



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102377107 A

(43) 申请公布日 2012.03.14

(21) 申请号 201110219889.9

G02B 27/28(2006.01)

(22) 申请日 2011.07.28

(30) 优先权数据

12/845,570 2010.07.28 US

(71) 申请人 小约翰·P·唐宁

地址 美国华盛顿州

(72) 发明人 杜博拉乌克·伊万·芭比克

小约翰·P·唐宁

(74) 专利代理机构 北京英赛嘉华知识产权代理

有限责任公司 11204

代理人 余滕 王艳春

(51) Int. Cl.

H01S 5/068(2006.01)

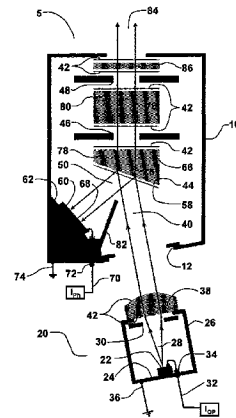
权利要求书 2 页 说明书 15 页 附图 5 页

(54) 发明名称

高稳定性的光源系统及制造方法

(57) 摘要

本申请公开了高稳定性的光源系统及制造方法。提供了一种光源，具有光发射器和分束器，光发射器被构造以发射具有波长带中峰值波长的线性偏振光的光束，分束器具有第一光学表面，第一光学表面被构造以反射光束的第一部分并透射光束的第二部分，分束器具有位于分束器的第一光学表面上的光学涂层，第一光学表面被构造以限定入射面，其特征在于，光学涂层具有针对一系列入射角并针对波长段中的波长 λ 所给定的特征参数 F_{TE} 和 F_{TM} ，其中 F_{TE} 被限定为偏振方向垂直于入射面的光波的功率透射与功率反射的比率，并且 F_{TM} 被限定为偏振方向平行于入射面的光波的功率透射与功率反射的比率，并且参数 F_{TE} 和 F_{TM} 展示了以下性质： $(dF_{TE}/d\lambda > 0$ 和 $dF_{TM}/d\lambda < 0)$ 或者 $(dF_{TE}/d\lambda < 0$ 和 $dF_{TM}/d\lambda > 0)$ 。



1. 一种光源,具有光发射器和分束器,所述光发射器被构造以发射具有波长带中峰值波长的线性偏振光的光束,所述分束器具有第一光学表面,所述第一光学表面被构造以反射所述光束的第一部分并透射所述光束的第二部分,所述分束器具有位于所述分束器的所述第一光学表面上的光学涂层,所述第一光学表面被构造以限定入射面,其特征在于,所述光学涂层具有针对一系列入射角并针对所述波长段中的波长 λ 所给定的特征参数 F_{TE} 和 F_{TM} ,其中 F_{TE} 被限定为偏振方向垂直于所述入射面的光波的功率透射与功率反射的比率,并且 F_{TM} 被限定为偏振方向平行于所述入射面的光波的功率透射与功率反射的比率,并且所述参数 F_{TE} 和 F_{TM} 展示了以下性质:($dF_{TE}/d\lambda > 0$ 和 $dF_{TM}/d\lambda < 0$) 或者 ($dF_{TE}/d\lambda < 0$ 和 $dF_{TM}/d\lambda > 0$)。

2. 如权利要求 1 所述的光源,其中至少一个波长的参数 F_{TE} 和 F_{TM} 相等。

3. 如权利要求 1 所述的光源,其中所述光束具有至少 80% 的偏振度,所述光束具有与所述入射面接近于锐角的光束偏振方向。

4. 如权利要求 1 所述的光源,其中所述光发射器是偏振锁定的垂直腔表面发射激光器、边型发射激光器二极管、二极管泵浦固态激光器、以及光学泵浦半导体激光器中之一。

5. 如权利要求 1 所述的光源,其中所述入射角的范围的中心在 45 度附近。

6. 如权利要求 1 所述的光源,进一步包括:

光检测器;

准直镜,放置在所述分束器和所述半导体光发射器之间;以及
外壳,以阻止由所述光发射器发射的光线到达所述光检测器。

7. 如权利要求 6 所述的光源,进一步包括

结构,被放置成为所述光检测器遮挡外部光或者由所述光发射器发射的散射光。

8. 一种具有光发射器的设备,操作地配置以发射线偏振光的光束;光检测器;分束器,具有相交为锐角的第一光学表面和第二光学表面,所述分束器的所述第一光学表面被构造以反射所述光束的第一部分并且在基本垂直于所述第二光学表面的方向上通过所述第一光学表面并通过所述第二光学表面透射所述光束的第二部分,所述第一光学表面具有光学涂层,其特征在于,所述光学涂层具有为针对一系列入射角并针对在波长段中的波长 λ 所给定的特征参数 F_{TE} 和 F_{TM} ,其中 F_{TE} 被限定为偏振方向垂直于所述入射面的光波的功率透射与功率反射的比率,并且 F_{TM} 被限定为偏振方向平行于所述入射面的光波的功率透射与功率反射的比率,并且所述参数 F_{TE} 和 F_{TM} 展示了以下性质:($dF_{TE}/d\lambda > 0$ 和 $dF_{TM}/d\lambda < 0$) 或者 ($dF_{TE}/d\lambda < 0$ 和 $dF_{TM}/d\lambda > 0$)。

9. 如权利要求 8 所述的设备,进一步包括准直镜,位于所述分束器和所述光发射器之间。

10. 如权利要求 8 所述的设备,其中所述光束具有至少 80% 的偏振度。

11. 如权利要求 10 所述的设备,其中所述光发射器包括偏振锁定的垂直腔表面发射激光器、边型发射激光器二极管、二极管泵浦固态激光器、或光学泵浦半导体激光器。

12. 一种用于将来自光源的光输出的温度敏感度最小化的方法,所述方法包括:提供工作温度范围;提供用于所述光输入的一系列入射角;提供光发射器,操作性地配置以发射具有发射波长和光束偏振方向的线性偏振光的射束,所述发射波长在所述工作温度范围上随着温度变化;限定波长段以至少包括在所述工作温度范围上测量的所有发射波长;提

供具有响应度的光检测器,所述响应度随着具有所述波长段中波长的入射光的波长并随着所述工作温度范围上的温度变化,其特征在于,所述方法包括:提供具有第一光学表面的分束器,所述第一光学表面的特征在于为波长段和一系列入射角指定的参数 F_{TE} 和 F_{TM} ,参数 F_{TE} 被限定为偏振垂直于所述第一光学表面的入射面的光波的功率透射与功率反射的比率,并且参数 F_{TM} 被限定为偏振平行于所述入射面的光波的功率透射与功率反射的比率;装配所述光源以使得所述光发射器操作性地配置为发射待入射到所述第一光学表面上的光束,所述第一光学表面反射所述光束的第一部分并透射所述光束的第二部分;以及将所述光发射器绕其光轴旋转以在所述第一光学表面的所述入射面与所述光束偏振方向之间设定偏振角,从而在工作温度范围上和入射角范围中的角上所述光束的所述第一部分或者所述第二部分的强度的变化均处于最小。

13. 如权利要求 12 所述的方法,其中所述第一光学表面包括位于其上的光学涂层,并且当 $(dF_{TE}/d\lambda > 0$ 和 $dF_{TM}/d\lambda < 0)$ 或者 $(dF_{TE}/d\lambda < 0$ 和 $dF_{TM}/d\lambda > 0)$ 时,对于入射角范围内的所有角,所述参数 F_{TE} 和 F_{TM} 随着波长段中的波长 λ 变化。

13. 如权利要求 12 所述的方法,其中所述方法包括识别参数 F_{TE} 等于参数 F_{TM} 的至少一个波长。

14. 如权利要求 12 所述的方法,进一步包括提供所述分束器,所述分束器具有在相对于所述第一光学表面的锐角处倾斜的第二光学表面,并且其中所述光束的所述第二部分的方向基本垂直于所述第二光学表面。

高稳定性的光源系统及制造方法

技术领域

[0001] 本公开涉及光的产生,更具体地,涉及随时间和温度产生稳定的光功率的光源系统。

背景技术

[0002] 恒定强度的光源通常用于工业、医疗、以及军事应用,其中,在变化的环境条件如温度、压力及湿度下光强度需要保持不变。由于所有光发射器、固态激光介质和光学材料的光特性和电特性随温度及其它环境条件变化,所以绝对稳定的光源是不存在的。然而,针对具体应用发展了稳定性变化的传统光源。

[0003] 对于具体应用很关键的光源属性可包括波长、光谱带宽、稳定性、功率消耗、尺寸及成本。当尺寸和成本为主要考虑因素时,半导体激光器和发光二极管成为光发射器的选择,如果需要简单波束形成装置将输出光限制为一组平行光线,则通常准直透镜、垂直腔面发射激光器 (VCSEL) 和共振腔发光二极管 (RCLED) 会特别适用于多种应用,因为它们具有尺寸小于 0.1mm^2 的芯片并且发出具有低光束发散的圆锥形光束的可见和近红外光。光束发散是与光发射器有一定距离的束直径增加的角测度。此外,商用的微透镜和反射器可与 RCLED 和 VCSEL 直接集成。然而,在运行过程中当温度改变时产生稳定的光强度是具有挑战性的设计问题,其一般会导致尺寸和光源成本的增加。出于这种原因,光源设计者通常必须为了小尺寸而牺牲高稳定性来创建用于特殊应用的光源。

[0004] 用于光纤通信系统和光学感测的光源通常需要在 50°C 变化可多达 15% 的光功率水平。保持恒定的光强度必需的控制水平可通过将温度传感器靠近半导体光发射器放置,以及将穿过半导体光发射器的驱动电流改变的电子电路的使用以保持近似恒定的输出光强度来实现。例如,参见美国专利第 4,841,157 号。对于许多应用,这类输出控制产出的不足的光源稳定性的主要原因是,通常用于该目的的半导体光发射器的输出光强度以不可预测和不可控制的速率随时间下降。

[0005] 在另一传统系统中,由半导体光发射器发出的一部分光与预置信号进行比较,光发射器的驱动电流持续地被调整为使输出强度成为期望值。这种方法在传统感测应用中的几乎所有的光纤模块和光源中是常见的,并且导致在 50°C 光强度起伏少于 5%。当光电探测器集成在 VCSEL 芯片中时,上述系统中的这些探测器实现的控制精度对于许多应用来说不能令人满意并且将继续不能令人满意。

[0006] 例如,在包括但不限于激光扫描、水浊度传感和空气浊度传感、空气粒子分析、雾及可见度监测和血气分析的某些应用中,需要具有这样的输出强度的光源,即对于多种吸收、透射比和光散射测量来说温度变化达到范围为 50°C 而改变少于 1/2% 的光源将显著受益于微型高稳定光源。微型光源被限定为可由两节 AA 碱性电池驱动的光源,并且约为普通弹球的尺寸(大体上为 1cm^3 或 JEDEC TO-5 封装)。因为热电冷却器消耗了大量的电能,所以上述需要排除热电冷却器的实施,从而将温度和波长保持在预设值。在一些应用中,例如在共焦显微镜、DNA 测序、生物医学仪器和流式细胞仪中,小尺寸不是限制需求。包括所公

开的不带有热电冷却器的强度稳定系统的二极管泵浦固体激光器 (DPSSL) 和光学泵浦半导体激光器 (OPSL) 需要为这些应用设计的便携式、电池供电的系统。目前在市场上还没有这样的产品,而明显地在工业中需要在环境温度变化时保持稳定的光源。

发明内容

[0007] 根据本申请的一方面,提供了一种光源,具有光发射器和分束器,所述光发射器被构造以发射具有波长带中峰值波长的线性偏振光的光束,所述分束器具有第一光学表面,所述第一光学表面被构造以反射所述光束的第一部分并透射所述光束的第二部分,所述分束器具有位于所述分束器的所述第一光学表面上的光学涂层,所述第一光学表面被构造以限定入射面,其特征在于,所述光学涂层具有针对一系列入射角并针对所述波长段中的波长 λ 所给定的特征参数 F_{TE} 和 F_{TM} ,其中 F_{TE} 被限定为偏振方向垂直于所述入射面的光波的功率透射与功率反射的比率,并且 F_{TM} 被限定为偏振方向平行于所述入射面的光波的功率透射与功率反射的比率,并且所述参数 F_{TE} 和 F_{TM} 展示了以下性质: ($dF_{TE}/d\lambda > 0$ 和 $dF_{TM}/d\lambda < 0$) 或者 ($dF_{TE}/d\lambda < 0$ 和 $dF_{TM}/d\lambda > 0$)。

[0008] 根据本申请的另一方面,提供了一种用于将来自光源的光输出的温度敏感度最小化的方法,所述方法包括:提供工作温度范围;提供用于所述光输入的一系列入射角;提供光发射器,操作地配置以发射具有发射波长和光束偏振方向的线性偏振光的射束,所述发射波长在所述工作温度范围上随着温度变化;限定波长段以至少包括在所述工作温度范围上测量的所有发射波长;提供具有响应度的光检测器,所述响应度随着具有所述波长段中波长的入射光的波长并随着所述工作温度范围上的温度变化,其特征在于,所述方法包括:提供具有第一光学表面的分束器,所述第一光学表面的特征在于为波长段和一系列入射角指定的参数 F_{TE} 和 F_{TM} ,参数 F_{TE} 被限定为偏振垂直于所述第一光学表面的入射面的光波的功率透射与功率反射的比率,并且参数 F_{TM} 被限定为偏振平行于所述入射面的光波的功率透射与功率反射的比率;装配所述光源以使得所述光发射器操作地配置为发射待入射到所述第一光学表面上的光束,所述第一光学表面反射所述光束的第一部分并透射所述光束的第二部分;以及将所述光发射器绕其光轴旋转以在所述第一光学表面的所述入射面与所述光束偏振方向之间设定偏振角,从而在工作温度范围上和入射角范围中的角上所述光束的所述第一部分或者所述第二部分的强度的变化均处于最小。

附图说明

[0009] 通过结合附图将在以下的详细描述中更好地理解本公开的上述及其它特点和优点,在附图中:

[0010] 图 1 为用于根据本公开形成的受控强度的发射光的闭环控制系统的原理图;

[0011] 图 2 为偏振角在温度范围内的偏振角图;

[0012] 图 3 示出根据本公开形成的具有角度定义的光学透明楔形棱镜形式的分束器;

[0013] 图 4A 和图 4B 示出分别根据本公开对于多个校准偏振角 Φ_0 的 H·F 的字母组合的乘积随温度的变化,以及对示范的单表面涂层的分束器的偏振 TM 和 TE 的 F 比 (T/R) 的光谱扫描的插图;

[0014] 图 5 示出根据本公开形成的具有涂层的楔形分束器的光源的输出功率的相对误

差；

[0015] 图 6A 至图 6C 示出根据本公开形成的稳定的光源设备的实施方式；以及

[0016] 图 7 包括表 1 和表 2。

具体实施方式

[0017] 为了使读者能够彻底理解本发明所公开的多种实施方式，在下面的说明书中对某些具体细节进行了陈述。但是，本领域技术人员应了解，不依赖一个或多个这些具体细节，或者依靠其它方法、部件、材料等，也能够实施本发明的实施方式。在其它实例中，没有对与包括但不限于发光二极管、棱镜、镜的光源相关的公知结构或部件或这两者进行描述或图示，从而避免使这些实施方式的说明产生不必要的模糊。

[0018] 除非文中另有需要，遍及说明书和权利要求书所称的“comprise(包括)”及其变体，例如“comprises(包括)”和“comprising(包括)”，均应理解为开放性的包括，即“包括但不限于”。

[0019] 该说明书中，参照“one embodiment(一个实施方式)”或“an embodiment(一个实施方式)”意味着该实施方式的相关具体特征、结构或特性被包括在至少一个实施方式中。因此，说明书中多处出现的短语“in one embodiment(在一个实施方式中)”或“in an embodiment(在一个实施方式中)”不必全部参照同一个实施方式。此外，可以通过任意合适的方式将具体的特征、结构或特性结合在一个或多个实施方式中。

[0020] 除非文中明确指明，本说明书和所附权利要求中所使用的单数形式“a(一个)”，“an(一个)”和“the(该、所述)”包括复数参照对象。还应注意，除非文中明确指明，术语“or(或)”通常使用其最广泛的含义，表示“and/or(和/或)”的含义。

[0021] 本公开的标题和摘要仅为了方便之用，并不说明实施方式的范围和含义。

[0022] 光源系统：本公开提供了使用闭环控制以在输出光束中保持稳定的光功率的光源的优选实施方式。在图 1 中示出根据本公开形成的用于发射光受控强度的闭环控制系统的原理框图。闭环控制系统包括：光发射器，发射功率为 P_L 的光束；涂层的分束器，将一部分入射光以功率反射比 R 反射并且将一部分入射光以功率透射比 T_X 透射；以及光电探测器，其具有单位为 A/W 的响应度 S 与相关控制电子器件。光发射器可以是下列连续波激光器中的任意一种：(1) 垂直腔面发射激光器 (VCSEL)、(2) 边型发射激光二极管 (ELED)、(3) 二极管泵浦固态激光器 (DPSSL)、和 (4) 光学泵浦半导体激光器 (OPSL)。下面将对这些激光器的基本特性进行描述。

[0023] 反射的光功率 $P_R = \eta_R R \cdot P_L$ 耦合至具有耦合效率 η_R 的光电探测器。下面将对影响耦合效率 η_R 的现象进行讨论。光功率 P_R 转化为经过灵敏电阻 R_S 的电流 $I_M = S \cdot P_R$ 。因为如现有技术中已知的那样存在多于一种的在控制环路中产生电反馈的方式，所以灵敏电阻 R_S 仅用于说明。控制电压 $V_R = R_S \cdot I_M$ 与预设的参考电压 V_{REF} 相比较，电压差通过控制电路用于调整光电探测器采集的光的强度，以使 V_R 等于 V_{REF} ，并且恒定的输出功率 P_{OUT} 理想地保持在预设水平。透射或反射（参见下文）的光被称为输出光束，输出光束由峰值波长 λ_e 、光谱带宽、发散角、源孔径大小和在具体应用中所需的其它特性来说明。输出光束的功率为 $P_{OUT} = \eta_X T_X \cdot P_L$ ，其中 η_X 为外部耦合效率，这说明了下文中讨论的影响输出光束向其目的地输送的所有因素。如图 1 中所示的执行闭环控制的系统、装置和电路对于本领域技

术人员是已知的,本文不再进行描述。

[0024] 用于以上所列举应用的优选实施方式采用图 1 所示的原理框图,该原理框图包括新的光学设计和制造方法。在一个实施方式中,图 1 中所示的闭环控制系统保持由 V_{REF} 输入控制的恒定的输出强度,而光发射器强度和其它系统特性随着温度、湿度、压力、光发射器寿命以及改变光发射器驱动电流或 DPSS 和 OPS 激光器的泵流与其输出强度之间关系的其它现象而改变。

[0025] 闭环系统在输出光束中保持恒定的光功率的能力,尤其是当温度改变并且光发射器光功率和光束质量随时间下降时,由系统中的其它部件的稳定性来限制。在图 1 所示的系统中,控制电子器件将保持 $V_R \cong V_{REF}$,精度由随温度变化的噪声和电子部件以及控制环路的有限增益限制。由于上述原因引起的 V_{REF} 与 V_R 之间的差值的数量级为百万分之几 (ppm),这在所公开的系统中是不重要的。除了从分束器采集反射的光之外,光电探测器还可采集来源于光源外壳之外的外部光 P_X 、来自半导体光发射器的侧面的自发射 P_{SE} 、从激光束散射的受激发射、以及被统称为漫射光 P_S 的来自任意源以及由光电探测器上的封装内的结构反射的和衍射的光。 P_{SE} 、 P_X 和 P_S 将共同使控制系统从其预设水平错误地降低输出光束的光功率,从而产生根据等式 (1) 的误差。

[0026] 在等式 (1) 中说明了可影响提出的光源系统中输出功率的重要现象的函数关系。

$$[0027] \quad P_{OUT} = \left(\frac{T_X}{R} \right) \cdot \left(\frac{\eta_X}{\eta_R} \right) \cdot \left(\frac{V_R}{SR_S} - P_{SE} - P_S - P_X \right) \quad (1)$$

[0028] 许多这些现象随环境温度而改变,如下面将讨论的那样。在下文中,比率 T_X/R 被称为 F 比, S 为温度和波长的函数,而 S_0 为校准温度和波长、通常为室温和校准波长下的响应度 (S_0 是常数)。参数 H 由等式 (2) 限定并且为光源特性。

$$[0029] \quad H(T, \lambda) = \frac{\eta_X}{\eta_R} \cdot \frac{S_0}{S} \quad (2)$$

[0030] 等式 (3) 中的温度变量 H 可与外部耦合系数 η_X 一同被计算为:

[0031]

$$\frac{1}{H} \frac{dH}{dT} = \frac{1}{\eta_X} \frac{d\eta_X}{dT} - \frac{1}{\eta_R} \frac{d\eta_R}{dT} - \frac{1}{S} \frac{dS}{dT} \quad [\text{ppm}/^\circ\text{C}] \quad (3)$$

[0032] 要注意所有的微分都是全导数。通过设计, $d\eta_X/\eta_X dT$ 和 $d\eta_R/\eta_R$ 对于光电探测器温度和波长灵敏度 dS/SdT 是可忽略的,因此 $dH/H dT \approx -dS/SdT$ 。在下面的分析中使用范值 $\partial S/\partial \lambda \approx +750 \text{ ppm/nm}$ 、 $\partial S/\partial T = +40 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 以及 $d\lambda/dT = 0.08 \text{ nm}/^\circ\text{C}$, 我们假设 $dH/HdT \approx -750 \cdot d\lambda/dT - 40 = -100 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 。该灵敏度可通过测量或制造者的说明书来准确确定,并将用于下面描述的设计方法中。

[0033] 当在光源的运行过程中等式 (1) 中表达的任意现象从其初始值改变时可引起相对控制误差,相对控制误差为输出光束的光功率从预设水平相对于该预设水平的改变,这个改变通常等于特定温度范围内的平均输出功率 P_{AVG} 。用 ppm 表示的输出功率 P_{OUT} 的相对控制误差被限定为:

$$[0034] \quad D(T) = \frac{P_{OUT}(T) - P_{AVG}}{P_{AVG}} * 10^6 \quad (4)$$

[0035] 在下文中,除非另有说明,控制误差将意味着相对控制误差。 $D(T)$ 的最大值与最小值之间的差值除以温度范围来限定由 ppm/°C 表示的每单位温度的相对控制误差。优选实施方式的输出功率的每单位温度的相对控制误差低于 ppm/°C。以下是对影响闭环控制系统的控制精度的现象的简要说明。

[0036] 光发射器:本公开的优选实施方式可精确地控制由多种校准的、相干光发射器发出的光功率。适用于本发明的光发射器具有以下共性:(1) 它们发射单模的偏振稳定光的光束;(2) 它们以连续波 CW 或转换模式运行,其中,转换频率少于几 kHz 并且占空比至少为 10%;(3) 它们的发射波长以基本线性的方式随温度变化;以及(4) 它们具有少于约 0.5nm 的光谱带宽。对于在同步检波感测系统中需要相锁定的光发射器的应用,以转换模式运行是重要的。

[0037] 优选的半导体光发射器是偏振锁定的、单模 VCSEL。单模 VCSEL 发出一个纵模和一个横模,在其发射光谱中存在单个峰值。VCSEL 的特征在于其峰值波长(与发出的光的最大强度相对应的波长)。VCSEL 的发射波长基于建造其的活性材料。其它重要的光谱特征包括光谱带宽和边模抑制比(SMSR),光谱带宽为功率是峰值波长处的光功率的一半的谱点处的波长差,边模抑制比(SMSR)为用分贝(dB)表示的相对于基谱模的第一高次模的功率。由发明人进行的实验指出,优选的实施方式一般需要 10dB 的最小 SMSR, SMSR > 10dB 则是说明 VCSEL 发射基本上为线性偏振光的良好第一指示。VCSEL 具有波长范围在 400nm 至 1550nm 内的一些峰值波长。此外,VCSEL 具有 1-4mA 的低阈值电流,这对于电池供能的运行和需要简单的波束形成光学装置的近似圆形的光束是有利的。

[0038] 另一优选的半导体光发射器是单模边型发射激光二极管 EELD。边型发射激光二极管具有波长范围在 400nm 至 1550nm 内的一些峰值发射波长。边型发射激光二极管的光谱带宽通常小于 0.5nm,偏振度通常超过 99%。与 VCSEL 相比,EELD 的散光及固有的椭圆光束使其发射更难进行校准。此外,EELD 的阈值电流大致比 VCSEL 高 10 倍,这使得 EELD 成为不太理想的电池供能系统。

[0039] 具有适当特性的其它光发射器为二极管泵浦固态激光器 DPSSL 和光学泵浦半导体激光器 OPSL。DPSSL 和 OPSL 具有波长范围在 400nm 至 1550nm 内的一些峰值波长。此外,这些激光器满足上述关于偏振特征和模式结构的其它需求。

[0040] 分束器将光束的第一部分反射至光电探测器并将第二部分透射至输出光束。在高稳定光源的构造中,尤其关注透射和反射光束的波长和偏振依赖性,如干涉条纹(标准具)。使用优选设计来减轻这两种现象。

[0041] 光学性质的温度依赖性:在图 1 所示的系统中,F 比是确定相对误差的关键因素,并且必须使 F 比随温度的变化最小化以获得输出光密度的高稳定性-见等式(1)。任何分束器的 F 的波长和偏振依赖性将通过折射率、入射角、可能存在于分束器上的光学涂层、以及位于光电探测器位置处和输出光束中的干涉条纹来确定。无论分束器被设计得如何精良,F 比的某些波长和偏振依赖性都是不可避免的。发明人已经发现,存在于市售的分束器中的不受控制的波长和偏振依赖性和干涉条纹的出现(下面描述)使它们不适用于本公开。

[0042] 干涉:由光发射器发射的光束在其透射穿过光学系统时能够遭遇干涉。这类干涉类似于 Fabry-Perot 共振器、或标准具,Fabry-Perot 共振器或标准具的透射和反射光谱根据反射之间的往返是否导致偶数(相长干涉)或奇数(相消干涉)相位差(这些相位

差是 π 的倍数) 展示峰或谷、条纹。干涉使光密度出现不可预知的波动, 该波动能够超过 10000ppm/°C, 并且当来自光发射器或固态激光器的光的波长随着温度变化时能够导致大的控制误差。干涉能够出现在任何光学系统中, 当相干光的光束被分成两个或更多个光束时, 这两个或更多个光束随具有不同光学长度的路径到达光探测器, 在光探测器处, 它们相长地干涉或相消地干涉。干涉条纹能够出现在分束器(平板或立方体)、涂有环氧树脂的光电二极管、玻璃窗、透镜中, 并且能够出现在透射或反射光束重叠且透射面之间的距离小于光发射器的相干长度的自由空间中。适于本系统的激光器的相干长度位于几毫米与几米之间, 因此在优选的系统中潜在地存在能够产生有害干涉条纹的多种反射面设置。

[0043] 本公开所公开的实施方式通过使分束器设计最优化并基于光发射器的性能和光电探测器 S 随着波长和温度的净改变调节分束器的自由参数来实现出众的光源稳定性。光束的波长、偏振漂移、入射角和干涉的出现是在改造用于本目的分束器必须处理的主要现象。分束器的其它光学性质的温度依赖性通常明显更小。

[0044] 分束器 F 比的漂移。具有各种形状的单面分束器被用于优选的实施方式中。这些形状的详细描述将在下面提供。分束器的 F 比取决于制造分束器的玻璃的折射率以及可能涂覆至分束器表面的折射涂层的光学性质。波长、偏振角、和入射光束的角度也影响 F。如本领域所公知, 半导体光发射器和固态激光器材料的这些属性随着温度改变。具有涂层的分束器的 F 比对波长和入射角十分敏感, 但对如下面所定义的偏振角的变化不太敏感。

[0045] 反射耦合系数 (η_R)。影响反射效率的现象包括光电探测器的感光区域的大小、除最初之外的增长和衰退模式和瞄准误差。瞄准误差是在光发射器的温度变化时光束相对于初始位置的偏差。这些特性全部随着驱动电流和泵浦电流以及半导体光发射器的温度而改变。众所周知, 光发射器的发射角能够随着驱动电流变化。分束器将整个光束反射至光电探测器上而不因衍射、孔径光阑和视场光阑而损失密度的能力必须与温度无关, 从而不会引入控制误差。如等式 (1) 所表达, η_R 的增加将减弱输出光束的功率。

[0046] 外部耦合系数 (η_X)。影响输出耦合的光束截面的改变通常与关于反射耦合效率所描述的光束截面的改变一样, 并且整个光束必须传输至输出装置。根据等式 (1), η_X 的增加将提升输出光束的光学功率。

[0047] 控制电压的漂移 V_{REF} 可能由功率供给电压的波动导致。高质量的基准电压将漂移约 10ppm/°C。

[0048] 响应率 (S) 是光电探测器所采集的每单位光功率所产生的光电流的量。其取决于被探测光的波长、探测器温度、以及探测器的感光区域中的采集光的位置。

[0049] 耦合至光电探测器内的自发发射 PSE 的量将取决于该系统的物理构造并通常将与半导体光发射器的驱动电流成比例。减少 P_{SE} 与光电探测器的耦合的方法将稍后描述。

[0050] 散射激光 P_S 与光电探测器的耦合将取决于光束的空间范围和反射耦合系数。自发发射的与散射激光的总和被称为杂散光。减少 P_S 与光电探测器的耦合的方法将在下面描述。

[0051] 衍射: 光束超过发射器的光学器件的几何限制的传播能够改变光至光电探测器的耦合并在反射和输出光束中产生耦合误差。这些误差将包括到 η_R 和 η_X 系数中。

[0052] 外部光的强度 P_X 通常取决于光源的物理设计和外部照明的可用性、相对于天空的方向以及时刻。其不取决于温度。外部光能够滤光器、诸如孔径的结构、和同步探测拒绝,

如本领域公知的那样。所公开的实施方式中的减少 P_x 与光电探测器的耦合的方法将在下文描述。

[0053] 激光波长的温度依赖性: VCSEL、EELD、DPSSL 和 OPSL 的激光波长由光波在激光器腔中的往返时间确定。众所周知, 构成激光器腔的半导体和固态电介质的折射率随着温度增加, 因此往返时间的增长导致发射波长的增加。光发射器的温度的变化和光波长的相关改变基本上限制所公开系统之外的、具有偏振选择性损失并不具有温度调节的系统所能够获得的精度。VCSEL 发射波长随着温度的变化速度 $\beta \equiv d\lambda/dT$ 约为 0.05 至 0.08nm/°C 并且对于 EELD, 该变化速度能够高达 0.35nm/°C。对于 50°C 的工作温度范围, 波长可以因此变化 2.5 至 17.5nm, 其影响分束器的 F 比、光衍射量、以及干涉所引起的密度波动。其还影响用于该系统的抗反射 (AR) 和高反射 HR 光学涂层的 F 比。

[0054] 偏振效应: 具有随着光发射器所发射的光的偏振而变化的 F 比的任何光学元件能够改变图 1 所描绘的系统中的输出光束的功率并产生控制误差。因此, 被选用于优选实施方式的光发射器的偏振特性必须在设计过程中考虑、在选择期间小心指定、筛选, 并最终在制造过程中量化。光发射器的筛选、选择和特性化将稍后解释。

[0055] 入射面是由曲面法线和限定入射辐射的方向的向量所限定的平面。线性偏振意味着在光束的横向的电波和磁波之间不存在相位差, 并且电场的平面不相对于激光束的轴线旋转。在其中电场旋转或具有相对于光发射器的参考平面的随机方向的光束是非偏振的。称为偏振方向的电场振荡的平面与包含激光束轴线并相对于半导体激光器 (VCSEL 或 EELD)、激光器材料或组件、或分束器的入射面或偏振器的透射平面固定的另一个平面之间的角度是偏振角 ϕ 。在线性偏振光的横向电场 (TE) 入射中, 电场垂直于入射面。在横向磁场 (TM) 入射中, 这些光束的电场平行于入射面。从单空气介电表面反射的偏振状态是入射光束的正交的 TE 和 TM 向量分量的向量和。

[0056] 百分比表示的偏振度 = $100 \times (\text{最大偏振中的光功率} - \text{最小偏振中的光功率}) / (\text{最大偏振中的光功率} + \text{最小偏振中的光功率})$, Born 和 Wolf, Principles of Optics (光学原理), Cambridge University Press (2002)。发明人已经确定, 为了可用于所公开的高稳定光源中, 光束具有至少 80% 的偏振度。

[0057] 偏振锁定的 VCSEL 是市售的且 SMSR > 10dB, 并且在有限的制造商 - 指定的电流范围和温度上保持单模工作。虽然这种激光器的偏振是“锁定的”, 这意味着其不随着温度变化而在 TE 与 TM 偏振之间突然转换, 偏振角能够随着结温度逐渐并单调地变化。图 2 示出发明人在五个偏振锁定的 VCSEL 上所测量到的逐渐变化偏振角。图 2 所报告的数值代表参数 $\gamma \equiv d\phi/dT$ 。制造商通常不提供关于它们的光发射器的偏振特性的信息或如图 2 所示的示例的用于偏振稳定性的说明。然而, 发明人已经确定, 大于 10dB 的 SMSR 值是 VCSEL 发射基本线性的偏振光的良好第一指示。在制造高稳定光源的优选方法的一个实施方式中, 光发射器具有如下文所述的偏振角的特性。

[0058] 偏振角的测量: 使用旋转偏振器法测量光发射器在具体应用所需的在驱动电流或温度上的全偏振特性。旋转偏振器法的精度不取决于偏振器的消光比。虽然旋转偏振器法是现有技术公知的, 但其在本公开中的应用是独特的。在旋转偏振器法中, 将光发射器安装至被设定为初始温度 T_0 的温控台的固定位置, 并且使用被设定为初始驱动电流 I_0 的恒流源驱动光发射器。输出光束穿过偏振器并且通过对偏振不敏感的光电探测器测量透射光束密

度。在多个角度 ϕ 测量光密度以确定函数 $P(\phi)$ ，对于线性偏振源，该函数是正弦函数。随后将温控台变为不同的温度 T_2 并且将驱动电流设定为保持与第一步期间基本相同的最大密度并且再次测量强度函数 $P(\phi)$ 。弧度之间的角的度数的横向偏移量给出光发射器的偏振角 γ 随温度的变化。图 2 所示的 VCSEL 的数据是使用旋转偏振器法获得的。

[0059] 在制造高稳定光源的优选方法的一个实施方式中，使用上述旋转偏振器法使光发射器具有随着温度的偏振漂移的特性。

[0060] 光电探测器：图 1 的闭环控制系统依靠半导体光电探测器将光功率转换为电功率。优选高稳定光源的控制误差将通过探测器随着波长和温度的响应率的漂移限制。通常诸如能够用于本公开的硅和铟镓砷光电探测器具有响应率随着被探测波长 ($dS/Sd\lambda$) 变化平均约 750ppm/nm 并且随着温度 ($dS/SdT\lambda$) 变化 $\pm 50\text{ppm}/^\circ\text{C}$ (硅) 并且 $< \pm 800\text{ppm}/^\circ\text{C}$ (铟镓砷)。后一种装置将需要分类以识别具有适于高稳定光源的 $dS/SdT\lambda$ 的装置。除了波长和温度之外，S 在光电二极管的有效区域上变化。某些光电二极管展现出具有处于 4 至 $9 \cdot 10^{-4}$ 范围内的相对标准偏差的变化性，对于高稳定光源的优选实施方式，该范围是可接受地小。适于这种应用的光电探测器是日本 Hamamatsu 公司制造的模块 S2387 系列 (硅) 和 G6742 系列 (铟镓砷) 光电二极管。高品质光电二极管的 S 的温度和光谱偏移接近线性并产生净效应，净效应能够包括到 η_R 系数中并包括在下文所讨论的最优计划中。见等式 (3)。

[0061] 单面分束器：公开了使用楔形棱镜消除或明显减少干涉的多个实施方式。在本公开的优选实施方式中，分束器是楔形棱镜，该楔形棱镜由光学透明的、非双折射的、介电材料制成并且在用于分割来自光发射器的光束的第一表面产生镜面反射和透射，同时来自第二表面的反射被引导远离探测器并且不与来自第一表面的反射干涉。

[0062] 在图 3 的帮助下解释该实施方式。图中所示的分束器由类似玻璃的、刚性的、光学透明的折射率为 n 的介电材料制成，并且其具有第一光学表面，第一光学表面与第二光学表面封闭为锐角 α 。通过光学表面，我们想说用于系统以反射透射光的表面。楔形棱镜的其它表面不是光学表面并且在不背离本公开的情况下能够以多种方式实施。入射光束入射在第一光学表面 (1^{st} 表面) 上并且朝着光电探测器反射 (样本光束) 并且同时作为输出光束 (1^{st} 输出光束) 透射至被示为输出光电探测器的输出装置。入射光束与输出光束 (1^{st} 输出光束) 之间的角度由 θ_i 给出，同时入射光束与反射光束 (样本光束) 之间的角度由 θ_m 表示，在第一表面处给出入射角 $\theta_m/2$ 。在一个实施方式中，第一光学表面具有光学涂层，该光学涂层可以是高反射 (HR) 涂层。在另一个实施方式中，楔形的第二光学表面 (2^{nd} 表面) 涂有抗反射涂层，抗反射涂层增加分束器的透射率和输出光束 (1^{st} 输出光束) 的强度。

[0063] 在一个实施方式中， 1^{st} 输出光束基本位于分束器的第二光学表面的法向。在这种情况下，对于优选光学透明的楔形，角度 θ_i 、 θ_m 和 α 之间的关系通过等式 5 和 6 给出。

$$[0064] \quad \theta_i + \alpha = \frac{\theta_m}{2} \text{ 和 } \theta_m = 2\sin^{-1}(n\sin \alpha) \quad (5 \text{ 和 } 6)$$

[0065] 楔形角 α 必须超过临界值，使得来自第一和第二表面的反射在光学探测器处不重叠，因此不产生干涉。在实践中，当使用准直的、市面上可买到的偏振光发射器时，大于几度的楔形角 (α) 足以防止干涉。

[0066] 该优选分束器的优点在于 (i) 角度 α 足以防止光电探测器处的反射光束和输出

装置处的输出光束形成干涉条纹；以及 (ii) 由于入射角是 90° ，光束偏振对穿过第二表面的光束透射没有影响。以下章节说明满足温度和偏振依赖性的高稳定光源的设计并且假设仅有来自分束器的一个反射。

[0067] 单空气介电表面处的反射和透射：偏振光发射器的光束以角度 $\theta_M/2$ 入射至分束器的第一光学表面上（图 3 所示）并且朝着楔形的开放端入射。对于任何偏振角 ϕ 的 F 比能够通过 TM 和 TE 偏振方向上的 F 的值完全表示。

$$[0068] \quad F(\phi) = \frac{2(1+F_{TM})(1+F_{TE})}{(1+F_{TE})+(1+F_{TM})-(F_{TM}-F_{TE})\cos 2\phi} - 1 \quad (7)$$

[0069] 等式 (7) 中的 F 比给出对分束器结构中的所有光学参数的依赖性，包括 λ 、 ϕ 、 θ 和 n ，并且其适用于具有涂层或不具有涂层的单表面分束器。

[0070] 用于偏振光的有涂层的单表面分束器：在本公开的优选实施方式中，单表面分束器具有偏振的高反射 HR 涂层，其针对波长范围（所谓的波长带）设计，在该波长范围上，必须对由温度对光发射器的偏振、光探测器灵敏度、耦合效率以及其他因素所造成的影响提供补偿。这是通过光发射器的制造公差和在正常运行时将发生的波长变换来确定的。相比于无涂层的分束器，这种涂层的主要优点是其偏振特性可以设计以提高稳定性，对于分束器而言这些特性是由绝缘材料的光学特性所确定的。

[0071] 以 VCSEL 作为示例性分束器，这个范围的最短波长 λ_{\min} 将等于一批 VCSEL 中最小波长减去由工作温度范围产生的波长变化的一半。最大波长 λ_{\max} 将等于一批 VCSEL 中的最长波长加上相同的波长变化。这些相同的属性用于限定其他光发射器（诸如 EELD、DPSS1、OPSL）的波长带。涂层的另一个重要特点是，TE 偏振的 F 比光谱的斜率的符号与 TM 偏振的 F 比光谱的斜率的符号相反。 F_{TE} 是偏振方向垂直于入射面的光波的功率透射与功率反射的比率， F_{TM} 是偏振方向平行于入射面的光波的功率透射与功率反射的比率。此外，有利的是使这些光谱斜率的绝对值近似相等，而且进一步有利的是，TE 和 TM 光谱在一个波长 λ_x 处交叉，这个波长优选地靠近波长带的中部，因为对于在设置校准角 ϕ_0 时要求最低精度而言，这是有利的。然而，这个波长可以靠近最小波长或最大波长，甚至可以在波长带以外、波长带宽度一半处，而且这些都保持在本发明的精神内。在数学术语方面，在 λ_x 处 $F_{TE} = F_{TM}$ 且 $dF_{TM}/d\lambda \approx -dF_{TE}/d\lambda$ 。 $F_{TE}(\lambda)$ 和 $F_{TM}(\lambda)$ 光谱的另一期望的特点是，它们基本上是线性的。表示为比率，指定区域内的单调函数的线性等于 1.0 减去连接最小值和最大值的直线的函数的最大偏转除以整个区域的范围。

[0072] 图 4A 中的示例性 F 曲线具有大于 0.85 的线性度。系统的随温度变化的两个独立参数（诸如光探测器灵敏度和耦合效率）可以在它们的函数随着温度以相似比率但以相反方向变化的情况下彼此补偿。虽然在示例性系统中温度感应变化基本是线性的，但是非线性曲线形状可以通过本文所述的方法进行补偿，并且保持在本发明的精神内。F 和 H 光谱的许多特点都是可能的，而且本文所述的示例性特定并不限制本公开的范围。

[0073] 我们首先讨论 F 比的变化。图 4A 示出了 TM- 和 TE- 偏振光束以 45° 入射到示例性 HR- 涂层的单表面分束器时的 F 比的测量。表 1 中列出的 669nm、671.5nm 和 674nm 处的 TE 和 TM 偏振的值 $dF/(F \cdot dT)$ 是比未涂层的单表面分束器的相应值大 10 至 100 倍。涂层的两个重要功能是：(i) 通过波长带上的设计 (F_{TM} 可以大于、小于或等于 F_{TE}) 来调整 F_{TM} 和 F_{TE} 的相对幅值，以及 (ii) 具有波长和光谱斜率的 F_{TM} 和 F_{TE} 的变化率可以在相反方向上改

变。这些特点使灵敏度 $dF/(F \cdot d\phi)$ 和 H 值取正值和负值,这使得它成为用于对系统中其他温度相关参数的温度变化进行补偿的可调参数,而且允许如下所述的有涂层的单表面分束器具有非常高的稳定性。

[0074] 图 7 中示出的表 2 包含用于本文描述的参考的示例性 HR 光学涂层的栈表。这个列表给出的电介质材料的层的物理厚度和光学厚度,该电介质材料包括图 4A 中示出的涂层以及它们的折射率。这个栈表只是一个示例,因为存在很多方式来为单表面分束器构建 HR 涂层,使得单表面分束器实现本申请中所期望的特点。

[0075] 在图 4B 的帮助下,描述了使用涂层的单表面分束器来实现高稳定性光源的优选方法。因为光发射器的峰值波长随着温度近似线性地漂移,因而针对具体温度, F 比乘以 H 值以给出图 4B 中标记 $\phi_0 = 0^\circ$ 、 $\phi_0 = 50^\circ$ 以及 $\phi_0 = 90^\circ$ 的曲线。高稳定性光源预计工作在由 T_{\min} 和 T_{\max} 限定的工作温度范围内。任何角度 ϕ 的 F 比可以使用等式 (7) 精确计算,其中给定温度和来自制造商提供的光学涂层的光谱扫描的驱动电流下确定 F_{TM} 和 F_{TE} 值。然后,在利用等式 (3) 计算的相应温度处, F 比乘以 H 参数。

[0076] 图 4B 示出了当校准角 ϕ_0 以 10° 为步长从 0° (TM) 到 90° (TE) 递增时,产生的示例性 $H \cdot F$ 数据。为了清晰起见,以 10° 为步长从 -90° 到 0° 递增未示出。明确的是,如果起始角 ϕ_0 是 0,它可以在正向和负向上调整,即,光发射器绕着其光束轴线顺时针旋转和逆时针旋转。两个调整方向使得能够在正向和负向上对偏振漂移进行补偿。例如,对于 $\phi_0 > 0$ 且 $\beta > 0$,偏振角的增加将减小 $H \cdot F$ 的乘积,然而,负起始偏振角 $\phi_0 < 0$ 且正温度系数 ($\beta > 0$) 将增加正偏振漂移的 $H \cdot F$ 的乘积。通过这种方式,偏振漂移的两种极性都可以使用优选的方法进行补偿。

[0077] 因此,图 4B 中的 $H \cdot F(\phi)$ 曲线示出光发射器的温度和波长对分束器和光检测器的完整影响。对于任何初始设置 ϕ_0 ,当温度改变到新的值 T 时,光发射器偏振角可以漂移一定量 $(d\phi/dT)(T-T_0)$ 。因此,新的偏振角可以由 $\phi(T) = \phi_0(T_0) + (d\phi/dT)(T-T_0)$ 给出。图 4B 示出了设定温度 $T_0 = 0^\circ\text{C}$ 时,对于 β 和起始偏振角 ϕ_0 的示例性值, $H \cdot F$ 的乘积是如何随着温度变化的。通过步进初始偏振角并逐渐增加温度而获得的曲线族允许设计者确定并且在数值上估计在工作温度范围内最优的起始偏振角 ϕ_0 。

[0078] 通过使用为实际光学涂层、光检测器的属性和特定高稳定性光源的耦合效率准备的图表以及通过进一步识别 ϕ_0 的值,发现最佳校准角,其中对于 ϕ_0 的值,函数 $H(T)$ 和 $F(T)$ 的乘积接近关于温度的 $H \cdot F$ 乘积的最小二乘下的水平线。对于图 4A 所示的数据,这条线位于靠近箭头 A 的位置。明确的是,具有任一极性 (\pm) 的 $d\phi/dT$ 的光发射器可拟合为校准角 ϕ_0 ,因此可以从正值向负值变化。

[0079] 图 5 示出了发明人获得的实验数据,这表明具有 5° 楔角的有涂层的单表面分束器可以用来实现随温度变化的高稳定性输出。图 5 示出了入射角为 $\phi_0 = 50^\circ$ 的、以百分比表示的相对误差产生了每 $100\text{PPM}/^\circ\text{C}$ 的温度单元的相对控制误差。角 $\phi_0 = 50^\circ$ 接近图 4B 中箭头 A 所表示的校准角。 $\phi_0 = 20^\circ$ 和 $\phi_0 = 80^\circ$ 的曲线具有 1.0% 的最大值和约 $300\text{PPM}/^\circ\text{C}$ 的相对误差,这给出了与通过使用下文中指定的优化过程实现的误差相比基本更大的误差。

[0080] 用于线性偏振光的涂层的优化条件:针对参数 H 在指定波长带和入射角范围内的已知变化来限定最佳涂层。入射角范围的中心在 45 度附近。使用因子 $1/\beta = dT/d\lambda$ 将

H 的温度相关性转化为波长相关性,从而给出涂层设计所需的函数 $H(\lambda)$ 。使用 TE 和 TM 偏振的 F 比以及它们在波长带和入射角范围内的变化来描述任意涂层设计,而且为了具有误差补偿特性,函数 $H \cdot F_{TE}(\lambda)$ 和 $H \cdot F_{TM}(\lambda)$ 必须不是 0。在一个实施方式中,优选的涂层满足关系 $d(H \cdot F_{TE})/d\lambda < 0$ 和 $d(H \cdot F_{TM})/d\lambda > 0$,并且在实施方式的变体中,关系中的不等式同时反向。换句话说,单表面分束器上的光学涂层的 F 光谱的斜率具有相反符号。设计的进一步要求是,在波长带和入射角范围内,涂层满足关系 $(dF_{TE}/d\lambda)/F_{TE} > -(dH/d\lambda)/H$ 和 $(dF_{TM}/d\lambda)/F_{TM} < -(dH/d\lambda)/H$ 。上述关系中参数 F_{TE} 和 F_{TM} 的转换是等价的且满足条件。涂层光谱应该由制造商指定,与参数 H 无关,因为制造商不能将参数 H 包含为设计参数。然而,优化过程必须包括参数 H。在又一变体中,最佳涂层设计展示了优选地位于波长带内的至少一个波长 λ_x ,在波长 λ_x 处 $H \cdot F_{TE} = H \cdot F_{TM}$,然而,为了起到根据本公开的作用, λ_x 不是必须在波长带内。涂层光谱理想地是线性的,因此相对于波长带中心的 λ_x 的位置不影响最大相对误差和性能。然而,实际涂层的 F 光谱将总是具有曲率,它们不是线性的,而且 F 光谱的斜率、 $F_{TE}(\lambda)$ 和 $F_{TM}(\lambda)$ 随着源的波长离开 λ_x 而变化。这引入随着 $\lambda - \lambda_x$ 增加的误差,因为这个原因,优选地在 λ_x 附近工作而且使 λ_x 的中心近似地位于波长带内。

[0081] 曲率和非线性补偿函数:虽然优选的是,参数 H 和 F 随温度的变化以及对待补偿的因素进行描述的函数基本是线性的而且彼此无关,但是本文所描述的优化方案使用非线性函数,诸如二次方程式、多项式,指数函数等。为了通过函数 $F(\lambda)$ 对非线性函数 $H(\lambda)$ 进行补偿,但是两者在补偿区域上必须有“相反”曲率。在期望波长带上示出的函数 $R_{TE}(\lambda)$ 和 $R_{TM}(\lambda)$ 的简单图表可足以表达高稳定性光源的涂层的所需光谱特点。存在许多可替换的方式来指定涂层性质,以实现本实施方式的消除误差的益处并保持在本公开的精神内。

[0082] 入射角影响的不确定性:有涂层的和无涂层的空气-介质分束器的不可避免的特点是,它们的 F 光谱随着入射角变化。如果入射角的容差设置得太低,那么在生产中确切入射角的实现始终将是一个挑战。在分束器的第一光学表面上的准直光束的入射角的小变化可以改变 F 光谱的交叉波长并改变其曲率。因此,光学涂层的设计必须适应入射角以及波长的变化。

[0083] 由偏振光发射器制成的高稳定性源的设计和调整:

[0084] 由偏振光发射器制成的高稳定性光源的优选方法的一个实施方式,示例性系统中的 VCSEL 如下:

[0085] 1) 对峰值波长 (λ_{min} 和 λ_{max}) 的范围以及峰值波长随着光发射器的温度 (β) 的变化进行测量或根据制造商为光发射器提供的准确数据来获得。

[0086] 2) 对偏振状态和偏振角随光发射器的温度 (λ) 的变化进行测量或以其他方式获得。

[0087] 3) 对光束发散随光发射器的温度和驱动电流的变化进行测量或根据制造商为半导体光发射器提供的准确数据来获得。

[0088] 4) 对光检测器的波长相关性 $\partial s/\partial \lambda$ 和温度相关性 $\partial s/\partial T$ 分别进行测量,或根据制造商的数据来获得。

[0089] 5) 根据光束发散和分束器的光学特点来确定反射光束 η_R 的和透射光束 η_X 的耦合效率。

[0090] 6) 使用在上述步骤 4 和 5 中确定的值,计算参数 $H(\lambda, T)$ 。

[0091] 7) 分束器的光学参数被限定为:至少玻璃的楔角 α 和折射率。基于这一信息,根据上面题为“Conditions for Optimal Coating Design for Linearly Polarized Light(用于线性偏振光的涂层的优化条件)”的章节中限定的说明,设计光学涂层。

[0092] 8) 制造涂层并且其特征在于 F 比作为波长的函数:确定 F_{TE} 和 F_{TM} , 因此确定通过等式 (7) 给出的完整函数。涂层的特点在于最小和最大的入射角,以验证曲线的斜率、曲率和交叉波长是适当的。

[0093] 9) 图 4B 所示的列线图表是根据光发射器、光检测器、耦合系数以及涂层上的已知数据以数值方式上构建的。

[0094] 10) 通过优化(最小二乘,例如)确定最佳起始偏振角 ϕ_0 , 对于该最佳起始偏振角 ϕ_0 , 乘积 $H(T)F(T)$ 在工作温度范围内展示出最小变化。

[0095] 11) 建立光源系统,并且通过围绕光发射器的光学轴线旋转光发射器来获得初始偏振角,因此,在工作温度范围内以及在入射角的范围内的角度上,光束的第一部分或第二部分强度的变化是最低的。

[0096] 高稳定性光源装置设计

[0097] 在图 6A 所示,高稳定性光源 5 的优选实施方式包括具有腔 12 的外壳 10,光发射器可以插入到腔 12 中。优选地,外壳 10 由黑色陶瓷、或具有与光学和半导体材料的温度膨胀系数相似的温度膨胀系数的其他硬质吸光材料制成。外壳 10 可以是具有吸光内涂层的、制造的晶体管轮廓(TO)金属封装。

[0098] 在高稳定性光源 5 的第一变体中,光发射器 20 包括半导体光发射器 22,优选地是 VCSEL 或 EELD,其固定至罩 26 的导电底座 24,以通过孔 30 投射锥形光束 28。锥形光束 28 基本包含来自半导体光发射器 22 的所有受激发射。电导线 32 穿过绝缘鞘 34 并连接到半导体光发射器 22 的阳极,以允许电流 I_{op} 通过它并控制输出光功率。电导线 36 连接到导电底座 24,半导体光发射器 22 通过焊料或导电环氧树脂接合到导电底座 24,以提供到半导体发光器 22 的阴极的连接。罩 26 基本包含来自半导体光发射器的所有自发光,并阻止它到达光检测器 60。外壳 10 和光发射器 20 彼此接合并围绕光源 5 气密密封地形成保护罩。

[0099] 准直镜 38 将来自半导体光发射器 22 的锥形射束 28 集中为彼此大体上平行的光线的准直射束 40。准直镜 38 具有防反射涂层 42 以增加通过准直镜的光传输。外壳 26 的高度设定准直镜 38 的焦距。准直射束 40 入射到由透明的非双折射介电材料(玻璃)制成的分束器 66 的第一光学表面 44,该非双折射介电材料优选具有高折射率,例如 SF11 或 N-LaSF9。如图 6B 所示,分束器的楔角 52(α)、反射角 54(θ_M)、以及偏移角 56(θ_i) 都由方程 6 和 7 确定。所示的反射角 54 为 60° ;然而, 50° 和 90° 之间的任何锐角都可以使用并且将实现外部光干扰减少的益处。分束器 66 被合适的粘合剂或夹钳固定于外壳基座上。

[0100] 分束器 66 的第一光学表面 44 具有高反射性(HR)的光学涂层 58,该 HR 光学涂层 58 反射准直射束 40 中的一部分以形成反射的光束 50。以上已经描述了 HR 光学涂层 58 的光谱特性。HR 光学涂层 58 增加了反射束的强度和控制信号强度(V_R),并具有以上之前所解释的其它优势。为了降低进入外壳 10 的外部光的强度并阻挡外部光直接入射在光检测器 60 上,开口 30、46、和 48 的尺寸优选为准直射束 40 的直径约 1.5 倍。通过附接至外壳 10 并位于光检测器 60 附近的光挡板 82 来阻止由准直射束 40 散射的杂射光和由外壳内部反射的外部光入射到光检测器 60 上。

[0101] 用焊剂或导电性环氧树脂将光检测器 60 安装在外壳 10 的电传导基座 62 上以接收反射束 50。光检测器 60 如此安装以使得其感光区域 68 定向垂直于反射束 50, 并将光检测器 60 的几何中心与射束轴线重合。电导线 70 穿过绝缘体套筒 72, 并且电导线 70 连接至光检测器 60 的阳极以将光电流 I_{ph} 引导至用于源 5 的控制电子器件 (未示出)。电导线 74 连接至导电基座 62 和光检测器 60 的阴极。第一光学表面 44 和感光区域 68 的长度和宽度必须规定尺寸以在光源 5 的全部操作温度范围上可横切基本所有的反射束 50。穿过第一光学表面 44 的透射束 76 垂直入射到具有抗反射涂层 42 的第二光学表面 78 上, 该抗反射涂层 42 阻止透射束从第二光学表面 78 的大体上所有的反射并从而增加透射束 76 的强度和光源 5 的总效率。透射束 76 穿过开口 46, 由此入射到具有抗反射涂层 42 的滤光器 80 上, 该透射束 76 将大体上所有的功率传送至输出束 84 而减弱可进入光源 5 的开口 48 的外部光功率 P_x 中的大部分。具有抗反射涂层 42 的窗 86 安装在开口 48 上并不透气地密封至外壳 10, 以使得滤光器 80 的光轴和第二光学表面 78 的几何中心与透射束 76 和输出束 84 的光轴对准。对于稳定光源系统的正确操作而言, 滤光器 80 不是必要的, 并且是可选特征。

[0102] 对于现有设备, 这种结构的优势在于: (i) 通过开口 46 和 48 进入单元的环境光的立体角比现有技术强度大体上减少, 和 (ii) 外部光没有到达光检测器 60 的直接光路并且所述光被分束器 50 的第一光学表面 44 反射远离光检测器 60。因此, 依照本公开具有光反馈的高度稳定的光源 5 对影响输出束 84 的光学功率的自动功率控制的外部光具有大体上减弱的敏感性。

[0103] 在图 6C 中所示的优选实施方式的第二变体中, 分束器 66、光检测器 60、开口 46、光挡板 82 和窗 86 都被合并进市售激光模块 90 中。前述组件的功能在一定程度上与图 6A 中所公开的实施方式的第一变体中这些组件的功能相同。激光模块 90 包括模块外壳 96 中的二极管泵浦固态激光器或光学泵浦半导体激光器 92。激光器 92 发射准直束 94, 该准直束 94 入射到具有 HR 光学涂层 58 的分束器 66 的第一光学表面 44 上, 并且准直束 94 中的第一部分 98 被反射到光检测器 60 上。依照之前描述并在图 1 中示出的闭路控制系统, 由光检测器 60 产生的光电流通过电导线 70 和 74 将信号提供给激光模块 90 的功率控制电子器件。准直束 94 中的一部分被传输通过已涂层的分束器 66, 而后通过 AR 涂层的窗 86, 以形成输出束 84。激光模块 90 通过连接器 84 连接到支持电子器件。

[0104] 激光模块 90 和光发射器 20 的偏振角 ϕ 必须被精确确定, 以使得初始校准偏振角 ϕ_0 能在装配期间被设定。上文已解释了用于确定初始校准偏振角的程序。

[0105] 因此依照本公开, 所提供的光源包括光发射器和分束器, 所述光发射器被构造成发射具有波长带中的峰值波长的线偏振光的光束, 以及所述分束器具有第一光学表面, 所述第一光学表面被构造成反射所述光束的第一部分并透射所述光束的第二部分, 所述分束器具有位于所述分束器的所述第一光学表面上的光学涂层。所述第一光学表面被构造成限定入射面, 并且所述光学涂层具有为一系列入射角和在所述波长段中的波长 λ 所给出的特征参数 F_{TE} 和 F_{TM} , 其中 F_{TE} 被限定为偏振方向垂直于所述入射面的光波、功率透射度与功率反射的比率, 并且 F_{TM} 被限定为偏振方向平行于所述入射面的光波、功率透射度与功率反射的比率, 并且所述参数 F_{TE} 和 F_{TM} 展示了以下特性: ($dF_{TE}/d\lambda > 0$ 和 $dF_{TM}/d\lambda < 0$) 或者 ($dF_{TE}/d\lambda < 0$ 和 $dF_{TM}/d\lambda > 0$)。

[0106] 在另一实施方式中, 提供了一种包括光发射器的设备, 操作地配置为发射线偏振

光的光束；光检测器；以及分束器，具有相交为锐角的第一光学表面和第二光学表面，所述分束器的所述第一光学表面被构造成反射所述光束的第一部分并且在大体上垂直于所述第二光学表面的方向上通过所述第一光学表面和所述第二光学表面透射所述光束的第二部分。所述第一光学表面具有光学涂层，所述光学涂层具有为一系列入射角和在波长段中的波长 λ 所给的特征参数 F_{TE} 和 F_{TM} ，其中 F_{TE} 被限定为对于偏振方向垂直于所述入射面的光波的功率透射度与功率反射系数的比率，并且 F_{TM} 被限定为对于偏振方向平行于所述入射面的光波的功率透射度与功率反射系数的比率，并且所述参数 F_{TE} 和 F_{TM} 展示了以下特性： $(dF_{TE}/d\lambda > 0$ 和 $dF_{TM}/d\lambda < 0)$ 或者 $(dF_{TE}/d\lambda < 0$ 和 $dF_{TM}/d\lambda > 0)$ 。

[0107] 在又一实施方式中，提供了一种用于将来自光源的光输出的温度敏感度最小化的方法。该方法包括：提供操作温度范围；提供用于光输入的一系列入射角；提供光发射器，操作性地配置为发射具有发射波长和光束偏振方向的线偏振光的射束，所述发射波长随着所述操作温度范围中的温度变化；限定波长段以包括在所述操作温度范围上测量的至少所有的发射波长；提供具有响应度的光检测器，所述响应度随着具有在所述波长段中的波长的入射光的波长以及在所述操作温度范围上的温度变化。所述方法进一步包括提供具有第一光学表面的分束器，所述第一光学表面的特征在于为波长段和一系列入射角指定的参数 F_{TE} 和 F_{TM} ，参数 F_{TE} 被限定为对于具有垂直于所述第一光学表面的入射面的偏振的光波而言功率透射度与功率反射系数的比率，并且参数 F_{TM} 被限定为对于具有平行于所述入射面的偏振的光波而言功率透射度与功率反射系数的比率；装配所述光源以使得所述光发射器操作性地配置为发射待入射到所述第一光学表面上的光束，所述第一光学表面反射所述光束的第一部分并透射所述光束的第二部分；以及将所述光发射器绕其光轴旋转以在所述第一光学表面的所述入射面与所述光束偏振方向之间设定偏振角，从而在操作温度范围上和入射角范围中的角上所述光束的所述第一部分或者所述第二部分的强度的变化均处于最小。

[0108] 理想地，所述第一光学表面包括位于其上的光学涂层，并且所述参数 F_{TE} 和 F_{TM} 随着波长段中如 $(dF_{TE}/d\lambda > 0$ 和 $dF_{TM}/d\lambda < 0)$ 或者 $(dF_{TE}/d\lambda < 0$ 和 $dF_{TM}/d\lambda > 0)$ 的波长 λ 变化并且所有的角都在入射角范围内。优选地，该方法包括识别参数 F_{TE} 等于参数 F_{TM} 的至少一个波长。

[0109] 有许多不同的结构和方法来配置以上所列组件并完成指定的功能目的。其它组合是可能的，也符合本发明的精神。以上所描述的各个实施方式可以结合以提供进一步的实施方式。

[0110] 以上公开在各种技术中具有实际的应用。这些应用包括（不限于）颗粒计数和计径（空气和水）、反射仪和光泽仪、能见度表和雾度计、不透明度计、分子光散射仪器、以及浊度计、

[0111] 本说明书所引用的和 / 或在申请数据表中列出的美国专利、美国专利申请公开、美国专利申请、外国专利、外国专利申请和非专利公开中的所有都通过引用全部并入本文。如有必要使用各专利、申请和公开的概念来提供进一步的实施方式，那么可以对实施方式的各方面进行修改。

[0112] 根据上面的详细描述，可以对实施方式作这些和其它改变。通常，在权利要求中，不应将使用的术语解释为将权利要求限制于在说明书中公开的特定实施方式中，而是应被

解释为包括所有可能的实施方式连同使这样的权利要求享有权利的等同物的全部范围。因此,权利要求书不是由本公开限制的。

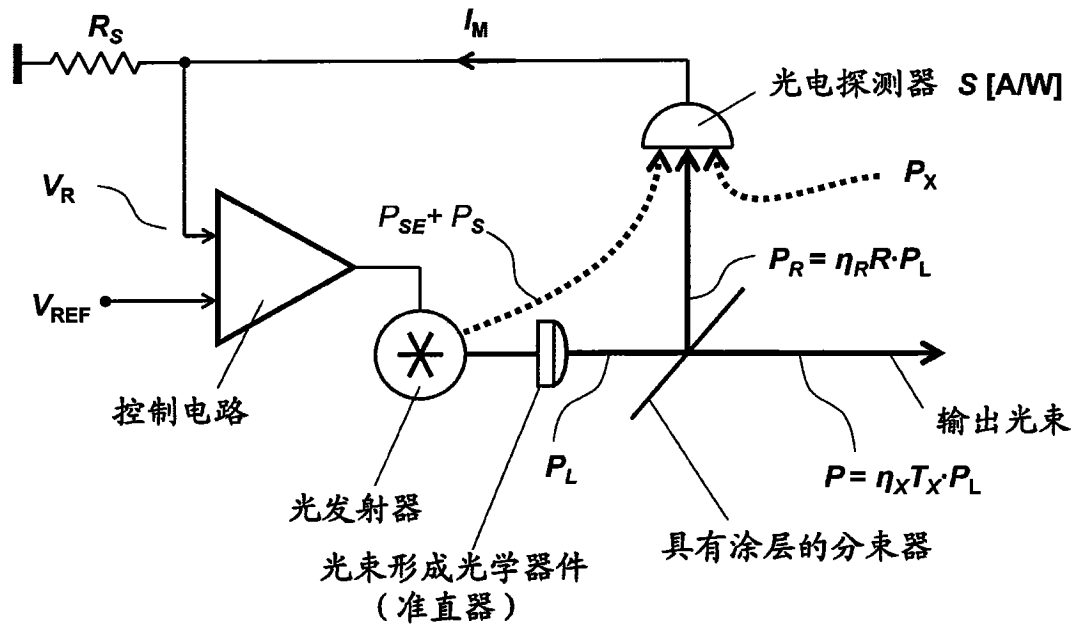


图 1

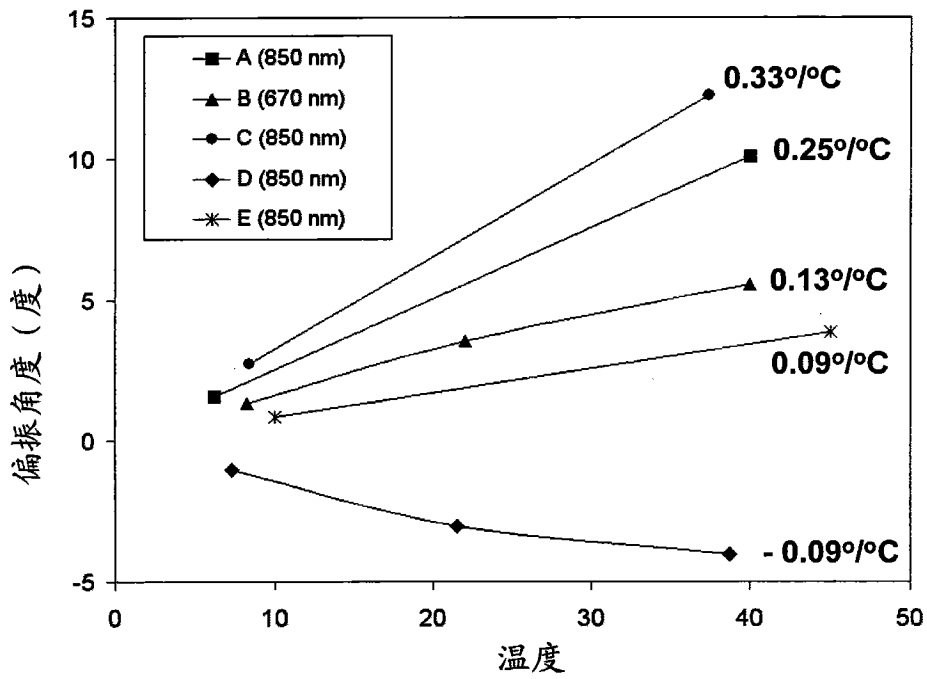


图 2

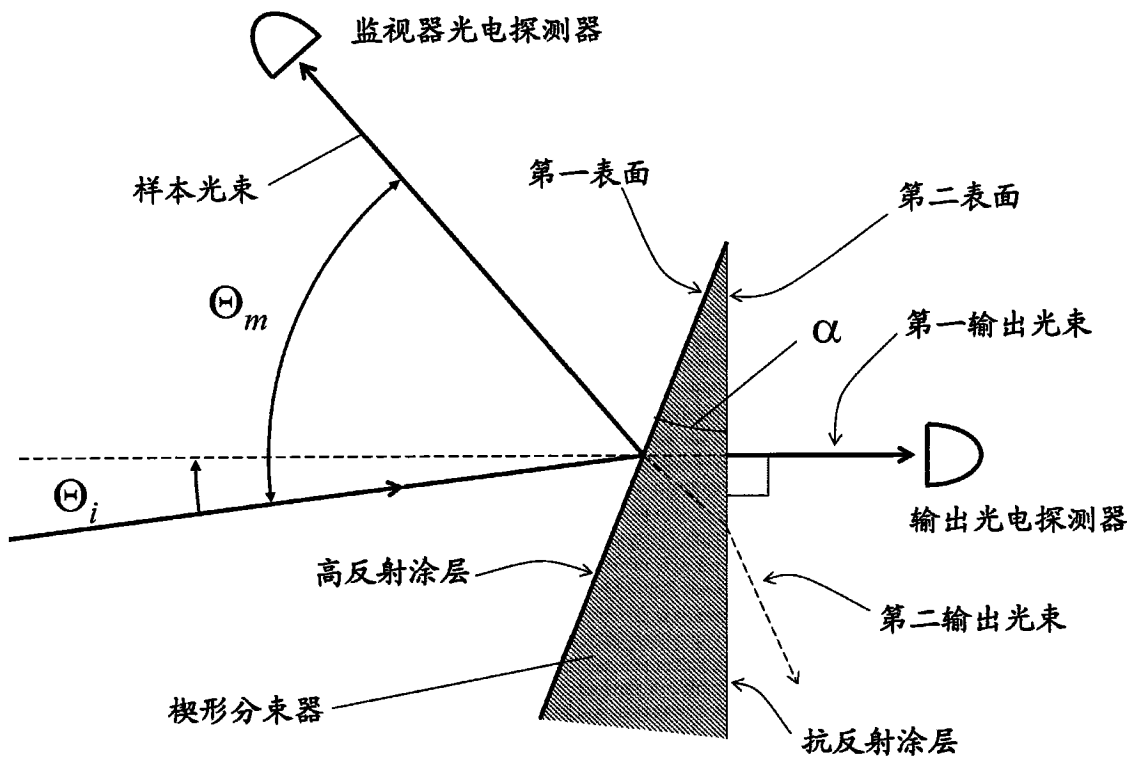


图 3

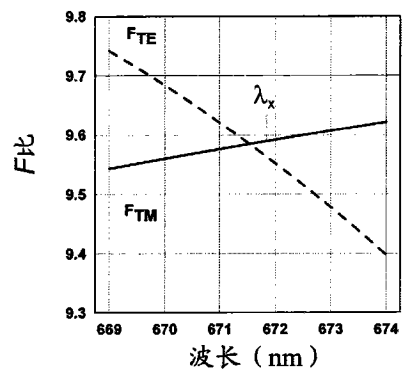


图 4A

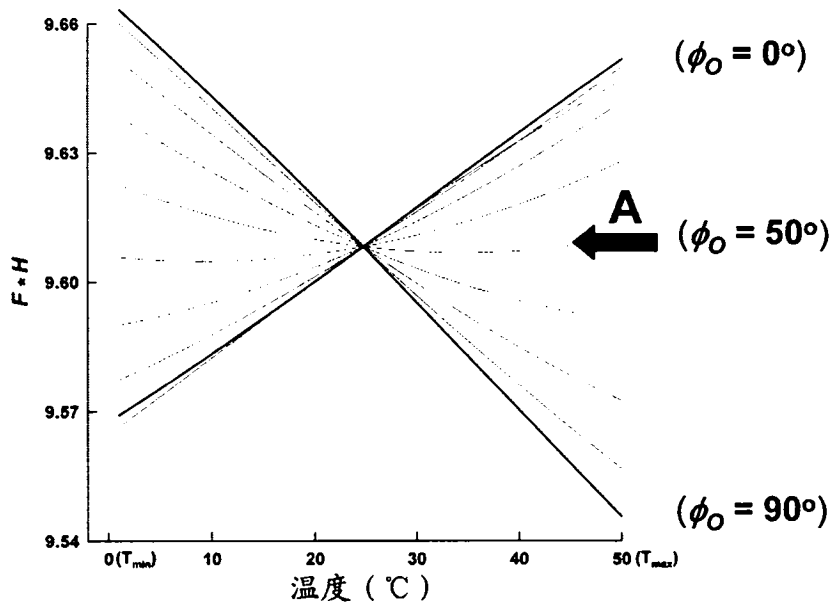


图 4B

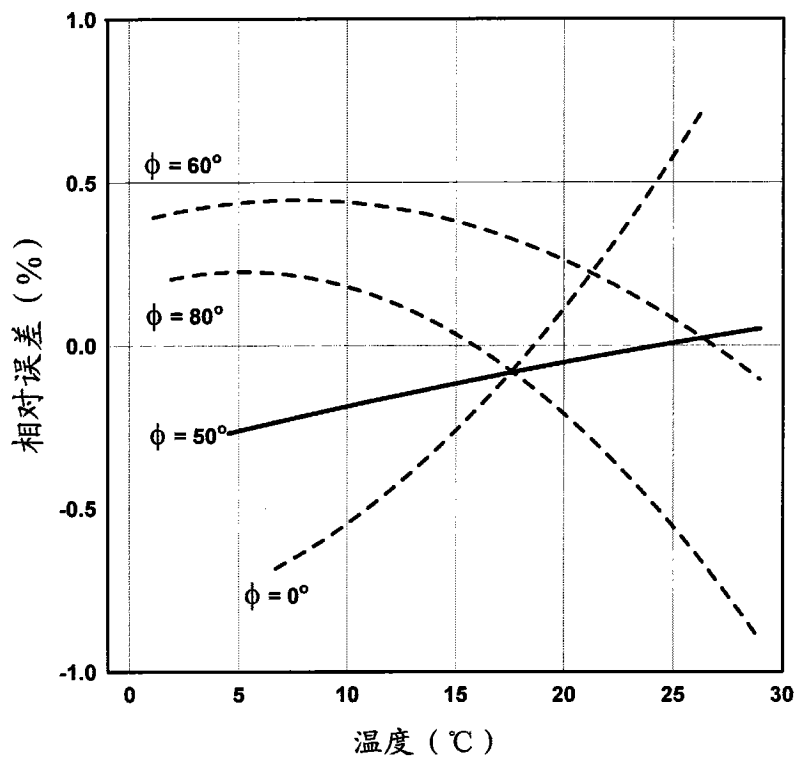


图 5

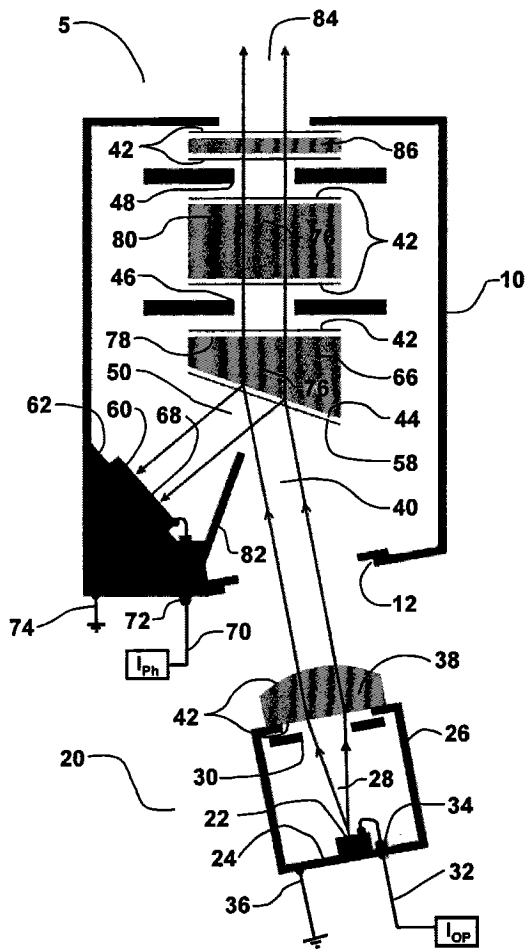


图 6A

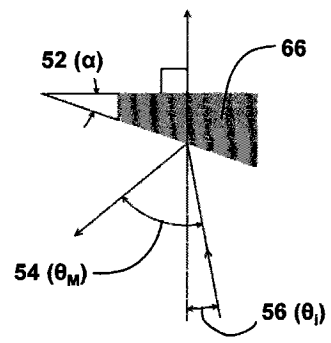


图 6B

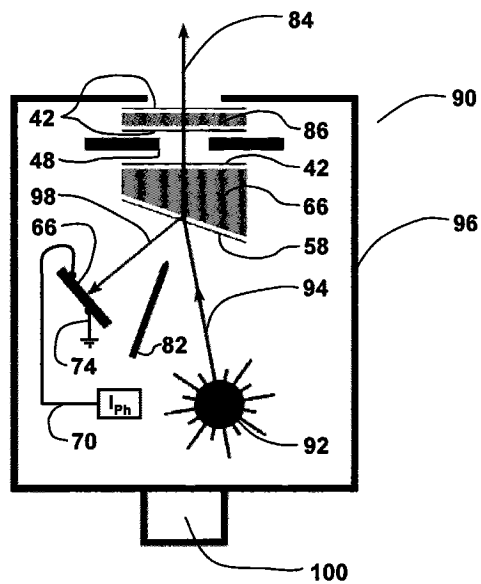


图 6C

表1. 假设 $d\lambda/dT=0.05\text{nm}/^\circ\text{C}$ 且 $\beta = \pm 0.13\text{度}/^\circ\text{C}$ ，对高反射涂层的单表面分光器的波长、偏振以及控制误差敏感度的总结。

λ (nm)	TE偏振			TM偏振		
	F_{TE}	$dF/(F \cdot d\lambda)$ (ppm/nm)	$dF/(F \cdot dT)$ (ppm/ $^\circ\text{C}$)	F_{TM}	$dF/(F \cdot d\lambda)$ (ppm/nm)	$dF/(F \cdot dT)$ (ppm/ $^\circ\text{C}$)
669.0	9.741	-5642	-282	9.543	1807	90.4
671.5	9.584	-7168	-358	9.584	1638	81.9
674.0	9.398	-8776	-439	9.621	1472	73.6

表2. 示例性高反射光学涂层的栈表

层号	物理厚度 (nm)	光学厚度 (nm)	折射率 ($\lambda = 670$)	材料
1	155.0	226.1	1.459	SiO_2
2	54.3	112.9	2.079	Ta_2O_5
3	136.7	199.4	1.459	SiO_2
4	117.4	244.1	2.079	Ta_2O_5
5	50.1	73.1	1.459	SiO_2
6	14.7	30.6	2.079	Ta_2O_5
7	3.7	5.4	1.459	SiO_2
基底			1.457	熔融石英

图 7