



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102998914 A

(43) 申请公布日 2013. 03. 27

(21) 申请号 201210591299. 3

(22) 申请日 2012. 12. 31

(71) 申请人 苏州大学

地址 215123 江苏省苏州市工业园区仁爱路
199 号

(72) 发明人 胡进 浦东林 陈林森

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限
公司 11227

代理人 唐灵 常亮

(51) Int. Cl.

G03F 7/20 (2006. 01)

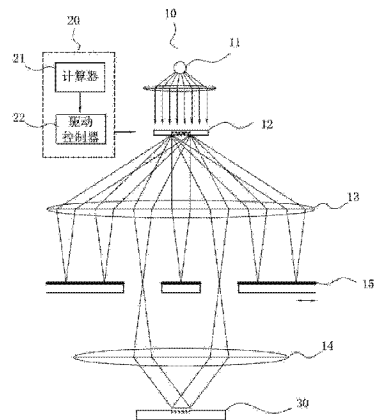
权利要求书 2 页 说明书 8 页 附图 3 页

(54) 发明名称

一种直写式光刻加工系统及光刻方法

(57) 摘要

一种直写式光刻加工系统和光刻方法, 该光刻加工系统包括能够运用傅立叶展开计算功能的控制系统和由该控制系统控制实现多次光刻的曝光系统。该光刻方法依据傅立叶分析原理, 将待刻曲面展开为傅立叶多项式, 然后根据多项式中各项余弦函数进行多次光刻, 使得多此光刻叠加后实现目标曲面的刻蚀。通过本发明的实施, 能够对任意大幅面的三维曲面进行刻蚀, 并且具有较高的设计灵活性、刻蚀效率和精确度, 以及较低的成本等优点。



1. 一种直写式光刻加工系统,包括曝光系统和控制系统,其特征在于:所述曝光系统包括光源、分光器件、第一光学镜组、可变光阑和第二光学镜组,所述分光器件为空间光调制器,所述第一光学镜组和第二光学镜组组成缩放投影光学镜组,所述可变光阑具有位置可调的单级光通孔,该曝光系统按光源、分光器件、第一光学镜组、可变光阑和第二光学镜组的顺序组成曝光光路,所述控制系统包括用于将三维曲面进行傅里叶展开的计算机和根据上述计算机得到的傅里叶多项式进行曝光控制的驱动控制器,其中所述驱动控制器包括用以驱动空间光调制器显示的驱动电路、用以控制可变光阑单级光通孔位置的单轴驱动电机,以及用以驱动整个曝光系统进行移动的三轴驱动电机。

2. 如权利要求1所述的直写式光刻加工系统,其特征在于:所述空间光调制器为数字微镜元件或者硅基液晶。

3. 如权利要求1所述的直写式光刻加工系统,其特征在于:所述可变光阑包括零级光挡片以及位于该零级光挡片两侧的正负1级光可变挡片,所述正负1级光可变挡片与所述零级光挡片之间形成正负1级光通孔。

4. 如权利要求3所述的直写式光刻加工系统,其特征在于:所述正负1级光可变挡片分别连接在所述单轴驱动电机上,通过该单轴驱动电机的驱动,所述正负1级光挡片在所有挡片形成的轴线上做相对移动,使得该正负1级光挡片与所述零级光挡片之间形成的正负1级光通孔的位置与所述空间光调制器经所述第一光学镜组投影过来的1级光位置对应。

5. 如权利要求1所述的直写式光刻加工系统,其特征在于:所述可变光阑为多组挡光片形成的切换式光阑,其中每组挡光片包括零级光挡片以及位于该零级光挡片两侧的正负1级光挡片,所述正负1级光挡片与所述零级光挡片之间形成正负1级光通孔,且各组挡光片的该正负1级光通孔的位置不同。

6. 如权利要求1所述的直写式光刻加工系统,其特征在于:所述缩放投影光学镜组的缩放倍数为5倍、10倍、20倍或50倍,或者所述缩放投影光学镜组的缩放倍数连续可调。

7. 一种使用如权利要求1所述的直写式光刻加工系统进行光刻加工的光刻方法,其特征在于,包括步骤:

- 1):将待刻三维曲面进行傅立叶展开,得到一全部为余弦函数的傅立叶多项式;
- 2):根据步骤1)得到的傅立叶多项式项数,确定曝光次数;
- 3):根据步骤1)得到的傅立叶多项式中的每一项余弦函数,确定每次曝光参数,进行多次曝光;
- 4):重复步骤3),直至傅立叶多项式中每一项余弦函数都进行对应的曝光。

8. 如权利要求7所述光刻方法,其特征在于:所述曝光参数包括空间光调制器显示的光栅周期、曝光剂量、可变光阑的通孔位置,其中每一项余弦函数中余弦内系数代表了光栅周期的大小,而余弦系数则代表了曝光剂量。

9. 如权利要求8所述光刻方法,其特征在于:所述曝光剂量通过控制曝光次数的方式实现控制,该控制曝光次数的方式采用脉冲曝光方式,对于不同的曝光剂量,采用不同的曝光次数,且曝光次数越多,剂量越大。

10. 如权利要求8所述光刻方法,其特征在于:所述曝光剂量通过控制曝光时间的方式实现控制,该控制曝光时间方式,对于不同的曝光剂量,采用不同的曝光时间,且曝光时间

越长,剂量越大。

11. 如权利要求 7 所述光刻方法,其特征在于:在曝光完一次进行下一次曝光之前,需要将曝光系统恢复到初始曝光位置。

一种直写式光刻加工系统及光刻方法

技术领域

[0001] 本发明属于光刻技术领域,具体地,是一种用于制备三维曲面的直写式光刻加工系统和光刻方法。

背景技术

[0002] 三维曲面(微)结构,在光学薄膜、平板显示、微光学器件以及微机电系统(MEMS)等诸多领域具有广泛应用。例如,具有球面结构的微透镜阵列,也被称为蝇眼透镜,可实现光束匀化和阵列成像,广泛应用于光刻机光源和 CCD 检测等领域。又例如,具有 V 型沟槽和金字塔结构的光学薄膜,具有定向反射的光学效果,广泛应用于公共交通领域的安全标识。

[0003] 目前三维曲面(微)结构的制作方法主要有,特殊物理和化学工艺方法、精密机械加工和光刻加工共三大类方法,逐一分析如下。

[0004] 特殊的物理和化学工艺方法,是指利用特殊的物理和化学效应生成特定的三维曲面的加工方法。例如,对光刻胶和玻璃等低熔点材料,采用热熔回流的处理方法,依靠重力和液体的表面张力,很容易获得球面以及柱面结构。又例如,利用晶体硅的各项异性,进行化学腐蚀,可以获得 V 型和金字塔型的槽型结构。这类方法的优点是成本低廉,曲面质量好,但是主要缺点是,只能制备特定的少数几种曲面结构类型,通用性和灵活性很差。

[0005] 精密机械加工方法,采用金刚石车床和数控精雕机等精密和超精密加工机床进行材料切削加工,主要设备供应商以日本东芝和德国库格勒等公司为代表。该加工方式获得曲面微结构,面形精度良好,尺寸精准可控,特别适合大批量光学器件和光学薄膜的模具制作。该方法主要有三点不足,一是,设备价格昂贵,加工成本高,小批量加工难以承受;二是,加工效率低。这是因为精密切削加工获得所需面形的原理是,由点组成线,由线组成面,从根本上说,是一种串行方式,因而效率相对较低。另外,深度很大的面形,往往需要多次加工,否则会损伤刀具;三是,可加工的曲面类型不够丰富,灵活性差。一般只能加工回转面和条纹面等较为简单的曲面结构。特殊曲面和槽型的加工,需要首先对刀具进行精密整形,费工费时。

[0006] 光刻方法生成曲面结构,一般称为灰度光刻,具体的实现方法有掩膜光刻、电子束光刻以及激光直写。具体分析如下:

[0007] 掩膜光刻的主要不足是其加工的灵活性较差。掩膜光刻是一种基于模版加工,在掩膜光刻之前,必须首先制备曝光的铬板。

[0008] 另外,采用掩膜曝光进行灰度光刻时,无法对曝光光强的进行精密控制,最终曲面的面形精度有限。灰度光刻一般采用灰度掩膜,这种灰度掩膜表面分布密度不均的网点,需要曝光量大的地方,则网点密度大,透过的光比较大,需要曝光量小的地方,则将网点密度降低,使透过的光比较小。通过这种网点的疏密,近似表达所需的灰度效果,不够严格和精密,所形成的灰度图形的分辨率往往较低。

[0009] 电子束光刻系统的成本很高,而且加工效率极低。由于真空腔体的体积的限制,其加工幅面通常很小。另外,由于电子束的曝光原理的特殊性(高能粒子轰击产生散射),其曝

光工艺不利于获得镜面级的光洁表面。

[0010] 最后分析激光直写。第一类激光直写系统,采用振幅型空间光调制器和成像光路。这里的振幅型空间光调制器,典型代表 DMD 和 LCOS。

[0011] DMD 的直接输出光场为黑白二值的,但是通过分时累计曝光,可以实现灰度光强。LCOS 工作在振幅调制工作方式下,可以直接输出灰度光场。

[0012] 受限于空间光调制器的像素化结构和多级式灰度,其光场灰度的连续性和准确性仍然不够理想。

[0013] 另外,这类光刻系统在进行灰度光刻时,为了减小光学吉布斯现象,一般不宜采用激光光源(相干光),无法实现飞行曝光方式。所谓光学吉布斯现象是指,由于其成像光路的孔径限制,其输入光场的高频信息被滤除,导致其曝光生成曲面结构(包括平面结构)时,光场的边缘和中部均有波纹和起伏。如图 1 所示。

[0014] 这类光刻系统在进行灰度光刻时,一般采用汞灯和 LED 等非相干光源,以提高灰度光刻的质量。与激光相比,这些光源难以实现高能量短脉冲飞行曝光方式,在加工效率和定位精度上仅处于中低端水平。

[0015] 需要额外提及的是,以 LCOS 作为纯位相的器件,通过光场重构的方法,理论上可以实现任意轮廓的光场分布。这种加工方式的主要缺点是,再现光场的噪声很大,并且难以消除多级光的影响。另外,傅立叶重构的算法虽然有多种,包括 G-S 算法和 Y-G 算法等,但是很难获得曲面光场分布的最优解。

[0016] 另一类,激光直写系统,采用光束扫描器件(或者说偏转器件)和聚焦光路。其输出光场为单个聚焦点,通过对单光点扫描的精密均匀叠加,可以实现上述的精密曲面微结构。但是其主要问题是单点扫描加工方式,加工效率很低,而且所采用精密光学扫描器件的设备成本很高。

[0017] 总之,现有加工方法无法直接地、高效地、精密地、低成本地制作大幅面的精密曲面微结构。

发明内容

[0018] 有鉴于此,本发明提出了一种采用干涉光路和多次曝光叠加的直写式光刻加工系统和光刻方法,用于三维曲面(微)结构制备。

[0019] 叠加曝光的原理基于傅立叶分析理论。根据该理论,任何周期函数都可以用正弦函数和余弦函数构成的无穷级数来表示,这也被称为傅立叶级数展开。对于非周期函数,通过对其定义域进行周期性扩展,也可将其视为周期函数,从而仍可通过傅立叶级数展开。

[0020] 在傅立叶级数展开的具体方式中,为了匹配干涉光刻曝光光强的余弦分布,可以采用偶式展开(将函数扩展成偶函数),从而使得傅立叶级数的展开项中只含有余弦项,而不含正弦项。

[0021] 双光束干涉光路,可以获得严格的余弦类型的曝光光强分布,这一点分析如下。

[0022] 双光束干涉曝光的光场复振幅分布 E 为余弦函数,可以记为 $E = \cos(a)$, 其中 $a = 2\pi x/d$, d 为余弦分布的周期, x 为几何坐标。光强分布 I 等于复振幅分布 E 的平方,可以记为 $I = E^2 = \cos^2(a) = 1/2 + \cos(2a)/2$ 。可以看到,光强分布仍是余弦分布,前面的常数项只会使光刻后的曲面整体下移,对曲面轮廓没有影响。

[0023] 根据上述分析,通过多次干涉曝光累积,同时设定各次干涉曝光的余弦光强分布的周期,并且控制各次干涉曝光的剂量,可以最终在光刻胶上累积获得所设计的特定分布的曝光剂量,显影后即可可以获得相应的三维曲面结构。

[0024] 由此,本发明依据上述理论,结合本发明的目的提出的一种直写式光刻加工系统,曝光系统和控制系统,所述曝光系统包括光源、分光器件、第一光学镜组、可变光阑和第二光学镜组,所述分光器件为空间光调制器,所述第一光学镜组和第二光学镜组组成缩放投影光学镜组,所述可变光阑具有位置可调的单级光通孔,该曝光系统按光源、分光器件、第一光学镜组、可变光阑和第二光学镜组的顺序组成曝光光路,所述控制系统包括用于将三维曲面进行傅里叶展开的计算机和根据上述计算机得到的傅里叶多项式进行曝光控制的驱动控制器,其中所述驱动控制器包括用以驱动空间光调制器显示的驱动电路、用以控制可变光阑单级光通孔位置的单轴驱动电机,以及用以驱动整个曝光系统进行移动的三轴驱动电机。

[0025] 优选的,所述空间光调制器为数字微镜元件(Digital Micro mirror Device)或者硅基液晶(Liquid Crystal on Silicon)。

[0026] 优选的,所述可变光阑包括零级光挡片以及位于该零级光挡片两侧的正负 1 级光可变挡片,所述正负 1 级光可变挡片与所述零级光挡片之间形成正负 1 级光通孔。

[0027] 优选的,所述正负 1 级光可变挡片分别连接在所述单轴驱动电机上,通过该单轴驱动电机的驱动,所述正负 1 级光挡片在所有挡片形成的轴线上做相对移动,使得该正负 1 级光挡片与所述零级光挡片之间形成的正负 1 级光通孔的位置与所述空间光调制器经所述第一光学镜组投影过来的 1 级光位置对应。

[0028] 优选的,所述可变光阑为多组挡光片形成的切换式光阑,其中每组挡光片包括零级光挡片以及位于该零级光挡片两侧的正负 1 级光挡片,所述正负 1 级光挡片与所述零级光挡片之间形成正负 1 级光通孔,且各组挡光片的该正负 1 级光通孔的位置不同。

[0029] 优选的,所述缩放投影光学镜组的缩放倍数为 5 倍、10 倍、20 倍或 50 倍,或者所述缩放投影光学镜组的缩放倍数连续可调。

[0030] 同时,依据本发明的目的还提出了一种利用上述系统进行光刻的光刻方法,包括步骤:

[0031] 1):将待刻三维曲面进行傅立叶展开,得到一全部为余弦函数的傅立叶多项式;

[0032] 2):根据步骤 1)得到的傅立叶多项式项数,确定曝光次数;

[0033] 3):根据步骤 1)得到的傅立叶多项式中的每一项余弦函数,确定每次曝光参数,进行多次曝光;

[0034] 4):重复步骤 3),直至傅立叶多项式中每一项余弦函数都进行对应的曝光。

[0035] 优选的,所述曝光参数包括空间光调制器显示的光栅周期、曝光剂量、可变光阑的通孔位置,其中每一项余弦函数中余弦内系数代表了光栅周期的大小,而余弦系数则代表了曝光剂量。

[0036] 优选的,所述曝光剂量通过控制曝光次数的方式实现控制,该控制曝光次数的方式采用脉冲曝光方式,对于不同的曝光剂量,采用不同的曝光次数,且曝光次数越多,剂量越大。

[0037] 优选的,所述曝光剂量通过控制曝光时间的方式实现控制,该控制曝光时间方式,

对于不同的曝光剂量,采用不同的曝光时间,且曝光时间越长,剂量越大。

[0038] 优选的,在曝光完一次进行下一次曝光之前,需要将曝光系统恢复到初始曝光位置。

[0039] 上述的直写式光刻加工系统和光刻方法与现有技术相比,具有如下的优点:

[0040] 优点一,灵活性好。空间光调制器可视为周期可变光栅,通过改变上显示图形的周期,可以改变曝光光场的余弦光强分布的周期。

[0041] 优点二,在改变周期的过程中,空间光调制器自身的位置不变,从而使得各次不同周期的余弦分布的曝光光场可以准确的对位叠加。

[0042] 优点三,空间光调制器分光的原理,是周期光栅衍射分光。该方式可以保证每一个衍射级的两束光,能量严格相等,初始相位相同,从而可以确保获得理想 \cos 函数轮廓的光强分布。

[0043] 优点四,周期光栅衍射分光方式,对激光器的相干性要求很低,可以适用于多种激光器类型。

附图说明

[0044] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0045] 图 1 是现有的光刻技术中出现光学吉布斯现象的波纹示意图。

[0046] 图 2 是本发明的直写式光刻加工系统的结构示意图。

[0047] 图 3 是一种具体的光阑结构示意图。

[0048] 图 4 是本发明的光刻方法的步骤流程图。

[0049] 图 5 是待刻曲面以及进行各级傅立叶展开后对应的曲面示意图。

具体实施方式

[0050] 请参见图 2,图 2 是本发明的直写式光刻加工系统的结构示意图。如图所示,该系统包括曝光系统 10 和控制系统 20。曝光系统 10 实质是一种用于产生双光束干涉曝光的曝光光路,包括光源 11、分光器件 12、第一光学镜组 13、可变光阑 15 和第二光学镜组 14。该曝光系统 10 按光源 11、分光器件 12、第一光学镜组 13、可变光阑 15 和第二光学镜组 14 的顺序组成该曝光光路。

[0051] 光源 11 在一种较优地实施方式中采用激光器,其优点在于激光具有良好的相干性,适于进行干涉光刻。另外,相比普通光源,激光具有良好的光场均匀性。采用激光还可以实现高能量超短脉冲曝光的飞行曝光加工方式,可以获得极高的加工效率和定位精度。当然,在其它实施方式中,光源也可以采用诸如汞灯、钠灯等其它单一性较好的光源,只要能够实现本发明干涉曝光即可。

[0052] 分光器件 12 的作用是将光源 10 发出的光进行分束,该分光器件 12 实质是一种衍射光栅,通过该衍射光栅的衍射干涉作用,将入射光分成 0 级、 ± 1 级、 ± 2 级……等多级衍射光,进行反射或透射,形成多束光。在一种具体实施方式中,该分光器件 11 为空间光调制

器,空间光调制器可以是振幅调制型,例如数字微镜元件(Digital Micro mirror Device, DMD),也可以是位相调制型,例如硅基液晶(Liquid Crystal on Silicon, LCOS)。采用空间光调制器的优点在于,通过显示驱动电路,就能够在空间光调制器上显示一维或者二维周期图形,相当于一个衍射光栅,即可实现衍射分光的作用,并且对于该周期图形的周期长度,可以直接通过程序做方便的调整,对于下文中提到的多次曝光方法,提供了可行的方案。这里优先选择位相型的空间光调制器,它可以使得绝大部分能量集中在所需的衍射级次,从而获得较高的能量利用率。以此同时,其它级次的光被大大削弱,这为后续的光阑滤波的带来了一定的便利。

[0053] 第一光学镜组 13 和第二光学镜组 14 组成缩放投影光学镜组,进一步地,将分光器件 12 设置在该第一光学镜组 13 的焦距处,使得来自分光器件 12 分出的各束散射光经过该第一光学镜组 13 之后变成平行光。第一光学镜组 13 和第二光学镜组 14 组成的缩放投影光学镜组的缩放倍数可以视具体应用而定,举例来说,所选分光器件为 LCOS,分辨率为 $1280*800$,像素尺寸为 8 微米,采用 15:15 个像素比例形成周期性光栅,当投影镜组 14 采用 10 倍镜头时,光刻所获得的目标图形的周期为: $15*8\mu\text{m}/10=12\mu\text{m}$ 。对于缩放投影光学镜组的缩放倍数,在一种实施方式中可以选取 5 倍、10 倍、20 倍或 50 倍。进一步地,缩放投影光学镜组采用电动鼻轮结构,其上的缩放镜头为 5 倍、10 倍、20 倍和 50 倍等可自动更换,用以实现不同尺寸的三维结构的光刻。在另一种实施方式中,该缩放投影光学镜组的缩放倍数也可以是连续可调的。

[0054] 可变光阑 15 设置在第一光学镜组 13 和第二光学镜组 14 之间,该可变光阑 15 具有位置可调的单级光通孔,用以将分光器件 12 分出的多级光进行滤光,仅保留两束同级光,而将其它光束挡住。优选的,通过对分光器件 12 的调节,将能量集中到所需的同级光中,比如正负 1 级光,从而提高光能利用率。

[0055] 由于空间光调制器上的各级光之间的分散角随着光栅周期变化而变化,在周期较小时,各级光之间的分散角较大,通过改变空间光调制器上显示图形的周期,可以改变曝光光场的余弦光强分布的周期。在此过程中,必须同步调整可变光阑的通孔。这是因为,改变空间光调制器上显示图形的周期会使得各级光束在频谱面上的位置发生偏移。

[0056] 请参见图 3,在一种具体地实施方式中,该可变光阑 15 包括零级光挡片 151 以及位于该零级光挡片两侧的正负 1 级光可变挡片 152、153,所述正负 1 级光可变挡片 152、153 与所述零级光挡片 151 之间形成正负 1 级光通孔 154、155。将正负 1 级光可变挡片 152、153 分别连接在一个单轴驱动电机(图中未示出)上,通过该单轴驱动电机的驱动,所述正负 1 级光挡片 152、153 在所有挡片形成的轴线上做相对移动,使得该正负 1 级光挡片 152、153 与零级光挡片 151 之间形成的正负 1 级光通孔 154、155 的位置与所述空间光调制器经所述第一光学镜组投影过来的 1 级光位置对应。而当空间光调制器具有相位调制功能时,比如 LCOS,则可以通过相位调制,使得零级光消失,这样一来,对于可变光阑 15,就无需设置该零级光挡片 151。此时可变光阑 15 就由两片可以相对移动的挡片组成,只需控制该两片挡片的位置,就能获得让两束正负 1 级光通过的单级光通孔。一般地,出于单轴电机的物理极限,可变光阑 15 的两片挡片的定位时间小于 0.1 秒,定位精度约为 2 微米。可变光阑 15 的通孔尺寸控制,可以采用手动旋钮,也可采用数控电机控制,显然后者的精度和灵活性更强。

[0057] 在其它实施方式中,该可变光阑 155 也可以为多组挡光片形成的切换式光阑(图

中未示出),其中每组挡光片包括零级光挡片以及位于该零级光挡片两侧的正负 1 级光挡片,所述正负 1 级光挡片与所述零级光挡片之间形成正负 1 级光通孔,且各组挡光片的该正负 1 级光通孔的位置不同。这些挡光片可以通过置入一个由单轴驱动电机控制的切换装置中,当正负 1 级光之间的分散角变化时,通过切换不同的挡光片,得到可以使该正负 1 级光通过的通孔。

[0058] 根据投影系统的数值孔径和 LCOS 的像素尺寸,LCOS 上显示光栅图形的周期不能太小,也不能太大。周期太大,则各级衍射光容易混叠,可变光阑难以实现精确的空间滤波;周期太小,则所需参与干涉光刻的正负 1 级光发散角很大,难以被光学系统所收集。合适的周期范围约在 $20:20 \sim 2:2$ 像素,这个范围虽然不大,但是配合投影镜组 14 的各种缩放倍率的镜头,仍然可以实现多种尺寸的三维曲面的光刻。

[0059] 控制系统 20 包括用于将三维曲面进行傅里叶展开的计算器 21 和根据上述计算器得到的傅里叶多项式进行曝光控制的驱动控制器 22,其中所述驱动控制器包括用以驱动空间光调制器显示的驱动电路、用以控制可变光阑单级光通孔位置的单轴驱动电机,以及用以驱动整个曝光系统进行移动的三轴驱动电机。

[0060] 请参见图 4,图 4 是本发明的光刻方法的步骤流程图。在利用上述光刻加工系统进行光刻时,具体包括步骤:

[0061] S1:将待刻三维曲面进行傅立叶展开,得到一全部为余弦函数的傅立叶多项式。该步骤可以利用计算器 21 依据傅立叶分析理论进行自动计算,得到一个全部由余弦函数表示的多项式。这里需要注意的,通常对曲面做傅立叶展开时,得到的都是正弦和余弦的函数表达式,这里需要把所有的正弦项做进一步处理,全部展开为余弦式,这样可以匹配干涉曝光的余弦分布。

[0062] S2:根据步骤 S1 得到的傅立叶多项式项数,确定曝光次数。比如一个多项式包含 3 项余弦函数,则曝光次数就有 3 次。3 次曝光后形成的叠加图形,就能得到最终的目标曲面图形。

[0063] S3:根据步骤 S1 得到的傅立叶多项式中的每一项余弦函数,确定每次曝光参数,进行多次曝光。曝光参数包括空间光调制器显示的光栅周期、曝光剂量、可变光阑的通孔位置,以及常规的电机控制参数等。其中每一项余弦函数中余弦内系数代表了光栅周期的大小,而余弦系数则代表了曝光剂量。

[0064] S4:重复步骤 S3,直至傅立叶多项式中每一项余弦函数都进行对应的曝光。这里需要注意的是,在曝光完一次进行下一次曝光之前,需要将曝光系统恢复到初始曝光位置,这样每次曝光的效果才能叠加形成目标曲面。

[0065] 上述方法中,各次曝光的曝光剂量需要精密控制。曝光剂量控制有两种实现方式,具体对应两种典型的加工方式。

[0066] a、曝光次数实现曝光剂量控制

[0067] 采用脉冲曝光方式,对于不同的曝光剂量,采用不同的曝光次数。曝光次数越多,剂量越大。典型地,可以有 256 级曝光剂量。由于采用脉冲曝光方式,曝光时间很短,可以实现飞行曝光。具体实施时,可以辅以分层光刻的方式来实现。

[0068] b、曝光时间实现曝光剂量控制

[0069] 该加工方式,对于不同的曝光剂量,采用不同的曝光时间。曝光时间越长,剂量越

大。该方式无法采用飞行曝光,加工效率较低,但是控制系统和激光器的成本低,易于实现,同时对曝光剂量的控制也更加精细。

[0070] 实际光刻工艺中需要注意,光刻胶的光刻深度与曝光剂量不是一个严格的线性关系。根据典型的光刻胶的响应曲面可以看出,在曝光剂量很小和很大时,线性度最差;而在中等曝光剂量区间内,线性度良好的。实际工艺中,需要根据所采用的光刻胶的响应曲面,选择合适的曝光剂量,以获得最大程度的线性响应。必要时,可以根据光刻胶的响应曲面,对曝光剂量进行预校正。

[0071] 下面,通过一个具体实施例对本发明采用上述光刻加工系统进行光刻加工的方法做详细说明。

[0072] 请参见图5,在图5中,曲面0是目标曲面,即要在光刻胶表面或者其它待刻物表面形成诸如曲面0所示的形状,该曲面0是周期性三角折线。现通过计算器21将该曲面0进行傅里叶展开:

$$[0073] \quad y=(1+\cos(x))+\frac{1+\cos(3x)}{9}+\frac{1+\cos(5x)}{25}+\frac{1+\cos(7x)}{49} \quad (1)$$

$$[0074] \quad y=(1+\cos(x))+\frac{1+\cos(3x)}{9}+\frac{1+\cos(5x)}{25} \quad (2)$$

$$[0075] \quad y=(1+\cos(x))+\frac{1+\cos(3x)}{9} \quad (3)$$

[0076] 其中,式(1)是将目标曲面展开成4项,对应曲面1。式(2)是将目标曲面展开成3项,对应曲面2。式(3)是将目标曲面展开成2项,对应曲面3。由图可以看出,当傅里叶展开式中有2项多项式时,展开后的曲面已经非常接近目标曲面;当傅里叶展开式中有4项多项式时,展开后的曲面与目标曲面之间基本没有误差。对于工艺要求不高的场合,比如利用该曲面图形制作闪耀光栅形成防伪图形,仅用2项展开式即能实现目标曲面的刻蚀。

[0077] 在本实施方式中,采用式(2)中的傅立叶多项式进行曝光,即傅立叶多项式包括3项余弦函数,曝光次数对应为3次。

[0078] 采用半导体激光器作为光源,波长为405nm。

[0079] 选用硅基液晶LCOS作为反射式位相型空间光调制器。分辨率为1280*800,像素尺寸为8微米,适用激光波长范围400nm~700nm,位相调制能力0到 3π 。为了实现良好的位相调制效果,在LCOS前的光路上安装有偏振片,这里不予详述。

[0080] 投影镜组14,采用电动鼻轮结构,其上装有5倍、10倍、20倍和50倍多个缩放镜头,并可自动更换,用以实现不同结构尺寸的三维曲面光刻。

[0081] LCOS上显示周期性的条纹结构,以实现光栅分光。

[0082] 通过调整LCOS上显示图像的灰度,设定相邻条纹的位相差为 π ,以实现0级光的抑制。

[0083] LCOS单次曝光面积约为480像素,单次曝光面积太大,不利于后续的空间滤波。

[0084] 根据式(2):

$$[0085] \quad y=(1+\cos(x))+\frac{1+\cos(3x)}{9}+\frac{1+\cos(5x)}{25}$$

[0086] 表达式中的3个傅立叶级次,依次对应的LCOS上显示光栅图形周期为15:15、5:5、3:3像素,需要采用3次曝光叠加。每次曝光时,可变光阑自动调整到相应的孔径,进行空间滤波。

[0087] 可变光阑由数控电机直接驱动,定位时间小于0.1秒,定位精度约为2微米。

[0088] 当投影镜组采用10倍镜头时,光刻所获得的V型沟槽的周期为: $15*8\mu\text{m}/10=12\mu\text{m}$ 。

[0089] 上述各个参数确定之后,依次进行曝光,并将 3 此曝光叠加,在光刻胶层上得到如图 5 中曲面 2 所示的图形。

[0090] 综上所述,本发明提出了一种直写式光刻加工系统和光刻方法,该光刻加工系统包括能够进行傅立叶展开的控制系统和根据控制系统实现多次光刻的曝光系统。该光刻方法依据傅立叶分析原理,将待刻曲面展开为傅立叶多项式,然后根据多项式中各项余弦函数进行多次光刻,使得多此光刻叠加后实现目标曲面的刻蚀。通过本发明的实施,能够对任意大幅面的三维曲面进行刻蚀,并且具有较高的设计灵活性、刻蚀效率和精确度,以及较低的成本等优点。

[0091] 对所公开的实施例的上述说明,使本领域专业技术人员能够实现或使用本发明。对这些实施例的多种修改对本领域的专业技术人员来说将是显而易见的,本文中所定义的一般原理可以在不脱离本发明的精神或范围的情况下,在其它实施例中实现。因此,本发明将不会被限制于本文所示的实施例,而是要符合与本文所公开的原理和新颖特点相一致的最宽的范围。对所公开的实施例的上述说明,使本领域专业技术人员能够实现或使用本发明。对这些实施例的多种修改对本领域的专业技术人员来说将是显而易见的,本文中所定义的一般原理可以在不脱离本发明的精神或范围的情况下,在其它实施例中实现。因此,本发明将不会被限制于本文所示的实施例,而是要符合与本文所公开的原理和新颖特点相一致的最宽的范围。

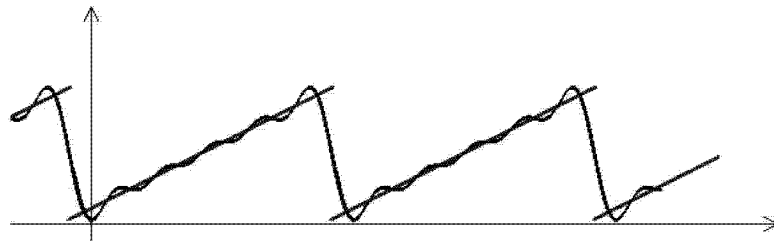


图 1

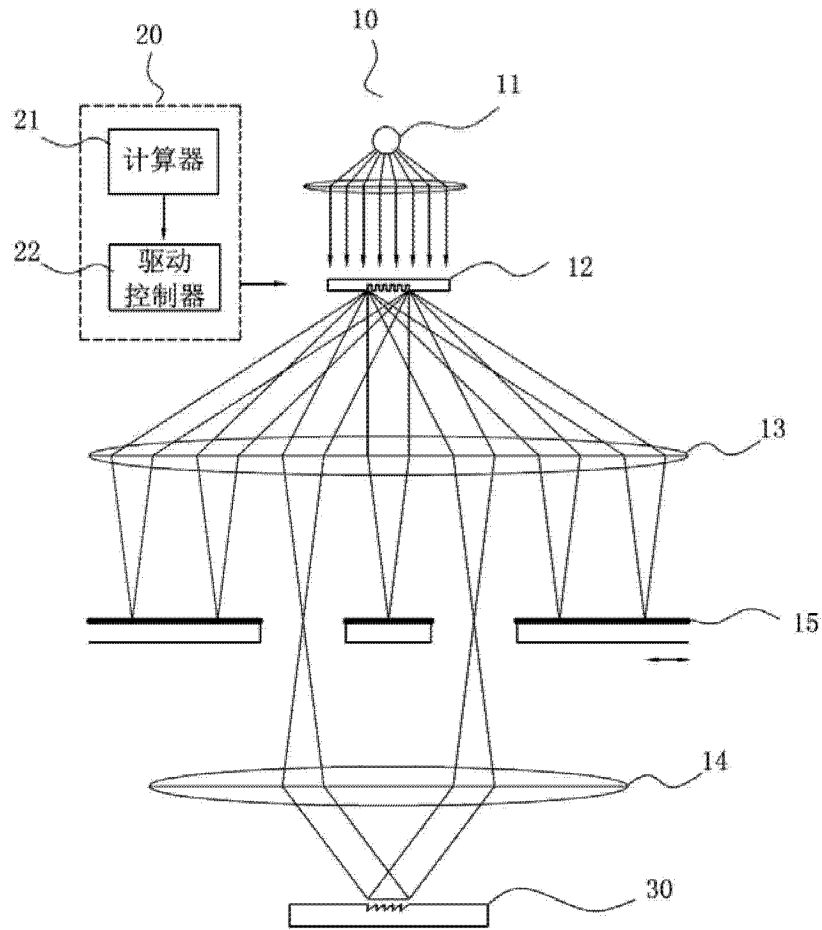


图 2

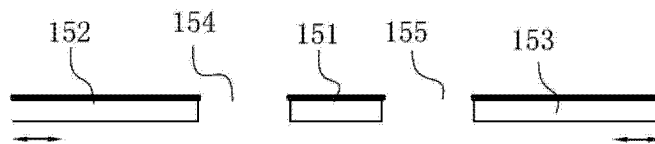


图 3

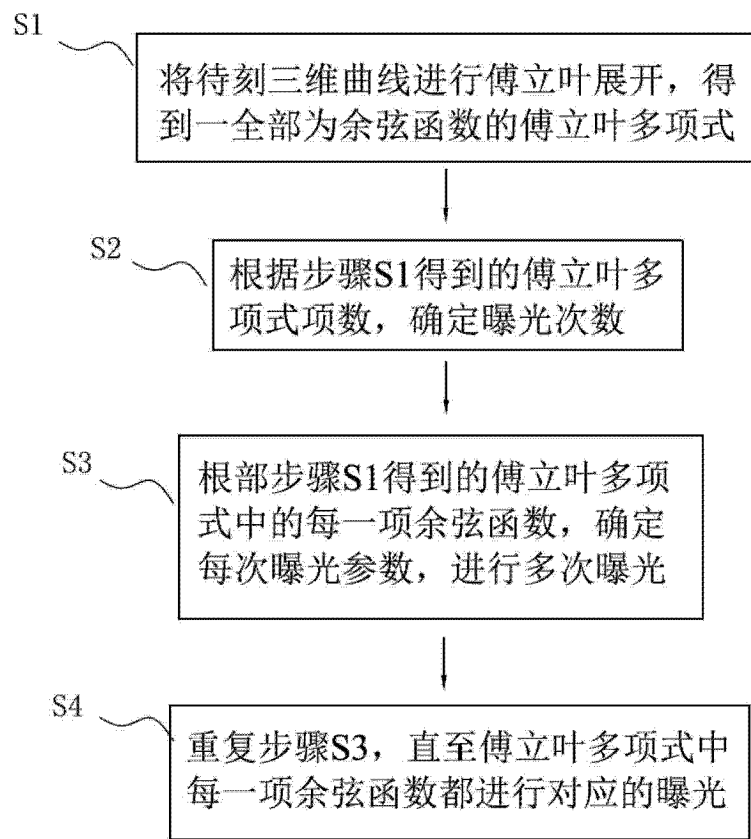


图 4

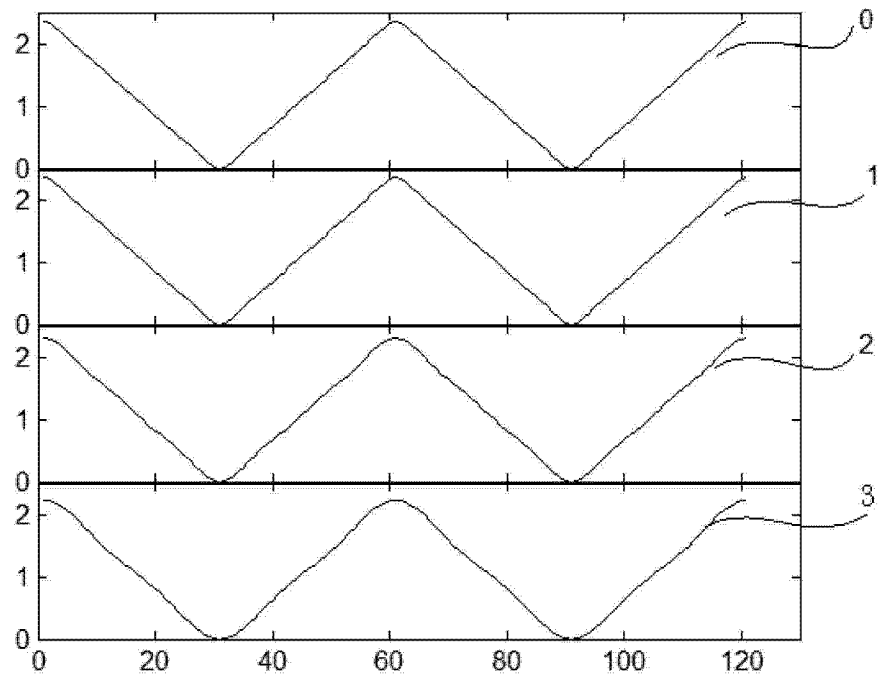


图 5