



# (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110031959 A

(43)申请公布日 2019.07.19

(21)申请号 201910189594.8

(22)申请日 2019.03.13

(71)申请人 中国科学院生物物理研究所  
地址 100101 北京市朝阳区大屯路15号

(72)发明人 李栋 李迪

(74)专利代理机构 北京中强智尚知识产权代理  
有限公司 11448

代理人 黄耀威

(51)Int.Cl.

G02B 21/00(2006.01)

G02B 21/04(2006.01)

G02B 27/28(2006.01)

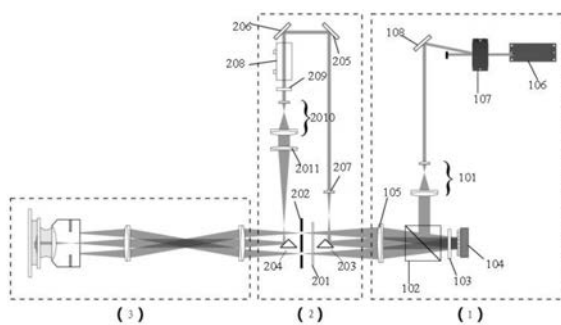
权利要求书2页 说明书7页 附图3页

## (54)发明名称

一种激发光偏振高速调控装置

## (57)摘要

本发明公开了一种激发光偏振高速调控装置,包括:激发光偏振调控机构,用于将所述激发光调制机构产生的两束或三束激发光偏振调制为偏振方向垂直于激发光光轴所在平面的线偏振光,并将调制后的两束或三束激发光输送至显微成像系统,完成结构光照明超分辨成像所需的条纹状照明。本发明一种激发光偏振高速调控装置,即可实现微秒量级的高速调控,又不会限制激发光的通光孔径,实现了结构光照明超分辨成像技术所需的激光偏振状态的高速调制。







## 一种激发光偏振高速调控装置

### 技术领域

[0001] 本发明属于激光偏振控制技术领域,具体涉及一种激发光偏振高速调控装置。

### 背景技术

[0002] 超分辨率荧光显微成像技术可以突破光学衍射极限的限制,有效观察样本的微小结构,因此近年来获得了极大的关注和广泛的应用。结构光照明超分辨显微成像技术(Structure Illumination Microscope,简称SIM技术)是超分辨率荧光显微成像的一种。SIM技术利用周期分布的条纹状激发光照明样品,在荧光信号激发过程中,照明条纹和样品本身的空间频率发生混频,使得样品中的高频信息被调制到低频区域,从而能够被光学系统所探测,进而利用衍射受限的荧光图像重建出突破衍射极限的清晰图像。SIM技术的成像过程是在整个二维平面/三维空间同时操作完成,因此相对于其他超分辨成像技术,SIM技术的成像速度更快,适合研究高度动态的样本。

[0003] 在SIM技术中,提高条纹状激发光的明暗对比度是实现高信噪比探测和高质量超分辨重建的关键。而条纹状激发光通常由排成一列的两束(二维SIM)或三束(三维SIM成像)线偏振激光干涉产生,只有线偏振光束的偏振方向垂直于光束光轴所在平面时才能获得最佳干涉效果,从而获得最佳的条纹明暗对比度。此外,由于重建图像的需要,SIM技术需要使用少于等于三种(线性SIM)或多于等于五种(非线性SIM)不同方向的条纹状激发光照明样品,而不同方向激发条纹对应不同的激发光束排布方向和不同的最佳偏振方向。因此为了获得最优化的成像效果和较快的成像速度,需要高速调节激发光的排布方向和偏振方向。目前SIM技术通常使用空间光调制器改变激发光的排布方向的,响应速度为亚毫秒量级;而调节激发光偏振状态常用的“液晶偏振调制器”的响应时间为10ms量级,偏振调制速度严重限制了SIM技术对高度动态过程的研究。此外,现有的高速可调的相位延迟器件通光口径较小,不能让中心光束和外侧两束光同时通过,从而无法满足SIM技术的需求。

[0004] 本发明旨在解决SIM技术中的三束/两束大口径激发光的偏振高速调控问题,给出一种满足所有SIM技术需求的多束激光偏振状态调控方法,既可实现微秒量级的高速响应,又不会限制通光孔径。

### 发明内容

[0005] 针对上述现有技术存在的不足之处,本发明提供了一种激发光偏振高速调控装置。

[0006] 本发明的目的是通过以下技术方案来实现的:

[0007] 一种激发光偏振高速调控装置,包括:

[0008] 激发光偏振调控机构,用于将激发光调制机构产生的两束或三束激发光偏振调制为偏振方向垂直于激发光光轴所在平面的线偏振光,并将调制后的两束或三束激发光输送至显微成像系统,完成结构光照明超分辨成像所需的条纹状照明。

[0009] 进一步的,所述激发光调制机构包括激发光发生组件、第一扩束透镜组、第一偏振

分束器、消色差半波片、空间光调制器和第一透镜，

[0010] 所述第一扩束透镜组，用于将激发光发生组件产生的初始激发光进行扩束；

[0011] 所述第一偏振分束器，用于将经扩束后的初始激发光进行分束后，将经分束后得到的激发光依次发送至所述消色差半波片和空间光调制器；

[0012] 所述空间光调制器，用于将从所述消色差半波片接收到的激发光进行调制，并将调制后的激发光分为两或三束后，再依次将两或三束激发光发送给所述消色差半波片和第一偏振分束器；

[0013] 所述第一透镜，用于将依次经过所述消色差半波片和第一偏振分束器的两或三束激发光汇聚成平行光后，将平行的两或三束激发光发送给所述激发光偏振调控机构。

[0014] 进一步的，所述激发光偏振调控机构包括：

[0015] 偏振旋转组合波片，用于对经所述激发光调制机构调制后的两束激发光的偏振状态进行调控；

[0016] 遮光板，用于去掉所述激发光调制机构产生的杂散激发光。

[0017] 进一步的，所述偏振旋转组合波片由1-3对半波片拼接而成，或由不少于5对半波片拼接而成。

[0018] 进一步的，所述激发光偏振调控机构还包括：

[0019] 第一刀锋反射镜，设置在所述激发光调制机构和偏振旋转组合波片之间，用于将所述激发光调制机构产生的一束激发光反射切出；

[0020] 反射镜组，包括第一反射镜和第二反射镜，其用于将所述第一刀锋反射镜反射切出的一束激发光反射到所述遮光板和显微成像系统之间的位置；

[0021] 偏振状态调控单元，用于调控所述反射镜组反射的激发光的偏振状态；

[0022] 第二刀锋反射镜，用于将所述偏振状态调控单元调控后的激发光反射到与经所述激发光调制机构调制的激发光平行，并一起进入显微成像系统。

[0023] 进一步的，在所述第一刀锋反射镜和第一反射镜之间设置有第二透镜。

[0024] 进一步的，所述激发光调制机构上设置有第二偏振分束器，所述激发光偏振调控机构还包括第三反射镜、偏振状态调控单元和第三刀锋反射镜，

[0025] 所述第二偏振分束器，用于将经激发光调制机构产生的初始激发光进行分束，将经分束后得到的一束激发光发送给第三反射镜；

[0026] 所述第三反射镜，用于将所述第二偏振分束器分出的一束激发光反射到所述遮光板和显微成像系统之间的位置；

[0027] 偏振状态调控单元，用于将经所述第三反射镜反射的激发光进行偏振状态调控；

[0028] 第三刀锋反射镜，用于将所述偏振状态调控单元调控后的激发光反射到与经所述激发光调制机构调制的激发光平行，并一起进入显微成像系统。

[0029] 进一步的，所述偏振状态调控单元包括相位延迟器和消色差四分之一波片。

[0030] 进一步的，所述消色差四分之一波片和第三刀锋反射镜或第二刀锋反射镜之间依次设置有第二扩束透镜组和第三透镜。

[0031] 进一步的，所述第一刀锋反射镜和第三刀锋反射镜或第二刀锋反射镜的表面镀有一层金属反射膜或增反介质膜。

[0032] 本发明提供一种激发光偏振高速调控装置，通过激发光偏振调控机构将所述激



系统3,完成结构光照明超分辨成像所需的条纹状照明。

[0045] 作为一优选实施方式,激发光调制机构1用于产生初始激发光,并将产生的初始激发光分成两束或三束,其包括激发光发生组件、第一扩束透镜组101、第一偏振分束器102、消色差半波片103、空间光调制器104和第一透镜105,第一扩束透镜组101用于将激发光发生组件产生的初始激发光进行扩束;第一偏振分束器102用于将经扩束后的初始激发光进行分束后,将经分束后得到的激发光依次发送至消色差半波片103和空间光调制器104;空间光调制器104用于将从消色差半波片103接收到的激发光进行调制,并将调制后的激发光分为三束后,再依次将三束激发光发送给消色差半波片103和第一偏振分束器102;第一透镜105用于将依次经过消色差半波片103和第一偏振分束器102的三束激发光汇聚成平行光后,将平行的三束激发光发送给激发光偏振调控机构2。

[0046] 作为一优选实施方式,激发光偏振调控机构2包括偏振旋转组合波片201和遮光板202、第一刀锋反射镜203、反射镜组、偏振状态调控单元、第二刀锋反射镜204,第一刀锋反射镜203设置在激发光调制机构1和偏振旋转组合波片201之间,用于将激发光调制机构1产生的一束激发光反射切出;偏振旋转组合波片201用于对激发光调制机构1调制后的另外两束激发光的偏振状态进行调控;遮光板202用于去掉激发光调制机构1产生的杂散激光;反射镜组包括第一反射镜205和第二反射镜206,其用于将经第一刀锋反射镜203反射切出的一束激发光进行两次反射后,使此束激发光反射到位于遮光板202和显微成像系统3之间的位置;偏振状态调控单元用于调控反射镜组反射的激发光进行偏振状态调控;第二刀锋反射镜204用于将偏振状态调控单元进行调控后的激发光反射到与经激发光调制机构调制的其余激发光平行,并使三束激发光一起进入显微成像系统3。

[0047] 进一步的,在第一刀锋反射镜203和第一反射镜205之间设置有第二透镜207。

[0048] 进一步的,偏振状态调控单元包括相位延迟器208和消色差四分之一波片209。

[0049] 其中,消色差四分之一波片209和第二刀锋反射镜204之间依次设置有第二扩束透镜组2010和第三透镜2011。

[0050] 进一步的,如图6所示,第一刀锋反射镜203和第二刀锋反射镜204的表面镀有一层金属反射膜或增反介质膜。

[0051] 进一步的,如图4所示,偏振旋转组合波片201由3对半波片拼接而成。

[0052] 其中,激发光发生组件包括激光器106、有声光可调滤光器107、第四反射镜108。

[0053] 本实施例中具体光路搭建方式为:激光器106发射的激光经过声光可调滤波器107、第一扩束透镜组101、第一偏振分束器102和消色差半波片103后,经过空间光调制器104调制并反射,一束激发光变成三束,三束激发光再次经过消色差半波片103和第一偏振分束器102并被第一透镜105汇聚;汇聚后的三束激发光中外侧两束激发光分别通过偏振旋转组合半波片201的两个相对区域,激发光被调制为偏振方向垂直于两个光束的光轴平面的线偏振光,三束激光的中心一束被第一刀锋反射镜203切出,并利用第二透镜207汇聚成小口径的平行光后,通过相位延迟器208和消色四分之一波片209将此束激发光的偏振状态调节至最优,然后经过第二扩束透镜组2010扩束并通过第二刀锋反射镜204与外侧两束激光耦合输出;最后三束激光通过显微成像系统3上的透镜、物镜出射,在样品处汇合,三束光干涉后形成的条纹状分布光场照明样品。

[0054] 本实例适用于使用三束激发光束,激发光束排布方向为间隔 $60^\circ$ 的三个方向的三

维线性SIM的偏振高速调控,并且阻断通过相位延迟器208的激光即可实现两束激光照明样品,从而适合激发光束排布方向为间隔 $60^\circ$ 的三个方向的二维线性SIM。

#### [0055] 实施例2

[0056] 如图2所示,一种激发光偏振高速调控装置,包括激发光调制机构1和激发光偏振调控机构2;激发光偏振调控机构2用于将激发光调制机构1产生的两束激发光偏振调制为偏振方向垂直于激发光光轴所在平面的线偏振光,并将调制后的两束激发光发送给显微成像系统3,完成结构光照明超分辨成像所需的条纹状照明。

[0057] 作为一优选实施方式,激发光调制机构1用于产生初始激发光,并将产生的初始激发光分成两束或三束,其包括激发光发生组件、第一扩束透镜组101、第一偏振分束器102、消色差半波片103、空间光调制器104和第一透镜105,第一扩束透镜组101用于将激发光发生组件产生的初始激发光进行扩束;第一偏振分束器102用于将经扩束后的初始激发光进行分束后,将经分束后得到的激发光依次发送至消色差半波片103和空间光调制器104;空间光调制器104用于将从消色差半波片103接收到的激发光进行调制,并将调制后的激发光分为两束,再依次将两束激发光发送给消色差半波片103和第一偏振分束器102;第一透镜105用于将依次经过消色差半波片103和第一偏振分束器102的两束激发光汇聚成平行光后,将平行的两束激发光发送给激发光偏振调控机构2。

[0058] 作为一优选实施方式,激发光偏振调控机构2包括偏振旋转组合波片201和遮光板202,偏振旋转组合波片201用于对激发光调制机构1调制后的两束激发光的偏振状态进行调控;遮光板202用于去掉激发光调制机构1产生的杂散激光。

[0059] 进一步的,如图4所示,偏振旋转组合波片201由3对半波片拼接而成。

[0060] 其中,激发光发生组件包括激光器106、有声光可调滤光器107、第四反射镜108。

[0061] 本实施例中具体光路搭建方式为:激光器106出射的激发光经过声光可调滤光器107、第四反射镜108、第一扩束透镜组101、第一偏振分束器102和消色差半波片103后,经过空间光调制器104调制并反射,一束激发光变成两束,再次经过消色差半波片103和第一偏振分束器102并被第一透镜105汇聚;汇聚后的两束激发光分别通过偏振旋转组合半波片201的两个相对区域,激发光被调制为偏振方向垂直于两个光束的光轴平面的线偏振光;再经过遮光板202、显微成像系统3上的透镜和物镜出射,两束光干涉后形成的条纹状分布光场照明样品。

[0062] 本实例适用于只使用两束激发光束,激发光束排布方向为间隔 $60^\circ$ 的三个方向的二维线性SIM的偏振高速调控。

#### [0063] 实施例3

[0064] 如图3所示,一种激发光偏振高速调控装置,包括激发光调制机构1和激发光偏振调控机构2;激发光偏振调控机构2用于将激发光调制机构产生的三束激发光偏振调制为偏振方向垂直于激发光光轴所在平面的线偏振光,并将调制后的三束激发光发送给显微成像系统3,完成结构光照明超分辨成像所需的条纹状照明。

[0065] 作为一优选实施方式,激发光调制机构1用于产生初始激发光,并将产生的初始激发光分成两束或三束,其包括激发光发生组件、第一扩束透镜组101、第一偏振分束器102、消色差半波片103、空间光调制器104和第一透镜105,第一扩束透镜组101用于将激发光发生组件产生的初始激发光进行扩束;第一偏振分束器102用于将经扩束后的初始激发光进



行分束后,将经分束后得到的激发光依次发送至消色差半波片103和空间光调制器104;空间光调制器104用于将从消色差半波片103接收到的激发光进行调制,并将调制后的激发光分为两束,再依次将两束激发光发送给消色差半波片103和第一偏振分束器102;第一透镜105用于将依次经过消色差半波片103和第一偏振分束器102的两束激发光汇聚成平行光后,将光轴平行的两束激发光发送给激发光偏振调控机构2。

[0066] 作为一优选实施方式,激发光调制机构2上设置有第二偏振分束器2012;激发光偏振调控机构2包括偏振旋转组合波片201、遮光板202、第三反射镜2013、偏振状态调控单元和第三刀锋反射镜2014;第二偏振分束器2012将经激发光调制机构1产生的初始激发光进行分束,将经分束后得到的一束激发光发送给第三反射镜2013;第三反射镜2013用于将经第二偏振分束器2012分束出的一束激发光进行反射后,使此束激发光反射到遮光板202和显微成像系统3之间的位置;偏振状态调控单元用于将第三反射镜2013反射的激发光进行偏振状态调控;偏振旋转组合波片201用于对激发光调制机构1调制后的两束激发光的偏振状态进行调控;遮光板202用于去掉激发光调制机构1产生的杂散激光;第三刀锋反射镜2014用于将经偏振状态调控单元进行调控后的激发光反射到与经激发光调制机构1调制的激发光平行,并使三束激发光一起进入显微成像系统3。

[0067] 进一步的,偏振状态调控单元包括相位延迟器208和消色差四分之一波片209。

[0068] 其中,消色差四分之一波片209和第三刀锋反射镜2013之间依次设置有第二扩束透镜组2010和第三透镜2011。

[0069] 其中,第三刀锋反射镜2013的表面镀有一层金属反射膜或增反介质膜。

[0070] 进一步的,如图4所示,偏振旋转组合波片201由3对半波片拼接而成。

[0071] 其中,激发光发生组件包括激光器106、有声光可调滤光器107、第四反射镜108、以及消色差半波片109。

[0072] 本实施例中具体光路搭建方式为:激光器106出射的激光经过声光可调滤波器107后被第二偏振分束器2012分成两路,两路的光强比可由消色差半波片103调节,第二偏振分束器2012产生的两路激发光,一路经过第一扩束透镜组101扩束和第一偏振分束器102和消色差半波片103后,经空间光调制器104调制并反射,一束激发光变成两束,再次经过消色差半波片103和第一偏振分束器102并被第一透镜105汇聚,汇聚后的两束激发光分别通过偏振旋转组合半波片201的两个相对区域,激发光被调制为偏振方向垂直于两个光束的光轴平面的线偏振光;第二偏振分束器2012产生另一路激光直接经过相位延迟器208和消色差四分之一波片209将偏振状态调节至所需的状态,然后通过第三刀锋反射镜2013与第二偏振分束器2012产生的第一路的两束激光耦合输出,最后三束激光通过显微成像系统3的透镜、物镜出射,在样品处汇合,三束光干涉后形成条纹状分布的光场照明样品。

[0073] 本实例的适用范围与实例1相同。

[0074] 实施例4

[0075] 参照实例1提供一种激发光偏振高速调控装置,本实例的具体光路构建与实例1相同,与之不同之处在于偏振旋转组合半波片201不相同,此实例中组合半波片为图5所示,由5对半波片拼接而成。

[0076] 本实施例适用于激发光束的排布方向是间隔 $36^\circ$ 的五个方向的二维(两束激光,阻断通过相位延迟器208的激光)/三维非线性SIM(三束激光)的激发光偏振高速调控装置。

[0077] 本发明提供一种激发光偏振高速调控装置,通过激发光调制机构将产生的初始激发光分成两束或三束,激发光偏振调控机构将所述激发光调制机构产生的两束或三束激发光偏振调制为偏振方向垂直于其光轴所在平面的线偏振光,并将经调制后的两束或三束激发光发送给显微成像系统,完成成像所需的条纹状照明。本发明通过将两束或三束激发光调节为偏振方向垂直于两束激发光光轴所在平面的线偏振光,并且能够确保激发光排布方向变化时,激发光始终是偏振方向垂直于两束或三束激发光光轴所在平面的线偏振光,从而可以获得最佳的干涉明暗对比度,实现高质量的SIM成像;又由于本发明中激发光排布方向变化时,激发光分别通过偏振旋转组合波片的不同区域或者由兆赫兹响应速度的高速相位延迟器调控偏振状态,然后激发光分别扩束耦合,所以本发明中激发光的偏振变化响应时间为微秒量级,并且不限制通光孔径;总之,本发明一种激发光偏振高速调控装置,即可实现微秒量级的高速调控,又不会限制激发光的通光孔径,从而实现结构光照明超分辨成像技术所需的激光偏振状态的高速调制。

[0078] 本发明仅以上述实施例进行说明,各部件的结构、设置位置及其连接都是可以有所变化的,在本发明技术方案的基础上,凡根据本发明原理对个别部件进行的改进和等同变换,均不应排除在本发明的保护范围之外。

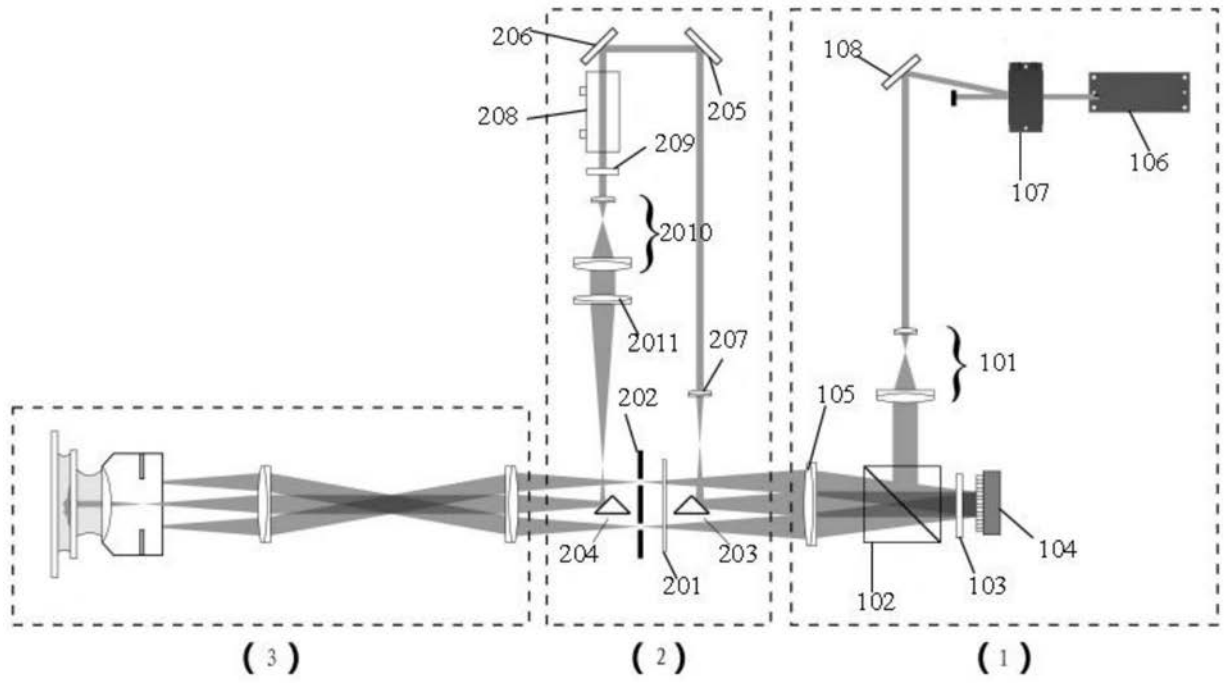


图1

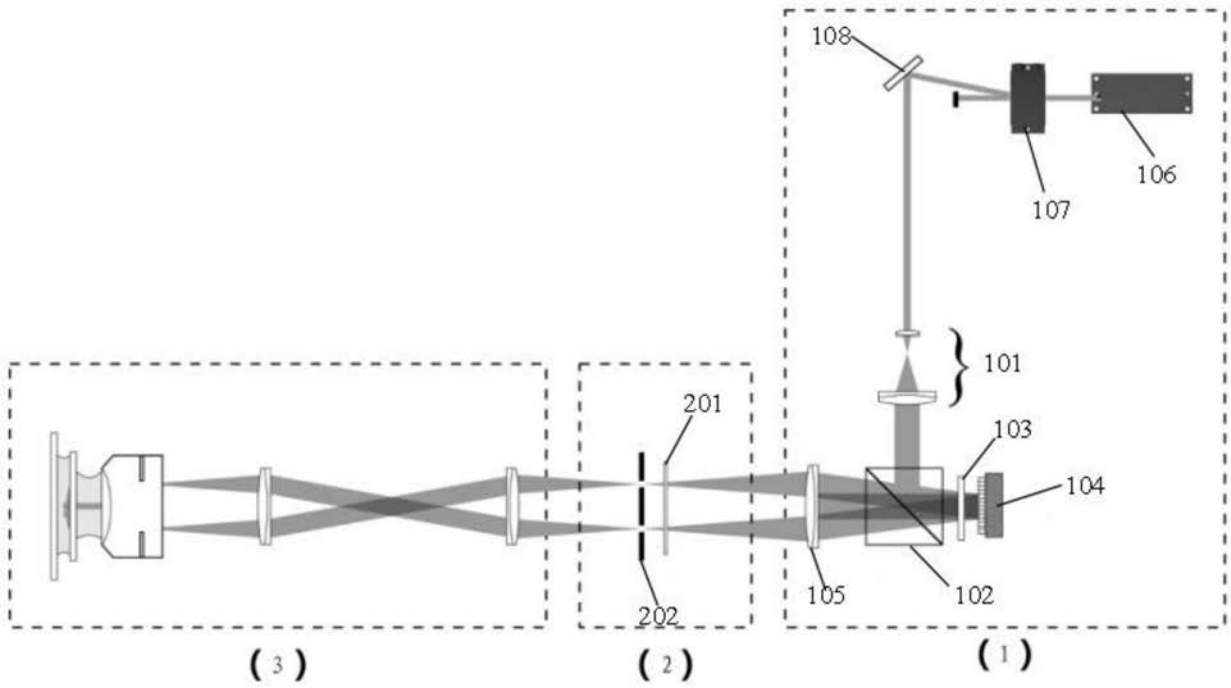


图2



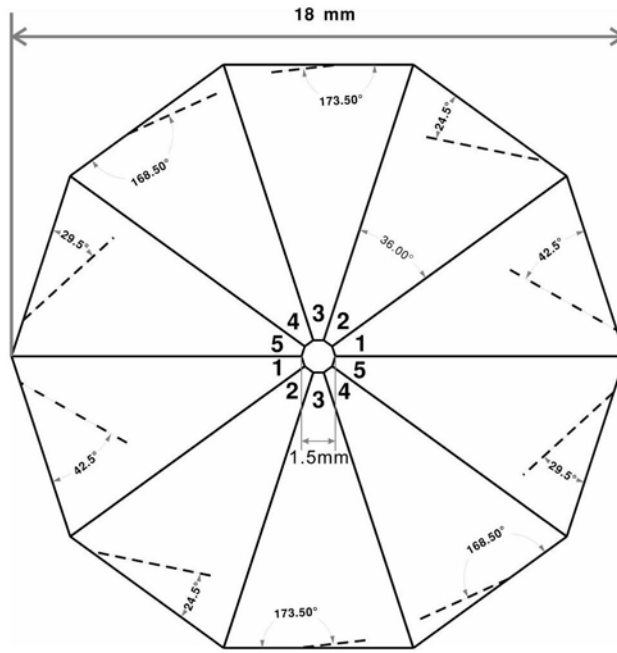


图5

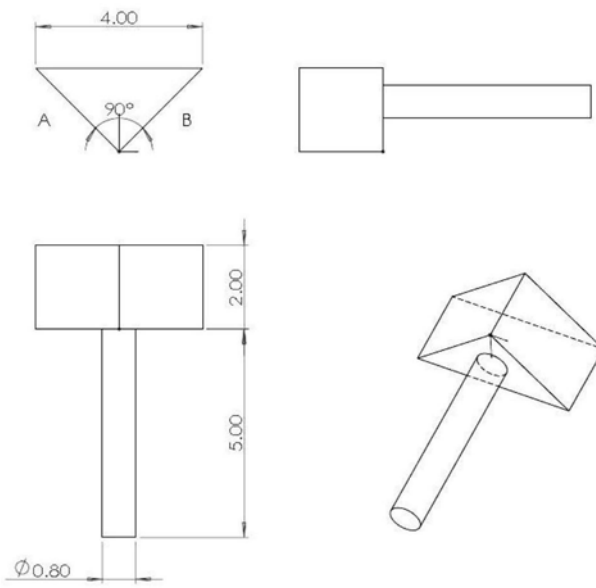


图6