



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112117632 B

(45) 授权公告日 2021.09.24

(21) 申请号 202010993339.1

(51) Int.Cl.

(22) 申请日 2020.09.21

H01S 3/10 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

H01S 3/106 (2006.01)

申请公布号 CN 112117632 A

H01S 3/13 (2006.01)

(43) 申请公布日 2020.12.22

审查员 何洋

(73) 专利权人 中国人民解放军国防科技大学
地址 410073 湖南省长沙市开福区德雅路
109号

(72) 发明人 粟荣涛 龙金虎 侯天悦 常琦
马鹏飞 马阎星 周朴 司磊
许晓军 陈金宝

(74) 专利代理机构 长沙国科天河知识产权代理
有限公司 43225
代理人 邱轶

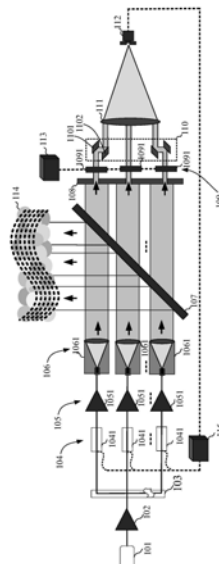
权利要求书2页 说明书6页 附图1页

(54) 发明名称

一种基于液晶阵列的涡旋光生成系统及方法

(57) 摘要

本发明涉及一种基于液晶阵列的涡旋光生成系统及方法。基于液晶阵列的涡旋光生成系统,包括激光源、一级激光放大器、激光分束器、相位调制器阵列、二级激光放大器阵列、激光扩束器阵列、分光镜、光阑阵列、液晶阵列、聚焦元件、光电探测器、相位控制器以及液晶控制器。上述的基于液晶阵列的涡旋光生成系统,采用了光纤激光相干合成技术,在通过光纤激光相干合成技术提升激光功率的同时,结合液晶阵列施加的阶梯相位,在目标位置可以获得携带轨道角动量的光强空心分布的涡旋光。



1. 一种基于液晶阵列的涡旋光生成系统,包括依次连接的激光源、一级激光放大器、激光分束器、相位调制器阵列、二级激光放大器阵列以及激光扩束器阵列;

其特征在于,所述基于液晶阵列的涡旋光生成系统还包括:

分光镜,用于将经过所述激光扩束器阵列的激光阵列分成第一激光阵列以及第二激光阵列,所述第一激光阵列能够传输至目标位置;

光阑阵列,所述第二激光阵列能够传输至所述光阑阵列,所述光阑阵列用于截取所述第二激光阵列中各条激光的中央光斑;

液晶阵列,经过所述光阑阵列的第二激光阵列能够传输到所述液晶阵列,所述液晶阵列用于对入射到所述液晶阵列上的第二激光阵列施加阶梯相位;

聚焦元件,用于对经过所述液晶阵列的第二激光阵列进行聚焦;

光电探测器,其输入端用于接收经过所述聚焦元件聚焦的激光的能量;

相位控制器,所述相位控制器的输入端与所述光电探测器的输出端电性连接,所述相位控制器的输出端与所述相位调制器阵列电性连接;

液晶控制器,与所述液晶阵列电性连接;

所述聚焦元件与所述液晶阵列间隔相对设置,且所述聚焦元件设置在从所述液晶阵列射出的第二激光阵列的光路上;

所述基于液晶阵列的涡旋光生成系统还包括缩束系统,所述缩束系统设置在所述液晶阵列与所述聚焦元件之间;

所述缩束系统包括第一反射片以及第二反射片,所述第一反射片用于使经过所述液晶阵列的第二激光阵列最外围的激光朝所述第二激光阵列的中心传播,所述第二反射片用于使经过所述第一反射片反射的激光朝向所述聚焦元件传播。

2. 根据权利要求1所述的基于液晶阵列的涡旋光生成系统,其特征在于,所述激光扩束器阵列与所述光阑阵列间隔相对设置,所述分光镜设置于所述激光扩束器阵列与所述光阑阵列之间。

3. 根据权利要求1所述的基于液晶阵列的涡旋光生成系统,其特征在于,所述分光镜的反射率大于或等于99%,且小于100%。

4. 根据权利要求1所述的基于液晶阵列的涡旋光生成系统,其特征在于,所述聚焦元件为凸透镜。

5. 根据权利要求1所述的基于液晶阵列的涡旋光生成系统,其特征在于,所述相位调制器阵列包括多个相位调制器,所述二级激光放大器阵列包括多个二级激光放大器,所述激光扩束器阵列包括多个激光扩束器,多个所述相位调制器、多个所述二级激光放大器以及多个所述激光扩束器一一对应地连接。

6. 根据权利要求5所述的基于液晶阵列的涡旋光生成系统,其特征在于,多个所述相位调制器、多个所述二级激光放大器以及多个所述激光扩束器均排列成环形阵列。

7. 根据权利要求1所述的基于液晶阵列的涡旋光生成系统,其特征在于,所述液晶阵列包括多个液晶全波延迟器,多个所述液晶全波延迟器一一对应地设置于经过所述光阑阵列的第二激光阵列中的多条激光的光路上。

8. 一种基于液晶阵列的涡旋光生成方法,其特征在于,包括:

激光源发射种子激光,并使所述种子激光依次经过一级激光放大器进行一级功率放

大、激光分束器进行分束、相位调制器阵列进行相位调制、二级激光放大器阵列进行二级功率放大以及激光扩束器阵列进行扩束；

经过所述激光扩束器阵列的激光阵列被分光镜分成第一激光阵列以及第二激光阵列，所述第一激光阵列传输至目标位置；

所述第二激光阵列传输至光阑阵列，且所述第二激光阵列中各条激光的中央光斑被光阑阵列截取后入射到液晶阵列；

经过液晶阵列的激光在聚焦元件的作用下进行聚焦，并在聚焦后被光电探测器探测提取，以使光电探测器内形成反馈信号，相位控制器根据所述反馈信号控制相位调制器阵列，以实现相干合成；

控制液晶阵列向第二激光阵列施加第一阶梯相位，从而使得相位控制器控制相位调制器阵列，实现对第一激光阵列施加与所述第一阶梯相位共轭的第二阶梯相位，以在目标位置形成涡旋光；

经过液晶阵列的激光在聚焦元件的作用下进行聚焦的过程包括：

液晶阵列与聚焦元件之间设有缩束系统；缩束系统包括第一反射片以及第二反射片；

经过液晶阵列的激光进入第一反射片以及第二反射片，第一反射片使经过液晶阵列的第二激光阵列最外围的激光朝第二激光阵列的中心传播，第二反射片使经过第一反射片反射的激光朝向聚焦元件传播，激光在聚焦元件的作用下进行聚焦。

一种基于液晶阵列的涡旋光生成系统及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及涡旋光生成技术领域,特别是涉及一种基于液晶阵列的涡旋光生成系统及方法。

背景技术

[0002] 由于具有螺旋波前结构,携带轨道角动量的涡旋光束具有许多不同于一般光束的特殊性质。自1992年的被第一次提出以来,得到了国内外科研人员的深入研究,被广泛应用于光通信、光镊、量子纠缠等领域。目前,已经可以实现生成任意模式的涡旋光,为拓展涡旋光的应用探索了技术方法。

[0003] 目前方法生成的涡旋光虽然结构多样,方法也不尽相同。然而,在结构光的模式切换等研究上依然鲜有报道,且目前生成的涡旋光的功率都较低,不利于应用在各领域中。

发明内容

[0004] 基于此,有必要针对现有技术中存在生成的涡旋光的无法切换模式,功率较低的问题,提供一种基于液晶阵列的涡旋光生成系统及方法。

[0005] 一种基于液晶阵列的涡旋光生成系统,包括依次连接的激光源、一级激光放大器、激光分束器、相位调制器阵列、二级激光放大器阵列以及激光扩束器阵列;

[0006] 所述基于液晶阵列的涡旋光生成系统还包括:

[0007] 分光镜,用于将经过所述激光扩束器阵列的激光阵列分成第一激光阵列以及第二激光阵列,所述第一激光阵列能够传输至目标位置;

[0008] 光阑阵列,所述第二激光阵列能够传输至所述光阑阵列,所述光阑阵列用于截取所述第二激光阵列中各条激光的中央光斑;

[0009] 液晶阵列,经过所述光阑阵列的第二激光阵列能够传输到所述液晶阵列,所述液晶阵列用于对入射到所述液晶阵列上的第二激光阵列施加阶梯相位;

[0010] 聚焦元件,用于对经过所述液晶阵列的第二激光阵列进行聚焦;

[0011] 光电探测器,其输入端用于接收经过所述聚焦元件聚焦的激光的能量;

[0012] 相位控制器,所述相位控制器的输入端与所述光电探测器的输出端电性连接,所述相位控制器的输出端与所述相位调制器阵列电性连接;

[0013] 液晶控制器,与所述液晶阵列电性连接。

[0014] 在其中一个实施例中,所述激光扩束器阵列与所述光阑阵列间隔相对设置,所述分光镜设置于所述激光扩束器阵列与所述光阑阵列之间。

[0015] 在其中一个实施例中,所述分光镜的反射率大于或等于99%,且小于100%。

[0016] 在其中一个实施例中,所述聚焦元件为凸透镜。

[0017] 在其中一个实施例中,所述聚焦元件与所述液晶阵列间隔相对设置,且所述聚焦元件设置在从所述液晶阵列射出的第二激光阵列的光路上;

[0018] 所述基于液晶阵列的涡旋光生成系统还包括缩束系统,所述缩束系统设置在所述

液晶阵列与所述聚焦元件之间。

[0019] 在其中一个实施例中,所述缩束系统包括第一反射片以及第二反射片,所述第一反射片用于使经过所述液晶阵列的第二激光阵列最外围的激光朝所述第二激光阵列的中心传播,所述第二反射片用于使经过所述第一反射片反射的激光朝向所述聚焦元件传播。

[0020] 在其中一个实施例中,所述相位调制器阵列包括多个相位调制器,所述二级激光放大器阵列包括多个二级激光放大器,所述激光扩束器阵列包括多个激光扩束器,多个所述相位调制器、多个所述二级激光放大器以及多个所述激光扩束器一一对应地连接。

[0021] 在其中一个实施例中,多个所述相位调制器、多个所述二级激光放大器以及多个所述激光扩束器均排列成环形阵列。

[0022] 在其中一个实施例中,所述液晶阵列包括多个液晶全波延迟器,多个所述液晶全波延迟器一一对应地设置于经过所述光阑阵列的第二激光阵列中的多条激光的光路上。

[0023] 一种基于液晶阵列的涡旋光生成方法,包括:

[0024] 激光源发射种子激光,并使所述种子激光依次经过一级激光放大器进行一级功率放大、激光分束器进行分束、相位调制器阵列进行相位调制、二级激光放大器阵列进行二级功率放大以及激光扩束器阵列进行扩束;

[0025] 经过所述激光扩束器阵列的激光阵列被分光镜分成第一激光阵列以及第二激光阵列,所述第一激光阵列传输至目标位置;

[0026] 所述第二激光阵列传输至光阑阵列,且所述第二激光阵列中各条激光的中央光斑被光阑阵列截取后入射到液晶阵列;

[0027] 经过液晶阵列的激光在聚焦元件的作用下进行聚焦,并在聚焦后被光电探测器探测提取,以使光电探测器内形成反馈信号,相位控制器根据所述反馈信号控制相位调制器阵列,以实现相干合成;

[0028] 控制液晶阵列向第二激光阵列施加第一阶梯相位,从而使得相位控制器控制相位调制器阵列,实现对第一激光阵列施加与所述第一阶梯相位共轭的第二阶梯相位,以在目标位置形成涡旋光。

[0029] 上述的基于液晶阵列的涡旋光生成系统及方法,采用了光纤激光相干合成技术,在通过光纤激光相干合成技术提升激光功率的同时,结合液晶阵列施加的阶梯相位,在目标位置(激光输出的远场)可以获得携带轨道角动量的光强空心分布的涡旋光;另外,液晶阵列中的液晶全波延迟器具有较高的响应频率,结合液晶控制器可以进行实时控制,生成的涡旋光具有快速实时切换的功能。克服以往技术方案中,生成的涡旋光无法适应高功率、模式快速切换的要求,为涡旋光应用于非线性变换、工业加工、自由空间光通信领域探索新的技术方案。

附图说明

[0030] 图1为本发明一实施例中的基于液晶阵列的涡旋光生成系统的原理图。

[0031] 附图标记说明:

[0032] 101、激光源;102、一级激光放大器;103、激光分束器;104、相位调制器阵列;1041、相位调制器;105、二级激光放大器阵列;1051、二级激光放大器;106、激光扩束器阵列;1061、激光扩束器;107、分光镜;108、光阑阵列;109、液晶阵列;1091、液晶全波延迟器;

110、缩束系统;1101、第一反射片; 1102、第二反射片;111、聚焦元件;112、光电探测器; 113、液晶控制器;114、大气;115、相位控制器。

具体实施方式

[0033] 为使本发明的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂,下面结合附图对本发明的具体实施方式做详细的说明。在下面的描述中阐述了很多具体细节以便于充分理解本发明。但是本发明能够以很多不同于在此描述的其它方式来实施,本领域技术人员可以在不违背本发明内涵的情况下做类似改进,因此本发明不受下面公开的具体实施例的限制。

[0034] 术语“第一”、“第二”仅用于描述目的,而不能理解为指示或暗示相对重要性或者隐含指明所指示的技术特征的数量。由此,限定有“第一”、“第二”的特征可以明示或者隐含地包括至少一个该特征。在本发明的描述中,“多个”的含义是至少两个,例如两个,三个等,除非另有明确具体的限定。

[0035] 在本发明中,除非另有明确的规定和限定,术语“安装”、“相连”、“连接”、“固定”等术语应做广义理解,例如,可以是固定连接,也可以是可拆卸连接,或成一体;可以是机械连接,也可以是电连接;可以是直接相连,也可以通过中间媒介间接相连,可以是两个元件内部的连通或两个元件的相互作用关系,除非另有明确的限定。对于本领域的普通技术人员而言,可以根据具体情况理解上述术语在本发明中的具体含义。

[0036] 在传统技术中,目前主要有以下几种方法产生涡旋光。1,应用模式转换器件,如螺旋相位板、相位全息板等直接对光束赋予螺旋相位,从而实现涡旋光的生成,尽管生成的涡旋光纯度较高,然而受限于模式转换器件的功率阈值限制,生成的涡旋光功率有限,且难以实现模式的切换。2,通过调节激光谐振腔结构或设计基于超构表面微结构,可以方便的实现涡旋光的生成,然而此类方法不仅功率有限,且不易实现模式转换。

[0037] 光纤激光相干合成技术可以在提升功率的同时保持良好的光束质量,结合相位调制器的快速相位控制,发明人在实验上验证了光纤激光相干合成技术产生高功率激光的可行性,并在理论上分析了利用相干合成技术生成涡旋光方法的可行性。

[0038] 如图1所示,一实施例涉及的一种基于液晶阵列的涡旋光生成系统,包括激光源101、一级激光放大器102、激光分束器103、相位调制器阵列104、二级激光放大器1051、激光扩束器阵列106、分光镜107、光阑阵列108、液晶阵列109、缩束系统110、聚焦元件111、相位控制器115以及液晶控制器113。

[0039] 所述激光源101可以是单频激光源,用于发射种子激光。

[0040] 所述相位调制器阵列104包括多个相位调制器1041,所述二级激光放大器阵列105包括多个二级激光放大器1051,所述激光扩束器阵列106包括多个激光扩束器1061,其中,所述的激光扩束器1061为准直扩束器,多个所述相位调制器1041、多个所述二级激光放大器1051以及多个所述激光扩束器1061一一对应地连接。

[0041] 进一步地,多个所述相位调制器1041、多个所述二级激光放大器1051以及多个所述激光扩束器1061均排列成环形阵列。

[0042] 激光源101发射种子激光后,种子激光首先经过一级激光放大器102放大,然后在激光分束器103的作用下分为多路激光,多路激光再依次一一对应地射入到多个相位调制器1041、多个二级激光放大器1051以及多个激光扩束器1061 中,之后以环形排布的激光阵

列输出。换言之,在种子激光经过激光分束器 103后被分成多路激光后,每路激光一次经过1个相位调制器1041、1个二级激光放大器1051以及1个激光扩束器1061,且所有的激光在经过各自对应的激光扩束器1061后,以环形排布的激光阵列输出。

[0043] 所述分光镜107为高反镜,分光镜107设置在从激光扩束器阵列106射出的激光阵列的光路上。经过所述激光扩束器阵列106的激光阵列在射到分光镜 107后,具有其一部分能量的第一激光阵列朝目标位置传输(大气远场),具有其另一部分能量的第二激光阵列透过分光镜107。

[0044] 具体地,所述激光扩束器阵列106与所述光阑阵列108间隔相对设置,且所述激光扩束器阵列106与所述光阑阵列108的间隔方向,与经过所述激光扩束器阵列106的激光阵列(未经过反射或折射)的传播方向一致,所述分光镜 107设置于所述激光扩束器阵列106与所述光阑阵列108之间,并且,所述分光镜107的反射率大于或等于99%,且小于100%。

[0045] 经过所述激光扩束器阵列106的激光阵列在射到分光镜107后,具有大于其99%的能量的第一激光阵列经过大气114环境朝目标位置(大气远场)传输,具有小于其1%的能量的第二激光阵列传输至光阑阵列108,所述光阑阵列108 用于截取所述第二激光阵列中各条激光的中央光斑。

[0046] 具体地,光阑阵列108包括多个光阑,且多个光阑与多个激光扩束器1061 一一对应地相对设置,第二激光阵列中的多束激光能够一一对应地穿过多个光阑。每个光阑均能够截取通过其的激光的中央光斑。

[0047] 液晶阵列109设置在从光阑阵列108射出的第二激光阵列的光路上,经过所述光阑阵列108的第二激光阵列能够传输到所述液晶阵列109,所述液晶阵列 109用于对入射到所述液晶阵列109上的第二激光阵列施加阶梯相位。

[0048] 具体地,液晶阵列109包括多个液晶全波延迟器1091,液晶全波延迟器1091 具有较高的响应频率,多个液晶全波延迟器1091一一对应地设置于经过光阑阵列108的第二激光阵列中的多个激光的光路上,液晶全波延迟器1091用于对入射到液晶全波延迟器1091中的激光施加活塞相位。

[0049] 需要说明的是,所述的活塞相位是体现在单条激光上的,而所述的阶梯相位是体现在第二激光阵列上的。换言之,通过改变第二激光阵列中的每条激光的活塞相位,可以改变第二激光阵列的阶梯相位。

[0050] 进一步地,聚焦元件111与液晶阵列109间隔相对设置,且聚焦元件111 设置在从所述液晶阵列109射出的第二激光阵列的光路上,聚焦元件111用于对经过所述液晶阵列109的第二激光阵列进行聚焦。

[0051] 可选地,聚焦元件111为凸透镜。

[0052] 更进一步地,所述缩束系统110设置在所述液晶阵列109与所述聚焦元件 111之间,缩束系统110用于缩小整个第二激光阵列的半径,用以提高第二激光阵列的占空比。

[0053] 具体地,所述缩束系统110包括第一反射片1101以及第二反射片1102,所述第一反射片1101用于使经过所述液晶阵列109的第二激光阵列最外围的激光朝所述第二激光阵列的中心传播,所述第二反射片1102用于使经过所述第一反射片1101反射的激光朝向所述聚焦元件111传播。

[0054] 更具体的,第一发射片1101的反射面与从液晶阵列109出来的第二激光阵列最外

围的激光的夹角为 45° ，第二发射片1102设置在第一发射片1101靠近第二激光阵列中线的一侧，且第二发射片1102的发射面与第一发射片1101的发射面平行。

[0055] 光电探测器112与聚焦元件111相对设置，且光电探测器112的输入端用于接收经过所述聚焦元件111聚焦的激光的能量；光电探测器112的输出端与所述相位控制器115的输入端电性连接，所述相位控制器115的输出端与所述相位调制器阵列104电性连接。

[0056] 光电探测器112能够探测第二激光阵列经过聚焦元件111聚焦后的中央主斑的光强，并将该光强信号转变成电信号，然后传输给相位控制器115，相位控制器115可以据此电信号控制相位调制器1041，用以校正种子激光经过一级激光放大器阵列102、二级激光放大器阵列105及环境等引入的相位噪声，使第一激光阵列以及第二激光阵列在远场实现同相位状态。

[0057] 进一步地，液晶控制器113与所述液晶阵列109电性连接，用于对液晶阵列109进行控制。液晶控制器113可以为控制电路，用于输出幅度频率可调的正弦波信号电压，控制液晶阵列109对第二激光阵列引入阶梯相位。

[0058] 具体地，所述的液晶控制器113通过运行预设的程序，输出幅度可调的正弦波信号电压，在相位控制器115运行的基础上，通过控制液晶阵列109，从而使第一激光阵列以及第二激光阵列在实现同相位的情况下，对透过液晶阵列109的第二激光阵列引入第一阶梯相位。进而在通过相位控制器115的再次运行时，相位控制器115控制相位调制器阵列104对经过相位调制器阵列104的激光阵列施加与第一阶相位共轭的阶梯相位，从而间接重构了第一激光阵列的波前相位，从而在大气114远场相干合成，形成高功率的涡旋光。

[0059] 上述的基于液晶阵列的涡旋光生成系统，采用了光纤激光相干合成技术，在通过光纤激光相干合成技术提升激光功率的同时，结合液晶阵列109施加的阶梯相位，在目标位置（激光输出的远场）可以获得携带轨道角动量的光强空心分布的涡旋光；另外，液晶阵列109中的液晶全波延迟器1091具有较高的响应频率，结合液晶控制器113可以进行实时控制，生成的涡旋光具有快速实时切换的功能。克服以往技术方案中，生成的涡旋光无法适应高功率、模式快速切换的要求，为涡旋光应用于非线性变换、工业加工、自由空间光通信等领域探索新的技术方案。

[0060] 如图1所示，一实施例还涉及一种基于液晶阵列的涡旋光生成方法，应用在如上所述的基于液晶阵列的涡旋光生成系统中，所述基于液晶阵列的涡旋光生成方法包括：

[0061] 激光源101发射种子激光，并使所述种子激光依次经过一级激光放大器102进行一级功率放大、激光分束器103进行分束、相位调制器阵列104进行相位调制、二级激光放大器阵列105进行二级功率放大以及激光扩束器阵列106进行扩束；

[0062] 经过所述激光扩束器阵列106的激光阵列被分光镜107分成第一激光阵列以及第二激光阵列，所述第一激光阵列传输至目标位置；

[0063] 所述第二激光阵列传输至所述光阑阵列108，且所述第二激光阵列中各条激光的中央光斑被光阑阵列108截取后入射到液晶阵列109；

[0064] 入射到液晶阵列109的激光在聚焦元件111的作用下进行聚焦，并在聚焦后被光电探测器112探测提取，以使光电探测器112内形成反馈信号，相位控制器115根据所述反馈信号控制相位调制器阵列104以实现相干合成；

[0065] 控制液晶阵列109向第二激光阵列施加第一阶梯相位，从而使得相位控制器115控

制相位调制器阵列104,实现对第一激光阵列施加与所述第一阶梯相位共轭的第二阶梯相位,以在目标位置形成涡旋光。

[0066] 上述的基于液晶阵列的涡旋光生成方法,采用了光纤激光相干合成技术,在通过光纤激光相干合成技术提升激光功率的同时,结合液晶阵列109施加的阶梯相位,在目标位置(激光输出的远场)可以获得携带轨道角动量的光强空心分布的涡旋光;另外,液晶阵列109中的液晶全波延迟器1091具有较高的响应频率,结合液晶控制器113可以进行实时控制,生成的涡旋光具有快速实时切换的功能。克服以往技术方案中,生成的涡旋光无法适应高功率、模式快速切换的要求,为涡旋光应用于非线性变换、工业加工、自由空间光通信等领域探索新的技术方案。

[0067] 以上所述实施例的各技术特征可以进行任意的组合,为使描述简洁,未对上述实施例中的各个技术特征所有可能的组合都进行描述,然而,只要这些技术特征的组合不存在矛盾,都应当认为是本说明书记载的范围。

[0068] 以上所述实施例仅表达了本发明的几种实施方式,其描述较为具体和详细,但并不能因此而理解为对发明专利范围的限制。应当指出的是,对于本领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明构思的前提下,还可以做出若干变形和改进,这些都属于本发明的保护范围。因此,本发明的保护范围应以所附权利要求为准。

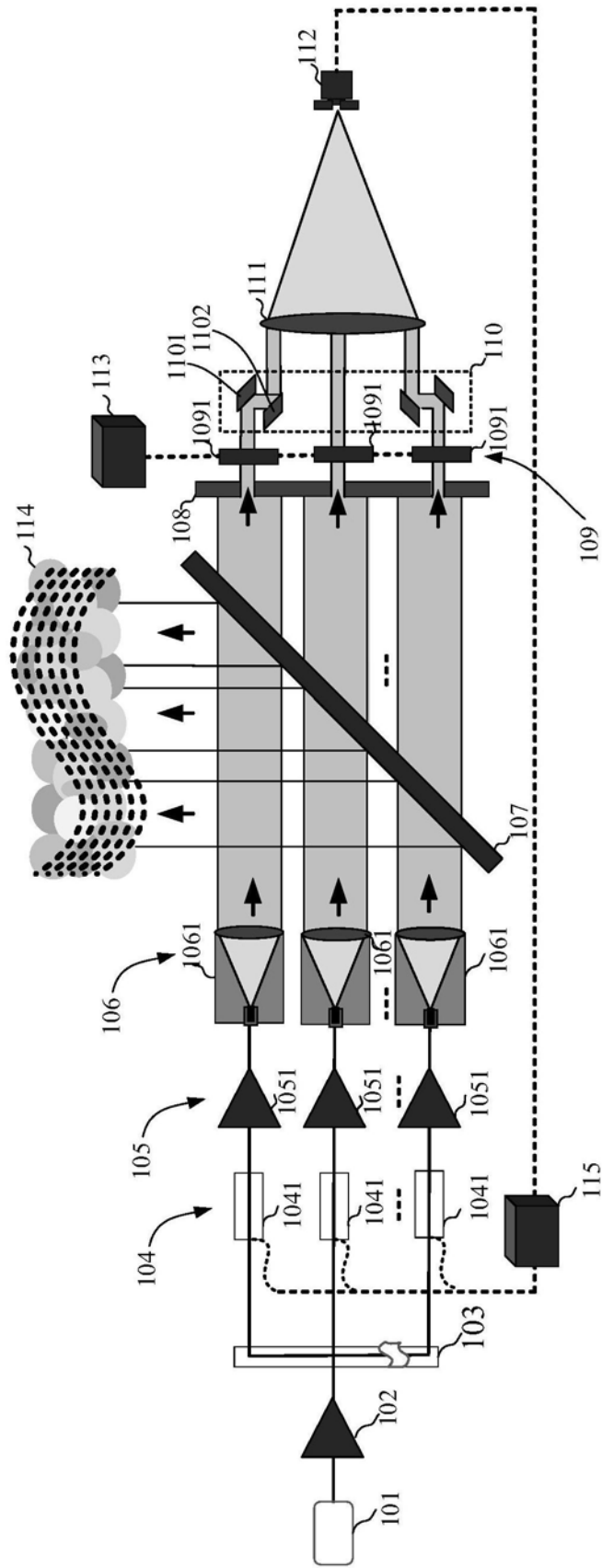


图1