



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102393383 A

(43) 申请公布日 2012. 03. 28

(21) 申请号 201110346860. 7

(22) 申请日 2011. 11. 07

(71) 申请人 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

地址 130033 吉林省长春市东南湖大路
3888 号

(72) 发明人 邓文渊 金春水 常艳贺 靳京城

(74) 专利代理机构 长春菁华专利商标代理事务所 22210

代理人 张伟

(51) Int. Cl.

G01N 21/47(2006. 01)

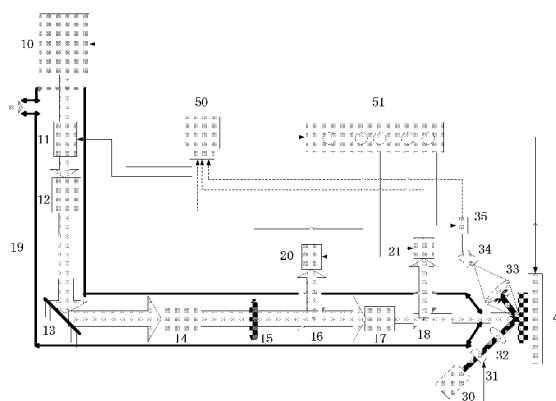
权利要求书 2 页 说明书 4 页 附图 1 页

(54) 发明名称

辐照密度高均匀性的 ArF 激光薄膜元件损伤测试装置

(57) 摘要

辐照密度高均匀性的 ArF 激光薄膜元件损伤测试装置涉及 ArF 准分子激光薄膜元件应用技术领域,该装置包括:ArF 激光传输模块、样品表面 ArF 激光辐射能量密度实时监控模块、光学薄膜样品表面损伤的实时监控与判别模块、电动样品控制台和实验同步控制与数据采集模块;本发明的显著特征是样品表面 ArF 激光辐射能量密度均匀性非常高,可有效提高光学薄膜元件激光损伤阈值测量结果的精确性、可靠性和可比较性,并可实现不同辐照光斑大小和不同辐照能量密度的 ArF 激光光学薄膜元件损伤测量,满足不同类型 ArF 激光光学薄膜元件损伤测试及损伤机理研究的需要。



1. 辐照密度高均匀性的 ArF 激光薄膜元件损伤测试装置,其特征在于,该装置包括: ArF 激光传输模块、样品表面 ArF 激光辐射能量密度实时监控模块、光学薄膜样品表面损伤的实时监控与判别模块、电动样品控制台和实验同步控制与数据采集模块;

所述 ArF 激光传输模块发射并传输辐射能量密度高均匀性的 ArF 激光,入射到薄膜元件样品表面;

所述样品表面 ArF 激光辐射能量密度实时监控模块,用于获得薄膜元件样品表面 ArF 激光的辐射能量密度,通过实验同步控制与数据采集模块控制其测量动作,并将 ArF 激光辐射能量密度信息数据传送反馈到至实验同步控制与数据采集模块;

所述光学薄膜样品表面损伤实时监控与判别模块,通过探测 He-Ne 激光入射到薄膜元件样品表面上 ArF 激光辐照光斑位置产生的散射光强变化,对 ArF 激光辐照薄膜元件样品表面是否损伤进行判别,由实验同步控制与数据采集模块控制其动作,并将判别信号传送至实验同步控制与数据采集模块;

所述电动样品控制台通过实验同步控制与数据采集模块发出的指令实现水平和垂直两个方向的精密移动;

所述实验同步控制与数据采集模块分别对 ArF 激光传输模块,样品表面 ArF 激光辐射能量密度实时监控模块,光学薄膜样品表面损伤实时监控与判别模块和电动样品控制台进行同步制;收集样品表面 ArF 激光辐射能量密度实时监控模块,光学薄膜样品表面损伤实时监控与判别模块产生的信号数据,并进行数据的处理和判断。

2. 如权利要求 1 所述的辐照密度高均匀性的 ArF 激光薄膜元件损伤测试装置,其特征在于,所述 ArF 激光传输模块包括:ArF 激光器 (10)、电控可变衰减器 (11)、准直扩束镜组 (12)、反射镜 (13)、匀束器镜组 (14)、快门 (15)、第一楔形分束镜 (16)、聚焦透镜组 (17)、第二楔形分束镜 (18) 和充 N_2 气保护管路 (19);所述 ArF 激光器 (10) 发射的激光入射到电控可变衰减器 (11) 中,由电控可变衰减器 (11) 调节激光的功率密度,出射激光经过准直扩束镜组 (12),由原来的长宽比 2 : 1 变为 1 : 1,之后经由反射镜 (13) 反射到匀束器镜组 (14),匀束器镜组 (14) 将 ArF 激光束的不均匀性降到小于 3%,然后由快门 (15) 控制 ArF 激光束的通过,并入射到第一楔形分束镜 (16),把光束分成两部分,沿原方向直通的光入射到聚焦透镜组 (17),经会聚入射到第二楔形分束镜 (18),第二楔形分束镜 (18) 把入射光分成两部分,其中直通光入射辐照到样品表面;所述充 N_2 气保护管路 (19) 充 N_2 气并保护 ArF 激光传输模块在发射并传输 ArF 激光的过程中不受外界环境污染干扰。

3. 如权利要求 1 所述的辐照密度高均匀性的 ArF 激光薄膜元件损伤测试装置,其特征在于,所述样品表面 ArF 激光辐射能量密度实时监控模块包括能量计 (20) 和光束质量分析仪 (21),能量计 (20) 接收第一楔形分束镜 (16) 分束的反射光,用于实时监控样品表面的 ArF 激光辐射能量,光束质量分析仪 (21) 接收第二楔形分束镜 (18) 分束的反射光,用于实时监测 ArF 辐射激光的光斑大小;能量计 (20) 和光束质量分析仪 (21) 由实验同步控制与数据采集模块实现同步控制,并分别将所测量得到的 ArF 激光辐射能量和样品表面的光斑大小发送至控制实验同步控制与数据采集模块。

4. 如权利要求 3 所述的辐照密度高均匀性的 ArF 激光薄膜元件损伤测试装置,其特征在于,所述光束质量分析仪 (21) 的位置与辐照样品位置成共轭关系。

5. 如权利要求 1 所述的辐照密度高均匀性的 ArF 激光薄膜元件损伤测试装置,其特

征在于,所述光学薄膜样品表面损伤的实时监控与判别模块包括:He-Ne 激光器 (30)、激光斩波器 (31)、第一聚焦透镜 (32)、第二聚焦透镜 (33)、Si 光电二极管 (34) 和锁相放大器 (35);所述 He-Ne 激光器 (30) 发射激光,经由激光斩波器 (31) 产生调制脉冲激光入射到第一聚焦透镜 (32),会聚光束辐射到所测试的薄膜元件样品表面上 ArF 激光辐照光斑的相同位置处形成散射,然后由第二聚焦透镜 (33) 收集聚焦散射光信号,入射到 Si 光电二极管 (34) 接收后转换成电信号,所述电信号传输到锁相放大器 (35) 中进行锁相放大,并输出有效直流信号,发送至实验同步控制和数据采集模块;实验同步控制与数据采集模块对锁相放大器 (35) 进行同步控制,同时锁相放大器 (35) 还产生同步信号传输到激光斩波器 (31),实现对激光斩波器 (31) 的同步控制。

6. 如权利要求 1 所述的辐照密度高均匀性的 ArF 激光薄膜元件损伤测试装置,其特征在于,所述实验同步控制模块包括:控制电脑中心 (50) 和信号延迟发生器 (51);控制电脑中心 (50) 进行整个测量系统的控制,控制电脑中心 (50) 通过信号延迟发生器 (51) 来实现对各功能模块的同步控制,并接收测量系统测量得到的反馈数据。

辐照密度高均匀性的 ArF 激光薄膜元件损伤测试装置

技术领域

[0001] 本发明涉及 ArF 准分子激光薄膜元件应用技术领域,特别涉及辐照密度高均匀性的 ArF 激光薄膜元件损伤测试装置。

背景技术

[0002] ArF 准分子激光器所产生的强 193nm 脉冲激光包括在材料精细微加工、深紫外光刻、材料处理、激光打标等的激光工业应用,准分子激光医疗,以及科学研究等诸多领域具有十分重要的应用。无论是对 ArF 准分子激光器本身,还是 ArF 准分子激光应用系统,都是不可缺少光学薄膜元件,并且是最易受损的基本元件。光学薄膜元件的激光损伤将直接降低系统的光束质量,使激光应用系统的性能迅速退化,直至整个系统功能崩溃。提高 193nm 光学薄膜元件的抗激光损伤阈值与使用寿命,不仅可以满足高功率和高脉冲重频应用需要,同时还可以延长系统的维护周期,降低激光应用系统的使用成本。因此,对 193nm 光学薄膜元件激光辐射损伤的各种复杂因素进行分析,深入研究导致薄膜激光损伤的机理,并最大限度地提高 193nm 光学薄膜元件的使用寿命,具有十分重要的理论意义和实际应用价值。

[0003] 鉴于 193nm 激光应用系统的重要性,国外从上世纪 90 年代开始对 193nm 光学薄膜元件的激光损伤和长期稳定性进行了大量的研究,例如德国和美国的研究小组相继搭建了针对 ArF 激光的光学薄膜元件损伤测试系统,并系统开展了 ArF 激光薄膜元件损伤研究。在这些 ArF 激光薄膜元件损伤研究中,所采用的光学薄膜元件损伤测试系统,无一例外都参照了以往 1064nm 等其它激光波段的光学薄膜元件损伤测试系统,以及光学元件损伤测试的国际标准 ISO-11254。即与 1064nm 等其它激光波段的光学薄膜元件损伤测试系统类似,这些 ArF 激光薄膜元件损伤测试系统,除了包括必要的激光脉冲能量和光束光斑大小测量的装置之外,还包括一些非常简单的光束传输和聚焦装置,如场镜、光阑及聚焦镜等。由于这些简单的光束控制装置无法对 ArF 辐照激光束的光束质量,如光束的形状与分布、能量密度的均匀性等进行有效的控制,因此,在这些 ArF 激光薄膜元件损伤测试系统中,辐照到样品表面的脉冲激光的光束形状与分布、光束内的能量密度均匀性等光束质量指标往往比较随机,且并不理想,突出表现在光束内的能量密度均匀性非常不好,例如辐照到样品表面的光束中心能量密度要远远大于光束边缘能量密度。

[0004] 样品表面辐射激光光束的这种不均匀性首先会使损伤阈值结果出现一定的随意性。例如当样品表面辐射激光光束的不均匀性不同时,采用不同的光斑确定标准得到的光斑大小结果可能会相差较大,其得到的激光损伤阈值结果也就不同。其次,从激光薄膜元件损伤研究的实践来看,辐射激光能量密度的不均匀性会带来更深层次的问题。由于辐射激光能量密度的不均匀性,采用这种能量密度不均匀性的激光辐射光学薄膜元件时,光学薄膜元件往往表现为在辐射光斑中央的针孔状损伤。这表明损伤其实是由最大能量密度的光斑中心导致的,或者说其时的能量密度才是真实的光学薄膜元件激光损伤阈值。然而,在实际中,由于光束的不均匀性,采用分别监测激光能量和激光光斑方法得到的辐射激光能量

密度是不均匀辐射激光能量密度的平均,其数值要比上述真实光学薄膜元件激光损伤阈值更小,并且偏小程度随光束不均匀性的具体情况而变化。此外,由于采用这种能量密度不均匀性的激光辐射光学薄膜元件时,光学薄膜元件往往表现为在辐射光斑中央的针孔状损伤,这种局部少量的针孔状损伤对于损伤的实时在线准确判别增加了难度。

发明内容

[0005] 针对现有 ArF 激光光学薄膜元件激光薄膜损伤测试,其辐射激光光束不均匀性会导致的线性吸收和介质电离、多光子吸收等各种非线性吸收和 ArF 激光薄膜元件损伤的因素更多、具体损伤机理更为复杂,局部表面激光辐射损伤的一致性出现分化,本发明提供一种辐照密度高均匀性的 ArF 激光薄膜元件损伤测试装置来解决现有技术存在的问题。

[0006] 辐照密度高均匀性的 ArF 激光薄膜元件损伤测试装置,该装置包括:ArF 激光传输模块、样品表面 ArF 激光辐射能量密度实时监控模块、光学薄膜样品表面损伤的实时监控与判别模块、电动样品控制台和实验同步控制与数据采集模块;

[0007] 所述 ArF 激光传输模块发射并传输辐射能量密度高均匀性的 ArF 激光,入射到薄膜元件样品表面;

[0008] 所述样品表面 ArF 激光辐射能量密度实时监控模块,用于获得薄膜元件样品表面 ArF 激光的辐射能量密度,通过实验同步控制与数据采集模块控制其测量动作,并将 ArF 激光辐射能量密度信息数据传送反馈到至实验同步控制与数据采集模块;

[0009] 所述光学薄膜样品表面损伤实时监控与判别模块,通过探测 He-Ne 激光入射到薄膜元件样品表面上 ArF 激光辐照光斑位置产生的散射光强变化,对 ArF 激光辐照薄膜元件样品表面是否损伤进行判别,由实验同步控制与数据采集模块控制其动作,并将判别信号传送至实验同步控制与数据采集模块;

[0010] 所述电动样品控制台通过实验同步控制与数据采集模块发出的指令实现水平和垂直两个方向的精密移动;

[0011] 所述实验同步控制与数据采集模块分别对 ArF 激光传输模块,样品表面 ArF 激光辐射能量密度实时监控模块,光学薄膜样品表面损伤实时监控与判别模块和电动样品控制台进行同步制;收集样品表面 ArF 激光辐射能量密度实时监控模块,光学薄膜样品表面损伤实时监控与判别模块产生的信号数据,并进行数据的处理和判断。

[0012] 本发明的有益效果:本发明与目前国际上已有的光学薄膜元件损伤测量装置相比,突出特点是样品表面 ArF 激光辐射能量密度均匀性非常高,可以大大降低由于样品表面 ArF 激光辐射能量密度不均匀带来的光学薄膜元件激光损伤阈值测量结果的不确定性,从而有效提高光学薄膜元件激光损伤阈值测量结果的精确性、可靠性和可比较性,同时该装置可以实现不同辐照光斑大小和不同辐照能量密度的 ArF 激光光学薄膜元件损伤测量,从而最大限度满足不同类型 ArF 激光光学薄膜元件损伤测试及损伤机理研究的需要。

附图说明

[0013] 图 1 本发明辐照密度高均匀性的 ArF 激光薄膜元件损伤测试装置的功能模块图。

[0014] 图 2 本发明辐照密度高均匀性的 ArF 激光薄膜元件损伤测试装置的结构示意图。

具体实施方式

[0015] 由图 1 所示,辐照密度高均匀性的 ArF 激光薄膜元件损伤测试装置,该装置包括: ArF 激光传输模块、样品表面 ArF 激光辐射能量密度实时监控模块、光学薄膜样品表面损伤的实时监控与判别模块、电动样品控制台和实验同步控制与数据采集模块;

[0016] 所述 ArF 激光传输模块发射并传输辐射能量密度均匀性高的 ArF 激光,并经 ArF 激光辐射能量密度实时监控模块中的两个分束镜,辐射到样品表面;

[0017] 所述样品表面 ArF 激光辐射能量密度实时监控模块,用于获得样品表面 ArF 激光辐射能量密度,通过实验同步控制模块控制其测量动作,并将 ArF 激光辐射能量密度信息数据传送反馈到至中心控制电脑;

[0018] 所述光学薄膜样品表面损伤实时监控与判别模块,通过探测 He-Ne 激光入射到薄膜元件样品表面上 ArF 激光辐照光斑位置产生的散射光强变化,对 ArF 激光辐照样品表面是否损伤进行判别,由实验同步控制模块控制其动作,并将判别信号传送至中心控制电脑;

[0019] 所述电动样品控制台通过实验同步控制与数据采集发出的指令实现水平和垂直两个方向的精密移动;

[0020] 所述实验同步控制与数据采集模块分别对 ArF 激光传输模块,样品表面 ArF 激光辐射能量密度实时监控模块,光学薄膜样品表面损伤实时监控与判别模块和样品控制台进行同步制;收集样品表面 ArF 激光辐射能量密度实时监控模块,光学薄膜样品表面损伤实时监控与判别模块产生的信号数据,并进行数据的处理和判断。

[0021] 由图 2 所示,ArF 激光传输模块包括:ArF 激光器 10、电控可变衰减器 11、准直扩束镜组 12、反射镜 13、匀束器镜组 14、快门 15、第一楔形分束镜 16、聚焦透镜组 17、第二楔形分束镜 18 和充 N_2 气保护管路 19;样品表面 ArF 激光辐射能量密度实时监控模块包括:能量计 20 和光束质量分析仪 21;光学薄膜样品表面损伤的实时监控与判别模块包括:He-Ne 激光器 30、激光斩波器 31、第一聚焦透镜 32、第二聚焦透镜 33、Si 光电二极管 34 和锁相放大器 35;实验同步控制与数据采集模块包括:控制电脑中心 50 和信号延迟发生器 51。

[0022] ArF 激光器 10 选用相干公司的 Complex Pro 205 F-193nm,其输出光斑大小为 24mm*10mm,相应的发散角为 3mradx1mrad,ArF 激光器 10 发射的激光入射到电控可变衰减器电控可变衰减器 11 中,电控可变衰减器电控可变衰减器 11 采用一个电控旋转角度的 193nm 波长的 1/4 波片,用于实现辐射激光功率密度的控制,并通过中心控制电脑对其进行控制;通过电控可变衰减器之后的 ArF 进入准直扩束镜组,由准直扩束镜组 12 将长宽比 2 : 1 的 ArF 激光典型输出光束变成 1 : 1 的光斑,准直扩束镜组 12 采用由一个球面镜和两个平凸柱面镜组成歪像光学系统实现,经由反射镜 13 反射后出射光进入匀束器镜组 14,匀束器镜组 14 由两个二维的微柱面透镜阵列和一个球面镜构成,工作波长为 193nm,可以实现的激光光束不均匀性小于 3%,其入射和出射工作面之间的距离为 1600mm 左右,在入射面加光阑;快门 15 控制 ArF 激光束的通过,其动作通过实验同步控制与数据采集模块进行同步控制,当快门打开时,ArF 激光通过快门入射到第一楔形分束镜 16 把出射光束分成两部分,一部分入射到能量计 20,用于实时监控样品表面的 ArF 激光辐射能量,另一部分出射光入射到聚焦透镜组 17,并由聚焦透镜组 17 对光束进行会聚并入射到第二楔形分束镜 18,第二楔形分束镜 18 把出射光束分成两部分,一部分入射到光束质量分析仪 21,

用于实时监测 ArF 辐射激光的光斑大小,另一部分入射到样品表面;相对第二楔形分束镜(18),光束质量分析仪(21)的位置与辐照样品位置成共轭关系,从而使两者得到的光斑大小完全一样;能量计 20 选用热释电类型,能量响应范围为 50uJ-100mJ,在 193nm 波长的校准精度为 $\pm 3\%$,能量线性度为 $\pm 3\%$;光束质量分析仪 21 选用 CCD 类型,像素大小为: $6.5\mu\text{m} \times 6.5\mu\text{m}$,光谱响应范围为 190nm-350nm,能量密度范围为 $100\mu\text{J}/\text{cm}^2$ - $100\text{mJ}/\text{cm}^2$;聚焦透镜组 17 采用三片式的 Cooke 物镜,透镜材料为 VUV 级的熔石英,物镜的焦距约为 95mm,相对孔径为 1/3,像面大小为 4mm,通过变化物距可以实现 4-10 倍缩放;充 N_2 气保护管路 19 在样品表面 ArF 激光辐射能量密度实时监控模块和样品对应处设有通气孔。

[0023] He-Ne 激光器 30 发射激光,He-Ne 激光器 30 的激光输出功率 5mW,输出功率波动 $< 2\%$,激光首先通过最大斩波频率 1000Hz,设定时间小于 5 秒的激光斩波器 31,产生脉冲调制激光,入射到第一聚焦透镜 32,并会聚到测试样品,镜向反射光利用一个放在第二聚焦透镜 33 前面的消光板吸收,而散射光被第二聚焦透镜 33 聚焦 Si 光电二极管 34 的探测头,转换成电信号,电信号传输到锁相放大器 35 中进行锁相放大;锁相放大器 35 具有相位和振幅工作模式,电压响应范围:为 2nV-1V,频率范围为 1mHz-120KHz,输出有效的直流信号,发送至实验同步控制模块;实验同步控制与数据采集模块对锁相放大器 35 进行同步控制,同时锁相放大器 35 还产生同步信号传输到激光斩波器 31,实现对激光斩波器 31 的同步控制。

[0024] 控制电脑中心 50 进行整个测量系统的控制控制电脑中心 50 通过信号延迟发生器 51 来实现对各功能模块的同步控制,并接收相关功能模块测量得到的反馈数据;信号延迟发生器 51 的最小延迟时间分辨 1ns,脉宽 10ns-5ms,最大延迟时间 40s,可外部触发,输出方式为 TTL/CMOS。

[0025] 电动样品控制台采用一维水平电控位移台和垂直升降台组合,定位精度为 $10\mu\text{m}$,速度 10mm/s,通过实验同步控制与数据采集模块对其进行同步控制。

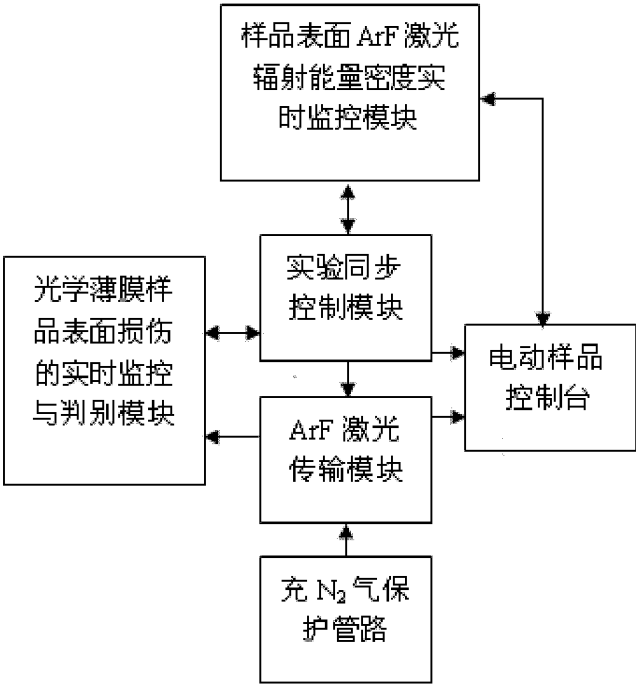


图 1

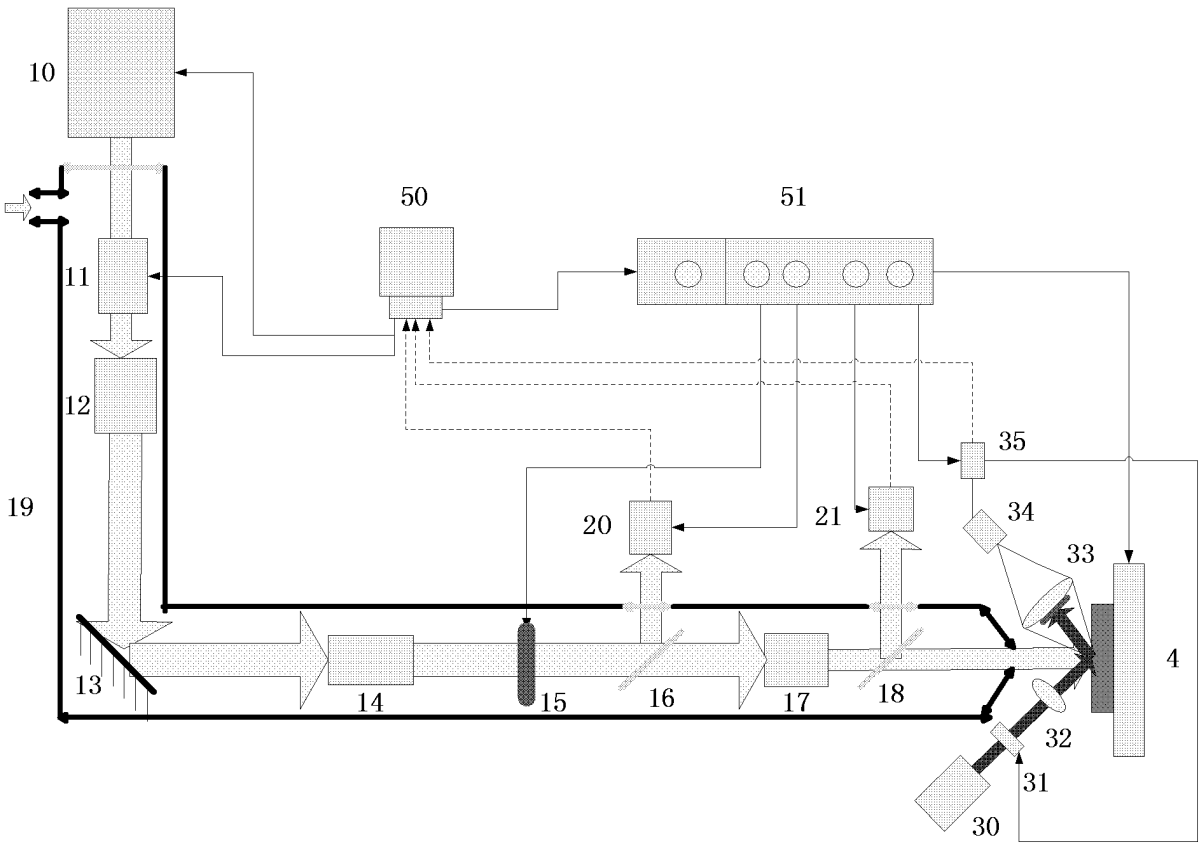


图 2