



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108286936 A

(43)申请公布日 2018.07.17

(21)申请号 201810083182.1

(22)申请日 2018.01.29

(66)本国优先权数据

201710251462.4 2017.04.18 CN

(71)申请人 北京理工大学

地址 100081 北京市海淀区中关村南大街5号

(72)发明人 赵维谦 邱丽荣 王允

(74)专利代理机构 北京理工正阳知识产权代理
事务所(普通合伙) 11639

代理人 唐华

(51) Int. Cl.

G01B 11/00(2006.01)

B82Y 40/00(2011.01)

B82Y 35/00(2011.01)

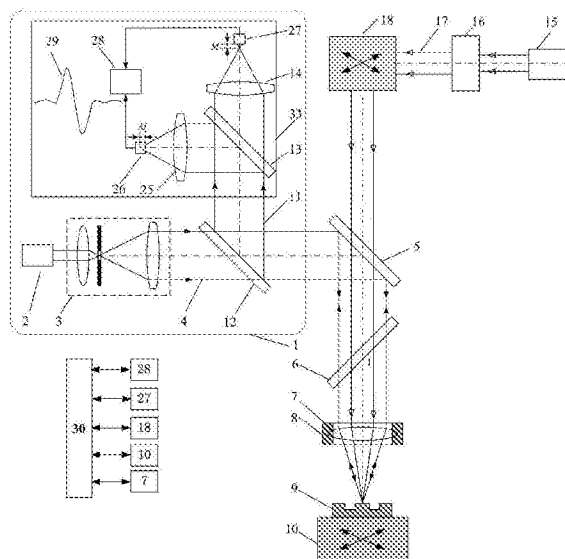
权利要求书2页 说明书5页 附图4页

(54)发明名称

激光微纳加工差动共焦在线监测一体化方法与装置

(57)摘要

本发明属于激光精密检测技术、激光微纳加工监测技术领域,涉及激光微纳加工差动共焦在线监测一体化方法与装置,可用于复杂微细结构的激光微纳加工与在线检测。本发明将高轴向分辨的激光差动共焦轴向监测模块与飞秒激光加工系统有机融合,利用差动共焦系统曲线零点对样品轴向位置进行纳米级监测和样品轴向加工尺寸测量,实现了样品轴向位置的实时定焦和加工后微纳结构尺寸的高精度测量,解决了测量过程中的漂移问题和高精度在线检测问题,提高了微纳飞秒激光加工精度的可控性和样品的加工质量等。加工前,还可以利用显微成像模块对样品进行粗找正和横向位置识别。



1. 激光微纳加工差动共焦在线监测一体化方法,其特征在于:利用飞秒激光加工系统对样品进行微纳结构加工,利用激光差动共焦轴向监测模块对样品的轴向位置进行实时监控,实现微纳结构高精度加工与监测的一体化,提高微纳结构激光加工精度的可控性和样品的加工质量;包括以下步骤:

步骤一、将样品(9)置于精密工作台(10)上,由精密工作台(10)带动样品(9)进行扫描运动,利用差动共焦轴向监测模块(1)对样品(9)的表面轮廓进行扫描测量,并将其测量结果反馈给计算机(30),用于飞秒激光加工系统对加工控制参数的调整;

其中,激光差动共焦轴向监测模块(1)由激光器(2)、扩束器(3)、反射镜(12)、差动共焦探测器(33)组成,轴向监测平行光束(4)经二向色镜A(5)反射、二向色镜B(6)透射后,进入物镜(7)并被聚焦到样品(9)上,经样品(9)反射的反射轴向监测光束(11)经反射镜(12)后分为两路,一路经探测分光镜(13)反射由第一探测物镜(14)聚焦到第一强度探测器(27),一路经探测分光镜(13)透射由第二探测物镜(25)聚焦到第二强度探测器(26),由差动处理模块(28)对两路探测信号处理后得到差动共焦曲线(29);

依据差动共焦曲线(29)的过零点位置对样品(9)表面位置进行纳米级检测;

步骤二、利用飞秒激光器(15)、激光时空整形模块(16)、二维扫描器(18)构成的飞秒激光加工系统对样品(9)进行微纳结构加工,加工过程中利用差动共焦轴向监测模块(1)对加工过程中样品(9)表面的轴向位置进行监测;依据差动共焦曲线(29)的过零点位置对样品(9)的轴向位置进行纳米级监测;

步骤三、计算机(30)依据测量结果调整样品(9)的轴向位置,实时调整精密工作台(10)的位置,实现加工过程中样品的精确定焦;

步骤四、加工完成后,可利用激光差动共焦轴向监测模块(1)对加工完成后的样品结构进行扫描测量,实现加工后样品的高精度在线检测。样品(9)的轴向位置实时监控和轴向定焦,同时,记录样品(9)的轴向结构尺寸,实现样品(9)轴向尺寸的纳米级检测。

2. 根据权利要求1所述的激光微纳加工差动共焦在线监测一体化方法,其特征在于:还包括在加工前,可利用显微成像模块(24)对样品(9)进行粗对准;白光光源(19)发出的光经照明系统(20)、分光镜(21)、二向色镜B(6)、物镜(7)后均匀照射到样品(9)上,经样品(9)返回的光经分光镜(21)反射后经成像物镜(22)成像到CCD(23)上,可判断样品(9)的倾斜和位置。

3. 根据权利要求1所述的激光微纳加工差动共焦在线监测一体化方法,其特征在于:飞秒激光加工系统发出的加工激光光束(17)与轴向监测平行光束(4)经物镜(7)同轴耦合到样品(9)表面,分别实现微纳结构的加工与检测。

4. 激光微纳加工差动共焦在线监测一体化装置,其特征在于:利用飞秒激光加工系统对样品(9)进行加工,利用差动共焦轴向监测模块(1)对样品(9)的轴向位置和轴向尺寸进行纳米级监测,实现微纳结构高精度加工与监测的一体化,提高微纳结构激光加工精度的可控性和样品的加工质量;其中飞秒激光加工系统包括飞秒激光器(15)、激光时空整形模块(16)、二维扫描器(18),差动共焦轴向监测模块(1)包括激光器(2)、扩束器(3)、反射镜(12)、探测物镜(13)、差动共焦探测器(33)。

5. 根据权利要求4所述的激光微纳加工差动共焦在线监测一体化装置,其特征在于:差动共焦探测器(33)可由探测分光镜(13)、第一探测物镜(14)、第一强度探测器(27)、第二探

测物镜(25)、第二强度探测器(26)、差动处理模块(28)组成;且第一强度探测器(27)和第二强度探测器(26)偏离第一探测物镜(14)和第二探测物镜(25)焦平面的距离相等、方向相反。

6. 根据权利要求4所述的激光微纳加工差动共焦在线监测一体化装置,其特征在于:差动探测器(14)还可由光斑放大物镜(25)和二象限探测器(29)构成,其中二象限探测器探测面(33)上的第一探测象限(36)和第二探测象限(37)关于光轴对称。

7. 根据权利要求4所述的激光微纳加工差动共焦在线监测一体化装置,其特征在于:激光时空整形模块(16)可由空间整形器(34)、时间整形器(35)构成,对飞秒激光器(15)发出的激光束进行时域和空域参数的联合调控,提高飞秒激光微纳加工能力。

8. 根据权利要求4所述的激光微纳加工差动共焦在线监测一体化装置,其特征在于:还可以利用显微成像模块(24)对样品(9)进行观察和粗对准,其中显微成像模块(24)包括白光光源(19)、照明系统(20)、分光镜(21)、二向色镜B(6)、成像物镜(22)、CCD(23)。

激光微纳加工差动共焦在线监测一体化方法与装置

技术领域

[0001] 本发明属于激光精密检测技术、激光微纳加工监测技术领域,涉及激光微纳加工差动共焦在线监测一体化方法与装置,用于复杂微细结构的激光微纳加工与在线检测。

技术背景

[0002] 复杂微细结构构件广泛应用在航空航天、兵器工业、精密传感器、精密光学测量等,激光微纳加工是制造复杂微细结构最具发展前途的技术手段,目前如何实现加工聚焦光斑的纳米级轴向定焦、样品位置的高分辨在线检测是满足微纳制造领域纳米级特征尺寸、高深宽比加工/检测的关键技术之一。

[0003] 在复杂微纳结构加工方面,尽管近场聚焦加工分辨能力高,但远场聚焦加工由于具有工作距长、深宽比大和效率高等显著优势反而成为激光微纳加工研究和发展的主流。远场聚焦加工极易达到10:1的深宽比,但只有采用基于双光子聚合及受激发射损耗(Stimulated emission depletion, STED)效应的澳大利亚研究组(顾敏教授团队)和采用自组干涉效应的加拿大研究组实现了小于10nm的特征尺度制造,通过飞秒激光的时空整形调控瞬时局部电子动态,是目前实现极小特征尺寸加工的有效途径与发展趋势。

[0004] 在激光制造过程监测与质量控制方面,聚焦光斑位置的准确判断、自动定焦与样品漂移等原位监测和检测对于三维微纳加工至关重要,并在一定程度上决定了轴向加工特征尺寸,如基于三角光位移传感器轴向监测方法、横向焦点监测的共焦显微成像方法、光学相干层析监测方法等,其分辨能力均为 μm 量级,德国和加拿大利用干涉成像法(OCT)开展了在线监测技术研究,但其x-y-z方向的监测分辨能力仅达2微米,目前仍需要研究新方法来实现纳米级的监测与定位。

[0005] 现有的超分辨三维光学测量方法可分为近场测量方法和荧光标记远场测量方法和非荧光标记光学远场测量。其中,非荧光标记光学远场测量中,差分共焦技术、差动共焦技术和径向偏振光差动技术均使轴向测量分辨力提升到2nm,特别是径向偏振光差动测量技术同时使横向分辨力提升到150nm并易于量程扩展,是三维微纳结构远场测量的有效技术手段。

[0006] 为解决激光微纳加工中样品易产生轴向漂移和倾斜等问题,实现微纳加工样品轴向离焦位置的纳米级实时在线监测,本发明提出激光微纳加工差动共焦在线监测一体化方法与装置,实现了样品加工过程中的轴向漂移、倾斜的在线监控和样品结构轴向尺寸的纳米级监测,确保了加工过程中样品的精确实时定焦,提高了激光加工精度的可控性和样品的加工质量。

发明内容

[0007] 本发明的目的是解决飞秒激光加工过程中的漂移问题和加工后样品的在线检测问题,提高微纳结构加工尺寸精度的可控性和样品加工质量,提出了一种纳米级激光微纳加工差动共焦在线监测一体化方法与装置,以实现高分辨力的微纳结构激光加工与实时监

测。

[0008] 本发明的目的是通过下述技术方案实现的。

[0009] 本发明的激光微纳加工差动共焦在线监测一体化方法,利用飞秒激光加工系统对样品进行微纳结构加工,利用激光差动共焦轴向监测模块对样品的轴向位置进行实时监控,实现微纳结构高精度加工与监测的一体化,提高微纳结构激光加工精度的可控性和样品的加工质量;包括以下步骤:

[0010] 步骤一、将样品置于精密工作台上,由精密工作台带动样品进行扫描运动,利用差动共焦轴向监测模块对样品的表面轮廓进行扫描测量,并将其测量结果反馈给计算机,用于飞秒激光加工系统对加工控制参数的调整;

[0011] 其中,激光差动共焦轴向监测模块由激光器、扩束器、反射镜、差动共焦探测器组成,轴向监测平行光束经二向色镜A反射、二向色镜B透射后,进入物镜并被聚焦到样品上,经样品反射的反射轴向监测光束经反射镜后分为两路,一路经探测分光镜反射由第一探测物镜聚焦到第一强度探测器,一路经探测分光镜透射由第二探测物镜聚焦到第二强度探测器,由差动处理模块对两路探测信号处理后得到差动共焦曲线;

[0012] 依据差动共焦曲线的过零点位置对样品表面位置进行纳米级检测。

[0013] 步骤二、利用飞秒激光器、激光时空整形模块、二维扫描器构成的飞秒激光加工系统对样品进行微纳结构加工,加工过程中利用差动共焦轴向监测模块对加工过程中样品表面的轴向位置进行监测;依据差动共焦曲线的过零点位置对样品的轴向位置进行纳米级监测;

[0014] 步骤三、计算机依据测量结果调整样品的轴向位置,实时调整精密工作台的位置,实现加工过程中样品的精确定焦;

[0015] 步骤四、加工完成后,可利用激光差动共焦轴向监测模块对加工完成后的样品结构进行扫描测量,实现加工后样品的高精度在线检测。样品的轴向位置实时监控和轴向定焦,同时,记录样品的轴向结构尺寸,实现样品轴向尺寸的纳米级检测。

[0016] 本发明的激光微纳加工差动共焦在线监测一体化方法,包括在加工前,可利用显微成像模块对样品进行粗对准;白光光源发出的光经照明系统、分光镜、二向色镜B、物镜后均匀照射到样品上,经样品返回的光经分光镜反射后经成像物镜成像到CCD上,可判断样品的倾斜和位置。

[0017] 本发明的激光微纳加工差动共焦在线监测一体化方法,包括飞秒激光加工系统发出的加工激光光束与轴向监测平行光束经物镜同轴耦合到样品表面,分别实现微纳结构的加工与检测。

[0018] 本发明的激光微纳加工差动共焦在线监测一体化装置,利用飞秒激光加工系统对样品进行加工,利用差动共焦轴向监测模块对样品的轴向位置和轴向尺寸进行纳米级监测,实现微纳结构高精度加工与监测的一体化,提高微纳结构激光加工精度的可控性和样品的加工质量;其中飞秒激光加工系统由飞秒激光器、激光时空整形模块、振镜扫描器构成,差动共焦轴向监测模块由激光器、扩束器、反射镜、探测物镜、差动共焦探测器组成。

[0019] 本发明的激光微纳加工差动共焦在线监测一体化装置,包括差动共焦探测器可由探测分光镜、第一探测物镜、第一强度探测器、第二探测物镜、第二强度探测器、差动处理模块组成;且第一强度探测器和第二强度探测器偏离第一探测物镜和第二探测物镜焦平面的

距离相等、方向相反。

[0020] 本发明的激光微纳加工差动共焦在线监测一体化装置,包括差动探测器还可由光斑放大物镜和二象限探测器构成,其中二象限探测器探测面上的第一探测象限和第二探测象限关于光轴对称。

[0021] 本发明的激光微纳加工差动共焦在线监测一体化装置,包括激光时空整形模块可由空间整形器、时间整形器构成,对飞秒激光器发出的激光束进行时域和空域参数的联合调控,提高飞秒激光微纳加工能力。

[0022] 本发明的激光微纳加工差动共焦在线监测一体化装置,包括还可以利用显微成像模块对样品进行观察和位置识别,其中显微成像模块由白光光源、照明系统、分光镜、二向色镜B、成像物镜、CCD组成。

[0023] 有益效果

[0024] 本发明对比已有技术具有以下显著优点:

[0025] 1) 采用激光差动共焦轴向监测技术,提高了加工过程中的轴向位置监测能力,解决了飞秒激光加工过程中的漂移问题和高精度实时定焦问题;

[0026] 2) 采用激光差动共焦轴向纳米级监测技术,实现了飞秒激光加工样品的高精度轴向尺寸检测能力,解决了飞秒激光加工样品的在线检测问题;

[0027] 3) 将差动共焦系统、飞秒激光加工系统的光束经同一物镜耦合到样品,实现了微纳结构加工过程中样品的在线位置监测和轴向尺寸检测,提高了加工过程的可控性和加工质量;

[0028] 4) 采用显微成像技术对样品进行成像,可实现样品位置的倾斜校正,提高加工过程中的位置调整效率。

[0029] 本发明特点:

[0030] 1. 采用具有长工作距和高分辨力的差动共焦技术与飞秒激光加工技术相结合,实现了加工过程中的样品轴向离焦位置的在线监测,解决了加工过程中的样品漂移问题,提高了加工过程的可控性;

[0031] 2. 利用差动共焦曲线的过零点进行样品轴向位置监测,使飞秒激光光束以最小聚焦光斑聚焦到样品表面,可实现样品的高精度微纳加工;

[0032] 3. 利用差动共焦曲线的过零点定焦测量技术,实现了纳米级分辨的在线监测,可改善飞秒激光加工技术的轴向微纳加工能力;

[0033] 4. 采用差动共焦技术抑制了监测过程中样品表面杂散光对轴向位置监测和轴向尺寸检测的干扰,提高了加工过程中在线监测能力。

附图说明

[0034] 图1为本发明激光微纳加工差动共焦在线监测一体化方法示意图;

[0035] 图2为本发明激光微纳加工差动共焦在线监测一体化方法与装置示意图;

[0036] 图3为本发明激光微纳加工差动共焦在线监测一体化方法示意图;

[0037] 图4为本发明激光微纳加工差动共焦在线监测一体化方法与装置示意图;

[0038] 其中:1—差动共焦轴向监测模块、2—激光器、3—扩束器、4—轴向监测平行光束、5—二向色镜A、6—二向色镜B、7—物镜、8—轴向扫描器、9—样品、10—精密工作台、11—反射轴向监

测光束、12-反射镜、13-探测分光镜、14-第一探测物镜、15-飞秒激光器、16-激光时空整形模块、17-加工激光光束、18-二维扫描器、19-白光光源、20-照明系统、21-分光镜、22-成像物镜、23-CCD、24-显微成像模块、25-第二探测物镜、26-第二强度探测器、27-第一强度探测器、28-差动处理模块、29-差动共焦曲线、30-计算机、31-空间整形器、32-时间整形器、33-差动共焦探测器。

具体实施方式

[0039] 下面结合附图和实施例对本发明作进一步说明。

[0040] 本发明的基本思想是：将高轴向分辨的激光差动共焦轴向监测模块与飞秒激光加工系统有机融合，利用差动共焦系统曲线零点对样品轴向位置进行纳米级监测，实现了样品的轴向实时定焦和轴向位置监控，解决飞秒激光加工过程中的轴向漂移和在线检测等问题，提高了微纳结构飞秒激光加工精度的可控性和样品的加工质量等。还可以在上述系统中融合显微成像模块，利用显微成像模块对样品进行粗对准。

[0041] 实施例1

[0042] 如图1所示，计算机30对二维扫描器18、精密工作台10、轴向扫描器8进行反馈控制，实现对样品9加工与监控的三维扫描和位置调整；飞秒激光加工系统由飞秒激光器15、激光时空整形模块16、二维扫描器18构成；差动共焦探测器33可由探测分光镜13、第一探测物镜14、第一强度探测器27、第二探测物镜25、第二强度探测器26、差动处理模块28组成；且第一强度探测器27和第二强度探测器26偏离第一探测物镜14和第二探测物镜25焦平面的距离相等、方向相反。

[0043] 激光微纳加工与激光差动共焦在线监测一体化方法实施步骤如下：

[0044] 1) 将样品9置于精密工作台10上，由精密工作台10带动样品9进行扫描运动；

[0045] 2) 加工前，利用差动共焦轴向监测模块1对样品9的表面进行扫描测量；轴向监测平行光束4经二向色镜A5反射、二向色镜B6透射后，由物镜7聚焦到样品9上，经样品9反射的反射轴向监测光束11经反射镜12后分为两路，一路经探测分光镜13反射由第一探测物镜14聚焦到第一强度探测器27，一路经探测分光镜13透射由第二探测物镜25聚焦到第二强度探测器26，由差动处理模块28对两路探测信号处理后得到样品9表面一点的差动共焦信号；

[0046] 3) 通过计算机30控制轴向扫描器8对样品9进行轴向扫描，得到具有绝对零点的差动共焦曲线29；

[0047] 4) 依据差动共焦曲线29的过零点位置对样品9的轴向位置进行纳米级监测，计算机30依据测量结果，对飞秒激光加工系统的加工控制参数进行调整；

[0048] 5) 经激光时空整形模块16调制的加工激光光束17经二向色镜A5、二向色镜B6和物镜7聚焦到样品9的表面对样品9进行激光加工，微区域的扫描加工由计算机30控制二维扫描器18完成；

[0049] 6) 加工过程中，利用差动共焦轴向监测模块1对加工过程中样品9的轴向位置进行监测；

[0050] 7) 计算机30控制精密工作台10、依据差动共焦轴向监测模块1反馈的监测结果对样品9位置进行调整，消除了样品漂移的影响；

[0051] 8) 通过计算机30控制轴向扫描器8和精密工作台10对样品9进行扫描，得到加工后

样品微纳结构轴向尺寸,实现样品9轴向尺寸的纳米级检测。

[0052] 实施例2

[0053] 如图2所示,激光时空整形模块16由空间整形器31和时间整形器32构成,对飞秒激光器15发出的光束分别进行时域和空域参数的调整,使飞秒激光加工性能最佳。

[0054] 其余与实施例1相同。

[0055] 实施例3

[0056] 如图3所示,在加工前,将样品9置于精密工作台10后,利用显微成像模块24对样品9进行粗对准,白光光源19发出的光经照明系统20、分光镜21、二向色镜B6、物镜7后生成平行光束均匀照射到样品9上,样品9散射的照明光经分光镜21反射后经成像物镜22成像到CCD23上,可得到样品9的横向位置和成像区域,进而可判断样品9的倾斜和位置。

[0057] 其余与实施例1相同。

[0058] 实施例4

[0059] 如图4所示,激光时空整形模块16由空间整形器31和时间整形器32构成,对飞秒激光器15发出的光束分别进行时域和空域参数的调整,使飞秒激光加工性能最佳。

[0060] 其余与实施例3相同。

[0061] 以上结合附图对本发明的具体实施方式作了说明,但这些说明不能被理解为限制了本发明的范围,本发明的保护范围由随附的权利要求书限定,任何在本发明权利要求基础上的改动都是本发明的保护范围。

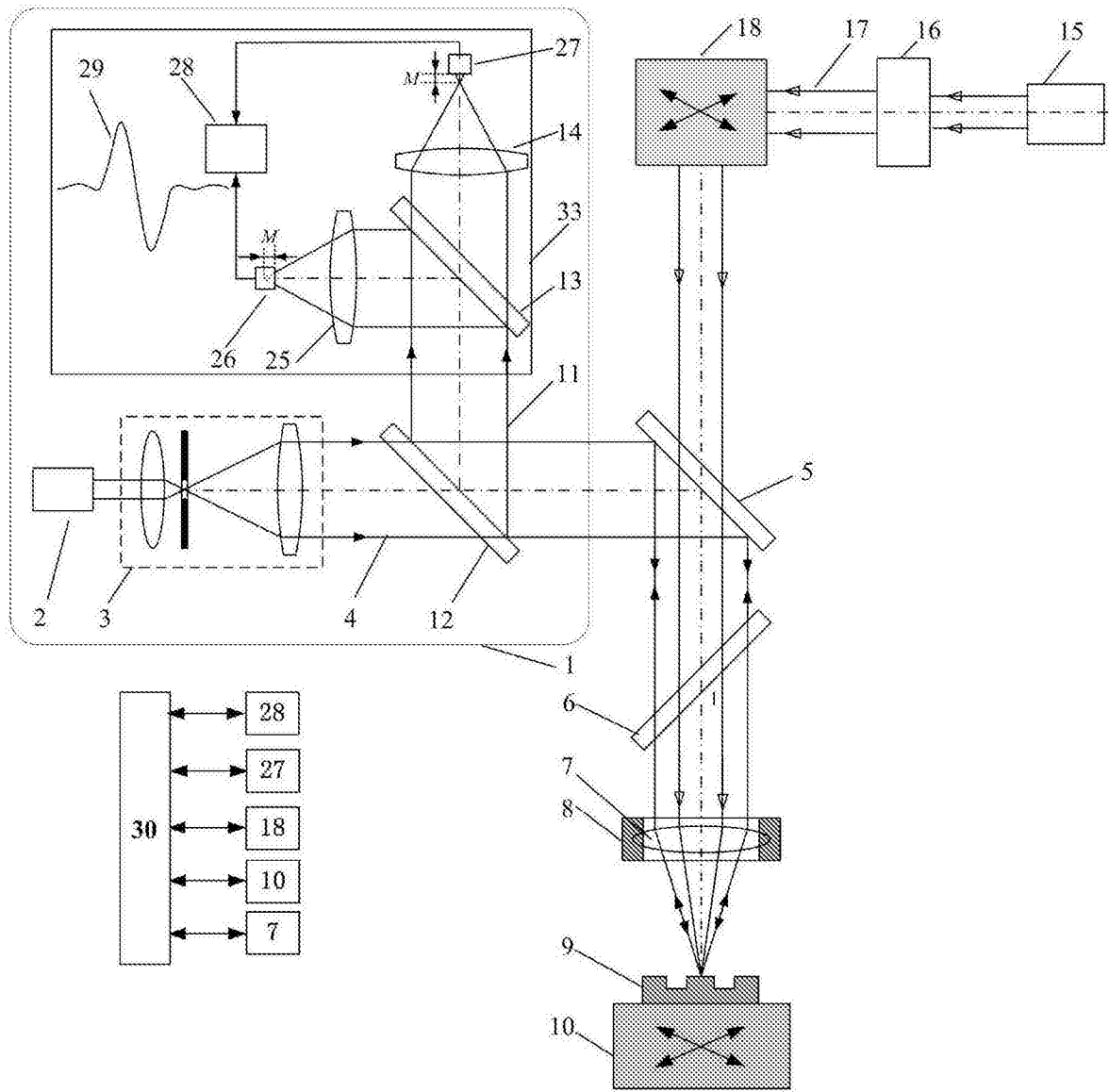


图1

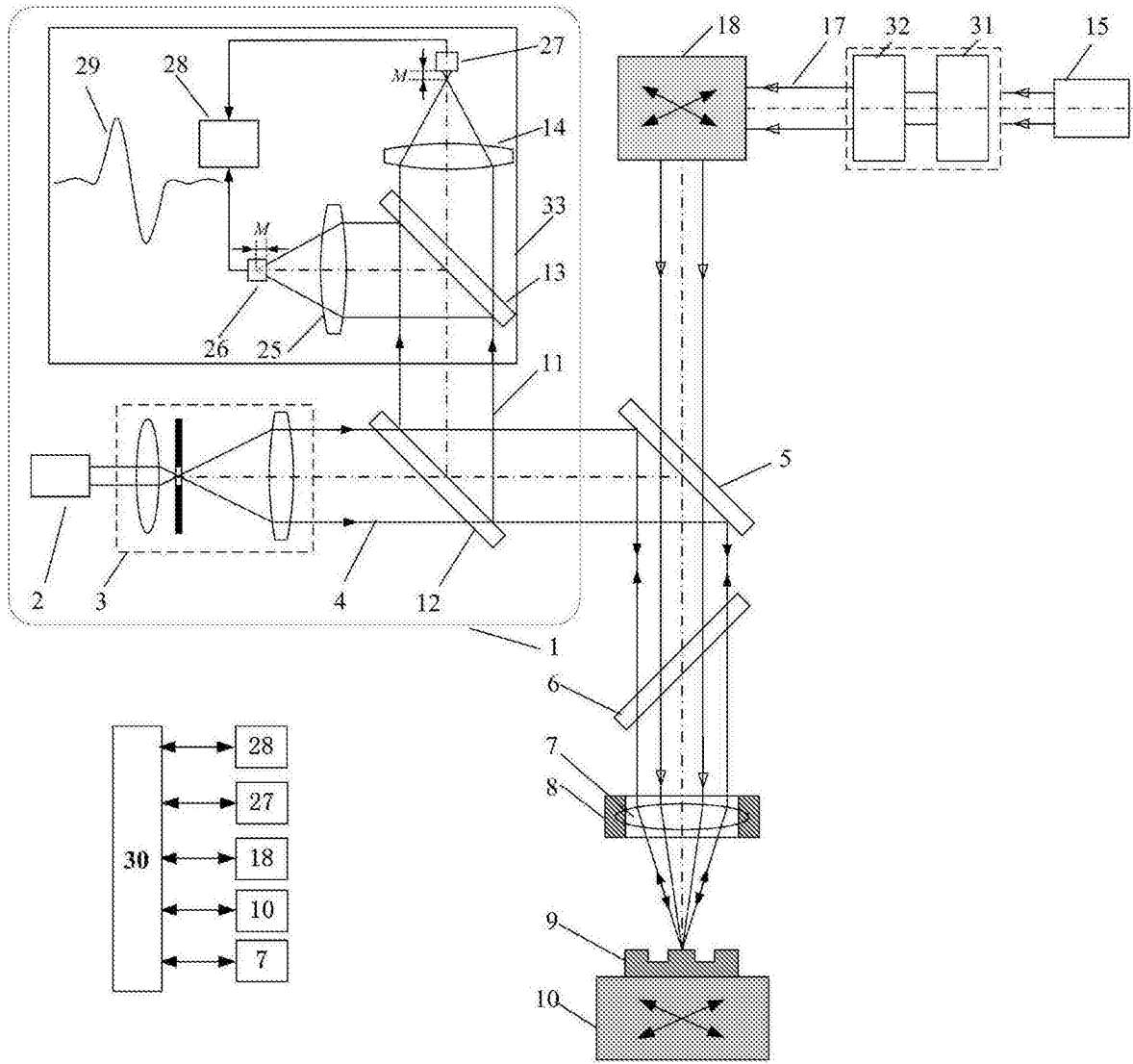


图2

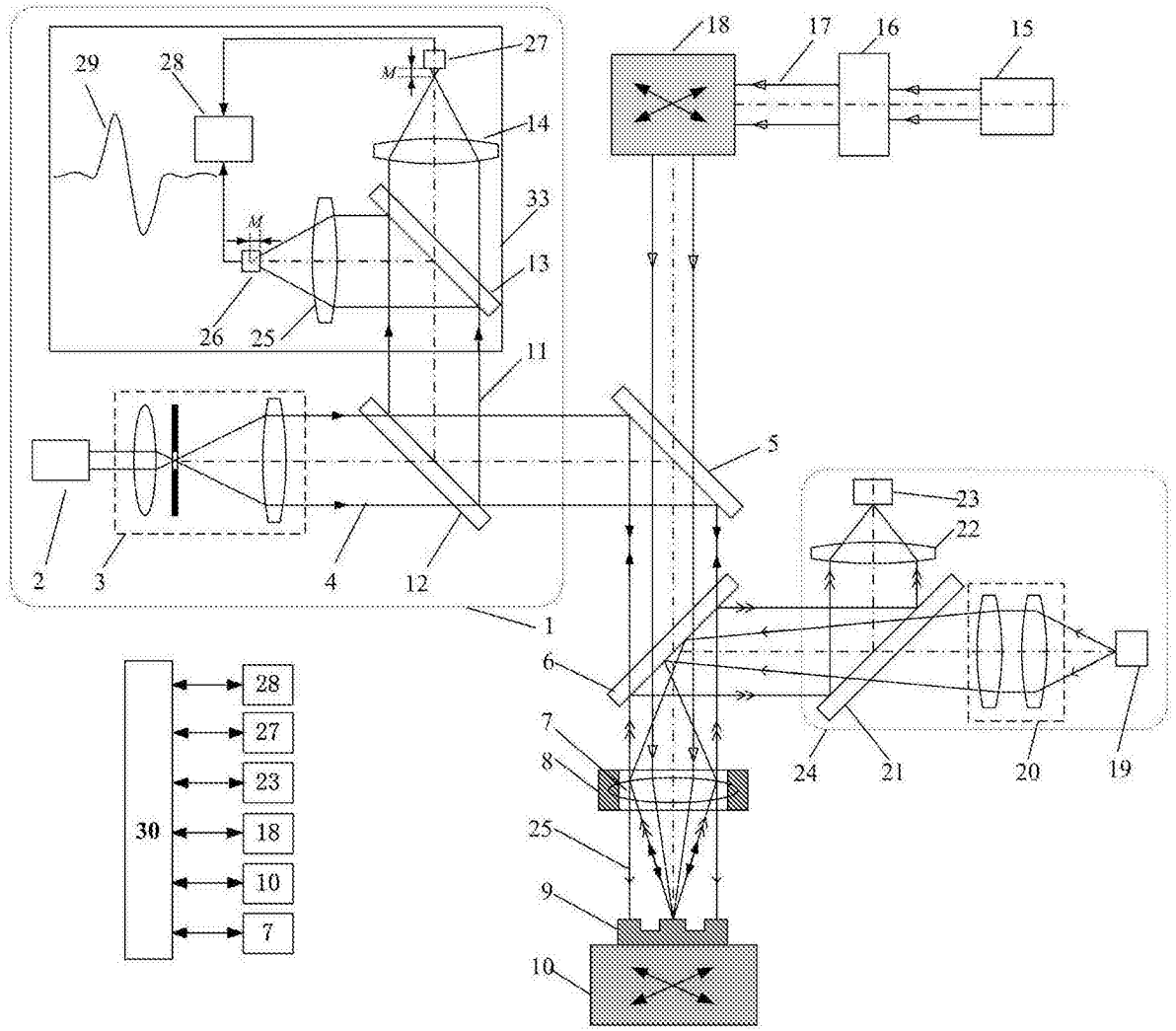


图3

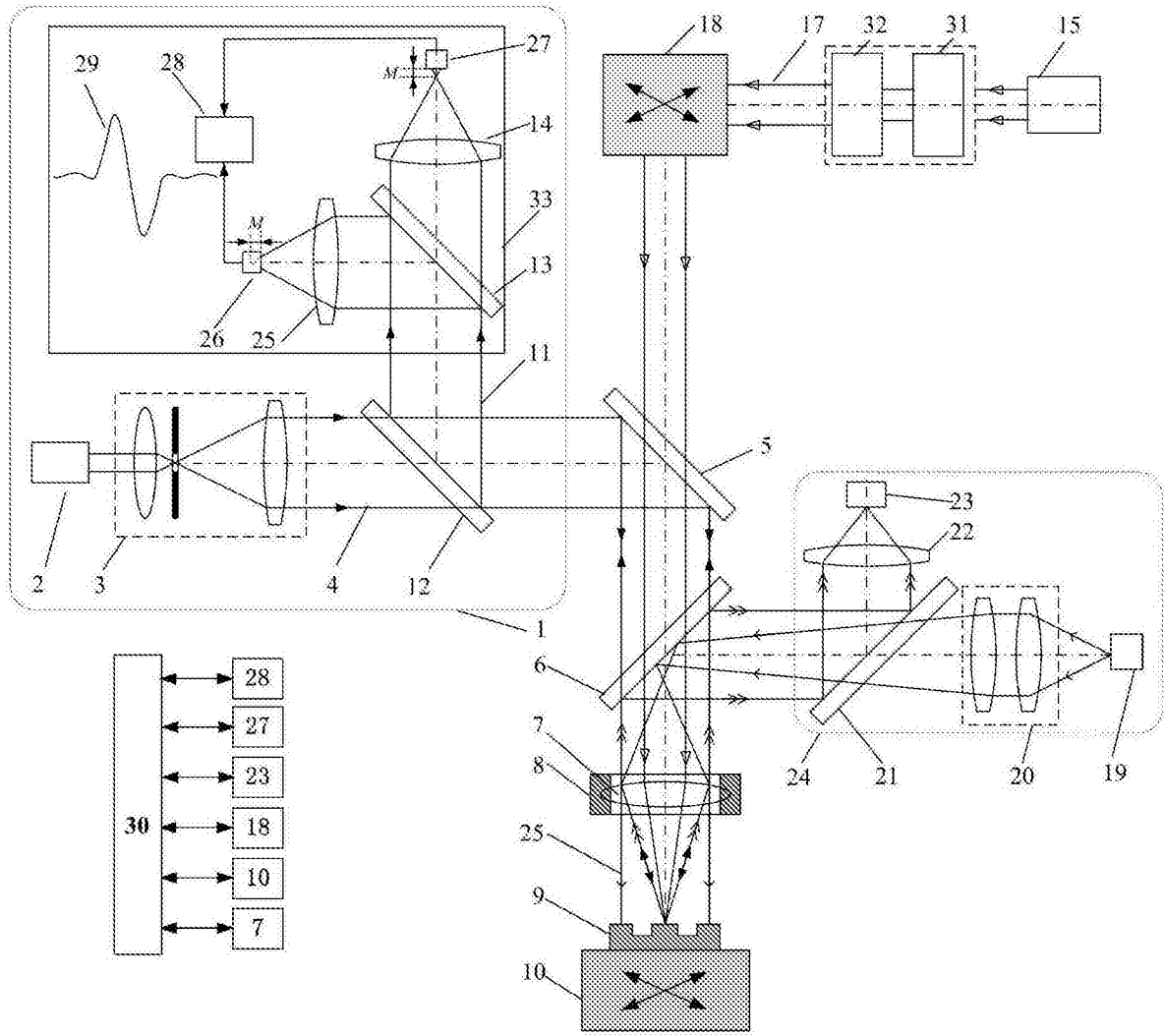


图4