



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102709799 B

(45) 授权公告日 2016. 01. 20

(21) 申请号 201210200447. 4

(22) 申请日 2012. 06. 18

(73) 专利权人 天津奇谱光电技术有限公司

地址 300384 天津市南开区新技术产业园区
华苑产业区华天道 2 号 6017 室

(72) 发明人 高培良

(74) 专利代理机构 天津盛理知识产权代理有限
公司 12209

代理人 王利文

(51) Int. Cl.

H01S 3/08(2006. 01)

H01S 3/13(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 102299472 A, 2011. 12. 28, 权利要求 4、
6、8, 说明书第 0039-0065 段, 附图 1-16.

CN 101533159 A, 2009. 09. 16, 说明书第 2 页

倒数第 9 行到第 6 页第 2 行, 附图 2(B).

US 5485272 A, 1996. 01. 16, 全文.

CN 102299472 A, 2011. 12. 28, 权利要求 4、
6、8, 说明书第 0039-0065 段, 附图 1-16.

审查员 邓泽微

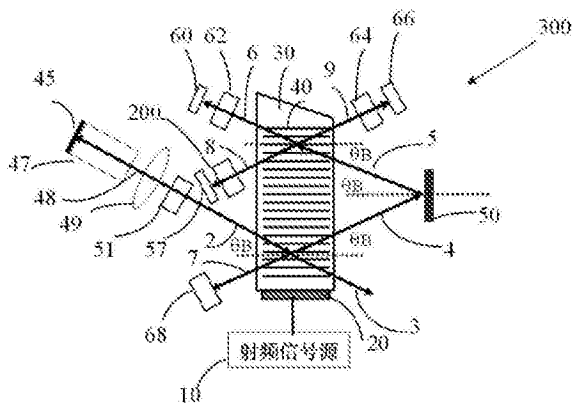
权利要求书 2 页 说明书 10 页 附图 7 页

(54) 发明名称

一种宽带连续可调谐激光器

(57) 摘要

本发明涉及一种宽带连续可调谐激光器, 包括依次安装在激光腔内的第一激光腔反射镜、激光增益介质、腔内准直透镜、有源光相位调制器、可调谐声光滤波器, 还包括腔内反射镜, 使第一次衍射的一级衍射光被再次反射到可调谐声光滤波器中, 从而使腔内光束得到第二次衍射, 消除由可调谐声光滤波器第一次衍射所造成的激光频率多普勒漂移, 并在第二次衍射的一级衍射光的光轴方向上设置可调谐法布里-珀罗滤波器, 在可调谐法布里-珀罗滤波器后设置第二激光腔反射镜。本发明设计合理, 可实现在宽频谱范围内光频率调谐精度小于 1GHz 和窄频谱带宽的稳定激光输出, 具有无机械移动部件、性能稳定可靠、成本低、尺寸小、易于安装及生产等特点。



1. 一种宽带连续可调谐激光器, 包括依次安装在激光腔内的第一激光腔反射镜、激光增益介质、腔内准直透镜、有源光相位调制器、可调谐声光滤波器, 其特征在于: 还包括腔内反射镜、可调谐法布里-珀罗滤波器、第二激光腔反射镜及激光器驱动控制系统; 所述腔内准直透镜用于将所述激光增益介质发出的光准直, 并以布拉格角进入所述可调谐声光滤波器; 所述腔内反射镜放置的位置使得由所述可调谐声光滤波器第一次衍射的一级衍射光被再次反射到所述可调谐声光滤波器中而得到第二次衍射, 并能消除由第一次衍射造成的光频率多普勒漂移; 在第二次衍射的一级衍射光的光轴方向上设置所述可调谐法布里-珀罗滤波器, 在所述可调谐法布里-珀罗滤波器后设置所述第二激光腔反射镜; 由所述的第一激光腔反射镜、所述的腔内反射镜和所述的第二激光腔反射镜构成了激光腔; 所述的第一激光腔反射镜、宽带激光增益介质、腔内准直透镜、有源光相位调制器、可调谐声光滤波器、可调谐法布里-珀罗滤波器和腔内反射镜安放的位置使得只有经过所述可调谐声光滤波器的第一次和第二次衍射的一级衍射光的光线才能在所述激光腔内形成激光振荡; 所述宽带连续可调谐激光器的输出光束和第一次衍射的零级光重合; 所述可调谐法布里-珀罗滤波器由第一反射镜、液晶模块和第二反射镜依次连接构成, 由所述的第一反射镜和所述的第二反射镜构成法布里-珀罗腔;

其中, 可调谐激光器的腔内的谐振模的本征频谱带宽的半宽度小于可调谐法布里-珀罗滤波器的本征自由光谱范围, 以保证可调谐激光器的腔内实现单模运行。

2. 根据权利要求 1 所述的一种宽带连续可调谐激光器, 其特征在于: 所述第一激光腔反射镜、腔内反射镜和第二激光腔反射镜均为下列几种反射镜之一: 平面镜, 凹面镜和凸面镜, 具有部分或 100% 的反射率并与所述激光增益介质具有相同光谱范围; 所述第一激光腔反射镜或者是直接镀在激光增益介质一个端面上的多层介质膜; 所述腔内反射镜或者是一种反射型光栅或其他具有光色散的反射镜。

3. 根据权利要求 1 所述的一种宽带连续可调谐激光器, 其特征在于: 所述激光增益介质是一种宽带激光增益介质。

4. 根据权利要求 1 所述的一种宽带连续可调谐激光器, 其特征在于: 所述有源光相位调制器可以是下列几种类型之一: 电光相位调制器、声光相位调制器、磁光相位调制器或上述几种相位调制器的某种组合。

5. 根据权利要求 1 所述的一种宽带连续可调谐激光器, 其特征在于: 所述可调谐声光滤波器包括一块声光晶体和设置在所述声光晶体上的一个电声换能器。

6. 根据权利要求 1 所述的一种宽带连续可调谐激光器, 其特征在于: 所述的第一反射镜的第一个通光面设置高反射率多层介质膜; 所述的第一反射镜的第二个通光面依次设置光学增透膜、透明电极和电极隔离膜。

7. 根据权利要求 1 所述的一种宽带连续可调谐激光器, 其特征在于: 所述液晶模块的材料是一种向列相型液晶材料, 厚度为几微米到十几微米, 在外加电场的驱动下对某一方向的线偏振光具有至少 2π 的光相位延迟, 并具有与激光增益介质相同的光谱范围。

8. 根据权利要求 1 所述的一种宽带连续可调谐激光器, 其特征在于: 所述的第二反射镜的第一个通光面的第一层设置非导电材料薄膜, 覆盖除通光孔径以外的部分, 厚度为几微米到十几微米; 所述的第二反射镜的第一个通光面的第二层设置光学增透膜; 所述的第二反射镜的第一个通光面的第三层设置透明电极; 所述的第二反射镜的第二个通光面设置

高反射率多层介质膜并与所述的第一反射镜的第一个通光面具有相同的反射率。

9. 根据权利要求 1 所述的一种宽带连续可调谐激光器,其特征在於:还包括激光频率和谐振模锁定器,该激光频率和谐振模锁定器包括:第一个法布里-珀罗标准具,放置在所述第二次衍射的零级光的光路上并位于所述激光腔的腔外;第一个光电探测装置,放置在所述第一个法布里-珀罗标准具后,用于检测从所述第一个法布里-珀罗标准具透过的光的功率;第二个法布里-珀罗标准具,放置在被所述第二激光腔反射镜反射后并经所述可调谐声光滤波器衍射的零级光的光路上,位于所述激光腔的腔外;第二个光电探测装置,放置在所述第二个法布里-珀罗标准具后,用于检测从所述第二个法布里-珀罗标准具透过的光的功率。

10. 根据权利要求 9 所述的一种宽带连续可调谐激光器,其特征在於:所述第一个法布里-珀罗标准具有与所述激光增益介质相同的光频谱范围,其锐度系数使得透射光强最大值和最小值的差大于 3dB;其自由光谱范围是所述可调谐法布里-珀罗滤波器的本征自由光谱范围的四倍;其光透射峰值的某一频率与所述可调谐法布里-珀罗滤波器的光透射峰值的某一频率相同。

11. 根据权利要求 9 所述的一种宽带连续可调谐激光器,其特征在於:所述第二个法布里-珀罗标准具有与所述激光增益介质相同的光频谱范围,并与所述第一个法布里-珀罗标准具有相同的锐度系数和自由光谱范围;其光透射峰值与所述的第一个法布里-珀罗标准的光透射峰值相差值等于所述可调谐法布里-珀罗滤波器的本征自由光谱范围。

12. 根据权利要求 1 所述的一种宽带连续可调谐激光器,其特征在於:还包括一个激光功率锁定器,该激光功率锁定器包括一个位于所述激光腔的腔外的光电探测装置,放置在被所述第二激光腔反射镜反射并经过所述可调谐声光滤波器衍射的第二次衍射光的零级光路上。

13. 根据权利要求 1 至 12 任一项所述的一种宽带连续可调谐激光器,其特征在於:所述的激光器驱动控制系统包括:一个数字信号微处理器和嵌入式激光器控制软件、四个数模转换模块、一个激光泵浦源、一个有源光相位调制器驱动源、一个射频信号源、一个可调谐法布里-珀罗滤波器的驱动源、一个半导体制冷设备的温控设备、两个模数转换模块、一个激光频率和谐振模锁定设备、一个激光功率锁定设备;数字信号微处理器直接驱动控制所述温控设备,并通过四个数模转换模块分别控制所述激光泵浦源、有源光相位调制器驱动源、射频信号源、可调谐法布里-珀罗滤波器的驱动源;通过两个模数转换模块驱动控制所述激光频率和谐振模锁定设备和所述激光功率锁定设备,实现对激光增益介质、有源光相位调制器、可调谐声光滤波器和可调谐法布里-珀罗滤波器、温度控制设备、激光频率和谐振模锁定设备、激光功率锁定设备的驱动控制功能,并实现光频率调谐和锁定以及输出光功率的控制和锁定功能。

一种宽带连续可调谐激光器

技术领域

[0001] 本发明属于光电领域,尤其是一种采用可调谐法布里-珀罗滤波器和可调谐声光滤波器的外腔式宽带连续可调谐激光器。

背景技术

[0002] 在外腔式宽带连续可调谐激光器中,常用的调谐技术主要有以下方式:1、通过精密步进马达带动光栅的旋转来进行调谐的,其存在的问题体现在:一是为实现光频率的精密调谐,对步进马达的步进精度和重复性要求很高,因此制造成本比较高;二是由于采用步进马达,不易做到小型化;三是在恶劣工作环境下的工作稳定性比较差,特别是抗各类机械振动的能力比较差,因此,采用该技术的可调谐激光器只适合用于实验室工作环境中使用。2、利用可调谐声光滤波器进行调谐,其优点是调谐速度快,没有机械移动部件,可以做到小型化,缺点是可调谐声光滤波器的滤波带宽比较宽,使得激光器的调谐精度不高,因此,单纯采用这种技术的可调谐激光器很难做到精密连续可调谐,只适合用于对调谐精度和输出带宽不高的应用中。3、利用光栅或激光谐振腔中的其他光学滤波器件,如光学标准具等透射光频率随温度漂移的特点进行调谐,其优点是调谐精度高和输出光的光谱带宽比较窄,缺点是速度比较慢,特别是在要求调谐光谱范围宽的情况下,这个缺点尤为明显,例如:光学滤波器件的温度漂移系数是0.02 纳米/度,要求的光频谱范围是20 纳米,温度调节范围是100 度,这在实际应用中是很难实现的。

发明内容

[0003] 本发明的目的在于克服现有技术的不足,提供一种调谐速度快、精度高、成本低、尺寸小且易于生产的宽带连续可调谐激光器。

[0004] 本发明解决现有的技术问题是采取以下技术方案实现的:

[0005] 一种宽带连续可调谐激光器,包括依次安装在激光腔内的第一激光腔反射镜、激光增益介质、腔内准直透镜、有源光相位调制器、可调谐声光滤波器,还包括腔内反射镜、可调谐法布里-珀罗滤波器、第二激光腔反射镜及激光器驱动控制系统;所述腔内准直透镜用于将所述激光增益介质发出的光准直,并以布拉格角进入所述可调谐声光滤波器;所述腔内反射镜放置的位置使得由所述可调谐声光滤波器第一次衍射的一级衍射光被再次反射到所述可调谐声光滤波器中而得到第二次衍射,并能消除由第一次衍射造成的光频率多普勒漂移;在第二次衍射的一级衍射光的光轴方向上设置所述可调谐法布里-珀罗滤波器,在所述可调谐法布里-珀罗滤波器后设置所述第二激光腔反射镜;由所述的第一激光腔反射镜、所述的腔内反射镜和所述的第二激光腔反射镜构成了激光器谐振腔;所述的第一激光腔反射镜、宽带激光增益介质、腔内准直透镜、有源光相位调制器、可调谐声光滤波器、可调谐法布里-珀罗滤波器和腔内反射镜安放的位置使得只有经过所述可调谐声光滤波器的第一次和第二次衍射的一级衍射光的光线才能在所述激光谐振腔内形成激光振荡;所述宽带连续可调谐激光器的输出光束和第一次衍射的零级光重合。

[0006] 而且,所述第一激光腔反射镜、腔内反射镜和第二激光腔反射镜均为下列几种反射镜之一:平面镜,凹面镜和凸面镜,具有部分或 100% 的反射率并与所述激光增益介质具有相同光谱范围;所述第一激光腔反射镜或者是直接镀在激光增益介质一个端面上的多层介质膜;所述腔内反射镜或者是一种反射型光栅或其他具有光色散的反射镜。

[0007] 而且,所述激光增益介质是一种宽带激光增益介质。

[0008] 而且,所述有源光相位调制器可以是下列几种类型之一:电光相位调制器、声光相位调制器、磁光相位调制器或上述几种相位调制器的某种组合。

[0009] 而且,所述可调谐声光滤波器包括一块声光晶体和设置在所述声光晶体上的一个电声换能器。

[0010] 而且,所述可调谐法布里-珀罗滤波器由第一反射镜、液晶模块和第二反射镜依次连接构成;在没有外加电场时的本征自由光谱范围介于 10GHz 和 400GHz 之间,由所述的第一反射镜的第一个通光面和所述的第二反射镜的第二个通光面构成法布里-珀罗腔。

[0011] 而且,所述的第一反射镜的第一个通光面设置高反射率多层介质膜;所述的第一反射镜的第二个通光面依次设置光学增透膜、透明电极和电极隔离膜;

[0012] 而且,所述液晶模块的材料是一种向列相型液晶材料,厚度为几微米到十几微米,在外加电场的驱动下对某一方向的线偏振光具有至少 2π 的光相位延迟,并具有与激光增益介质相同的光谱范围。

[0013] 而且,所述的第二反射镜的第一个通光面的第一层设置非导电材料薄膜,覆盖除通光孔径以外的部分,厚度为几微米到十几微米;所述的第二反射镜的第一个通光面的第二层设置光学增透膜;所述的第二反射镜的第一个通光面的第三层设置透明电极;所述的第二反射镜的第二个通光面设置高反射率多层介质膜并与所述的第一反射镜的第一个通光面具有相同的反射率。

[0014] 而且,所述激光频率和谐振模锁定器包括:第一个法布里-珀罗标准具,放置在所述第二次衍射的零级光的光路上并位于所述激光腔的腔外;第一个光电探测装置,放置在所述第一个法布里-珀罗标准具后,用于检测从所述第一个法布里-珀罗标准具透过的光的功率;第二个法布里-珀罗标准具,放置在所述第二激光腔反射镜反射后并经所述可调谐声光滤波器衍射的零级光的光路上,位于所述激光腔的腔外;第二个光电探测装置,放置在所述第二个法布里-珀罗标准具后,用于检测从所述第二个法布里-珀罗标准具透过的光的功率。

[0015] 而且,所述第一个法布里-珀罗标准具有与所述激光增益介质相同的光频谱范围,其锐度系数使得透射光强最大值和最小值的差大于 3dB;其自由光谱范围是所述可调谐法布里-珀罗滤波器的本征自由光谱范围的四倍;其光透射峰值的某一频率与所述可调谐法布里-珀罗滤波器的光透射峰值的某一频率相同。

[0016] 而且,所述第二个法布里-珀罗标准具有与所述激光增益介质相同的光频谱范围,并与所述第一个法布里-珀罗标准具有相同的锐度系数和自由光谱范围;其光透射峰值与所述的第一个法布里-珀罗标准的光透射峰值相差值等于所述可调谐法布里-珀罗滤波器的本征自由光谱范围。

[0017] 而且,所述激光功率锁定器包括一个位于所述激光腔的腔外的光电探测装置,放置在所述第二激光腔反射镜反射并经过所述可调谐声光滤波器衍射的第二次衍射光的

零级光路上。

[0018] 而且,所述的激光器驱动控制系统包括:一个数字信号微处理器(DSP)和嵌入式激光器控制软件、四个数模转换模块、一个激光泵浦源、一个有源光相位调制器驱动源、一个射频信号源、一个可调谐法布里-珀罗滤波器的驱动源、一个半导体制冷设备的温控设备、两个模数转换模块、一个激光频率和谐振模锁定设备、一个激光功率锁定设备;数字信号微处理器直接驱动控制所述温控设备,并通过四个数模转换模块分别控制所述激光泵浦源、有源光相位调制器驱动源、射频信号源、可调谐法布里-珀罗滤波器的驱动源;通过两个模数转换模块驱动控制所述激光频率和谐振模锁定设备和所述激光功率锁定设备,实现对激光增益介质、有源光相位调制器、可调谐声光滤波器和可调谐法布里-珀罗滤波器、温度控制设备、激光频率和谐振模锁定设备、激光功率锁定设备的驱动控制功能,并实现光频率调谐和锁定以及输出光功率的控制和锁定功能。

[0019] 本发明的优点和积极效果是:

[0020] 1、本激光器系统利用液晶对光的相位调制和在通光方向尺寸薄(约10微米)的特点,结合传统的法布里-珀罗(Fabry-Perot)标准具的技术,设计了可调谐法布里-珀罗(Fabry-Perot)滤波器,并结合可调谐声光滤波器,不仅降低了对可调谐声光滤波器的窄的滤波带宽到要求,而且实现在宽频谱范围内的激光频率的快速精密调谐,保证了大的调谐光谱范围和窄的激光器输出光谱。

[0021] 2、本激光器利用激光腔内反射镜,不仅实现了激光腔内光束的二次衍射,克服了由具有单一声光晶体和单一换能器的可调谐声光滤波器通常所产生的光频率漂移,使得激光器的输出光谱更加稳定,而且,根据不同的激光器增益介质和应用要求,采用不同的反射镜类型与两个激光器的端面反射镜构成不同类型的激光腔型,同时调节所述激光腔内反射镜与所述可调谐声光滤波器的距离,可以调节激光腔的损耗。

[0022] 3、本激光器利用可调谐声光滤波器在激光腔内产生的三个零级衍射光束,在不增加激光器腔内零部件和不需要在输出光路上插入分光器件的情况下,实现了激光器光频率和谐振模以及光功率的监控和锁定。不仅降低了激光器的成本,又提高了激光器的性能。

[0023] 4、本发明设计合理,可实现在宽频谱范围内光频率调谐精度小于1GHz和窄频谱带宽的稳定激光输出,具有无机械移动部件、性能稳定可靠、成本低、尺寸小、易于安装及生产等特点,可满足对于要求尺寸小和极端工作环境下的可靠运行,可广泛应用于光学测试、光纤通讯、生物、医疗器械和光纤传感器网络等领域中。

附图说明

[0024] 图1是一种普通可调谐声光滤波器示意图;

[0025] 图2是一种基于可调谐声光滤波器的可调谐激光器100示意图;

[0026] 图3-1是声光晶体中一次衍射入射光束、声波场和衍射光束的波矢关系图;

[0027] 图3-2为在声光晶体中二次衍射入射光束、声波场和衍射光束的波矢关系图;

[0028] 图4是一种普通法布里-珀罗(Fabry-Perot)光标准具的示意图;

[0029] 图5是一种包含一个液晶模块的可调谐法布里-珀罗滤波器的示意图;

[0030] 图6是液晶模块在外电场作用下光相位和电场的关系曲线示意图;

[0031] 图7是普通法布里-珀罗(Fabry-Perot)光标准具的透射光谱示意图;

- [0032] 图 8 是一种可调谐法布里 - 珀罗滤波器的透射光谱示意图；
- [0033] 图 9 是本发明的结构示意图；
- [0034] 图 10 是本发明的激光器驱动控制系统的原理框图；
- [0035] 图 11 是用于锁定激光器频率和谐振模的两个法布里 - 珀罗标准具的透射光谱。

具体实施方式

[0036] 以下结合附图对本发明实施例做进一步详述。

[0037] 图 1 是一种现有的可调谐声光滤波器的结构示意图,该可调谐声光滤波器只有一个换能器,入射光束 2 以布拉格角入射到声光晶体 30,产生零级衍射光束 3 和一级衍射光束 4。

[0038] 声光滤波器的工作原理是基于一种布拉格衍射的现象。布拉格衍射涉及了光子(光能的量子)和声子(声能的量子)的相互作用过程。在这个互作用的过程中,能量和动量都是守恒的。

[0039] 动量守恒要求 $\hbar k_d = \hbar k_i + \hbar k_s$,其中 $\hbar k_d$ 是衍射光子的动量, $\hbar k_i$ 是入射光子的动量, $\hbar k_s$ 是互作用的声子的动量。约分去掉 \hbar 后得到: $k_d = k_i + k_s$,这就给出了布拉格衍射最基本的波矢等式。它表明了衍射光的波矢是入射光波矢与声波波矢的矢量和,如图 3-1 所示。

[0040] 能量守恒要求 $\hbar \omega_r = \hbar \omega + \hbar \Omega$,其中 ω_r 是衍射光的角频率, ω 是入射光的角频率, Ω 是声波的角频率。约分去掉 \hbar 后得到: $\omega_r = \omega + \Omega$ 。这表明衍射光子的角频率被声波的角频率轻微改变,即光线的频率产生了多普勒频移。

[0041] 声光可调谐滤波器(AOTF)是一种固态的、可采用电调谐的带通光滤波器。与传统的技术相比,AOTF 提供了连续、快速的调节能力和窄的光谱带宽。声光滤波器有两种类型:共线型与非共线型。其中具有高射频频率的非共线型和非近轴滤波器比较容易实现窄带滤波。然而根据上面的公式, $\omega_r = \omega + \Omega$,公式表明光波频率偏移的大小等于声波的频率。

[0042] 尽管因为光线频率和声波频率相差很多个数量级,从而产生的偏移量很小,但是在一些激光器系统中还是会引入不稳定的运行。这个问题的一个解决办法是使用两个 AOTF,其中第二个 AOTF 用来抵消第一个 AOTF 所带来的频率偏移。或在同一个声光晶体上使用两个换能器。但是这些解决办法都有几个缺点:1、增加了系统的体积;2、使得光学对准更为困难;3、引起运行的不稳定性;4、增加成本,对大批量生产来说尤为重要。

[0043] 图 2 给出了一种激光器 100 的结构。在该激光器中,反射镜 45、50、和 57 组成激光器的谐振腔。由激光增益介质 47 发出的宽带荧光光束 48 经腔内准直透镜 49 准直后的光束 2 以布拉格角进入可调谐声光滤波器内的声光晶体 30,第一次衍射光的一级衍射光 4 经腔内反射镜 50 反射后以布拉格角再次进入声光晶体 30,第二次衍射后的一级衍射光 8 由第二激光腔反射镜 57 反射回激光腔内,在激光腔内形成激光振荡和放大。在这个过程中,光束 3 因其具有最大的能量和经可调谐声光滤波器的二次衍射后波长零漂移而作为激光输出光束,其他零级衍射光束 6、7 和 9 作为激光腔内光束的泄漏出激光腔外;光束 6、7 和 9 可用于监控激光腔内的光功率和波长等,可以避免在激光腔内或输出光路上插入其他分光器件去实现这样的功能。激光器 100 结构紧凑,反射镜 45、50、和 57 可以采用全反镜组成激光器的谐振腔,进一步降低激光腔的损耗,采用了具有单一晶体和单一换能器的声光可调

谐滤波器,可以消除频率的多普勒飘移。入射光束 2 以布拉格角入射到声光晶体 30,产生零级衍射光束 3 和一级衍射光束 4,一级衍射光束 4 经腔内全反射镜 50 反射后再次以布拉格角进入声光晶体 30 后产生零级衍射光束 6 和一级衍射光束 8。换能器与射频信号源 10 相连接,该射频信号源 10 作为可调谐声光滤波器的驱动源,提供射频能量并通过改变射频频率来调节激光谐振腔的振荡波长。

[0044] 图 3-1 和图 3-2 显示了入射光(κ_i)、衍射光(κ_d)和声波(κ_s)的波矢关系。正如上面提到的, $\kappa_i \pm \kappa_s = \kappa_d$ 这个关系永远成立,使用加号(+)还是减号(-)由入射声波的方向决定。

[0045] 在图 3-1 中,光线 2 (κ_2)、光线 4 (κ_4)和声波 40 (κ_s)的关系是: $\kappa_2 + \kappa_s = \kappa_4$ 。声波 κ_s 不仅仅使得衍射光的方向向上偏移,光线的角频率 ω 也向上偏移了 $\Omega = v_s |\kappa_s|$,其中 v_s 是声波的速度。

[0046] 在图 3-2 中,光线 5 (κ_5)、光线 8 (κ_8)和声波 40 (κ_s)的关系是: $\kappa_5 - \kappa_s = \kappa_8$ 。在这种情况下,声波使得衍射光的方向向下偏移,并且将第二次衍射的光线 8 的角频率 ω 也向下偏移了 $v_s |\kappa_s|$ 。因为向上和向下的偏移量基本相同,当光线 8 从声光滤波器中射出时,整体频率偏移被充分的消除了。

[0047] 在一些具体实施中,例如需要窄带调节时,采用的声光晶体是各向异性并有双折射特性。其中一种物质为二氧化碲(TeO_2),由于其运行在剪切模式时具有高光学均匀性、低光吸收度和耐高光功率能力的特点,广泛使用于这类应用中。其他物质例如铌酸锂(LiNbO_3)、磷化镓(GaP)和钼酸铅(PbMoO_4)也经常用于各种声光器件中。影响选择特定物质的因素有很多,下面仅列出几种,如:声光器件的类型、高质量晶体是否容易获得以及应用的类型和需求,例如衍射效率功率损耗、入射光与衍射光的分散度和整体器件的大小等。

[0048] 图 4 给出了一种普通的法布里-珀罗(Fabry-Perot)光标准具 43 的示意图。该法布里-珀罗光标准具 43 的材料一般在近红外和可见光波段采用象融石英或 BK7 这样的光学玻璃,假设材料的折射率为 n ,两个通光面 41 和 42 都镀高反射膜,假设反射率为 R ,厚度为 h ,光以接近零度的入射角入射,则光标准具 43 的自由光谱范围 FSR_1 可以表示为: $\Delta \lambda = \lambda^2 / (2nh)$,或用频率表示: $\Delta \nu = c / (2nh)$,其中 c 是光速。透射光的峰值频率可以表示为: $\nu = mc / (2nh)$,其中 m 是干涉级次,透射光的频率宽带可以表示为: $\Delta \nu$ (FWHM) $= c(1-R) / (2nhR^{1/2})$,其中 c 是光速。

[0049] 从上述两个公式可以看出,光标准具 43 的自由光谱范围 FSR_1 与厚度为 h 成反比。假设材料的折射率为 $n=1.5$,要实现 $\text{FSR}_1=100\text{GHz}$,厚度 $h \approx 1$ 毫米。 FSR_1 要求越大,厚度就越小。在标准具的材料和厚度确定后,透射光的频率宽带主要和反射率 R 有关,反射率越高,频率宽带或锐度(finesse)越小。法布里-珀罗(Fabry-Perot)光标准具的透射光谱的特点是每个透射谱的带宽非常窄,输出光谱的频率间隔相等并且光频带宽度非常宽,如图 7 所示。

[0050] 一般情况下,对于光纤通讯用的激光器,要求有很窄的输出频率宽带,也相应地要求采用高锐度系数的标准具。

[0051] 一般用作光电器件的液晶材料具有高的电阻率。因此,可以被认为是理想的电介质材料。由于构成分子的有序的取向和拉伸延长的形态,液晶具有各向异性的电介质特性和单轴对称性,就象一个单轴晶体一样,其光轴的方向与分子的排列取向一致。当液晶分子

在外界电场的作用下,会形成电偶极子。在电偶极子所形成的力矩作用下,使得液晶分子的取向转向电场的方向,可以通过改变电场的强弱,改变液晶的光轴的方向。因此,可以利用液晶的这一特性,制作光相位调制器,可调谐滤波器,或其他光电器件,如光开关和光强调制器等。一般用作光电器件的液晶膜层的厚度约为 10 微米。本发明正是利用这个特性设计发明了可调谐法布里-珀罗滤波器。

[0052] 图 5 是一种利用液晶在电场作用下对线偏振光的产生折射率改变而设计的可调谐法布里-珀罗滤波器。该可调谐法布里-珀罗滤波器 200 包括两片光学透明材料 16 和 26,以及在两片光学透明材料的表面 18 和 29 上镀的反射率为 R 的高反射多层电介质膜层,两反射膜层形成法布里-珀罗(Fabry-Perot)腔;在透射膜层上分别镀增透膜和设置透明电极膜层 21 和 28,控制信号 22 在两透明电极膜层之间形成驱动电场;在 21 和 28 两膜层之间形成的空腔内设置液晶膜层 24。由于液晶的厚度很小(约 10 微米),因此,可以制作本征自由光谱范围(在无外加电场时,滤波器的自由光谱范围)法布里-珀罗滤波器。利用电场改变 Fabry-Perot 腔内液晶的有效折射率 n,来调节法布里-珀罗滤波器的透射光的光频率 ν 和自由光谱范围(FSR)。通常的驱动电场是电压为几伏,频率为几赫兹到几千赫兹的方波信号。

[0053] 如图 6 所示,入射到滤波器 200 的光束 15 是一束沿 z 方向传播,偏振轴为 x 方向的线偏振光,假设光透明材料的折射率为 n,两个通光面 18 和 26 都镀高反射膜,假设反射率为 R,厚度为 D,则滤波器 200 的

[0054] 自由光谱范围和透射光频率分别为:

[0055] $\Delta \lambda = \lambda^2 / (2nD + \Gamma)$, 或用频率表示: $\Delta \nu = c / (2nD + \Gamma)$, 其中 c 是光速, Γ 代表由液晶在外加电场作用下对入射光所产生的附加光程。透射光的峰值频率可以表示为: $\nu = mc / (2nD + \Gamma)$, 其中 m 是干涉级次,透射光的频率宽带可以表示为: $\Delta \nu (\text{FWHM}) = c(1-R) / ((2nD + \Gamma)R^{1/2})$, 其中 c 是光速。

[0056] 图 6 显示的是一个液晶在 1KHz 方波电压的驱动下,对光波长为 1550 纳米的光波相位变化的关系。最大可实现约 6π 的光相位延迟。根据上述公式,可调谐法布里-珀罗滤波器 200 对于接近零度入射的线偏振光可以得到约 100GHz 的透射光频率的调谐范围,精度可达小于 1GHz。相比较而言,根据上面的公式,对自由光谱范围 $\Delta \nu$ 和透射光的频带宽度的改变要小的多。

[0057] 图 8 给出了可调谐法布里-珀罗滤波器的透射光谱示意图。

[0058] 因此,可调谐法布里-珀罗滤波器 200 在外加电场的作用下,可以实现较大范围的透射光峰值频率的调谐而基本不改变透射光的频率宽带和自由光谱范围。这个特性对于将可调谐法布里-珀罗滤波器 200 在本发明中的应用具有重要意义。

[0059] 下面对本宽带连续可调谐激光器的结构进行详细说明。

[0060] 一种宽带连续可调谐激光器,如图 9 所示,该宽带连续可调谐激光器 300 使用了图 1 所示的可调谐声光滤波器和可调谐法布里-珀罗滤波器 200,其具体结构为:包括直接镀在激光增益介质 47 上的第一激光腔反射镜 45、激光增益介质 47、腔内准直透镜 49、有源光相位调制器 51、可调谐声光滤波器 100、腔内反射镜 50、可调谐法布里-珀罗滤波器 200、第二激光腔反射镜 57,其中,第一激光腔反射镜 45、腔内反射镜 50 和第二激光腔反射镜 57 构成了激光谐振腔。可调谐法布里-珀罗滤波器 200 设置在可调谐声光滤波器第二次衍

射的一级衍射光束的光轴方向上,第二激光腔反射镜设置在可调谐法布里-珀罗滤波器后面。包括第一激光腔反射镜 45 的宽带激光增益介质、腔内准直透镜、有源光相位调制器、可调谐声光滤波器和腔内反射镜安放的位置使得只有经过可调谐声光滤波器二次衍射的一级衍射光线才能在激光谐振腔内形成激光振荡。

[0061] 激光腔反射镜通常对不同波长或颜色光的反射率不同,这里提到的反射率是与激光器运行的频谱带宽相对应的反射率。第一激光腔反射镜 45 可以根据不同的情况,采用全反镜,或部分反射镜。如果激光增益介质是半导体增益介质时,由于一般都有比较大的输出分散角,因此,腔内准直透镜 49 一般是针对激光增益介质是半导体增益介质时使用。当激光增益介质是气体,液体或有些固体介质时,一般不用腔内准直透镜,而是采用非平面腔镜以实现腔内光束的合理分布。

[0062] 腔内准直透镜 49 不仅可以使激光增益介质 47 发出的光起到准直作用,同时也是激光器输出光束的准直透镜。用于光纤通讯中的这类激光器,需要将输出光束 4 耦合到光纤中,准直透镜 49 是必不可少的。

[0063] 在可调谐激光器 300 中,由激光增益介质 47 发出的宽带荧光光束 48 经腔内准直透镜 49 准直后的光束 2 透过有源光相位调制器 51,以布拉格角进入可调谐声光滤波器内的声光晶体 30,第一次衍射的一级衍射光 4 经腔内反射镜 50 反射后以布拉格角再次进入声光晶体 30,第二次衍射后的一级衍射光 8 透过可调谐法布里-珀罗滤波器 200 后由第二激光腔反射镜 57 反射回激光腔内,在激光腔内形成激光振荡和放大。在这个过程中,零级衍射光束 3、6、7 和 9 作为激光腔内光束的零级光束溢出激光腔外;光束 3 在激光振荡和放大过程中因其具有最大的能量和经可调谐声光滤波器的二次衍射后波长零漂移而作为激光输出光束。光束 6、7 和 9 可用于监控激光腔内的光功率和波长等。下面将会详细说明。

[0064] 正如前面分析的,由于第一次衍射的一级衍射光的频率偏移和第二次衍射的一级衍射光所产生的光频率偏移正好相反,因此,可调谐声光滤波器在可调谐激光器 300 中的结构中对激光器输出所造成的光频率偏移为零。又由于经可调谐声光滤波器的两次衍射,在激光腔内形成了比一次衍射带宽更窄的激光振荡。

[0065] 根据增益介质的情况,采用不同类型的腔内反射镜 50 和第二激光腔反射镜 57 可以形成不同的激光腔,还可以补偿由于声光晶体衍射造成的腔内光束的色散和发散,降低激光腔的损耗,或采用反射光栅或其他色散器件进一步压缩腔内光束的光谱等优点。同时,调节腔内反射镜 50 和声光晶体 30 之间的距离 L (见图 2),也可以调节激光腔的损耗。

[0066] 可调谐激光器 300 输出的光频率是通过控制有源光相位调制器 51,驱动可调谐声光滤波器射频信号源 10 和可调谐法布里-珀罗滤波器 200 来实现调谐的。首先,改变可调谐声光滤波器的射频信号源 10 的射频频率,可选择激光腔内的衍射光的频率。根据激光腔内不同的光频率,有源光相位调制器 51 通过调节腔内光束的相位使得某一个特定频率的光在激光腔内产生激光振荡和放大。在可调谐法布里-珀罗滤波器 200 无外加电场作用时,这时的滤波器 200 相当于一个法布里-珀罗标准具,可调谐激光器 300 输出的光频率受滤波器 200 的本征透射光谱的限制,即可调谐激光器 300 的输出只能调谐在可调谐法布里-珀罗滤波器 200 的本征透射光谱的其中一个透射光谱。通过调节驱动可调谐法布里-珀罗滤波器 200 的外加电场,可以精密调谐激光器 300 的输出光谱。在精密调谐过程中,也需要微调有源光相位调制器 51 和射频信号源 10 的射频信号。由于有源光相位调制

器 51, 可调谐声光滤波器和可调谐法布里 - 珀罗滤波器 200 均具有很宽的光频谱范围, 因此, 可调谐激光器 300 就能够实现在宽频谱范围内的精密连续可调谐。

[0067] 例如: 对于滤波器 200 的本征透射光谱是满足国际电讯联盟 (ITU) 标准的 100GHz 的 DWDM 系统, 可调谐激光器 300 通过调节有源光相位调制器 51 和可调谐声光滤波器 100, 输出光谱可以满足 ITU 100GHz 的光频率要求 (ITU Grid)。如前面所述, 在可调谐法布里 - 珀罗滤波器 200 有外加电场作用时, 可以实现 100GHz 的透射光的频谱的精密频率调谐, 因此, 可实现在两个 100GHz ITU grid 光频率的之间的精密和连续调谐。一般可以做到间隔小于 1GHz 的光频率精密调谐。目前, 在光纤通讯中, 常用的 C 频率带 (约 1530 纳米 - 1570 纳米) 或 L 频率带 (约 1570 纳米 - 1610 纳米) 的光频谱宽带约为 40 纳米, 可调谐激光器 300 完全可以实现在 C 频率带和 / 或 L 频率带范围内的精密调谐。

[0068] 同时, 可调谐法布里 - 珀罗滤波器 200 也决定了激光器输出光的频谱宽度。采用高锐度系数的法布里 - 珀罗滤波器能起到压缩输出光束的频谱带宽和提高边模抑制比。由于调谐过程对法布里 - 珀罗滤波器的透射光谱的带宽影响可以忽略, 因此, 可调谐激光器 300 在调谐过程中, 输出光谱的带宽可以做到基本一致。

[0069] 一般情况下, 对声光可调谐滤波器的滤波带宽的要求, 应使得可调谐激光器 300 的腔内的谐振模的本征频谱带宽的半宽度 (即在腔内未设置可调谐法布里 - 珀罗滤波器 200 时的谐振模的频谱的半宽度) 小于可调谐法布里 - 珀罗滤波器 200 的本征自由光谱范围, 以保证可调谐激光器 300 的腔内实现单模运行。由于可调谐法布里 - 珀罗滤波器 200 在调谐过程中, 基本不改变自由光谱范围, 使得在激光器 300 的调谐过程中, 能够继续维持单模运行。但由于器件老化等原因, 激光器 300 可能会出现谐振模的跳变, 即激光器从一个谐振模跳到相邻模上, 或其他离得更远的模上运行, 频率和光功率等主要参量也有可能出现漂移。频率漂移指的是在激光器工作在不发生跳模时发生的频率漂移现象, 一般地, 频率漂移中的频率变化比较小。因此, 为了实现激光器的稳定工作, 有必要对上述三个参量: 谐振模, 频率和光功率进行实时监控和锁定。

[0070] 激光谐振模锁定的实现

[0071] 激光器 300 的谐振模和频率实时监控和锁定是通过在泄漏出激光腔外的零级衍射光 6 和 9 (图 9) 上设置的具有低锐度系数 (low Finesse) 的法布里 - 珀罗标准具 62 和 64, 以及位于上述标准具之后的光电探测设备 60 和 66 以及相关的锁定设备实现的。具有低锐度系数 (low Finesse) 的法布里 - 珀罗标准具的透射频谱近似于一个正弦曲线。图 10 和图 11 分别显示的是具有相同锐度系数的标准具 62 和 64 的透射光谱曲线。假设可调谐法布里 - 珀罗滤波器 200 的本征自由光谱范围为 FSR_1 , 则法布里 - 珀罗标准具 62 的自由光谱范围为四倍的 FSR_1 , 而且, 透射光谱的第一个频率 ν_1 与可调谐法布里 - 珀罗滤波器 200 的第一个透射频率 ν_1 相同, 法布里 - 珀罗标准具 64 的自由光谱范围也为四倍的 FSR_1 , 而且, 透射光谱的第一个频率与可调谐法布里 - 珀罗滤波器 200 ν_2 相同 (或者说, 法布里 - 珀罗标准具 62 和 64 的透射峰值相差四分之一的 FSR_1)。这样, 对于不同的频率的光在光电探测设备 60 和 66 上得到的光功率强度不同。通过归一化, 假设最大峰值透射光强为 1, 最小透射光强为零, 中间值为 0.5, 则各频率在光电探测设备 60 和 66 的光强值列于下面的表格:

[0072]

频率	光强(光电设备 60)	光强(光电设备 66)
ν_1	1	0.5
ν_2	0.5	1
ν_3	0	0.5
ν_4	0.5	0
ν_5	1	0.5

[0073]

ν_6	0.5	1
ν_7	0	0.5
ν_8	0.5	0
ν_9	1	0.5
ν_{10}	0.5	1

[0074] 由于透射光谱具有周期性特点,表中仅列了前十个频率的光强值。从上述表中可以看出,通过对光电设备 60 和光电设备 66 的两个光强值的比较,可以区别 ν_1 同 ν_2 、 ν_3 、 ν_4 、 ν_6 、 ν_7 、 ν_8 ; ν_2 同 ν_1 、 ν_3 、 ν_4 、 ν_5 、 ν_7 、 ν_8 、 ν_9 ,可依次类推。 ν_1 、 ν_5 、 ν_9 和 ν_2 、 ν_6 、 ν_{10} 呈现周期性重复,可依次类推。在激光器 300 的校准过程中,将每个频率对应的光强值在数字信号微处理器中形成一个查找表格(Lookup Table),就可以判断激光器 300 是否发生跳模,通过激光器驱动控制系统可将谐振模锁定。需要指出的是,工作在 ν_1 的激光器如果发生跳模至 ν_5 或 ν_9 ,或工作在 ν_2 的激光器如果发生跳模至 ν_6 或 ν_{10} ,则系统将无法判断,其他模也可依次类推。因此,本发明只能对跳变到非周期性模上的情况,才能作出判断。一般情况下,激光器的跳模会跳变到邻近模上,则,本发明只能对该模的上和 / 或下各三个模的情况作出判断。

[0075] 在模式锁定过程中,不仅需要判断是否发生跳模,还需要能够判断跳模的方向,才能有依据通过改变相应的激光器驱动参数,如改变驱动可调谐声光调制器的射频频率,把谐振模调整到原来的谐振模上。再以表中的 ν_5 为例,由于系统不能区分 ν_3 和 ν_7 ,而只能判断 ν_4 和 ν_6 。因此,本发明只能对发生模跳变到最邻近的两个模的情况实施锁定。

[0076] 如要扩大激光模的判断范围,需要增加探测设备和改变法布里-珀罗标准具的自由光谱范围。例如,再增加一路光电探测器和一个法布里-珀罗标准具,将三个布里-珀罗标准具的自由光谱范围扩大到所述可调谐法布里-珀罗本征自由光谱范围 FSR_1 的八倍并使其峰值透射频率相互错位二倍的 FSR_1 ,可以实现对模跳变到最邻近的四个模的情况实施锁定。

[0077] 激光频率锁定的实现

[0078] 即使激光器的谐振模不发生跳变,由于器件老化等原因,也可能使激光器频率产生漂移。一般地,频率漂移指的是频率的变化不超过两个谐振模频率间隔的一半(即等于 $0.5(v_2-v_1)$)。参考图 11,当频率发生漂移时,因为透过布里-珀罗标准具 62 和 64 的光强就会发生变化,因此,在光电设备 60 和 66 上探测到的光强也会发生变化。利用光强的变化,可以检测光频率的变化并通过激光器 300 的驱动控制系统来进行对频率进行锁定,包括改变腔的温度、相位和射频信号频率等。从图 11 可以看出,激光模 v_1 、 v_3 、 v_5 、 v_7 等奇数模位于图 11 下方的透过率曲线的中央区域,而 v_2 、 v_4 、 v_6 、 v_8 等偶数模位于图 11 上方的透过率曲线上升沿或下降沿的中央区域。因此,在该区域光强随光频率的变化具有最好的线性度。可以通过探测光电设备 60 的光功率的变化对偶数模进行监控,通过光电设备 66 的光功率的变化对奇数模进行监控,并通过激光器 300 的驱动控制电路系统的闭环控制回路进行激光频率锁定。

[0079] 激光功率锁定的实现

[0080] 参考图 9,光电探测设备 68 用于直接监控激光器 300 的功率变化并通过激光器的驱动控制电路系统的闭环控制回路并通过改变激光器的泵浦功率等参数进行激光输出功率的锁定。

[0081] 上述可调谐激光器 300 的驱动控制电路系统如图 10 所示。该驱动控制电路系统包括:带有嵌入式软件程序的数字信号微处理器(DSP) 120、四个数模转换(D/A)设备 110、112、113 和 115、分别用于驱动控制激光增益介质 47 的激光泵浦源 109、有源光相位调制器的相位调制器驱动源 111、可调谐声光滤波器 100 的射频信号源 10、可调谐法布里-珀罗滤波器的法布里-珀罗滤波器驱动源 114、两个模数转换(A/D)设备 117 和 119,分别用于驱动控制激光频率和谐振模锁定设备 116 和激光功率锁定设备 118。同时数字信号微处理器 120 直接驱动控制温控设备 70,也可以接收外部指令来并通过四个数模转换模块分别控制所述激光泵浦源、有源光相位调制器驱动源、射频信号源、可调谐法布里-珀罗滤波器的驱动源;通过两个模数转换模块驱动控制所述激光频率和谐振模锁定设备和所述激光功率锁定设备,实现对激光增益介质、有源光相位调制器、可调谐声光滤波器和可调谐法布里-珀罗滤波器、温度控制设备、激光频率和谐振模锁定设备、激光功率锁定设备的驱动控制功能,并实现光频率调谐和锁定以及输出光功率的控制和锁定功能。

[0082] 需要强调的是,上述说明仅起演示和描述的作用,并不是一个详细无遗漏的说明,也没有意图将本发明限制在所描述的具体形式上。经过上面的描述,对本发明的许多改动和变化都可能出现。所选择的具体实施仅仅是为了更好的解释本发明的原理和实际中的应用。这个说明能够使熟悉此领域的人可以更好的利用本发明,根据实际需要设计不同的具体实施和进行相应的改动。

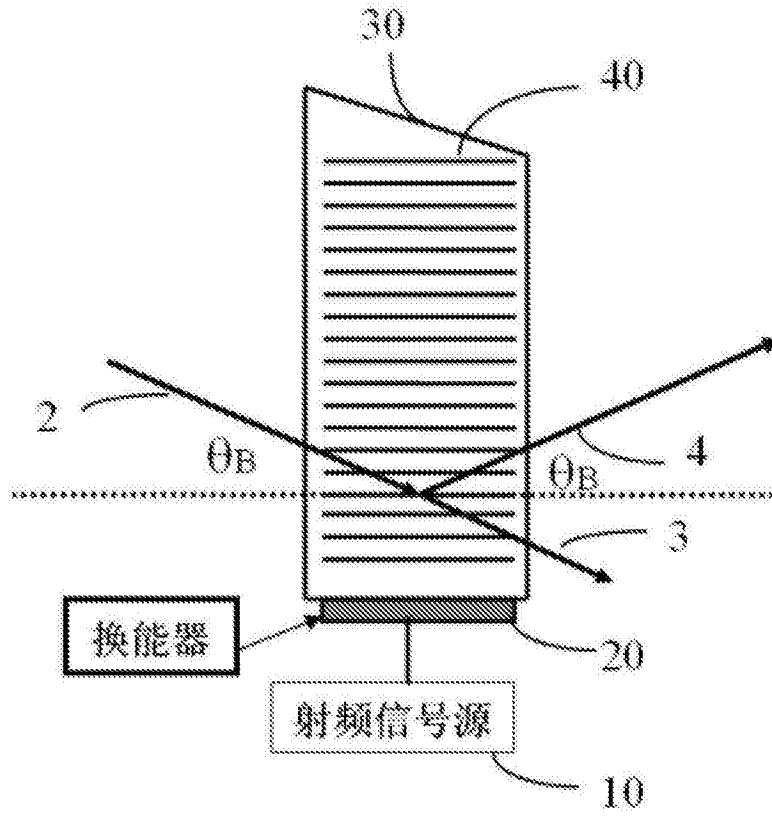


图 1

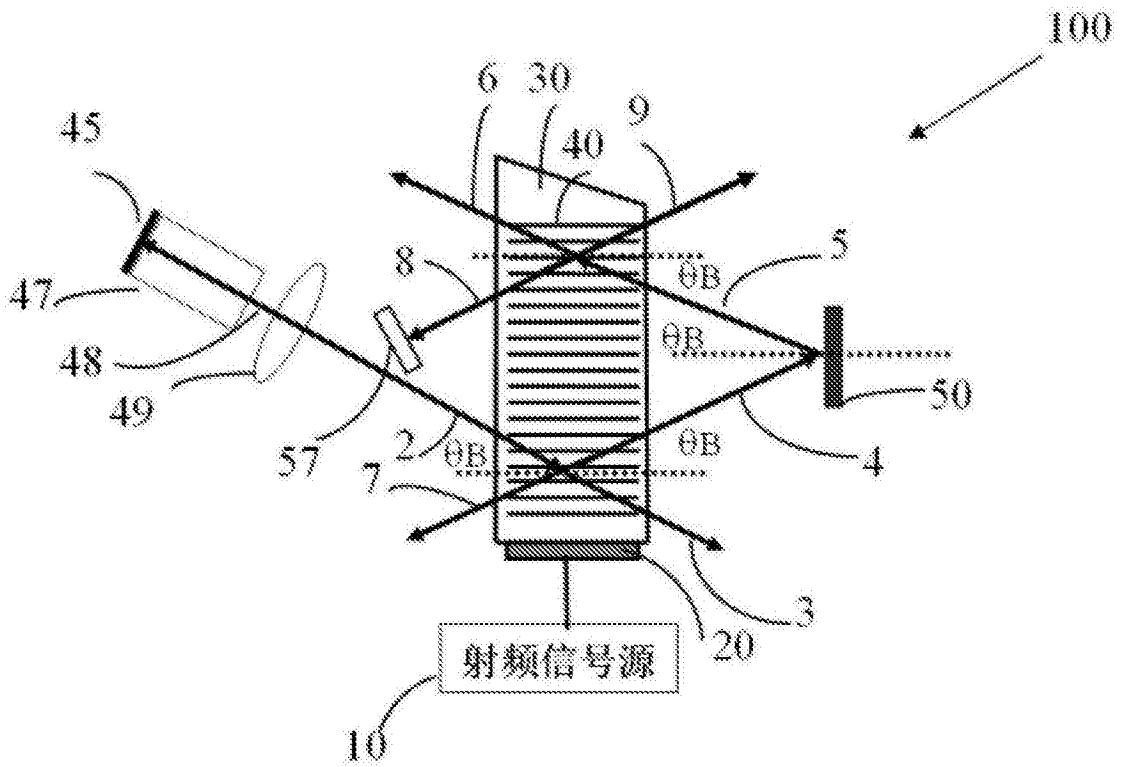


图 2

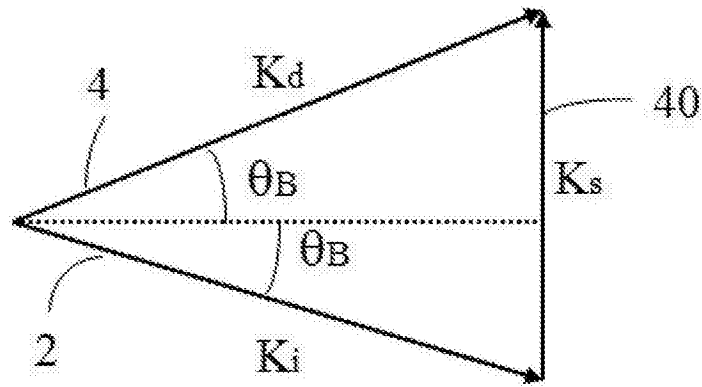


图 3-1

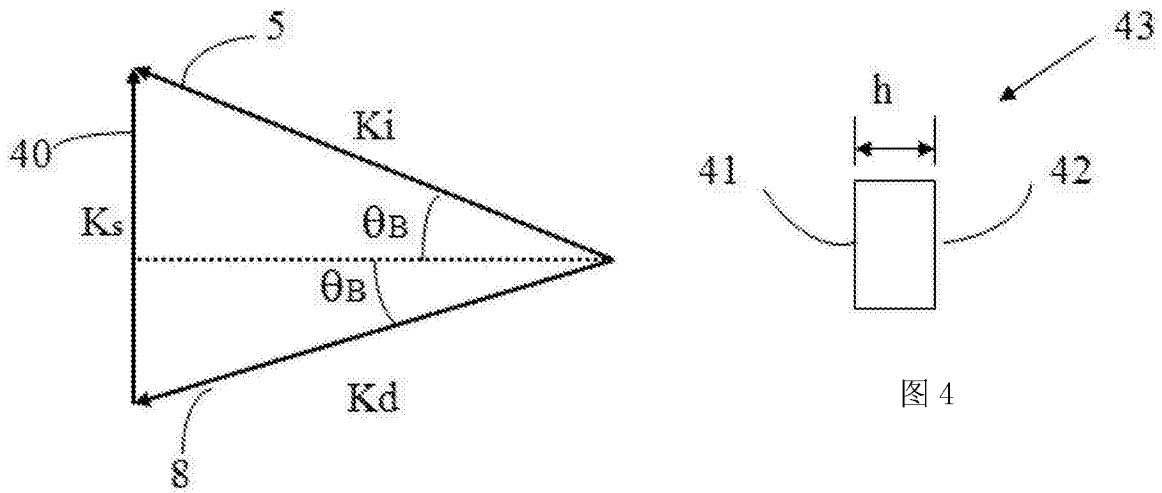


图 3-2

图 4

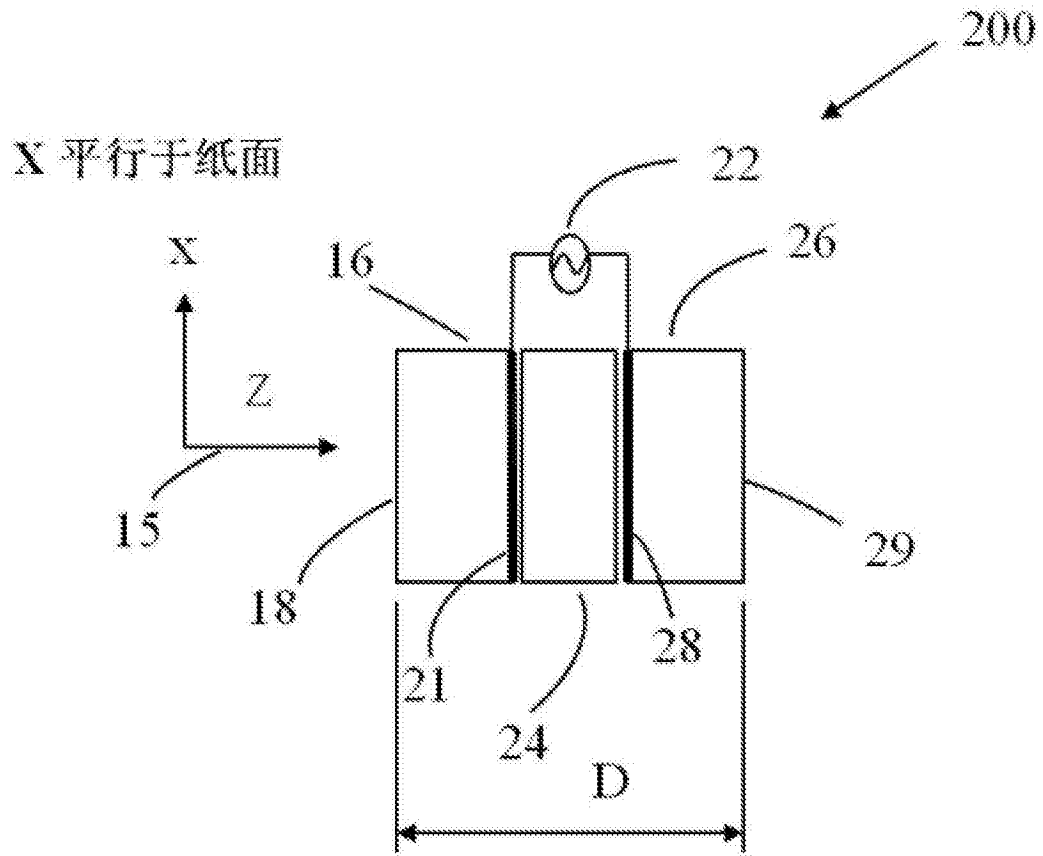


图 5

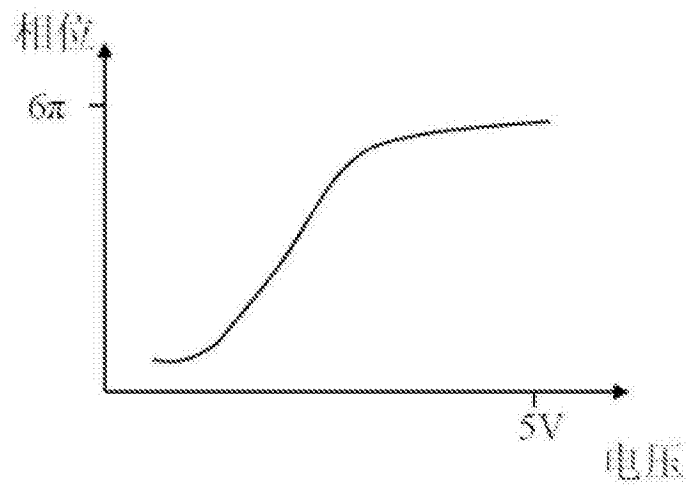


图 6

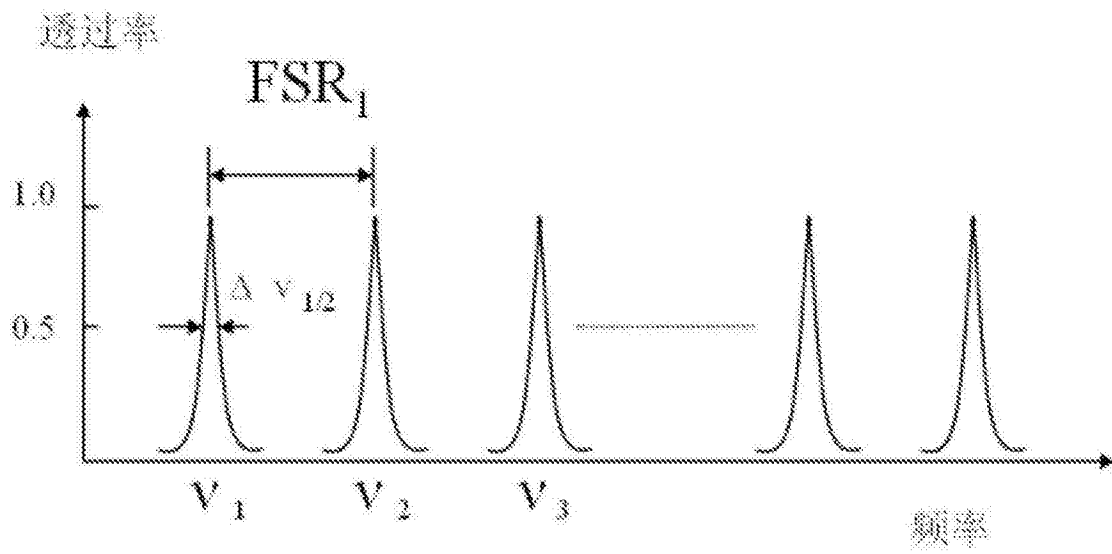


图 7

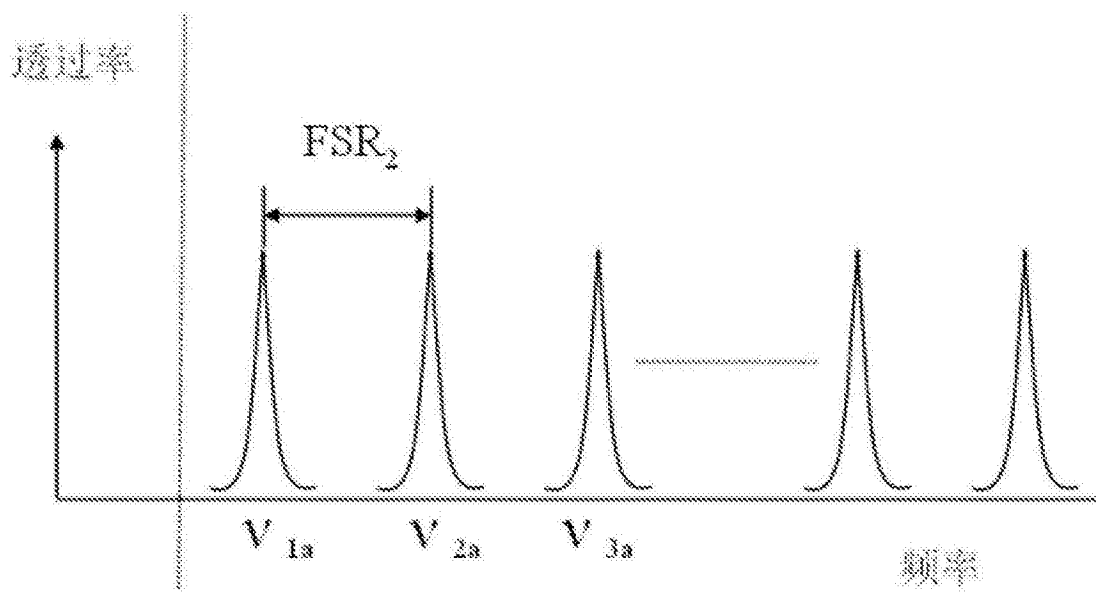


图 8

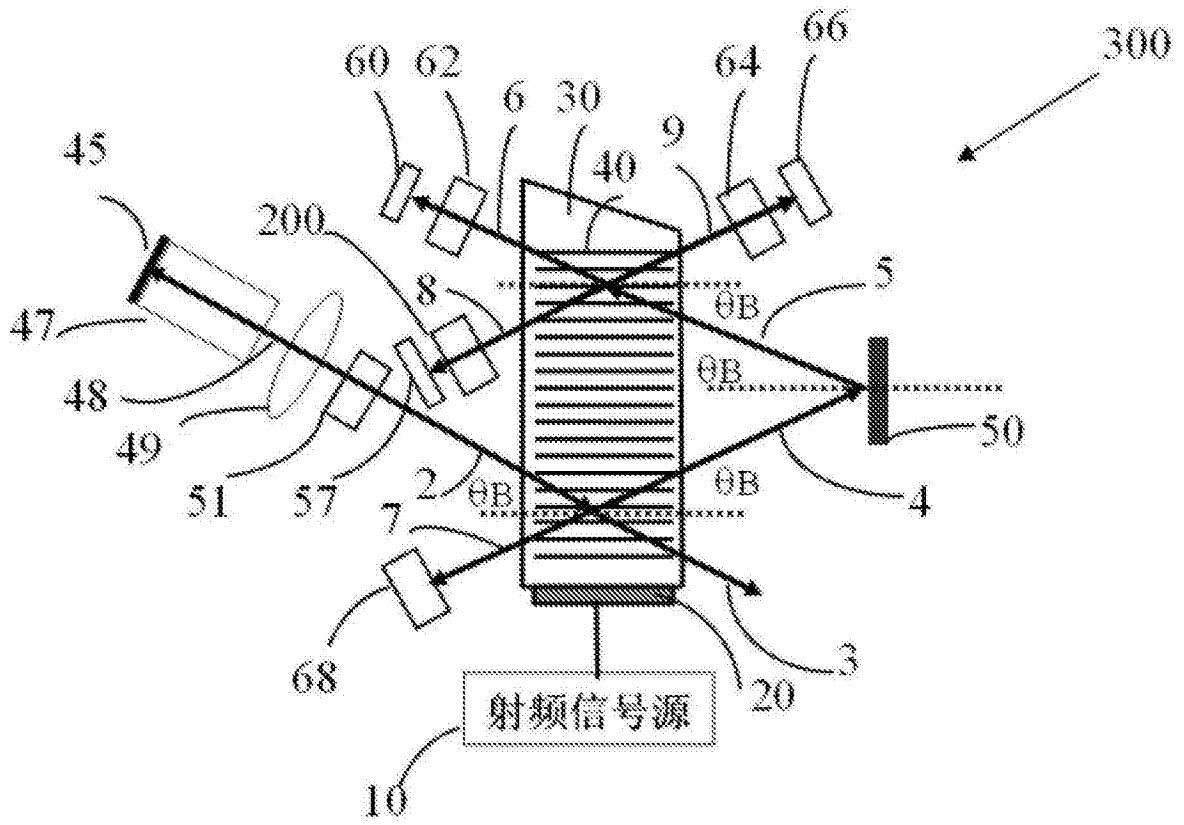


图 9

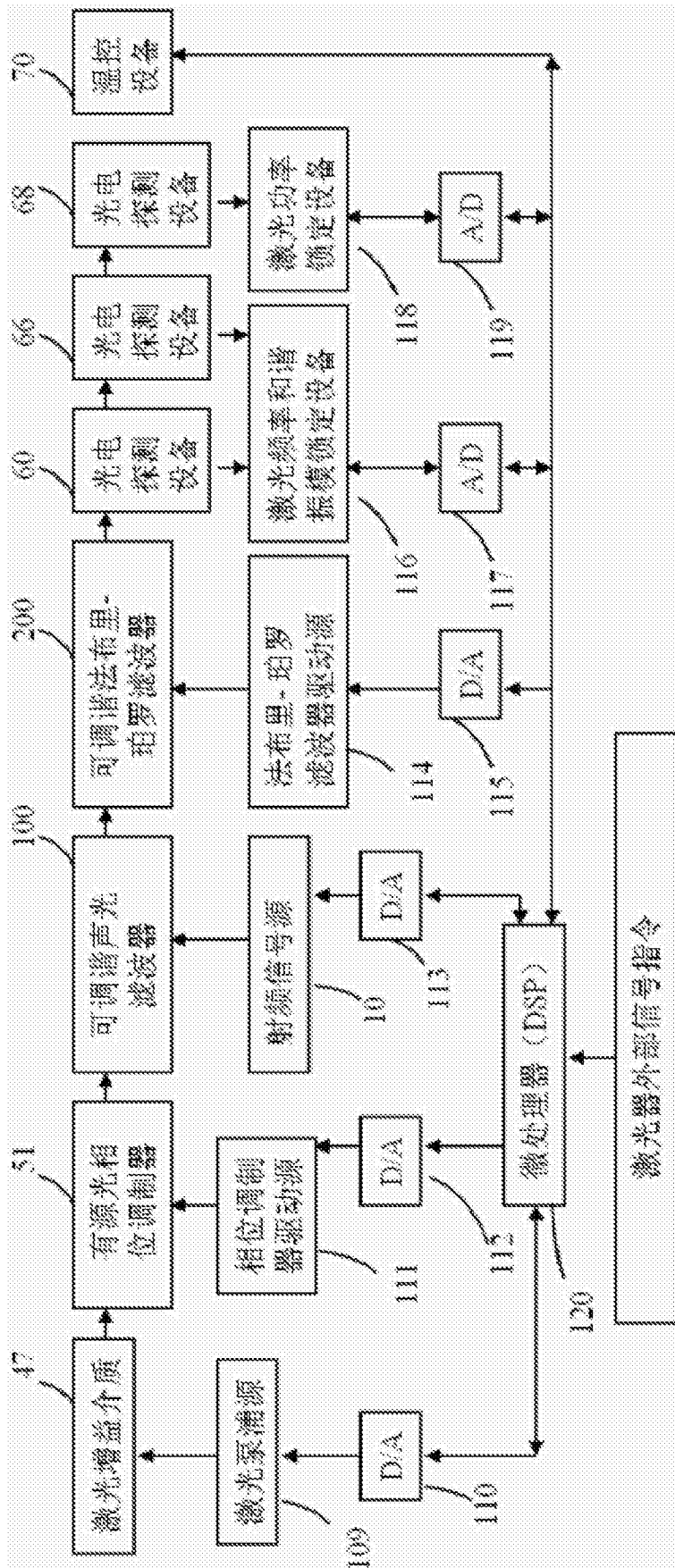


图 10

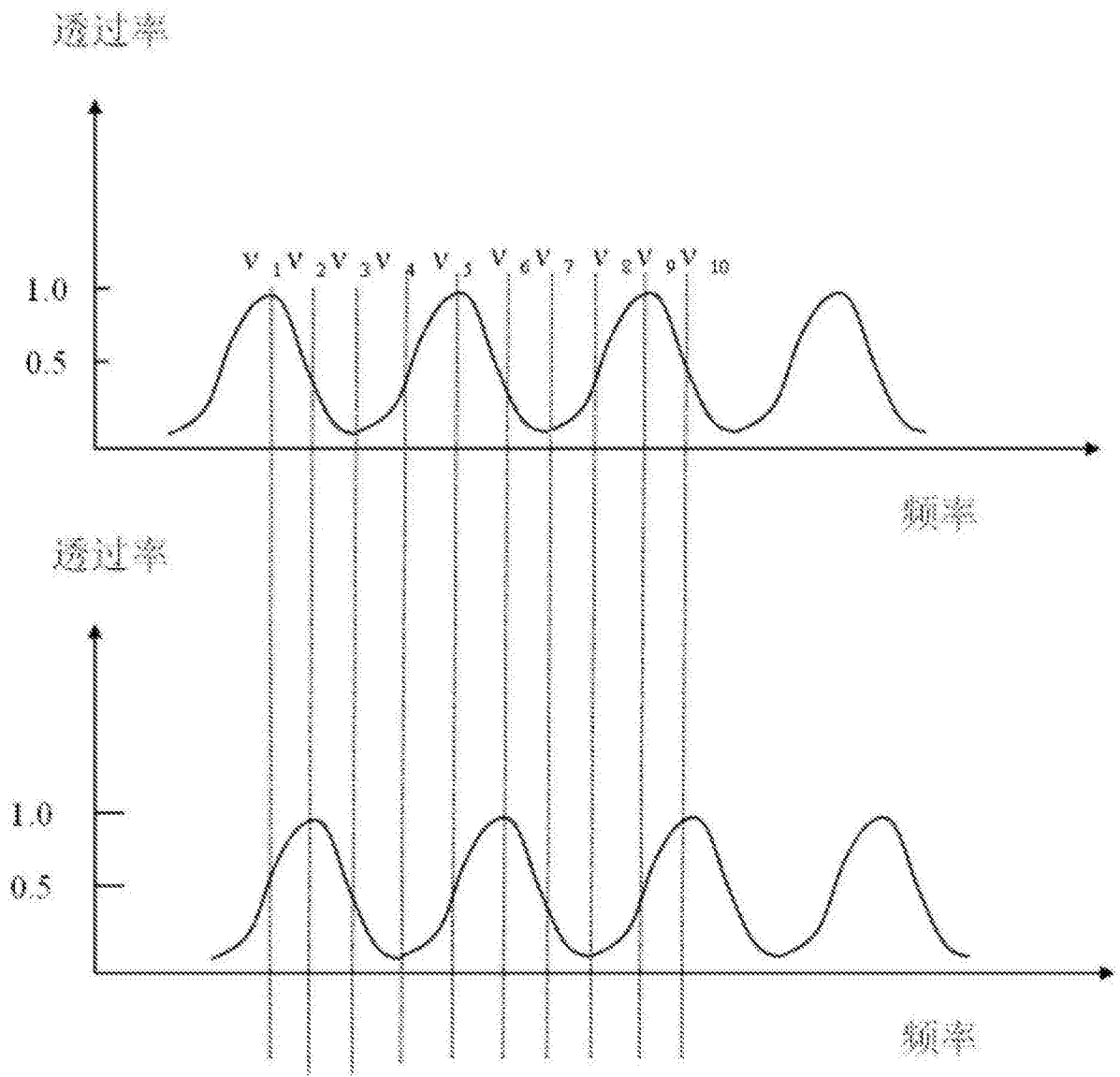


图 11