无法通过差动放大器910消除。另外,如图9中的标号g934的曲线图所示,如果从平衡点偏移,则向调制效率小的点偏置,因此信号分量减小。这样,在P波和S波的平衡破坏的情况下,S/N劣化。

[0030] 因此,当前,在组装调整中,如图10所示,通过使波长板旋转而进行平衡的调整。图10是表示使波长板旋转而对差动平衡进行调整的结构例的图。在图10中,对与图7相同的功能的部件利用相同的标号而省略说明。

[0031] 如图10所示,电场传感器900a具有激光光源901、检偏镜902、 $\lambda/4$ 波长板903a、电场发生源904、电光晶体905、 $\lambda/2$ 波长板906b、偏振分束器907、光电探测器908、光电探测器909以及差动放大器910。

[0032] 即使在没有向电光晶体905施加电场时,也因光学平衡点的偏移而使得光电探测器908和光电探测器909这两者的输出产生差异,差动放大器910的输出未变为0。因此,在电场传感器900a中,使 $\lambda/4$ 波长板903a和 $\lambda/2$ 波长板906b旋转而对P波和S波的平衡进行光学调整。

[0033] 专利文献1:日本特开2002-122622号公报

[0034] 专利文献2:日本特开2007-101384号公报

发明内容

[0035] 然而,如图10所示,在使 $\lambda/4$ 波长板903a和 $\lambda/2$ 波长板906b旋转而对P波和S波的平衡进行了光学调整的情况下,能够去除激光的波动,但有时结构变得复杂且装置也变得大型。

[0036] 本发明的一个方式就是鉴于上述情形而提出的,其目的在于关于利用电光学效应的电场传感器,提供与现有的电场传感器相比能够使得结构更简化并去除激光的波动的电场传感器。

[0037] 为了达成上述目的,本发明的一个方式所涉及电场传感器(电场传感器100, 100A, 100B, 100C)具有:光源(半导体激光102);电光晶体(电光晶体107),被入射基于由所述光源射出的光的规定的偏振状态的光,接收由所述目标对象物(object)发出的电场;第1分离部(偏振分束器109),其将从所述电光晶体射出的光分离为P波和S波;第1波长板($\lambda/4$ 波长板105),其在所述第1分离部的前段使光的相位变化;第1受光部(受光电路110),其接收所述P波的光,将接收到的光变换为第1电信号;第2受光部(受光电路111),其接收所述S波的光,将接收到的光变换为第2电信号;差动放大部(差动放大器112),其生成由所述第1

受光部变换后的所述第1电信号、与由所述第2受光部变换后的所述第2电信号的差动信号；以及控制部(DC电平测定部113、温度控制部114、温度调节器103)，其以使得从所述光源射出光且对所述电光晶体施加有电场的状态下的所述差动放大部的直流分量的输出值处于规定值的范围的方式，对所述光源的波长进行调整。

[0038] 根据上述结构，电场传感器以使得差动放大部的输出处于规定范围的方式对光源的温度进行调整，从而变更激光的波长。由此，根据上述结构，能够利用激光消除光强的波动(噪声)。其结果，平衡的偏移减小，平衡点处于适当的位置。因此，根据上述结构，与平衡偏移的情况相比，信号强度提高，S/N的劣化减弱而能够进行稳定的电场测定。另外，关于上述结构，不使波长板旋转，因此与现有的电场传感器相比能够使装置实现简化及小型化。由此，根据上述结构，不会使测定稳定度受损，与现有的电场传感器相比能够使结构简化且去除激光的波动。

[0039] 另外，在本发明的一个方式所涉及的测定装置中，可以构成为，所述控制部以使得从所述光源射出光且对所述电光晶体施加有电场的状态下的所述差动放大部的直流分量的输出值处于所述规定值的范围的方式，对所述光源的温度进行调整，由此调整所述光源的波长。

[0040] 根据上述结构，电场传感器利用控制部而调整由对电光晶体施加有电场的状态下的光学部件引起的波动。由此，根据上述结构，能够利用激光而进一步消除光强的波动(噪声)。其结果，平衡偏移减小，平衡点处于适当的位置，因此根据上述结构，与平衡偏移的情况相比，信号强度提高，S/N的劣化减弱而能够进行稳定的电场测定。

[0041] 另外，本发明的一个方式所涉及的测定装置可以构成为，还具有透明电极(ITO 116)以及反射镜(反射镜117)，所述电光晶体在一个面相对配置有所述透明电极，在另一个面配置有所述反射镜，基于由所述光源射出的光的规定的偏振状态的光从所述透明电极入射，通过所述反射镜对从所述透明电极入射的光进行反射，从所述透明电极射出反射后的光，从所述透明电极射出的光入射至所述分离部。

[0042] 根据上述结构，即使电场传感器的构造为纵型，也能够利用激光进一步消除光强的波动(噪声)。其结果，平衡偏移减小，平衡点处于适当的位置，因此根据上述结构，与平衡偏移的情况相比，信号强度提高，S/N的劣化减弱而能够进行稳定的电场测定。

[0043] 另外，本发明的一个所涉及的测定装置可以构成为，还具有：第1增益可变部(增益可变放大器121)，其对所述第1受光部的所述第1电信号的第1增益进行变更；以及第2增益可变部(增益可变放大器122)，其对所述第2受光部的所述第2电信号的第2增益进行变更，所述控制部以使得从所述光源射出光且没有对所述电光晶体施加电场的状态下的所述差动放大部的直流分量的输出值处于规定值的范围的方式，对所述第1增益可变部的所述第1增益及所述第2增益可变部的所述第2增益进行调整。

[0044] 根据上述结构，电场传感器利用第1增益可变部及第2增益可变部而调整由没有对电光晶体施加电场的状态下的光学部件引起的波动，利用控制部而调整由对电光晶体施加有电场的状态下的光学部件引起的波动。由此，根据上述结构，能够利用激光进一步消除光强的波动(噪声)。其结果，平衡偏移减小，平衡点处于适当的位置，因此根据上述结构，与平衡偏移的情况相比，信号强度提高，S/N的劣化减弱而能够进行稳定的电场测定。

[0045] 另外，本发明的一个方式所涉及电场传感器(电场传感器100, 100A, 100B, 100C)

可以构成为,利用电光学效应对由所述目标对象物发出的电场进行测定。

[0046] 另外,本发明的一个方式所涉及的所述第1波长板($\lambda/4$ 波长板105)可以配置为所述第1波长板的光轴的方位相对于规定的轴以第1角度而倾斜。

[0047] 另外,本发明的一个所涉及的所述第1波长板($\lambda/4$ 波长板105)可以配置于所述电光晶体(电光晶体107)的前段,所述电场传感器(电场传感器100,100B)还可以具有第2波长板($\lambda/2$ 波长板108),其配置于所述电光晶体的后段,在所述第1分离部的后段使光的相位变化。

[0048] 另外,本发明的一个方式所涉及的所述第2波长板($\lambda/2$ 波长板108)可以配置为所述第2波长板的光轴的方位相对于所述规定的轴以第2角度而倾斜。

[0049] 另外,本发明的一个方式所涉及的所述光源(激光光源101)可以具有:发光的激光二极管芯片(LD芯片102c);光电探测器(PD102b),其对由所述激光二极管芯片发出的光的光强进行测定;热敏电阻(热敏电阻102a),其对供所述激光二极管芯片及所述光电探测器安装的基板的温度进行测定;以及透镜(透镜102d),其使得由所述激光二极管芯片射出的光线汇聚。

[0050] 另外,本发明的一个方式所涉及的电场传感器(电场传感器100A,100C)还可以具有第2分离部(偏振分束器115),其配置于所述光源(激光光源101)与所述透明电极(ITO 116)的所述一个面之间。

[0051] 另外,本发明的一个方式所涉及的所述控制部(DC电平测定部113、温度控制部114、温度调节器103)可以实时地对所述第1增益可变部的增益及所述第2增益可变部的增益进行调整。

[0052] 另外,本发明的一个方式所涉及的所述控制部(DC电平测定部113、温度控制部114、温度调节器103)可以构成为,利用从所述光源射出光且对所述电光晶体(电光晶体107)施加有电场的状态下的所述差动放大部(差动放大器112)的直流分量的输出值、以及由所述热敏电阻(热敏电阻102a)输出的信息,对所述光源(激光光源101)的温度进行调整,由此调整所述光源的波长。

[0053] 另外,本发明的一个方式所涉及的所述光源(激光光源101)可以具有外部谐振型激光。

[0054] 另外,本发明的一个所涉及的电场传感器(100B,100C)还可以具有:第1光衰减器,其设置于所述第1分离部与所述第1受光部之间;以及第2光衰减器,其设置于所述第1分离部与所述第2受光部之间,所述控制部(DC电平测定部113、温度控制部114、温度调节器103)可以在使所述光源发光且没有由目标对象物产生电场的状态下,以使得所述差动放大部的输出处于规定范围的方式,对所述第1光衰减器及所述第2光衰减器各自的衰减率进行调整。

[0055] 发明的效果

[0056] 根据本发明的一个方式,与现有的电场传感器相比,能够使结构简化且去除激光的波动。

附图说明

[0057] 图1是表示第1实施方式所涉及的电场传感器的结构例的图。

- [0058] 图2是表示激光的周围温度和振荡波长的关系的图。
- [0059] 图3是表示第1实施方式所涉及的激光光源的结构例的图。
- [0060] 图4是表示第2实施方式所涉及的电场传感器的结构例的图。
- [0061] 图5是表示第3实施方式所涉及的电场传感器的结构例的图。
- [0062] 图6是表示第4实施方式所涉及的电场传感器的结构例的图。
- [0063] 图7是表示现有技术所涉及的利用电光学效应的电场传感器的结构例和动作例的图。
- [0064] 图8是用于对P波的透射率 $T_p(t)$ 和S波的透射率 $T_s(t)$ 的差动平衡一致的情况下的动作进行说明的图。
- [0065] 图9是用于对P波的透射率 $T_p(t)$ 和S波的透射率 $T_s(t)$ 的差动平衡偏移的情况下的动作进行说明的图。
- [0066] 图10是表示使波长板旋转而对差动平衡进行调整的结构例的图。

具体实施方式

[0067] 下面,参照附图对本发明的第1~第4实施方式进行说明。此外,在用于下面的说明的附图中,设为能够识别各部件的大小,因此适当地对各部件的比例尺进行变更。

[0068] <第1实施方式>

[0069] 图1是表示第1实施方式所涉及的电场传感器100的结构例的图。如图1所示,电场传感器100具有激光光源101(光源)、检偏镜104、 $\lambda/4$ 波长板105(第1波长板)、电场发生源106、电光晶体107、 $\lambda/2$ 波长板108(第2波长板)、偏振分束器109(第1分离部)、受光电路110(第1受光部)、受光电路111(第2受光部)、差动放大器112(差动放大部)、DC电平测定部113(控制部)以及温度控制部114(控制部)。另外,激光光源101具有半导体激光102(光源)以及温度调节器103(控制部)。此外,如标号g111所示,在图1中,从激光光源101射出的光是在行进方向上不具有振动分量的横波,相对于行进方向将磁场振动方向设为x轴,将电场振动方向设为y轴。

[0070] 首先,对电场传感器100的光学结构要素的配置进行说明。

[0071] 检偏镜104配置于激光光源101与 $\lambda/4$ 波长板105之间。 $\lambda/4$ 波长板105配置于检偏镜104与电光晶体107之间。电光晶体107配置于 $\lambda/4$ 波长板105与 $\lambda/2$ 波长板108之间。 $\lambda/2$ 波长板108配置于电光晶体107与偏振分束器109之间。偏振分束器109配置于 $\lambda/2$ 波长板108与受光电路110之间、且配置于 $\lambda/2$ 波长板108与受光电路111之间。

[0072] 下面,对电场传感器100的电结构要素的连接关系进行说明。

[0073] 受光电路110的输出端与差动放大器112的第1输入端子连接。受光电路111的输出端与差动放大器112的第2输入端子连接。差动放大器112的输出端将由未图示的信号处理装置处理后的信号输出。

[0074] 下面,对电场传感器100的动作进行说明。

[0075] 电场传感器100利用光学方法获得由施加于在传感器内安装的电光晶体107的电场强度引发的相位变化量。此外,电场传感器100将被测定对象产生的电场施加给电光晶体107,并利用未图示的信号处理装置对差动放大器112的输出值进行测定,由此对被测定对象产生的电场的大小进行测定。

[0076] 半导体激光(laser)102例如是半导体激光。半导体激光102由未图示的激光驱动部驱动而发光。

[0077] 温度调节器103安装于半导体激光102。温度调节器103例如是珀耳帖元件。温度调节器103根据温度控制部114的控制而对半导体激光102的温度进行调整。

[0078] 检偏镜104将从激光光源101入射的光线中的线偏振光(标号g101、g111)射出。

[0079] $\lambda/4$ 波长板105配置为使得光轴的方位相对于x轴倾斜45度。 $\lambda/4$ 波长板105使得从检偏镜104入射的光线以圆偏振光(标号g102、g112)而偏振射出。换言之, $\lambda/4$ 波长板105对向电光晶体107入射的光施加光学偏置。

[0080] 电场发生源106相对于电光晶体107而产生电场。

[0081] 电光晶体107根据与由电场发生源106施加的电场强度相应的双折射的变化使偏振状态变化。电光晶体107将椭圆轴的方位倾斜了45度的椭圆偏振光(标号g103、g113)的光线射出。此外,椭圆偏振光的椭圆率根据电场的强度而变化。电光晶体107例如为LiNbO₃、LiTaO₃、Bi₁₂SiO₂₀(BSO)、Bi₁₂GeO₂₀(BGO)、ADP、KDP等。

[0082] $\lambda/2$ 波长板108配置为使得光轴的方位相对于x轴而倾斜22.5度。 $\lambda/2$ 波长板108使得由电光晶体107射出的光线以保持椭圆偏振光的椭圆率的状态变更为椭圆偏振光的方位为0度的椭圆偏振光(标号g104、g114)。

[0083] 偏振分束器109使得由 $\lambda/2$ 波长板108射出的椭圆偏振光的方位为0度的椭圆偏振光的光线分离为P波(标号g108、g118)和S波(标号g106、g116)。

[0084] 受光电路110具有光电探测器。受光电路110将从偏振分束器109入射的P波变换为电信号,将变换后的P波分量的电信号输出至差动放大器112的第1输入端子。

[0085] 受光电路111具有光电探测器。受光电路111将从偏振分束器109入射的S波变换为电信号,将变换后的S波分量的电信号输出至差动放大器112的第2输入端。

[0086] 差动放大器112将P波分量和S波分量的电信号的差动分量放大,将放大后的电信号输出至未图示的信号处理装置。

[0087] DC电平测定部113对由差动放大器112输出的DC(直流)的电平进行测定,将表示测定出的DC电平的值或信息输出至温度控制部114。

[0088] 温度控制部114获取由DC电平测定部113输出的表示DC电平的值或信息。温度控制部114以使得表示DC电平的值落入包含0V在内的规定值的范围的方式,对温度调节器103进行控制。

[0089] 在第1实施方式中,通过DC电平测定部113从差动放大器112的输出获取直流分量,以使得获取的直流分量落入包含0V在内的规定范围的方式,通过温度控制部114及温度调节器103对半导体激光102的温度进行控制。此外,温度控制部114及温度调节器103实时地进行半导体激光102的温度的调整。

[0090] 这里,对激光的周围温度和振荡波长的关系进行说明。

[0091] 图2是表示激光的周围温度和振荡波长的关系的图。图2的横轴为温度(度),纵轴为振荡波长(μm)。如图2所示,如果激光的周围温度变化,则振荡波长也变化。例如,如果激光的周围温度升高,则振荡波长增大。

[0092] 接下来,对激光光源101的结构例进行说明。

[0093] 图3是表示第1实施方式所涉及的激光光源101的结构例的图。图3所示的激光光源

101包含热敏电阻102a、PD(光电探测器) 102b、LD(激光二极管) 芯片102c、透镜102d以及珀耳帖元件103a。

[0094] 热敏电阻102a例如对安装有PD 102b及LD芯片102c的基板的温度进行测定。

[0095] PD 102b对由LD芯片102c发出的光的光强进行测定,将测定出的测定值输出至未图示的激光驱动部。未图示的激光驱动部基于由PD102b输出的测定值而将LD芯片102c射出的光的光强控制为规定值。

[0096] LD芯片102c根据未图示的激光驱动部的控制而发光。

[0097] 透镜102d使得由LD芯片102c射出的光线汇聚。透镜102d使汇聚后的光线向光纤120入射。

[0098] 在图3所示的构造中,在珀耳帖元件103a上设置有LD芯片102c。根据该结构,通过对LD芯片102c的温度进行调整而能够调整半导体激光102的波长。

[0099] 这里,对通过变更激光的波长而能够变更在具有双折射的电光晶体中传播的光的相位差的原理进行说明。

[0100] 如下式(7)所示表示通过具有双折射的电光晶体之后的光学相位差 $\Gamma(\lambda)$ 。

[0101] 【数学式7】

$$\begin{aligned}
 \Gamma(\lambda) &= \phi_f - \phi_s = \left(\frac{d}{\lambda_f} - \frac{d}{\lambda_s} \right) \\
 &= \left(\frac{f}{c_f} - \frac{f}{c_s} \right) \times d \times 360 \\
 [0102] \quad &= \left(\frac{1}{c_f} \times \frac{c}{\lambda} - \frac{1}{c_s} \times \frac{c}{\lambda} \right) \times d \times 360 \\
 &= \left(\frac{c}{c_f} - \frac{c}{c_s} \right) \times \frac{d}{\lambda} \times 360 \\
 &= \frac{\Delta n \times d \times 360}{\lambda} \quad \dots (7)
 \end{aligned}$$

[0103] 在式(7)中, ϕ_f 为fast轴的相位。另外, ϕ_s 为slow轴的相位。另外, λ_f 为fast轴的波长。另外, λ_s 为slow轴的波长。 c 为真空中的光速。另外, c_f 为fast轴的相位速度。另外, c_s 为slow轴的相位速度。 λ 为真空中的波长。另外, f 为真空中的频率。 d 为电光晶体的厚度。 Δn 为fast轴和slow轴的折射率差。此外,fast轴是指光在具有双折射的晶体中快速地传播的振动方向。另外,slow轴是指光在具有双折射的晶体中缓慢地传播的振动方向。

[0104] 如式(7)所示,在真空中波长为 λ 且频率为 f 的光,在具有厚度 d 的双折射的电光晶体中传播时,fast轴的振动方向的光和slow轴的振动方向的光的相位差 $\Gamma(\lambda)$ 相对于波长 λ 形成为反比例的关系。

[0105] 这里,由下式(8)表示折射率 n 。

[0106] 【数学式8】

$$[0107] \quad n = \frac{c}{c'} = \sqrt{\frac{\varepsilon \cdot \mu}{\varepsilon_0 \cdot \mu_0}} \quad \dots (8)$$

[0108] 在式(8)中, c' 为电光晶体中的光速。另外, ε 为真空中的介电常数。另外, ε_0 为电光晶体中的介电常数。另外, μ 为真空中的透磁率。另外, μ_0 为电光晶体中的透磁率。

[0109] 根据式(7),fast轴和slow轴的折射率差 Δn 变为下式(9)所示。

[0110] 【数学式9】

$$[0111] \quad \Delta n = \left(\frac{c}{c_f} - \frac{c}{c_s} \right) \quad \dots (9)$$

[0112] 如式(9)所示,通过变更激光的波长,能够变更在具有双折射的电光晶体中传播的fast轴的振动方向的光和slow轴的振动方向的光的相位差。由此,能够获得与利用图10说明的现有技术的使波长板旋转而对光学平衡进行调整的方式等同的效果。

[0113] 如上所述,由于光学平衡点的偏移,受光电路110和受光电路111这两者的输出产生差异而差动放大器112的输出产生偏差电压。在第1实施方式中,即使在这种情况下,也使得差动放大器112的输出处于包含0V在内的规定范围的方式,调整半导体激光102的温度而对激光的波长进行变更。由此,根据第1实施方式,能够利用激光消除光强的波动(噪声)。其结果,平衡的偏移减小,平衡点处于适当的位置,因此如利用图8、图9说明的那样,根据第1实施方式,与平衡偏移的情况相比,信号强度提高,S/N的劣化程度减小而能够进行稳定的电场测定。另外,在第1实施方式中,不使波长板旋转,因此与现有的电场传感器相比能够使装置实现简化及小型化。由此,根据第1实施方式,不会使测定稳定度受损,与现有的电场传感器相比,能够使结构简化且去除激光的波动。

[0114] 此外,对激光的波长进行变更的方法并不局限于上述方法。温度控制部114也可以利用由图3所示的热敏电阻102a输出的信息对半导体激光102的波长进行变更。或者,可以利用外部谐振型激光。在该情况下,可以使得从差动放大器112取出的直流分量处于规定范围的方式、且以对外部谐振型激光的波长和光路长度进行变更的方式进行控制。

[0115] <第2实施方式>

[0116] 在第2实施方式中,对电场传感器为纵型构造的例子进行说明。

[0117] 图4是表示第2实施方式所涉及电场传感器100A的结构例的图。如图4所示,电场传感器100A具有激光光源101、电场发生源106、电光晶体107、偏振分束器109、受光电路110、受光电路111、差动放大器112、DC电平测定部113、温度控制部114、偏振分束器115(第2分离部)、ITO(Indium Tin Oxide)116、反射镜117以及 $\lambda/4$ 波长板118。另外,激光光源101具有半导体激光102以及温度调节器103。此外,对具有与第1实施方式的电场传感器100相同的功能的结构要素,利用相同的标号而省略说明。

[0118] 首先,对电场传感器100A的光学结构要素的配置进行说明。

[0119] 偏振分束器115配置于激光光源101与ITO 116的第1面之间。 $\lambda/4$ 波长板118配置于偏振分束器115与偏振分束器109之间。电光晶体107与ITO 116的第2面以及反射镜117的第1面接触。偏振分束器109配置于 $\lambda/4$ 波长板118与受光电路110之间、且配置于 $\lambda/4$ 波长板118

与受光电路111之间。

[0120] 接下来,对电场传感器100A的动作进行说明。

[0121] 电场传感器100A利用光学方法获得由对安装于传感器内的电光晶体107施加的电场强度引发的相位变化量。此外,电场传感器100A从反射镜117侧对电光晶体107施加被测定对象所产生的电场,并利用未图示的信号处理装置对差动放大器112的输出值进行测定,由此测定被测定对象所产生的电场的大小。

[0122] 由激光光源101射出的光线在从偏振分束器115通过而以线偏振光入射至ITO 116之后,从电光晶体107透射而由反射镜117反射。反射的光线从电光晶体107及ITO 116透射并通过测定电场而变为椭圆偏振光的光线,再次入射至偏振分束器115。入射的光线在偏振分束器115反射,向 $\lambda/4$ 波长板118入射,施加光学偏置并入射至偏振分束器109。偏振分束器109使得椭圆偏振光的光线分离为P波和S波。

[0123] ITO 116为透明电极且接地。

[0124] 反射镜117的第1面为镜面。

[0125] 将图4所示的结构称为纵型构造的电场传感器。在这种纵型构造的电场传感器中,在因激光而产生光强的波动(噪声)的情况下,该噪声的大小也与光的平均功率成正比例。因此,在因构成的光学部件的偏差、波长板的角度偏差等而使得相位偏移的情况下,差动平衡偏移而导致S/N劣化。

[0126] 在第2实施方式中,与第1实施方式同样地,将差动放大器112的输出控制为处于包含0V在内的规定范围,由此实时地使得差动平衡一致。由此,在第2实施方式中,也能够消除由激光引起的光强的波动(噪声),信号强度与存在噪声的情况相比而增大,与存在噪声的情况相比能够减弱S/N的劣化。

[0127] 此外,对激光的波长进行变更的方法并不局限于上述方法。在第2实施方式中,温度控制部114也可以利用图3所示的热敏电阻102a输出的信息而对半导体激光102的波长进行变更。或者,可以利用外部谐振型激光。在该情况下,可以以使得从差动放大器112取出的直流分量处于规定范围的方式,且以对外部谐振型激光的波长和光路长度进行变更的方式进行控制。

[0128] <第3实施方式>

[0129] 利用偏振分束器分离出的P波的成分和S波的分量的各光通过受光电路所具有的光电探测器而变换为电信号,有时存在偏振分束器的分支比的波动、2个受光电路分别所具有的光电探测器的受光灵敏度也存在波动。即使在这种情况下,基于P波的噪声分量的大小和基于S波的噪声分量的大小也不同,因此能够通过差动放大器112消除噪声。

[0130] 对于这种噪声,在第3实施方式中,在利用波长板调整了光学偏振的状态下,在利用设置于受光电路的后段的增益可变放大器将差动平衡调整为包含0V在内的第2规定范围之后,进一步通过使激光的波长变化而实时地对差动平衡进行调整。

[0131] 图5是表示第3实施方式所涉及的电场传感器100B的结构例的图。

[0132] 如图5所示,电场传感器100B具有激光光源101、检偏镜104、 $\lambda/4$ 波长板105、电场发生源106、电光晶体107、 $\lambda/2$ 波长板108、偏振分束器109、受光电路110、受光电路111、差动放大器112、DC电平测定部113、温度控制部114B、增益可变放大器121以及增益可变放大器122。另外,激光光源101具有半导体激光102以及温度调节器103。此外,对具有与第1实施方

式的电场传感器100相同的功能的结构要素,利用相同的标号而省略说明。

[0133] 在该结构中,也与第1实施方式相同地, $\lambda/4$ 波长板105对向电光晶体107入射的光施加光学偏置。

[0134] 电场传感器100B的光学结构要素的配置与电场传感器100相同。与电场传感器100相同地,电场传感器100B对电光晶体107施加被测定对象所产生的电场,并通过未图示的信号处理装置对差动放大器112的输出值进行测定,由此对被测定对象所产生的电场的大小进行测定。

[0135] 接下来,对电场传感器100B的电结构要素的连接关系进行说明。

[0136] 受光电路110的输出端与增益可变放大器121的输入端子连接。增益可变放大器121的输出端子与差动放大器112的第1输入端子连接。增益可变放大器121的控制端子与温度控制部114B连接。

[0137] 受光电路111的输出端与增益可变放大器122的输入端子连接。增益可变放大器122的输出端子与差动放大器112的第2输入端子连接。增益可变放大器122的控制端子与温度控制部114B连接。

[0138] 差动放大器112的输出端输出由未图示的信号处理装置处理后的信号。

[0139] 温度控制部114B在电气方面进行如下调整,即,在使激光光源101发光且没有由电场发生源106产生电场的状态下,以使得差动放大器112的输出处于包含0V在内的第2规定范围的方式对增益可变放大器121及增益可变放大器122各自的增益进行调整。然后,与第1实施方式等相同地,温度控制部114B在光学方面进行如下调整,即,在使激光光源101发光且利用电场发生源106产生电场的状态下,以使得差动放大器112的输出处于包含0V在内的规定范围的方式,对温度调节器103进行控制。

[0140] 如上,根据第3实施方式,即使2个受光电路分别所具有的光电探测器的受光灵敏度也存在波动,也能够对差动平衡进行调整。由此,根据第3实施方式,能够消除由激光引起的光强的波动(噪声),信号强度与存在噪声的情况相比而增大,与存在噪声的情况相比能够减弱S/N的劣化。

[0141] 此外,在受光电路产生的差动平衡的调整并不局限于上述增益可变放大器。可以在偏振分束器109与受光电路110之间设置第1光衰减器(未图示),在偏振分束器109与受光电路111之间设置第2光衰减器(未图示)。

[0142] 在该情况下,温度控制部114B可以在光学方面进行如下调整,即,在使激光光源101发光且没有由电场发生源106产生电场的状态下,以使得差动放大器112的输出处于包含0V在内的第2规定范围的方式,对第1光衰减器及第2光衰减器各自的衰减率进行调整。

[0143] 此外,对激光的波长进行变更的方法并不局限于上述方法。在第3实施方式中,温度控制部114B也可以利用图3所示的热敏电阻102a输出的信息,对半导体激光102的波长进行变更。或者,可以利用外部谐振型激光。在该情况下,可以以使得从差动放大器112取出的直流分量处于规定范围的方式,且以对外部谐振型激光的波长和光路长度进行变更的方式进行控制。

[0144] <第4实施方式>

[0145] 也可以将第3实施方式中说明的增益可变放大器应用于第2实施方式中说明的纵型构造的电场传感器。

[0146] 图6是表示第4实施方式所涉及的电场传感器100C的结构例的图。如图6所示,电场传感器100C具有激光光源101、电场发生源106、电光晶体107、偏振分束器109、受光电路110、受光电路111、差动放大器112、DC电平测定部113、温度控制部114B、偏振分束器115、ITO 116、反射镜117、 $\lambda/4$ 波长板118、增益可变放大器121以及增益可变放大器122。另外,激光光源101具有半导体激光102以及温度调节器103。此外,对具有与第1实施方式的电场传感器100、第2实施方式的电场传感器100A以及第3实施方式的电场传感器100B相同的功能的结构要素,利用相同的标号而省略说明。

[0147] 在第4实施方式中,也与第2实施方式相同地, $\lambda/4$ 波长板118对向偏振分束器115入射的光施加光学偏置。

[0148] 此外,与电场传感器100A相同地,电场传感器100C从反射镜117侧对电光晶体107施加被测定对象所产生的电场,并利用未图示的信号处理装置对差动放大器112的输出值进行测定,由此测定被测定对象所产生的电场的大小。

[0149] 在第4实施方式中,也与第3实施方式相同地,温度控制部114B在电气方面进行如下调整,即,在使激光光源101发光且没有由电场发生源106产生电场的状态下,以使得差动放大器112的输出处于包含0V在内的第2规定范围的方式,对增益可变放大器121及增益可变放大器122各自的增益进行调整。然后,温度控制部114B在光学方面进行如下调整,即,在使激光光源101发光且利用电场发生源106产生电场的状态下,以使得差动放大器112的输出处于包含0V在内的规定范围的方式,对温度调节器103进行控制。

[0150] 如上,根据第4实施方式,即使2个受光电路分别所具有的光电探测器的受光灵敏度也存在波动,也能够对差动平衡进行调整。由此,根据第4实施方式,能够消除由激光引起的光强的波动(噪声),信号强度与存在噪声的情况相比而增大,与存在噪声的情况相比能够减弱S/N的劣化。

[0151] 此外,在第4实施方式中,在受光电路产生的差动平衡的调整也不局限于上述增益可变放大器。可以在偏振分束器109与受光电路110之间设置第1光衰减器(未图示),在偏振分束器109与受光电路111之间设置第2光衰减器(未图示)。

[0152] 在该情况下,温度控制部114B在光学方面进行如下调整,即,在使激光光源101发光且没有由电场发生源106产生电场的状态下,以使得差动放大器112的输出处于包含0V在内的第2规定范围的方式,对第1光衰减器及第2光衰减器各自的衰减率进行调整。

[0153] 此外,对激光的波长进行变更的方法并不局限于上述方法。在第4实施方式中,温度控制部114B也可以利用图3所示的热敏电阻102a输出的信息,对半导体激光102的波长进行变更。或者,可以利用外部谐振型激光。在该情况下,可以以使得从差动放大器112取出的直流分量处于规定范围的方式,且以对外部谐振型激光的波长和光路长度进行变更的方式进行控制。

[0154] 以上利用第1~第4实施方式对用于实施本发明的方式进行了说明,但本发明并未受到上述实施方式的任何限定,可以在未脱离本发明的主旨的范围内施加各种变形及置换。

[0155] 标号的说明

[0156] 100,100A,100B,100C…电场传感器、101…激光光源、102…半导体激光、103…温度调节器、104…检偏镜、105… $\lambda/4$ 波长板、106…电场发生源、107…电光晶体、108… $\lambda/2$ 波

长板、109…偏振分束器、110…受光电路、111…受光电路、112…差动放大器、113…DC电平测定部、114,114B…温度控制部、115…偏振分束器、116…ITO、117…反射镜、118… $\lambda/4$ 波长板、121…增益可变放大器、122…增益可变放大器。

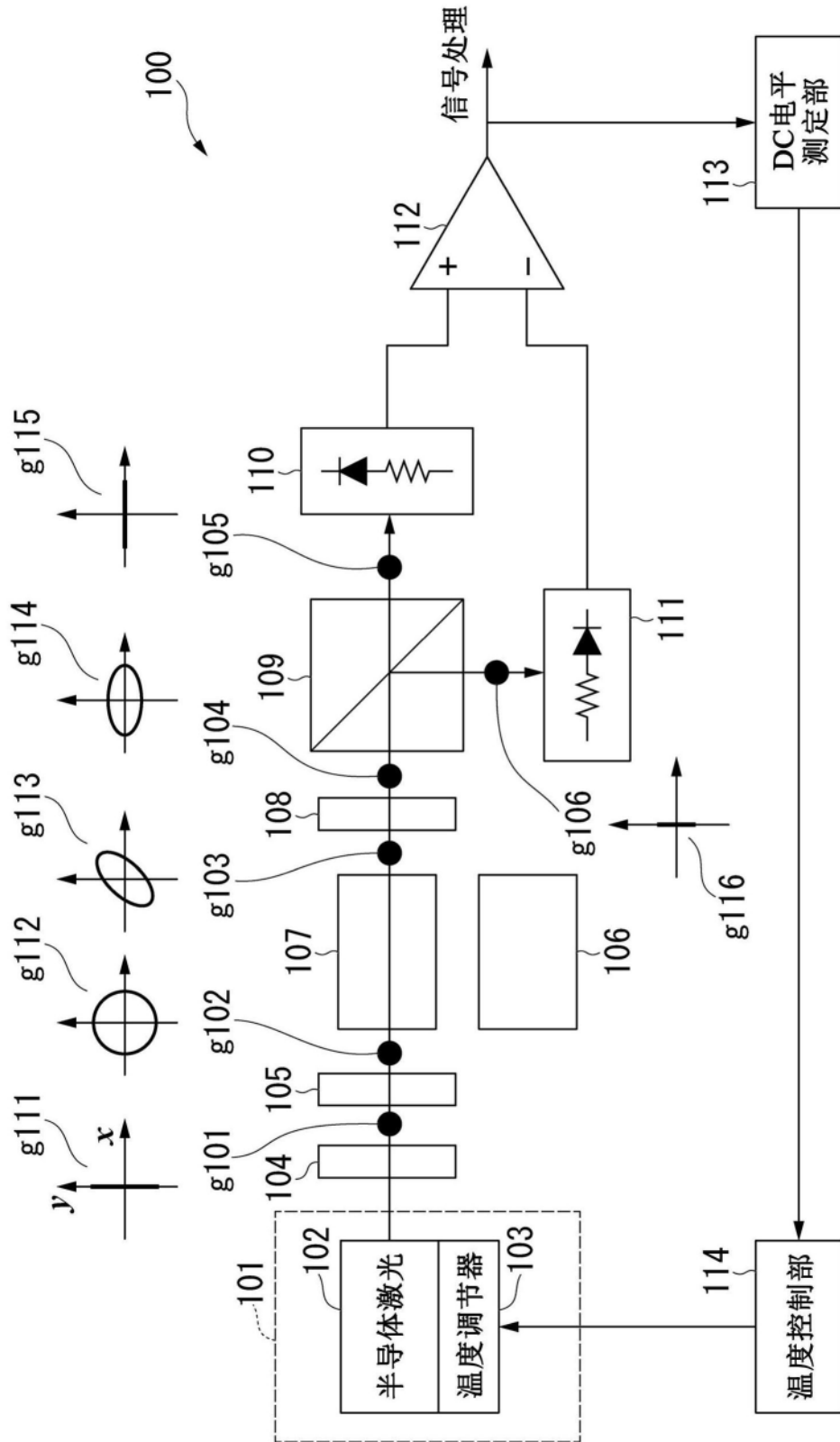


图1

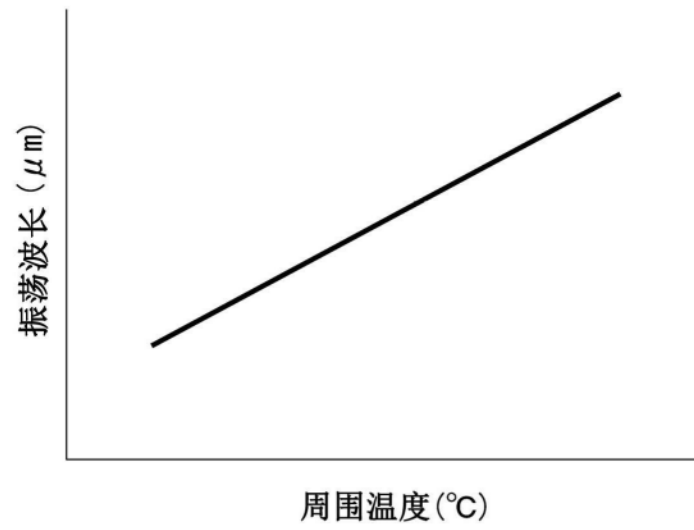


图2

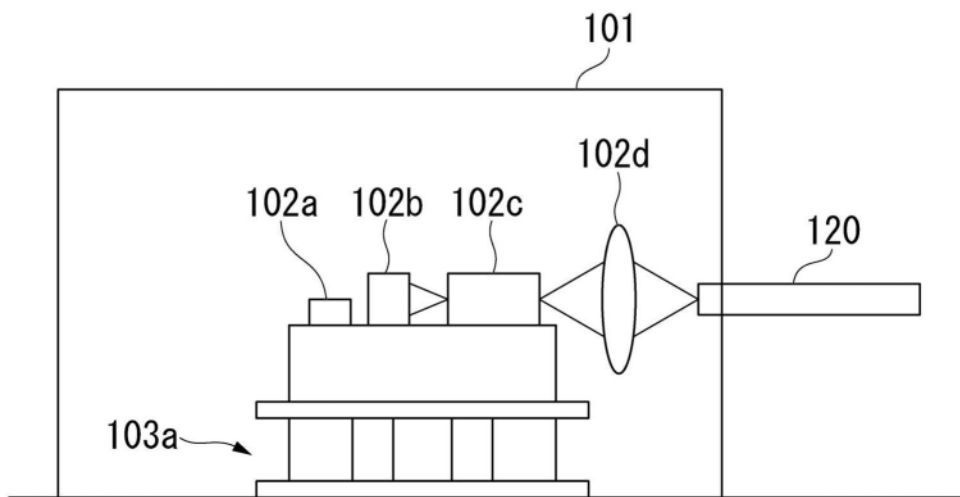


图3

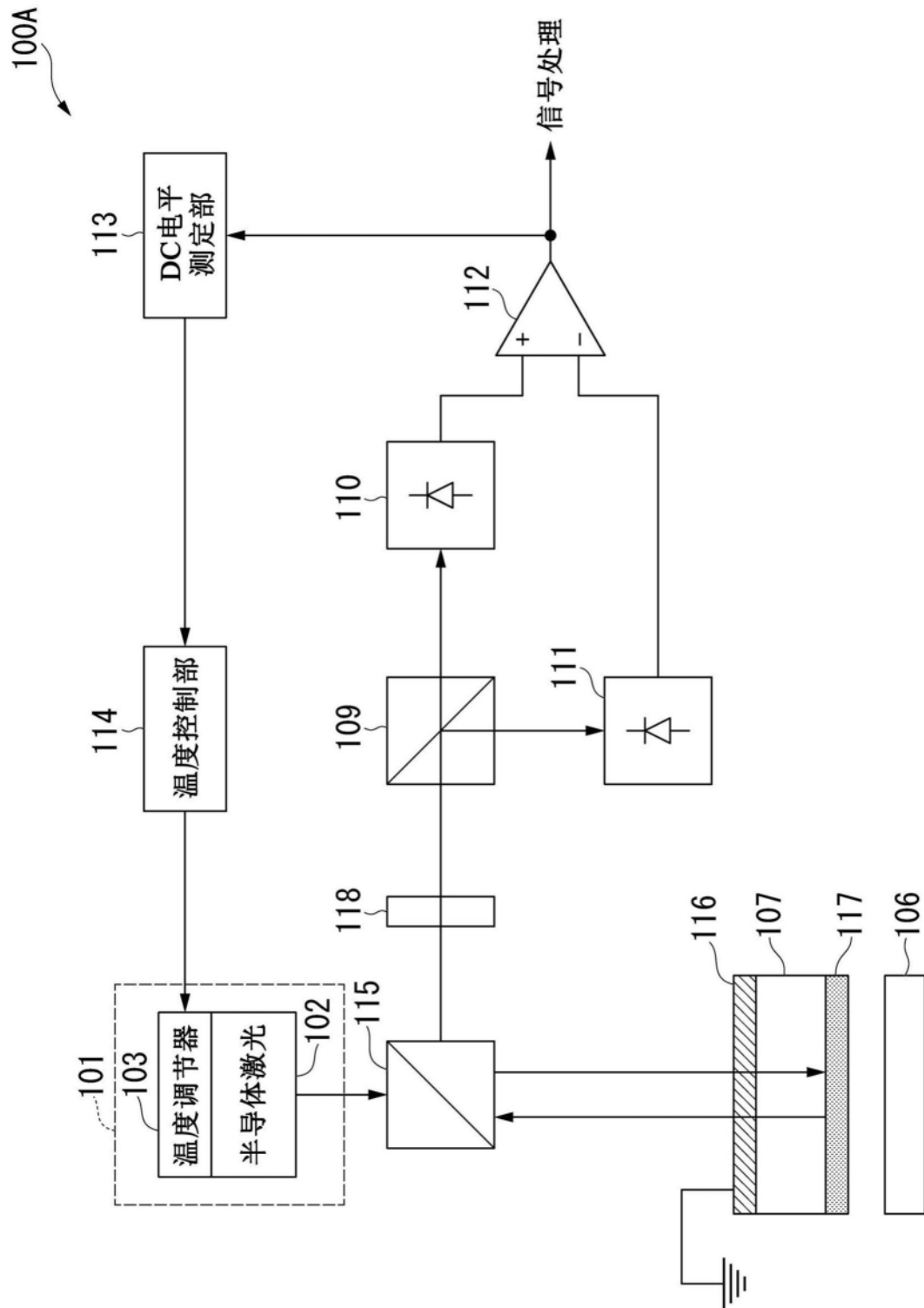


图4

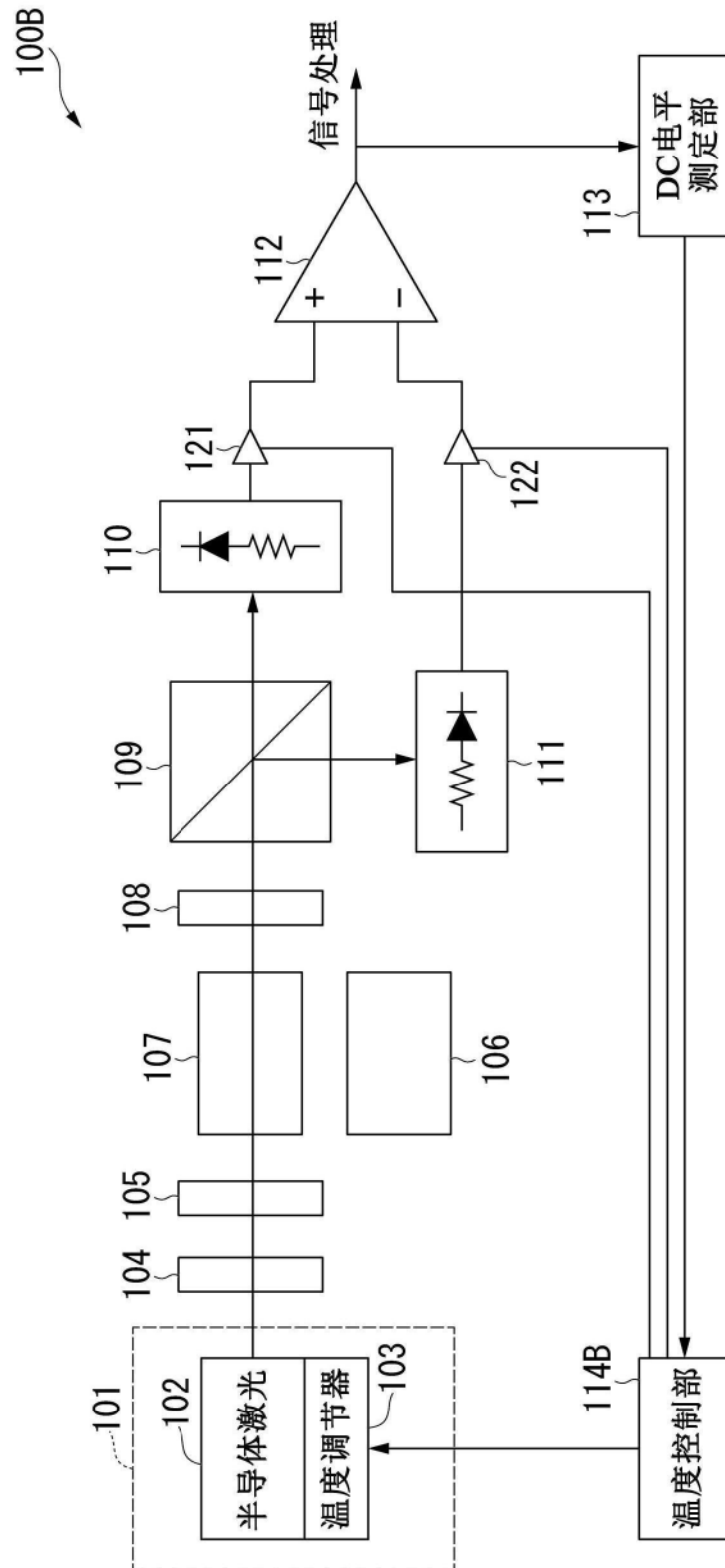


图5

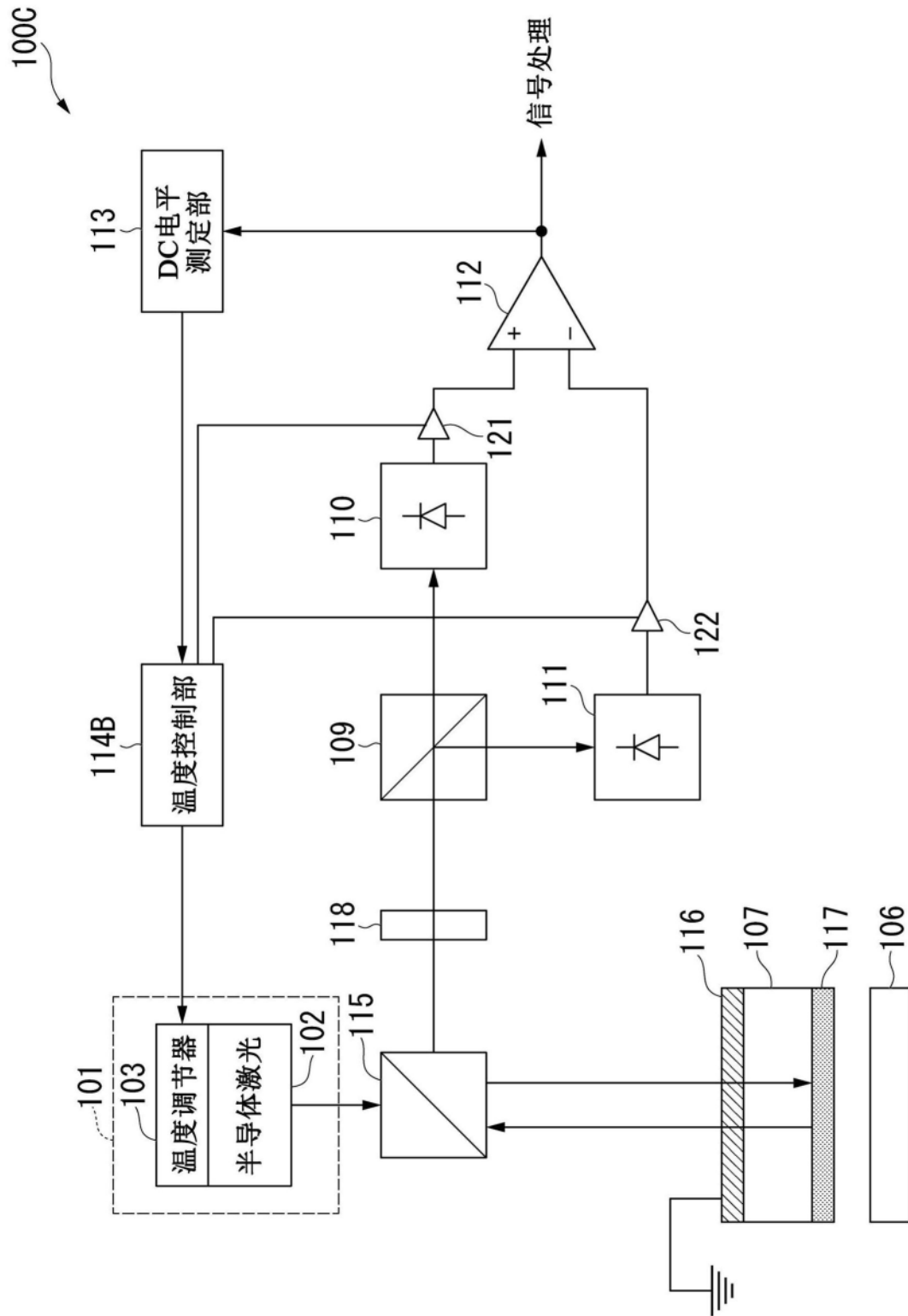


图6

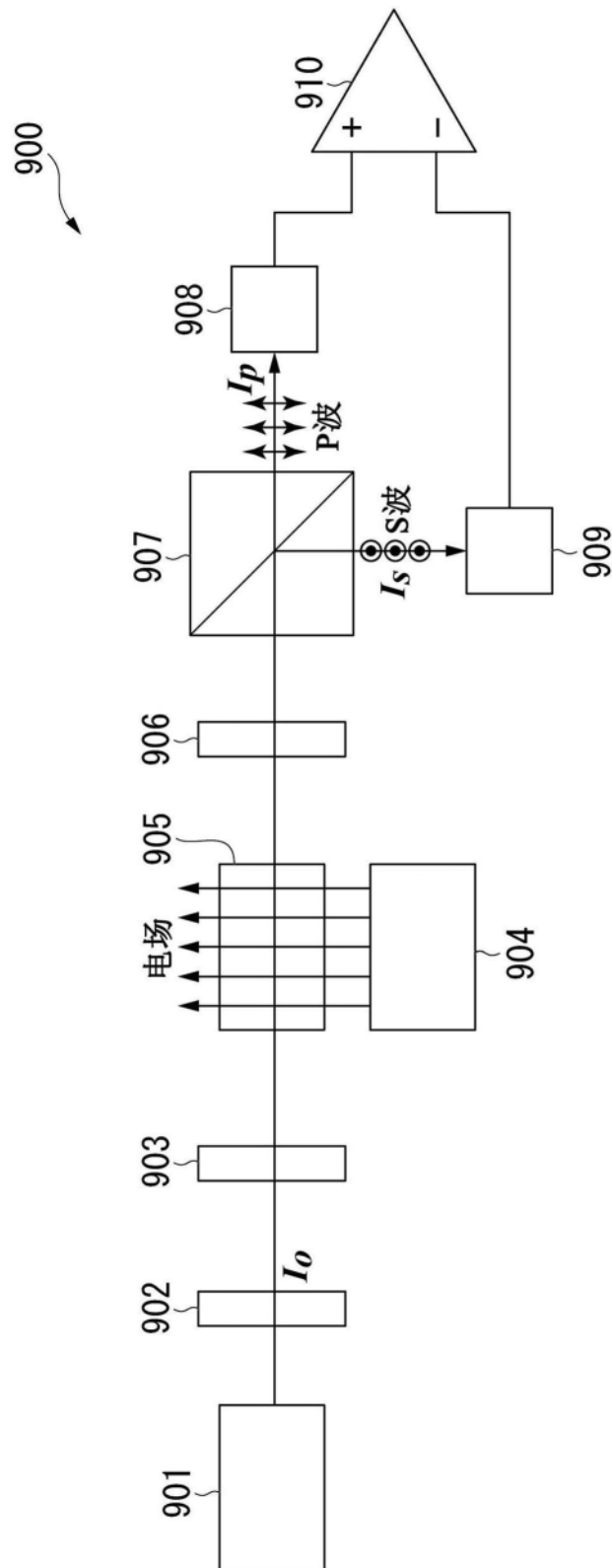


图7

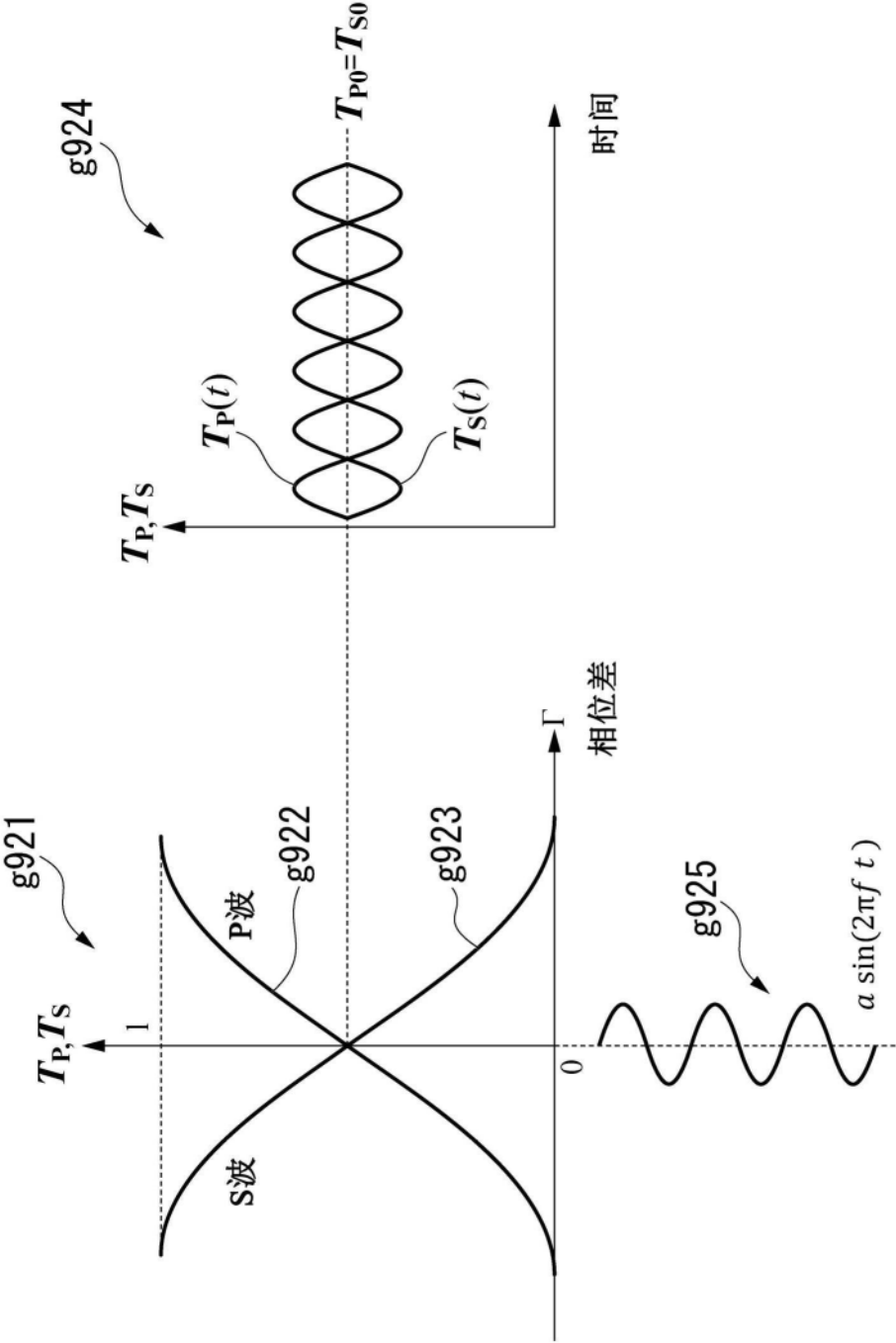


图8

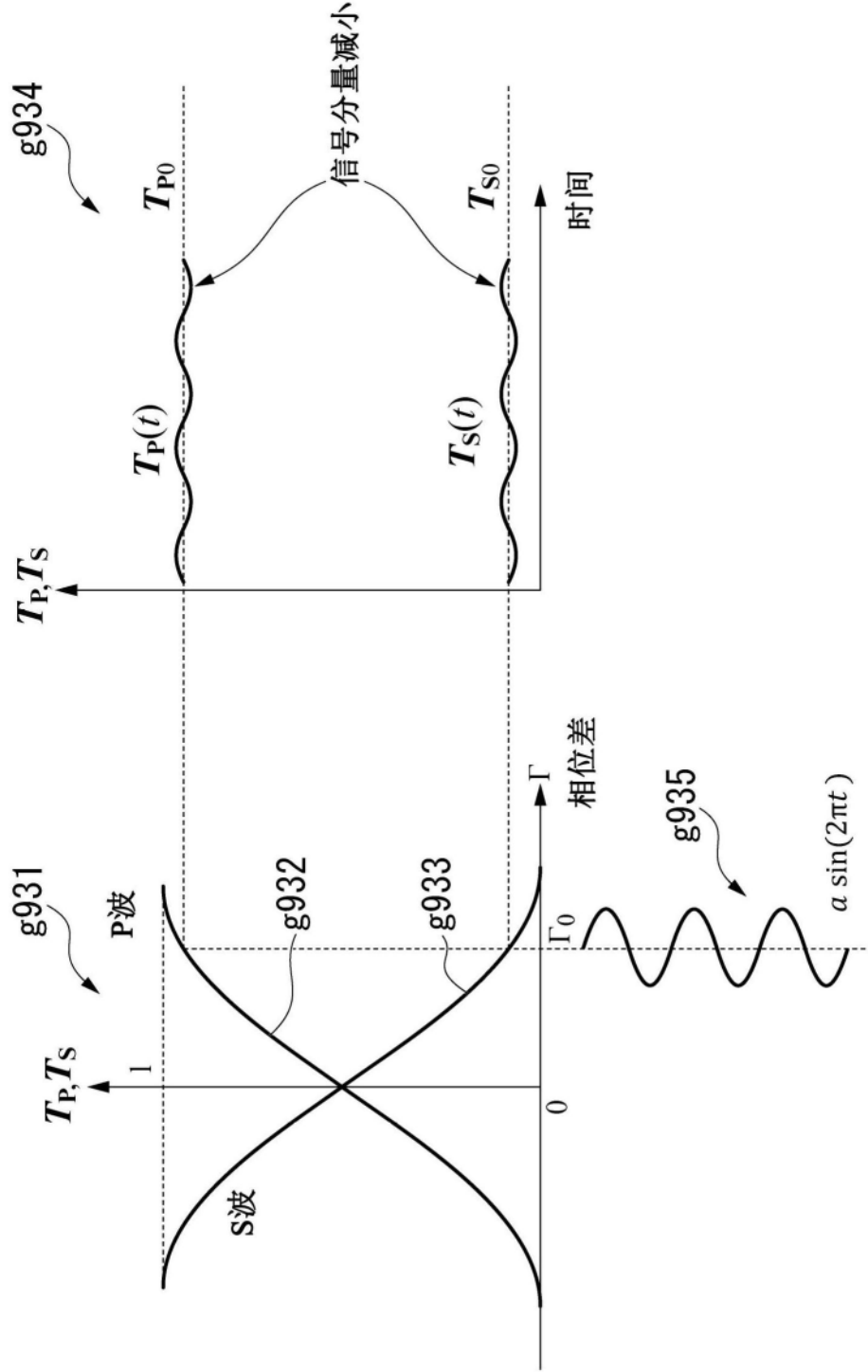


图9

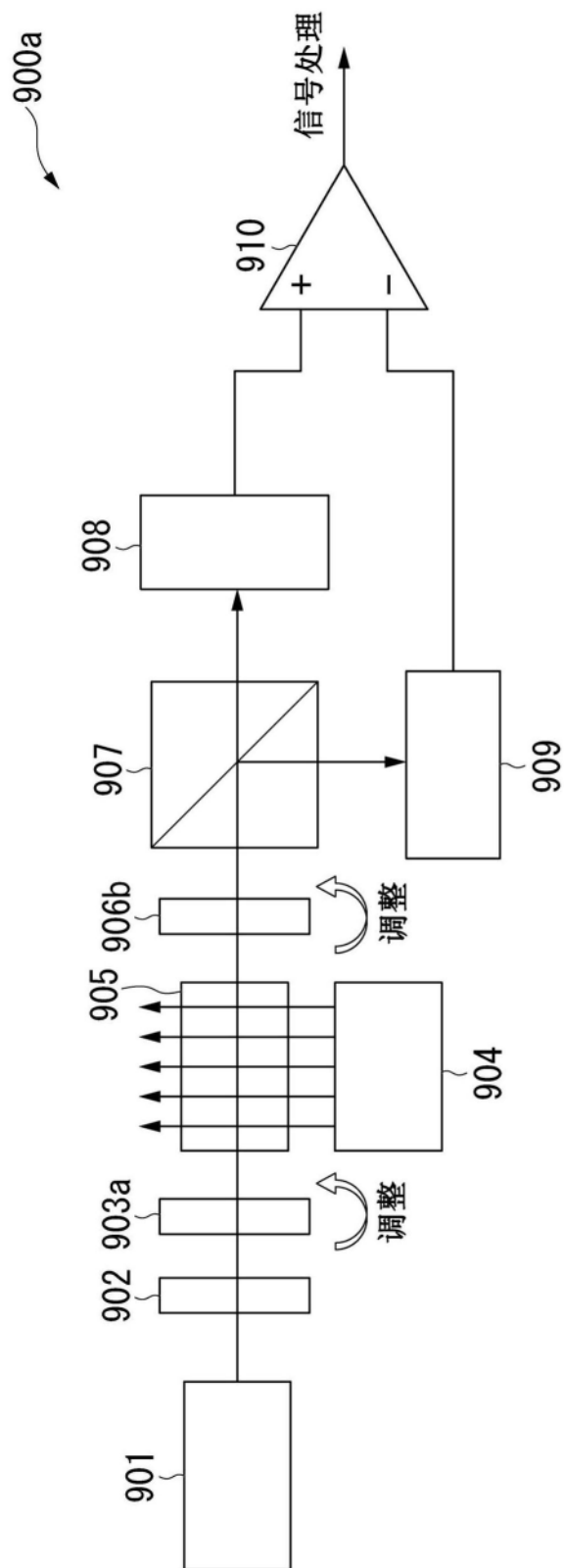


图10