



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200610085349.5

[45] 授权公告日 2008年6月4日

[11] 授权公告号 CN 100392514C

[22] 申请日 2006.6.12

[21] 申请号 200610085349.5

[73] 专利权人 江苏大学

地址 212013 江苏省镇江市丹徒路 301 号  
江苏大学内

[72] 发明人 周明 杨海峰 蔡兰

[56] 参考文献

US6030266A 2000.2.29

US2005232116A1 2005.10.20

US6713772B2 2004.3.30

Multiple - spot parallel processing for laser micromanufacturing. Jun. ichi Kato, Nobuyuki Takeyasu, et al. APPLIED PHYSICS LETTERS, Vol. 86 . 2005

飞秒激光三维微细加工技术. 刘立鹏, 周明, 戴起勋, 潘传鹏, 蔡兰. 光电工程, 第 32 卷第 4 期. 2005

审查员 王志远

[74] 专利代理机构 南京知识律师事务所

代理人 汪旭东

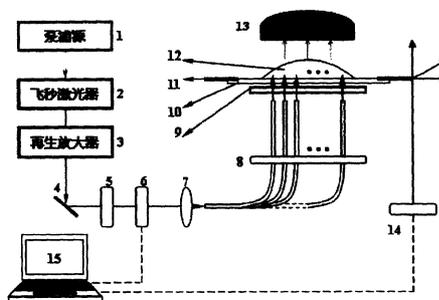
权利要求书 1 页 说明书 4 页 附图 1 页

[54] 发明名称

并行飞秒激光双光子光聚合微纳加工方法及其装置

[57] 摘要

并行飞秒激光双光子光聚合微纳加工方法和装置, 属于微纳加工技术, 首先, 开启泵浦激光器, 将其产生的激光引入到飞秒激光器的谐振腔中, 经振荡后产生的飞秒超短脉冲激光通过再生放大器将能量放大; 然后, 放大后的激光经过全反镜、衰减镜、光闸后, 由光纤耦合器将其耦合到光纤阵列中, 由微透镜阵列将飞秒激光聚焦到放置在盖玻片上的光敏树脂中, 盖玻片固定在三维扫描平台上, 整个加工过程由 CCD 监控, 三维扫描平台的微动调节通过计算机控制系统控制连接于三维扫描平台上的驱动器来实现。



1. 并行飞秒激光双光子光聚合微纳加工方法，其特征在于：首先，开启泵浦激光器，将其产生的激光引入到飞秒激光器的谐振腔中，经振荡后产生的飞秒超短脉冲激光通过再生放大器将能量放大；然后，放大后的激光经过全反镜、衰减镜、光闸后，由光纤耦合器将其耦合到光纤阵列中，由微透镜阵列将飞秒激光聚焦到放置在盖玻片上的光敏树脂中，盖玻片固定在三维扫描平台上，整个加工过程由CCD监控，三维扫描平台的微动调节通过计算机控制系统控制连接于三维扫描平台上的驱动器来实现。

2. 根据权利要求1所述的并行飞秒激光双光子光聚合微纳加工方法，其特征在于：微加工之前，在盖玻片上放置掺杂了染料的薄膜，打开激光光源，使透过微透镜阵列的飞秒激光引发荧光的产生，在水平方向移动三维扫描平台，调节微透镜阵列，使由CCD观察到的各焦点处的荧光强度基本一致，此时关闭光闸，在盖玻片上滴上光敏树脂。

3. 根据权利要求1所述的并行飞秒激光双光子光聚合微纳加工方法，其特征在于：在制造过程中，通过计算机对光闸和三维扫描平台的协调控制来实现光敏树脂内的选择性曝光；通过调节衰减镜来控制激光能量以实现不同的加工尺寸。

4. 实现权利要求1所述的并行飞秒激光双光子光聚合微纳加工方法的装置，其特征在于由激光发生系统、外光路系统以及加工控制系统依次组成，其中激光发生系统由依次相连的泵浦光源（1）、飞秒激光器（2）和再生放大器（3）组成，外光路系统由依次相连的全反镜（4）、衰减镜（5）、光闸（6）、光纤耦合器（7）、光纤阵列（8）和微透镜阵列（9）组成，加工控制系统中盖玻片（10）、三维扫描平台（11）、光敏树脂（12）、CCD（13）依次相连，计算机控制系统（15）经驱动器（14）与三维扫描平台（11）相连。

## 并行飞秒激光双光子光聚合微纳加工方法及其装置

### 技术领域

本发明是一种微纳加工技术，采用飞秒激光双光子吸收和微透镜阵列的并行加工方法，适用于多种光敏树脂材料三维微纳结构的制备。

### 背景技术

随着微机电系统应用领域的飞速发展，人们对微细加工的要求不仅向缩小尺寸和提高精度等方向进行，而且越来越向着加工多样化的方向发展。传统用于微型机械的制造技术已经不能满足其进一步发展的要求。

1931年，Goppert-Mayor 提出双光子吸收理论，直到1992年，webb 小组才将双光子技术引入了微细加工领域。1997年，Kawata 等用双光子吸收技术首次在光致聚合物中制作出各种三维微观结构型，其空间分辨尺度达到微米量级；2001年，大阪大学 S.Kawata 在 NATURE 报道了采用双光子聚合法在光敏树脂里面制作了 10 $\mu$ m 长，7 $\mu$ m 高的公牛，分辨率达到 120nm，是世界上最小的人造动物模型，同时还制作了直径达亚微米的微型弹簧振子，使飞秒激光双光子的微细加工真正开始步入了亚微米功能器件的制造阶段。由于飞秒激光双光子光聚合技术具有无掩模、高分辨、真三维、冷加工等优点，引起了国内外科学家的充分关注，至今飞秒激光双光子光聚合技术已成为目前国际材料科学研究领域的热点之一。

双光子微细加工技术以微电子、微光学、微机械为核心，集现代光学、电子学、激光技术、精密机械、计算机技术和智能控制技术等于一体，成为近年来飞秒激光应用技术方面的研究热点。飞秒激光双光子微细加工技术，首先是将飞秒脉冲聚焦在透明的光敏树脂上，引发双光子聚合，液体树脂转变为固体。当激光焦点沿三维树脂移动时，聚合作用沿焦点的踪迹产生。这使得我们可应用激光在树脂内直接制造由计算机产生的任何三维结构，未被辐照的液体树脂在酒精中熔化。

将飞秒激光技术引入到三维微细加工中实现材料的双光子吸收，使这种新型的微细加工技术表现出了很多优良特性。(1) 由于双光子吸收几率与光强度的平方成正比，所以双光子吸收引发的光化学反应将被局限在光强度很高的焦点附近极小的区域内（体积数量级为  $\lambda^3$ ）。激光的强度在空间上一般呈高斯分布，如果调节入射激光束，使得焦斑的中心强度刚好满足材料的多光子电离阈值，

可以使加工分辨率突破光束衍射极限的限制,实现尺寸小于波长的亚微米级或纳米级操作;(2)入射的飞秒激光只有在焦点位置才能获得较高的功率密度,发生多光子吸收和电离,从而实现材料内部三维空间上任意部位的超精细加工,使得飞秒激光加工过程具有严格的空间定位选择能力,实现真正的三维加工;(3)加工方式并不局限于传统的层叠方式,双光子加工过程中只要精确地控制激光束焦点的扫描动作就可以实现对材料的“直接写入”,从而快速地加工出预先设计的微器件。这同时也保证了双光子微细加工具有很强的柔性:不需要对加工系统的结构做任何调整就可以通过改变CAD的设计模型实现新器件的加工。(4)与传统的光刻技术相比,双光子微细加工技术可实现非接触式加工,具有节能、清洁无污染、加工效率高、加工精确、不需要真空条件等一系列优点。

然而,飞秒激光双光子光聚合是基于单光束的微纳加工方法,因此加工效率很低,极大的限制了大批量生产的需要,成为限制该方法发展的一个瓶颈。1982年,Oikawa和Iga提出了一种制备微透镜阵列的方法,为双光子光聚合的并行加工提供了可能性。在此基础上,日本大阪大学的Hong-Bo Sun等人于2005年提出了采用微透镜阵列进行多点并行微纳加工技术,通过优化曝光条件达到了超过200点的并行加工,并且在光敏树脂中制备了二维微字母阵列和三维微弹簧阵列,其分辨率达到250nm。因此,基于微透镜阵列的并行飞秒激光双光子光聚合技术在批量微纳器件的加工方面表现出了极大的优越性。但是,在制备过程中也存在着以下不足:(1)由于飞秒激光束服从高斯分布,因此在光束的截面上光强沿半径方向越来越小,使照射到微透镜阵列上的光的分布不均匀,导致在不同微透镜上具有光强度的差异,从而引起所制备的微器件的分辨率的变化。(2)在微透镜阵列的空隙处也会有多余的飞秒激光照射到,从而引起了能量的大量损失。

## 发明内容

本发明的目的是提供一种高精度微纳器件大批量生产的飞秒激光双光子光聚合微纳加工系统装置,它是一种集飞秒激光技术、阵列光纤技术和阵列微聚焦透镜技术于一体的并行双光子光聚合三维微纳加工技术。

本发明所述的加工方法按照如下的步骤实现:

首先,开启泵浦激光器,将其产生的激光引入到飞秒激光器的谐振腔中,经振荡后产生的飞秒超短脉冲激光通过再生放大器将能量放大。然后,放大后的激光经过全反镜、衰减镜、光闸后,由光纤耦合器将其耦合到光纤阵列中,由微透镜阵列将飞秒激光聚焦到放置在盖玻片上的光敏树脂中,盖玻片固定在三维扫描平台上,通过计算机控制系统控制连接于三维扫描平台上的驱动器来实现三维扫描平台的微动调节。整个加工过程由CCD实时监控。

微加工之前,在盖玻片上放置掺杂了染料的薄膜,打开激光光源,使透过微透镜阵列的飞秒激

光能够引发荧光的产生，在水平方向移动三维扫描平台，调节微透镜阵列，使由CCD 观察到的各焦点处的荧光强度基本一致，即说明微透镜阵列中各透镜的焦点所组成的平面与盖玻片所在平面重合。此时关闭光闸，在盖玻片上滴上光敏树脂。在制造过程中，通过计算机对光闸和三维扫描平台的协调控制来实现光敏树脂内的选择性曝光，从而使光敏树脂在需要的位置固化；同时可以通过调节衰减镜来控制激光能量以实现不同的加工尺寸。

实现本发明的装置由激光发生系统、外光路系统以及加工控制系统依次组成。由于采用并行加工，原来由飞秒激光器提供的能量已不能满足多点同时达到双光子光聚合所需要的能量，因此通过再生放大器对能量进行放大，以满足加工的需要。衰减镜用于调节制造过程中所需的激光能量，光闸用来控制飞秒激光的通断，光纤阵列和微透镜阵列可以调节每次所要加工的器件数。软件控制系统一方面能够协调三维扫描平台的运动和光闸的开关，以实现加工材料在正确位置上的双光子激发，另一方面可灵活地调整加工速度，改变曝光时间，以满足不同的加工要求。

与传统的单光束飞秒激光双光子光聚合微纳加工技术及Hong-Bo Sun 等人提出多点并行微纳加工技术相比，本发明提出的微纳加工方法具有以下技术优势：

通过光纤阵列和微透镜阵列，可以实现更高的加工分辨率，并且可以大批量地进行真正的三维微纳器件的制备；同时可以根据加工器件数量的要求适当选择光纤的数目。

由于采用光纤阵列，使激光能量能够几乎平均地分配到各根光纤中，不会受到飞秒激光的高斯分布的影响，从而使得整个加工区域具有一致的加工分辨率和加工精度。

采用与微透镜阵列匹配的光纤阵列，可以使激光能量不会照射到微透镜阵列的缝隙中，大大减少了能量的损失，从而能够实现更大批量的加工。

## 附图说明

图1 并行飞秒激光双光子光聚合微纳加工的装置示意图

图2 微透镜阵列俯视示意图

1 泵浦源，2 飞秒激光器，3 再生放大器，4 全反镜，5 衰减镜，6 光闸，7 光纤耦合器，8 光纤阵列，9 微透镜阵列，10 盖玻片，11 三维扫描平台，12 光敏树脂，13 CCD，14 驱动器，15 计算机控制系统，16 微透镜

## 具体实施方式

结合图1 示例的并行飞秒激光双光子光聚合微纳加工的装置示意图对本发明的具体装置的细节和实施情况作如下说明：

实现并行飞秒激光双光子光聚合微纳加工的装置主要由激光发生系统、外光路系统以及加工控制系统组成。其中激光发生系统包括泵浦光源1、飞秒激光器2和再生放大器3。外光路系统包括调光体系和光束聚焦体系，主要组成元件有全反镜4、衰减镜5、光闸6、光纤耦合器7、光纤阵列8和微透镜阵列9等。加工控制系统包括两个部分，即微纳加工系统和软件控制系统，主要由盖玻片10、三维扫描平台11、光敏树脂12、CCD13、驱动器14、计算机控制系统15组成。上述各组成元件依次连接构成并行飞秒激光双光子光聚合微纳加工系统。

加工时，将泵浦激光器1产生的激光引入到飞秒激光器2的谐振腔，振荡后产生的飞秒超短脉冲激光经过再生放大器3后将能量放大，以提供实现大批量生产所需要的更高的光强。放大后的激光经过全反镜4、衰减镜5、光闸6后，由光纤耦合器7将其耦合到光纤阵列8中，从光纤阵列出来的飞秒激光由微透镜阵列9聚焦到放置在盖玻片10上的光敏树脂12中，盖玻片固定在三维扫描平台11上。整个加工过程由CCD 13监控，三维扫描平台11的微动调节通过计算机控制系统15控制连接于三维扫描平台11上的驱动器14来实现。

图2是微透镜阵列俯视示意图，其中的每个小圆点代表一个微透镜16。所用的阵列光纤对应于所选择的微透镜阵列。

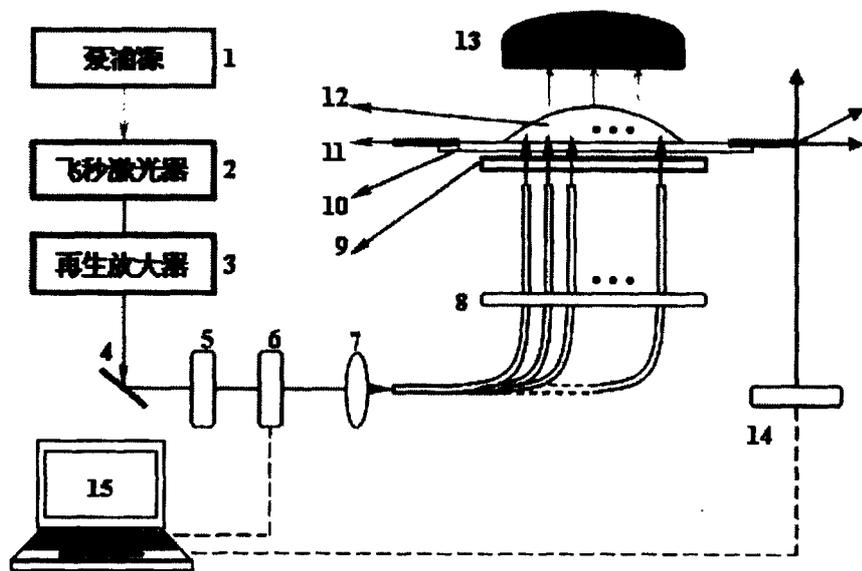


图 1

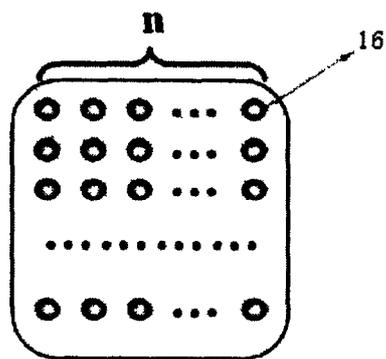


图 2