



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105458529 A

(43) 申请公布日 2016. 04. 06

(21) 申请号 201610040690. 2

(22) 申请日 2016. 01. 21

(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 姜澜 谢乾 李晓炜

(51) Int. Cl.

B23K 26/382(2014. 01)

B23K 26/06(2014. 01)

B23K 26/064(2014. 01)

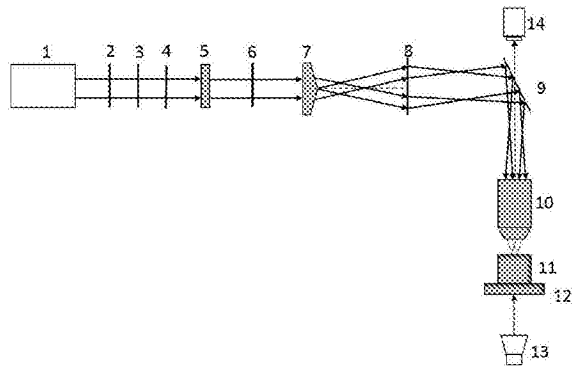
权利要求书1页 说明书4页 附图1页

(54) 发明名称

一种高效制备高深径比微孔阵列的方法

(57) 摘要

本发明涉及一种利用飞秒激光贝塞尔光束高效加工高深径比微孔阵列的方法,属于飞秒激光应用技术领域。本发明综合飞秒激光空间光整形与飞行时间打孔的方法,有效利用飞秒激光贝塞尔光束小光斑直径、长焦深的性质,能够在短时间内高效加工大面积的高深径比微孔阵列。本发明连续在单个激光脉冲条件下,加工所得无锥度微孔的深径比高达 330:1,大大提高了微孔阵列的加工质量及加工效率,在光学及光学仪器、航空和生物医学等方面具有至关重要的应用价值。



1. 一种利用飞秒激光贝塞尔光束高效加工高深径比微孔阵列的方法,其特征在于,包括如下步骤:

步骤一,利用轴棱锥原理,将平行入射的飞秒激光高斯光束整形为飞秒激光贝塞尔光束;

步骤二,将步骤一中空间光整形得到的贝塞尔光束通过望远系统缩小尺寸成微贝塞尔光束,使其具有足够高的能量进行样品的加工;

步骤三,将加工样品置于六维移动的平移台上,控制平移台带动样品运动,将步骤二中得到的微贝塞尔光束聚焦在被加工样品表面;

步骤四,利用“飞行时间打孔法”,在飞秒激光贝塞尔光束单脉冲条件下,快速加工大面积高深径比微孔阵列。

2. 根据权利要求1所述的一种利用飞秒激光贝塞尔光束高效加工高深径比微孔阵列的方法,其特征在于:所述步骤一使用锥透镜将平行入射的高斯光束整形为焦深较长的贝塞尔光束。

3. 根据权利要求1所述的一种利用飞秒激光贝塞尔光束高效加工高深径比微孔阵列的方法,其特征在于:所述望远系统由一个平凸透镜和一个聚焦物镜组成。

4. 根据权利要求1-3任一所述的一种利用飞秒激光贝塞尔光束高效加工高深径比微孔阵列的方法,其特征在于:所述加工样品材料为PMMA、PET、PC或熔融石英。

5. 一种利用飞秒激光贝塞尔光束高效加工高深径比微孔阵列的装置,其特征在于:包括飞秒激光系统(1)、半波片(2)、偏振分光棱镜(3)、连续衰减片(4)、机械快门(5)、光阑(6)、锥透镜(7)、平凸透镜(8)、二向色镜(9)、聚焦显微物镜(10)和六维精密位移平台(12);

连接关系:飞秒激光系统(1)、半波片(2)、偏振分光棱镜(3)、连续衰减片(4)、机械快门(5)、光阑(6)、锥透镜(7)、平凸透镜(8)依次平行、同轴放置,二向色镜(9)的中心位于经过平凸透镜(8)的光轴上,成 45° 放置,光轴经二向色镜(9)反射依次通过聚焦显微物镜(10)、加工样品(11)和六维精密位移平台(12)的中心;

光路:飞秒激光(1)产生短脉冲飞秒激光,利用半波片(2)和偏振分光棱镜(3)的组合调整激光能量后,使用连续衰减片(4)进一步连续改变激光能量,其后的机械快门(5)用来控制激光的通断,从而控制激光加工与否;使用光阑(6)限制高斯光束的光斑大小,使其在一定大小的光斑直径内激光能量均匀分布;然后高斯激光平行入射进入锥透镜(7)中,锥透镜将高斯光束整形为贝塞尔光束;经过平凸透镜(8)和聚焦显微物镜(10)组成的望远系统将贝塞尔光束缩小为微贝塞尔光束;加工样品(11)固定在六维精密位移平台(12)上,移动六维精密位移平台(12)使加工样品(11)位于微贝塞尔光束区域。

6. 根据权利要求5所述的一种利用飞秒激光贝塞尔光束高效加工高深径比微孔阵列的装置,其特征在于:还包括成像照明光源(13)和图像传感器(14),二者组成正面成像系统,用于实时监控加工过程;成像照明光源(13)位于六维精密位移平台(12)的下方,其发出的照明光经过加工样品(11)、聚焦物镜(10)、二向色镜(9),进入CCD图像传感器(14)成像。

一种高效制备高深径比微孔阵列的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种加工高深径比微孔阵列的方法,特别涉及一种利用飞秒激光贝塞尔光束高效加工高深径比微孔阵列的方法,属于飞秒激光应用技术领域。

背景技术

[0002] 微孔制造在航空航天领域、光电学领域、微流体器件等相关领域都有着极其重要的应用,随着激光技术的不断进步和发展,微孔制造方面的研究具有十分重要的现实意义。激光微孔制造的优势在于具有较好的柔性和较高的自动化程度,另外,与传统机械加工技术相比,激光微孔制造技术为无接触技术,加工工具也不会因加工材料质地较硬而发生断裂破坏。飞秒激光是一种新型的脉冲激光,其脉冲持续时间可低至飞秒量级。与传统的长脉冲激光相比(如纳米激光和皮秒激光),飞秒激光在微细加工方面具有其独特的优势:(1)加工尺度小,可实现亚微米甚至纳米级加工;(2)飞秒激光加工时不会出现长脉冲激光时常出现的等离子体屏蔽效应,显著提高了加工效率;(3)飞秒激光加工可显著减少重铸层,微裂纹和热影响区。

[0003] 飞秒激光器产生以来,利用其在各种材料上进行了大量的微孔加工实验研究,其中,微孔尺寸和微孔的质量是微孔制造过程中最重要的两个指标,包括微孔的直径、深度和侧壁锥度等问题。在已知的飞秒激光微孔加工方法中,大部分是利用高斯型强度分布的飞秒激光,经过高倍显微物镜聚焦后加工透明材料,若不采用特殊加工手段,微孔的深径比较难突破100:1。飞秒激光微孔制造是推动制造业进步和发展的关键性技术之一,极小尺寸和极高质量的微孔是飞秒激光微孔制造发展的目标。

[0004] 另外,高深径比微孔阵列相比于单个的微孔在生物医学、航天航空、光电学等方面应用更为突出。目前存在的问题则是,加工大面积(比如1cm×1cm)的高深径比微孔阵列,所需的加工时间过长并且阵列中微孔的质量未能保证,加工效率极低。因此,目前迫切需要一种能够高效加工高深径比微孔阵列的方法并且能够保证阵列中各微孔质量的均一性。

发明内容

[0005] 本发明的目的是为了解决高质量、高深径比的微孔阵列加工效率较低,无法在较短的时间内快速加工大面积的高深径比微孔阵列的难题,提出一种利用飞秒激光贝塞尔光束高效加工高深径比微孔阵列的方法,本发明通过对飞秒激光空间光整形,调控激光辐照区域瞬态的电子密度,并结合飞秒激光“飞行时间打孔法”(Journal of Laser Applications,4(2),15-24,1992),实现大面积高深径比微孔阵列的高效加工。

[0006] 本发明的目的是通过以下技术方案实现的:

[0007] 一种利用飞秒激光贝塞尔光束高效加工高深径比微孔阵列的方法,具体步骤如下:

[0008] 步骤一:利用轴棱锥原理,将平行入射的飞秒激光高斯光束整形为飞秒激光贝塞尔光束;

[0009] 步骤二:将步骤一中空间光整形得到的贝塞尔光束通过望远系统缩小尺寸成微贝塞尔光束,使其具有足够高的能量进行样品的加工;

[0010] 步骤三:将加工样品置于六维移动的平移台上,控制平移台带动样品运动,将步骤二中得到的微贝塞尔光束聚焦在被加工样品表面;

[0011] 步骤四:利用“飞行时间打孔法”,在飞秒激光贝塞尔光束单脉冲条件下,快速加工大面积高深径比微孔阵列。通过控制飞秒激光重复频率和平移台的移动速度(扫描速度)来控制微孔加工速度和相邻微孔间的间距。

[0012] 作为优选,所述步骤一使用锥透镜将平行入射的高斯光束整形为焦深较长的贝塞尔光束。

[0013] 作为优选,所述望远系统由一个平凸透镜和一个聚焦物镜组成。

[0014] 作为优选,所述加工样品材料为聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)/PET/PC/熔融石英等透明材料。

[0015] 一种利用飞秒激光贝塞尔光束高效加工高深径比微孔阵列的装置,包括飞秒激光系统、半波片、偏振分光棱镜、连续衰减片、机械快门、光阑、锥透镜、平凸透镜、二向色镜、聚焦显微物镜和六维精密位移平台;

[0016] 连接关系:飞秒激光系统、半波片、偏振分光棱镜、连续衰减片、机械快门、光阑、锥透镜、平凸透镜依次平行、同轴放置,二向色镜的中心位于经过平凸透镜的光轴上,成 45° 放置,光轴经二向色镜反射依次通过聚焦显微物镜、加工样品和六维精密位移平台的中心;

[0017] 光路:飞秒激光产生短脉冲飞秒激光,利用半波片和偏振分光棱镜的组合调整激光能量后,使用连续衰减片进一步连续改变激光能量,其后的机械快门用来控制激光的通断,从而控制激光加工与否;使用光阑限制高斯光束的光斑大小,使其在一定大小的光斑直径内激光能量均匀分布;然后高斯激光平行入射进入锥透镜中,锥透镜将高斯光束整形为贝塞尔光束;经过平凸透镜和聚焦显微物镜组成的望远系统将贝塞尔光束缩小为微贝塞尔光束;加工样品固定在六维精密位移平台上,移动六维精密位移平台使加工样品位于微贝塞尔光束区域。

[0018] 作为优选,所述装置还包括成像照明光源和图像传感器,二者组成正面成像系统,用于实时监控加工过程;成像照明光源位于六维精密位移平台的下方,其发出的照明光经过加工样品、聚焦物镜、二向色镜,进入CCD图像传感器成像。

[0019] 有益效果

[0020] 1、本发明的一种利用飞秒激光贝塞尔光束高效加工大面积高深径比微孔阵列的方法,与传统高斯光束微孔加工相比,在加工微孔质量以及深径比方面可以提高数倍。

[0021] 2、本发明的一种利用飞秒激光贝塞尔光束高效加工大面积高深径比微孔阵列的方法,使用单脉冲贝塞尔光束能够实现较短时间内高效加工大面积高深径比微孔阵列,大大提高了微孔阵列的加工效率(每秒可加工上千个微孔结构,如果激光器重复频率与加工平台移动速度上限更高,理论上可以进一步提高加工效率)。

附图说明

[0022] 图1为具体实施例中,飞秒激光贝塞尔光束加工光路图。

[0023] 图2为将平行入射的高斯光束整形为贝塞尔光束,继而通过望远系统缩小为微贝

塞尔光束的示意图。

[0024] 其中,1-飞秒激光系统、2-半波片、3-偏振分光棱镜、4-连续衰减片、5-机械快门、6-光阑、7-锥透镜、8-平凸透镜、9-二向色镜、10-聚焦显微物镜、11-加工样品、12-六维精密位移平台、13-成像照明光源、14-CCD图像传感器。

具体实施方式

[0025] 下面结合说明书附图和实施例对本发明做进一步说明。

[0026] 本具体实施方式中实现本发明的装置包括:飞秒激光系统1、半波片2、偏振分光棱镜3、连续衰减片4、机械快门5、光阑6、锥透镜7、平凸透镜8、聚焦显微物镜10、二向色镜9、六维精密位移平台12。

[0027] 其连接关系如图1所示。飞秒激光系统1、半波片2、偏振分光棱镜3、连续衰减片4、机械快门5、光阑6、锥透镜7、平凸透镜8依次平行、同轴放置,二向色镜9的中心位于经过平凸透镜8的光轴上,成 45° 放置,光轴经二向色镜9反射依次通过聚焦显微物镜10、加工样品11、六维精密位移平台12和成像照明光源13的中心;成像CCD14接收二向色镜9的透射照明光。飞秒激光1产生短脉冲飞秒激光,利用半波片2和偏振分光棱镜3的组合调整激光能量后,使用连续衰减片4能够进一步连续改变激光能量,其后的机械快门5用来控制激光的通断,从而控制激光加工与否;使用光阑6限制高斯光束的光斑大小,使其在一定大小的光斑直径内激光能量均匀分布;然后高斯激光平行入射进入锥透镜7中,锥透镜将高斯光束整形为贝塞尔光束;经过平凸透镜8和聚焦显微物镜10组成的望远系统将贝塞尔光束缩小为微贝塞尔光束;加工样品11固定在六维精密位移平台12上,通过精密位移平台12下方的成像照明光源13产生照明光,照明光经过样品11、聚焦物镜10、二向色镜9,从而进入CCD图像传感器14成像,以便实时监控加工过程。

[0028] 实施例

[0029] 1-飞秒激光系统采用的是美国光谱物理(Spectra Physics)公司生产的激光器,激光波长800nm,脉冲宽度50飞秒,重复频率1KHz可调,单脉冲最大能量3mJ,光强分布为高斯型,线偏振。

[0030] 实验加工样品11为聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA),其厚度为5mm。

[0031] 本发明提出的一种利用飞秒激光贝塞尔光束高效加工高深径比微孔阵列的方法,加工光路图如图1所示,具体加工步骤如下:

[0032] 步骤一:利用飞秒激光系统1产生飞秒脉冲激光,利用半波片2和偏振分光棱镜3调节单脉冲激光能量在 $20\mu\text{J}$,也可用连续衰减片4调节激光能量达到相应能量数值。通过机械快门5控制激光的通断。使用光阑6限制高斯光束的光斑大小,使其在一定大小的光斑直径内激光能量均匀分布。

[0033] 步骤二:把步骤一中的高斯光束平行入射进入锥底角为 2° 的锥透镜7中,并根据轴棱锥的原理,将高斯光束整形为贝塞尔光束,继而通过150mm焦距的平凸透镜8和20倍显微物镜10组成的望远系统,将贝塞尔光束缩小为微贝塞尔光束。望远系统由焦距为 $f_1=150\text{mm}$ 的平凸透镜和 $20\times$ 聚焦物镜($f_2=9\text{mm}$),望远系统的缩放比例为 $f_1:f_2=16.67$ 。

[0034] 步骤三:将PMMA样品11固定在六维精密位移平台12上,用计算机程序控制六维精密位移平台12的移动,使得贝塞尔区域位于加工样品11表面位置处。由于贝塞尔光束具有

长焦深的特点,如图2所示,只要将加工样品11置于贝塞尔区域的任一位置即可加工样品,此特点降低了加工过程中对样品11聚焦位置的要求。

[0035] 步骤四:通过计算机移动六维精密位移平台12使其带动加工样品11移动,为得到高深径比微孔阵列,移动六维精密位移平台12使得贝塞尔区域尽可能多的进入加工样品11,借助成像照明光源13和图像传感器14组成正面成像系统,实时观测加工过程。

[0036] 步骤五:调节飞秒激光重复频率至100Hz,通过计算机编程程序控制六维精密位移平台12的匀速移动,其移动速度为2mm/s,即可以100孔/秒的速度,每个激光脉冲加工出一个微孔,获得间距为20 μ m的一行微孔结构。以此类推,控制六维精密位移平台自动迅速进行周期性折线扫描加工,最终完成高深径比微孔阵列的高效加工。

[0037] 当使用20 μ J的脉冲激光能量时,使用单脉冲的贝塞尔光束加工所得微孔的深径比高达330:1,是传统激光加工时的52倍,其中微孔的直径约为1.58 μ m,孔深度约为523 μ m。在激光重复频率为100Hz,精密位移平台12的移动速度为2mm/s时,仅使用约42分钟即在PMMA样品11上加工了1cm \times 1cm(总计251,001个孔)的高深径比微孔阵列,其微孔间距为20 μ m。本发明提出的一种利用贝塞尔光束高效加工高深径比微孔阵列的方法,通过将飞秒激光高斯型光束整形为贝塞尔光束实现单脉冲加工,这不仅极大地提高了微孔阵列加工效率,而且加工的微孔具有高深径比、高质量、无锥度及尺寸均一等特点,展现了本方法在高效加工大面积、高质量的高深径比微孔阵列的明显优势。

[0038] 由于本实施例是在单脉冲贝塞尔光束条件下,加工高深径比微孔阵列,故而飞秒激光的重复频率决定微孔加工速度,即重复频率为100HZ时,微孔加工速度为100孔/秒。在平台移动速度允许的情况下,增大飞秒激光重复频率则可增大微孔加工速度,更进一步提高微孔阵列加工效率。

[0039] 为了说明本发明的内容及实施方法,本说明书给出了一个具体实施例。在实施例中引入细节的目的不是限制权利要求书的范围,而是帮助理解本发明所述方法。本领域的技术人员应理解:在不脱离本发明及其所附权利要求的精神和范围内,对最佳实施例步骤的各种修改、变化或替换都是可能的。因此,本发明不应局限于最佳实施例及附图所公开的内容。

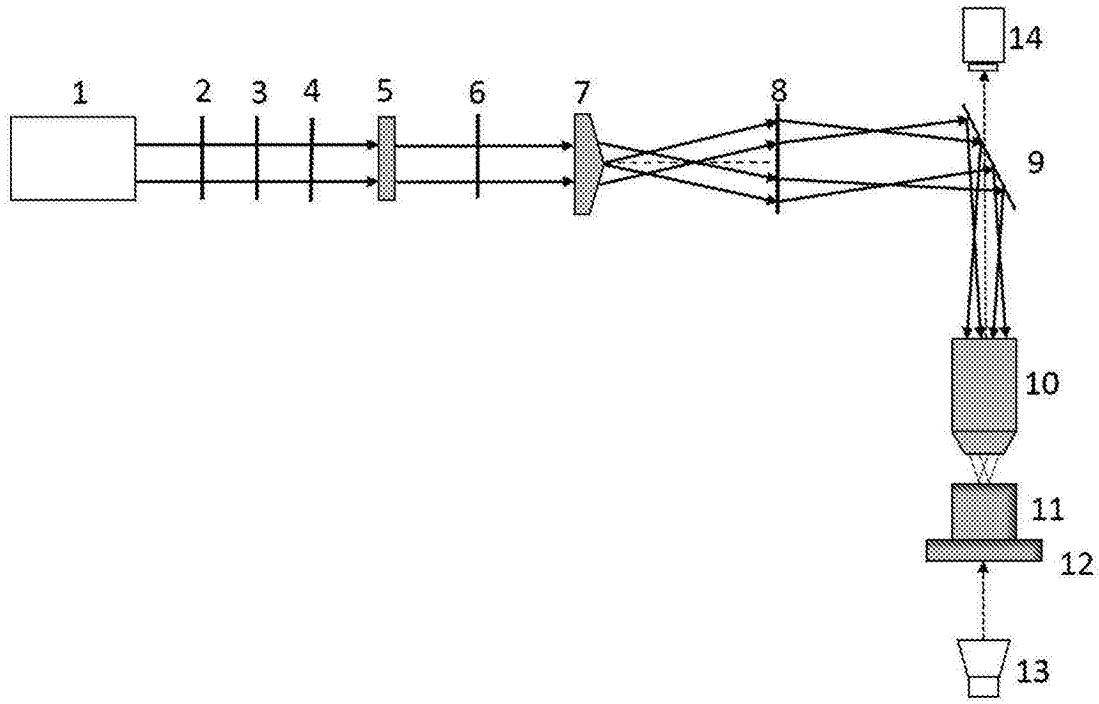


图1

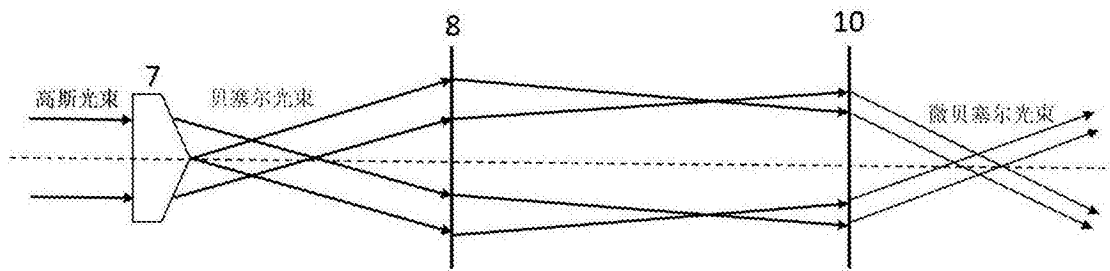


图2